



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

**“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA RED FTTH BASADO EN EL
ESTÁNDAR G.987.X PARA LA PARROQUIA LA MERCED DE LA
CIUDAD DE AMBATO”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTOR: HENRY SEBASTIÁN MAYORGA PÉREZ

DIRECTORA: ING. MÓNICA ANDREA ZABALA HARO, MSC.

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Henry Sebastián Mayorga Pérez

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, Henry Sebastián Mayorga Pérez, 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.

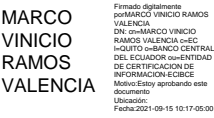

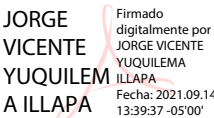
Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, 14 de septiembre de 2021

Henry Sebastián Mayorga Pérez

180381577-6

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

El tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA RED FTTH BASADO EN EL ESTÁNDAR G.987.X PARA LA PARROQUIA LA MERCED DE LA CIUDAD DE AMBATO**”, realizado por el señor **Henry Sebastián Mayorga Pérez**, 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. Msc. Marco Vinicio Ramos Valencia PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 MARCO VINICIO RAMOS VALENCIA	14/09/2021
Ing. Msc. Mónica Andrea Zabala Haro DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 MONICA ANDREA ZABALA HARO	14/09/2021
Ing. Jorge Vicente Yuquilema Illapa MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 JORGE VICENTE YUQUILEMA ILLAPA	14/09/2021

DEDICATORIA

A Dios por demostrarme que, con esfuerzo, paciencia, dedicación, humildad y sabiduría todas las metas pueden ser cumplidas. A mis padres, Fernando y Gladys, quienes con su amor, apoyo y comprensión han estado siempre a mi lado en todos estos años de universidad. A mi hermano Diego por ser un gran ejemplo a seguir y siempre dándome ánimos a salir adelante. A mi alma gemela, Alexandra, que ha llegado a formar parte de mi vida y que siempre ha estado ahí en los momentos más difíciles dándome su apoyo incondicional. A mis mejores amigos, Kevin y Evelyn, familiares y demás personas que me han acompañado en la vida universitaria.

Sebastián

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer de todo corazón a mis padres, por todo el esfuerzo que han hecho para darme la oportunidad de seguir mis sueños y lograr ser ingeniero y al mismo tiempo de impartirme valores y principios que me ayudarán a ser mejor. Un especial agradecimiento a Alexandra, por su amor, cariño, paciencia y consejos, que al igual que mis padres, me ha ayudado a convertirme en un mejor ser humano, tanto dentro del ámbito académico como fuera de él.

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

Agradezco de manera especial a mi tutora de tesis, Ing. Mónica Zabala, que siempre supo cómo dirigir este trabajo de titulación y se ha logrado en el tiempo establecido. A cada uno de los docentes que impartió su conocimiento para convertirme en ingeniero en electrónica, telecomunicaciones y redes.

Sebastián

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT.....	xx

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.	Introducción	1
1.2.	Formulación del Problema	2
1.3.	Justificación del Trabajo de Titulación.....	2
1.3.1.	<i>Justificación Teórica</i>	2
1.3.2.	<i>Justificación Aplicativa</i>	3
1.4.	Objetivos	4
1.4.1.	<i>Objetivo General</i>	4
1.4.2.	<i>Objetivo Específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1.	Fibra óptica.....	6
2.1.1.	<i>El espectro electromagnético</i>	6
2.1.2.	<i>Elementos constituyentes de la fibra óptica</i>	7
2.1.2.1.	Núcleo.....	7
2.1.2.2.	Revestimiento.....	7
2.1.2.3.	Recubrimiento exterior.....	7
2.1.3.	<i>Modos de transmisión de la luz en la fibra óptica</i>	7
2.1.3.1.	Fibra monomodo	8
2.1.3.2.	Fibra multimodo.....	8

2.1.4.	<i>Estándares de las características técnicas de la fibra óptica</i>	9
2.1.5.	<i>Tipos de cableado de fibra óptica</i>	10
2.1.6.	<i>Transmisores y receptores ópticos</i>	10
2.1.6.1.	Transmisor óptico	10
2.1.6.2.	Receptor óptico	12
2.1.7.	<i>Empalmes o unión de fibra óptica</i>	13
2.1.7.1.	Empalme mecánico	13
2.1.7.2.	Empalme por fusión	13
2.1.8.	<i>Conectores ópticos</i>	14
2.1.9.	<i>Tipos de pulidos ópticos</i>	15
2.1.10.	<i>Herrajes</i>	15
2.1.11.	<i>Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU)</i>	16
2.1.12.	<i>Parámetros de métodos de prueba de la fibra óptica</i>	16
2.1.12.1.	Atenuación (α).....	16
2.1.12.2.	Dispersión cromática.....	17
2.1.12.3.	Dispersión modal	17
2.2.	<i>Redes de fibra óptica hacia cualquier parte (FTTX)</i>	18
2.2.1.	<i>Arquitectura de los diferentes tipos de red FTTX</i>	18
2.2.2.	<i>Topologías de redes FTTX</i>	19
2.2.2.1.	Punto a punto	19
2.2.2.2.	Punto a multipunto	20
2.3.	<i>Estándares PON (Redes Ópticas Pasivas)</i>	20
2.3.1.	<i>APON</i>	20
2.3.2.	<i>BPON</i>	21
2.3.3.	<i>EPON</i>	21
2.3.4.	<i>GPON</i>	21
2.3.4.1.	Recomendaciones redes GPON	21
2.3.4.2.	Multiplexación de servicios	22
2.3.4.3.	Arquitectura de red GPON.....	24
2.3.5.	<i>XG-PON</i>	27
2.3.5.1.	Recomendaciones de redes XG-PON	28
2.3.5.2.	Multiplexación de servicios.	29
2.3.5.3.	Arquitectura de una red XG-PON.....	30
2.3.5.4.	Servicios Triple Play.....	31
2.3.5.5.	Capacidad Requerida por servicio.....	31
2.3.5.6.	Parámetros para análisis de rendimiento.....	32

2.4.	Comparación de los parámetros más importantes de los estándares GPON y XG-PON.....	34
-------------	---	-----------

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	35
3.1.	Tipo y Diseño	35
3.2.	Enfoque	35
3.3.	Método de investigación	35
3.4.	Técnicas.....	35
3.5.	Escenario.....	36
3.6.	Estudio de la demanda.....	37
3.6.1.	<i>Tamaño de la Muestra</i>	<i>37</i>
3.7.	Análisis de los resultados	37
3.8.	Diseño lógico de la red <i>FTTH</i>.....	42
3.8.1.	<i>Delimitación Geográfica</i>	<i>42</i>
3.8.2.	<i>Capacidad del servicio.....</i>	<i>44</i>
3.8.3.	<i>Topología de la red.....</i>	<i>45</i>
3.8.4.	<i>Arquitectura de la red XG-PON</i>	<i>46</i>
3.8.4.1.	Terminal de línea Óptica (OLT).....	46
3.8.4.2.	Distribuidor de Fibra Óptica (ODF).....	47
3.8.4.3.	Red troncal	47
3.8.4.4.	Red de distribución	54
3.8.4.5.	Red de dispersión	65
3.8.4.6.	Red interna	66
3.8.5.	<i>Análisis del ancho de banda</i>	<i>66</i>
3.9.	Diseño físico de la red <i>FTTH</i>.....	67
3.9.1.	<i>Elementos activos</i>	<i>68</i>
3.9.1.1.	OLT.....	68
3.9.1.2.	ONT.....	70
3.9.2.	<i>Elementos pasivos</i>	<i>71</i>
3.9.2.1.	Distribuidores de fibra óptica (ODF)	72
3.9.2.2.	Divisores de potencia o power splitters.....	72
3.9.2.3.	Rack de ODFs	73
3.9.2.4.	Mangas troncales.....	74
3.9.2.5.	Punto de acceso a la red (NAP).....	75
3.9.2.6.	Roseta óptica.....	76
3.9.2.7.	Conector SC/APC	76

3.9.2.8.	Patchcord de fibra óptica.....	77
3.9.2.9.	Fibra óptica	77
3.10.	Presupuesto óptico del enlace.....	78
3.10.1.	<i>Diagrama de elementos de la red XG-PON.....</i>	78
3.10.2.	<i>Rango de atenuación.....</i>	80
3.10.3.	<i>Presupuesto de pérdidas.....</i>	81
3.10.4.	<i>Cálculo del balance de potencias.....</i>	82
3.11.	Simulación de la red.....	83
3.11.1.	<i>Análisis del software de simulación Optisystem.....</i>	84
3.11.2.	<i>Desarrollo de la simulación.....</i>	85
3.11.2.1.	Descripción del equipo transmisor (OLT)	85
3.11.2.2.	Descripción de la red de distribución óptica (ODN).....	88
3.11.2.3.	Descripción del equipo receptor (ONT, ONU)	89

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE RESULTADOS.....	91
4.1.	Resultados de la simulación.....	91
4.1.1.	<i>Potencia.....</i>	91
4.1.1.1.	Potencia del transmisor (OLT).....	92
4.1.1.2.	Potencia recibida usuario más cercano.....	92
4.1.1.3.	Potencia recibida usuario más lejano	93
4.1.1.4.	Potencia recibida de los usuarios cercanos y lejanos de las otras zonas	93
4.1.2.	<i>Señal transmitida y recibida.....</i>	94
4.1.2.1.	Secuencia de bits codificados y modulados	94
4.1.2.2.	Secuencia de bits receptados y demodulados.....	95
4.1.3.	<i>Espectro de la señal transmitida y recibida.....</i>	96
4.1.3.1.	Espectro de la señal transmitida combinada	96
4.1.3.2.	Espectro de la señal recibida de cada servicio	97
4.1.4.	<i>Factor de calidad (Q) y probabilidad de error de bit (BER).....</i>	98
4.1.4.1.	Factor de calidad y probabilidad de error de bit del usuario más cercano	98
4.1.4.2.	Factor de calidad y probabilidad de error de bit del usuario más lejano.....	100
4.1.4.3.	Factor de calidad y probabilidad de error de bit del resto de usuarios	101
4.1.5.	<i>Diagrama de ojo.....</i>	101
4.1.5.1.	Diagrama de ojo del usuario más cercano.....	101
4.1.5.2.	Diagrama de ojo del usuario más lejano	102

4.1.5.3.	Altura del ojo del resto de usuarios.....	104
4.2.	Estudio comparativo de los estándares G.984.X (GPON) y G.987.X (XG-PON)..	104
4.2.1.	<i>Potencia de recepción</i>	105
4.2.1.1.	Presupuesto de pérdidas	105
4.2.1.2.	Balance de potencia.....	105
4.2.2.	<i>Parámetros de calidad de servicio</i>	106
4.2.3.	<i>Comparación porcentual</i>	107
	CONCLUSIONES	108
	RECOMENDACIONES	109
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Tipos de estándares de la fibra óptica según la ITU.....	9
Tabla 2-2:	Parámetros técnicos de cada una de los estándares de fibra óptica	9
Tabla 3-2:	Tipos de división de <i>splitters</i>	25
Tabla 4-2:	Capacidad sector comercial.....	31
Tabla 5-2:	Capacidad sector corporativo	32
Tabla 6-2:	Diferencias entre GPON y XG-PON.....	34
Tabla 1-3:	Número de usuarios que disponen los servicios de telecomunicaciones.....	38
Tabla 2-3:	Nivel de conformidad de cada servicio	39
Tabla 3-3:	Datos recopilados referente a si el usuario conoce de <i>XG-PON</i>	40
Tabla 4-3:	Datos recopilados referente a si el usuario desearía cambiarse a <i>XG-PON</i>	41
Tabla 5-3:	Nivel de conformidad de cada servicio	45
Tabla 6-3:	Especificaciones de la OLT Huawei MA5800-X17	69
Tabla 7-3:	Especificaciones de la ONT Huawei <i>HN8M038055Q</i>	71
Tabla 8-3:	Especificaciones de los puertos ONT Huawei <i>HN8M038055Q</i>	71
Tabla 9-3:	Características del ODF TYCO.....	72
Tabla 10-3:	Perdidas de los <i>splitters</i> según su relación.....	72
Tabla 11-3:	Características de la NAP JFOPP - PDB0216.....	75
Tabla 12-3:	Características de la NAP JFOPP - PDB0216.....	75
Tabla 13-3:	Características del conector SC/APC	76
Tabla 14-3:	Características del Patchcord de Fibra Óptica.....	77
Tabla 15-3:	Parámetros de los estándares UIT-T G.652 e UIT-T G.655.....	78
Tabla 16-3:	Valores de atenuación de los equipos pasivos de la red XG-PON	79
Tabla 17-3:	Rango de atenuación para XG-PON según su clase.....	80
Tabla 18-3:	Atenuación del usuario más cercano y lejano de cada zona.....	82
Tabla 19-3:	Potencia de recepción del usuario más cercano y lejano de cada zona	83
Tabla 20-3:	Características técnicas de Optisystem.....	85
Tabla 1-4:	Potencia de recepción del usuario más cercano y lejano de cada zona	93
Tabla 2-4:	Parámetros de calidad de servicio de los demás usuarios.....	101
Tabla 3-4:	Parámetros de altura de ojo de los demás usuarios	104
Tabla 4-4:	Diferencia entre la simulación de GPON contra XG-PON	104
Tabla 5-4:	Presupuesto óptico NAP's más distantes.....	105
Tabla 6-4:	Atenuación promedio por cada zona	106
Tabla 7-4:	Factor Q y BER de Naps cercanas y distantes.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Esquema de un sistema de monitoreo	4
Figura 1-2.	Espectro electromagnético	6
Figura 2-2.	Componentes de la fibra óptica.....	7
Figura 3-2.	Fibra monomodo	8
Figura 4-2.	Fibra multimodo.....	8
Figura 5-2.	Esquema de un sistema transmisor óptico.....	11
Figura 6-2.	Ancho espectral del diodo LED.	11
Figura 7-2.	Ancho espectral del diodo láser.....	12
Figura 8-2.	Esquema de un sistema transmisor óptico.....	12
Figura 9-2.	Empalme mecánico.	13
Figura 10-2.	Empalme por fusión.	14
Figura 11-2.	Tipos de conectores ópticos.	14
Figura 12-2.	Tipos de pulidos.	15
Figura 13-2.	Herraje implementado en poste eléctrico.	16
Figura 13-2.	Atenuación en una fibra óptica por longitud de onda.....	17
Figura 14-2.	Topologías de redes <i>FTTX</i>	18
Figura 15-2.	Topología punto a punto	19
Figura 16-2.	Topología punto a multipunto	20
Figura 17-2.	Técnicas de multiplexación.....	23
Figura 18-2.	Arquitectura red GPON.....	24
Figura 19-2.	Red ODN.....	25
Figura 20-2.	Splitter 1x4.....	26
Figura 21-2.	Armario de distribución de fibra (FDH).....	27
Figura 22-2.	NAP.....	27
Figura 23-2.	Arquitectura de red XG-PON.....	30
Figura 24-2.	Diagrama de ojo	33
Figura 1-3.	Localización geográfica de la parroquia La Merced	36
Figura 2-3.	Localización en AutoCAD de la parroquia La Merced.....	43
Figura 3-3.	Sectorización de la parroquia La Merced.....	44
Figura 4-3.	Diagrama de la red	46
Figura 5-3.	Localización de la OLT geográficamente	46
Figura 6-3.	Localización de la OLT para el diseño de la red <i>FTTH</i>	47
Figura 6-3.	Red <i>Feeder</i>	48
Figura 7-3.	Identificador de la red Feeder.....	48

Figura 8-3.	Sangrado y Mangas troncales M_01 y M_02 de la zona 1.....	49
Figura 9-3.	Sangrado y Mangas troncales M_03 y M_04 de la zona 2.....	50
Figura 10-3.	Sangrado y Mangas troncales M_05 y M_06 de la zona 3.....	51
Figura 11-3.	Sangrado y Mangas troncales M_07 y M_08 de la zona 4.....	52
Figura 12-3.	Sangrado y Manga troncal M_09 de la mitad de la zona 5	52
Figura 13-3.	Sangrado y Manga troncal M_10 de la mitad de la zona 5	53
Figura 14-3.	Sangrado y Mangas troncales M_11 y M_12 de la zona 6.....	54
Figura 15-3.	Mapa de la parroquia La Merced con las mangas troncales ubicadas.....	54
Figura 16-3.	Identificador de la red de Distribución.....	55
Figura 17-3.	Cajas de distribución ópticas para la M_01 y M_02	55
Figura 18-3.	NAP más cercana a la MT_02.....	56
Figura 19-3.	Cajas de distribución ópticas para la M_03 y M_04	57
Figura 20-3.	NAP más cercana a la MT_04.....	58
Figura 21-3.	Cajas de distribución ópticas para la M_05 y M_06	58
Figura 22-3.	NAP más cercana a la MT_05.....	59
Figura 23-3.	Cajas de distribución ópticas para la M_05 y M_06	60
Figura 24-3.	NAP más cercana a la MT_07.....	61
Figura 25-3.	Cajas de distribución ópticas para la M_09.....	61
Figura 26-3.	Cajas de distribución ópticas para la M_10.....	62
Figura 27-3.	NAP más cercana a la MT_09.....	63
Figura 28-3.	NAP más cercana a la MT_10.....	63
Figura 29-3.	Cajas de distribución ópticas para la M_11 y M_12	64
Figura 30-3.	NAP más cercana a la MT_11.....	65
Figura 31-3.	Red de dispersión	65
Figura 32-3.	Red interna	66
Figura 33-3.	Diagrama Lógico de la red XG-PON	67
Figura 34-3.	Clasificación de elementos activos y pasivos.....	68
Figura 35-3.	Equipo OLT <i>Huawei MA5800-X17</i>	69
Figura 36-3.	Tarjeta de servicio <i>H901XGSF</i>	70
Figura 37-3.	ONT <i>HN8M038055Q</i>	70
Figura 38-3.	ODF <i>TYCO</i> de 96 puertos	72
Figura 39-3.	Splitter 1:8 <i>Huawei</i>	73
Figura 40-3.	Rack de ODFs	74
Figura 41-3.	Manga troncal <i>GP01-H9JM4</i>	74
Figura 42-3.	NAP con splitter 1:16.....	75
Figura 43-3.	Roseta óptica	76
Figura 44-3.	Conector SC/APC	76

Figura 45-3.	Patchcord de Fibra Óptica.....	77
Figura 46-3.	Representación de los equipos activos y pasivos de la red XG-PON	79
Figura 47-3.	Interfaz gráfica del software Optisystem.....	84
Figura 48-3.	OLT (Terminal de línea óptica).....	86
Figura 49-3.	Transmisor de voz/datos y video.....	87
Figura 50-3.	Receptor de voz/datos de la OLT.....	88
Figura 51-3.	Red de distribución Óptica (ODN).....	89
Figura 52-3.	ONT (Terminal de red óptica).....	89
Figura 1-4.	Potencia suministrada por la OLT hacia el medio óptico.....	92
Figura 2-4.	Potencia recibida a la ONT del usuario más cercano.....	92
Figura 3-4.	Potencia recibida a la ONT del usuario más cercano.....	93
Figura 4-4.	Secuencia de bits codificada a NRZ.....	94
Figura 5-4.	Señal modulada resultante.....	95
Figura 6-4.	Señal modulada recibida en la ONT.....	95
Figura 7-4.	Secuencia de bits recibidos en la ONT.....	96
Figura 8-4.	Espectro del transmisor de audio/datos y video	97
Figura 9-4.	Espectro del servicio de audio/datos filtrado en el receptor.....	97
Figura 10-4.	Espectro del servicio de video filtrado en el receptor	98
Figura 11-4.	Factor Q y BER del receptor de audio/datos del usuario más cercano.....	99
Figura 12-4.	Factor Q y BER del receptor de video del usuario más cercano	99
Figura 13-4.	Factor Q y BER del receptor de audio/datos del usuario más lejano	100
Figura 14-4.	Factor Q y BER del receptor de video del usuario más cercano	100
Figura 15-4.	Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más cercano.....	102
Figura 16-4.	Diagrama de ojo del receptor de video del usuario más cercano	102
Figura 17-4.	Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más lejano	103
Figura 18-4.	Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más lejano	103

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Usuarios que disponen de los servicios de telecomunicaciones.....	38
Gráfico 2-3:	Nivel de conformidad de los servicios	39
Gráfico 3-3:	Usuarios que conocen sobre <i>XG-PON</i>	40
Gráfico 4-3:	Usuarios que desearían cambiarse a <i>XG-PON</i>	41
Gráfico 1-4:	Comparación porcentual del factor de calidad de GPON y XG-PON.....	107
Gráfico 2-4:	Comparación porcentual de la probabilidad de error de bit de GPON y XG-PON	107

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Número de habitantes, viviendas y tasa de crecimiento poblacional de la parroquia La Merced del cantón Ambato, proporcionado por el INEC.
- Anexo B:** Encuesta realizada a los habitantes de la parroquia La Merced del cantón Ambato.
- Anexo C:** Diseño lógico de la red XG-PON de la parroquia La Merced del cantón Ambato.
- Anexo D:** Simbología utilizada para el diseño lógico de la red XG-PON
- Anexo E:** Especificaciones técnicas de la fibra óptica determinado por el estándar G.652.D y G.655.D
- Anexo F:** Simulación de la red XG-PON

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

BER	Bit error ratio (Probabilidad de error de bit)
CNT	Corporación Nacional de Telecomunicaciones
FDH	Armario de distribución de Fibra Óptica
FTTB	Fiber to the Building (Fibra hasta el edificio)
FTTC	Fiber to the Curb (Fibra hasta el gabinete)
FTTH	Fiber to the Home (Fibra hasta el hogar)
FTTN	Fiber to the Node (Fibra hasta el nodo)
FTTX	Fiber To The X(Any Place) (Fibra hasta cualquier lugar)
GPON	Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit
ITU-T	Unión Internacional de Telecomunicaciones-Telecomunicaciones
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
NAP	Caja de Distribución Óptica
NRZ	No retorno a cero
ODN	Red de distribución óptica
OLT	Terminal de Línea Óptica
ONT	Terminal de Red Óptica
ONU	Unidad de Red Óptica
TDM	Multiplexación por División de Tiempo
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo
WDM	Multiplexación por División de Longitud de onda

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue diseñar una Red Óptica Pasiva con capacidad de 10 Gigabit (XG-PON), utilizando el estándar G.987.X, en la parroquia La Merced perteneciente a la ciudad de Ambato, para proveer un óptimo servicio de Triple Play (audio, video, datos) a sus clientes. Primeramente, se realizó el estudio y análisis de las redes Fibra hasta el hogar (FTTH), sus arquitecturas y topologías, asimismo se hizo el análisis de los diferentes estándares PON, es decir APON, BPON, EPON, GPON y XG-PON, y se determinó que este último posee las mejores características. A través de encuestas se pudo determinar que los clientes de la zona se encuentran insatisfechos por su servicio actual, y que desearían utilizar una nueva y mejor tecnología. Posteriormente, a partir del número de viviendas se realizó el diseño lógico de la red troncal (Feeder), red de distribución y red de dispersión, determinando los equipos activos y pasivos necesarios, finalmente se procedió a calcular el presupuesto óptico del enlace del usuario más lejano y cercano de manera teórica y simulada a través del software Optisystem, además se revisó otros parámetros de calidad de servicio como el factor de calidad (Q) y la probabilidad de error de bit (BER) que presenta el programa, y se los comparó con resultados de otra red FTTH con estándar GPON para determinar en qué porcentaje mejoró a comparación de la tecnología anterior. Del trabajo realizado se concluye que la tecnología XG-PON permite brindar un mejor servicio, además de poder tener una red escalable, abarcar más usuarios en un único puerto del transmisor, y de tener una mejora respecto a GPON en todos los parámetros. Se recomienda que al momento de implementar la red FTTH se revise todos los parámetros antes mencionados y revisar que los equipos activos y pasivos sean de la misma marca.

Palabras clave: <TELECOMUNICACIONES>, <FIBRA ÓPTICA>, <DISEÑO DE RED>, <SERVICIOS TRIPLE PLAY>, <TASA DE ERROR DE BIT (BER)>, <OPTISYSTEM (SOFTWARE)>.



Firmado electrónicamente por:
ELIZABETH
FERNANDA AREVALO
MEDINA



1246-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

This research work is aimed to design a Passive Optical FTTH Network with 10 Gigabit capacity (XG-PON) using the G.987.X standard in La Merced parish in Ambato city to provide an optimal Triple Play service (audio, video, data) to the customers. First, the FTTH networks study and analysis, the architectures, and topologies were carried out. In addition, the analysis of the different PON standards such as APON, BPON, EPON, GPON, and XGPON was carried out. Finally, it was determined how the last analysis has the best features. Then, by applying surveys, customers' dissatisfaction with the current service was determined. They would like to use new and better technologies. Then, the logical design of the backbone network (Feeder), the distribution network, and the dispersion network was developed based on the number of dwellings. It allowed determining which active and passive equipment should be used. Finally, the optical budget of the furthest and closest user link was calculated in a theoretical and simulated way through the Optisystem software. In addition, other qualities of service parameters such as the quality factor (Q) or the bit error probability (BER) presented by the program were reviewed. These parameters were compared with another FTTH network that used GPON to determine how much it improved. It is concluded that the XG-PON technology allows us to provide a better service, have a scalable network, cover more users in a single transmitter port, and improve GPON in all parameters. It is recommended to review all the mentioned parameters and if the active and passive equipment has the same brand before implementing the FTTH network.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <COMMUNICATIONS TECHNOLOGY>, <PASSIVE OPTICAL NETWORK WITH CAPACITY 10 GIGABIT [XG-PON]>, <OPTICAL FIBER>, <TRIPLE-PLAY SERVICES>, <RATE BIT ERROR [BER]>, <OPTISYSTEM (SOFTWARE)>.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Introducción

La fibra óptica ha sido uno de los avances tecnológicos más increíbles que el ser humano haya podido desarrollar, gracias a ello las comunicaciones son ahora más rápidas, estables y seguras. Aunque parece que esto ha aparecido recientemente en los últimos años, la realidad es que ha sido un desarrollo que ha tomado casi 200 años.

Los primeros indicios de transportar información a través de medios ópticos guiados fueron hechos por Alexander Graham Bell en el año 1880 con la invención del fonógrafo, este podía transportar ondas sonoras sobre un rayo de luz. Sin embargo, el desarrollo de los sistemas de comunicación óptica tuvo retrasos debido a que se necesitaba diseñar fuentes de luz y medios de transmisión adecuados. Por lo que se tuvo que esperar 50 años para que John Logie Baird y Heinrich Lamm pudieran transmitir imágenes de televisión a través de una fibra no cubierta de vidrio. Finalmente, el físico indio Narinder Singh Kapany en 1956 acuñó el nombre de “fibra óptica” al medio de comunicación; de ahí en adelante empresas como la AT&T comenzaron a realizar tendidos de fibra en varias ciudades de Estados Unidos como Chicago o Atlanta, hasta llegar a realizar enlaces transatlánticos para poder globalizarlo. (Tomasi, 2003, pp. 422-424)

Conforme la fibra óptica fue diseñada lo siguiente fue mejorarla, es decir, que pueda transmitir a mayor velocidad o tener un sistema de transmisión o recepción más adecuado o accesible. La ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) ha sido la encargada de presentar los avances de las comunicaciones ópticas a través de estándares, con el fin de que todas las empresas tengan un modelo en común. Entre los más importantes han sido los estándares G.984.X conocido como redes GPON el cual es el pilar fundamental para diseñar un sistema completo de comunicación óptica y su sucesor el G.987.X, denominado XG-PON, el cual permitió una mayor velocidad de transmisión en el menor tiempo.

A nivel regional Brasil a sido uno de los pioneros de la fibra optica, no solo regional sino mundial, sus trabajos datan del año 1977 cuando la empresa Telebras (Telecomunicaciones Brasileñas S.A.) empezaba a realizar investigaciones para el desarrollo de tecnología óptica con el fin no depender de empresas extranjeras, para finales de los 80 su demanda de fibra ya superaba los 10000 km. Con su trabajo lograron crear fibra de 3 tipos, la de cubierta y nucleo de vidrio diseñada

para las telecomunicaciones, la de vidrio – plástico para telemetría y comandos y la de plástico – plástico para iluminación. (Fernández y Tadul, 1999)

A nivel nacional, Ecuador tuvo su primera conexión por fibra óptica en el año 2007 por medio de la empresa CNT, esto se lo pudo hacer mediante el tendido de fibra que ya disponía Colombia usando la red eléctrica. Al comienzo únicamente disponía de 0.7 Gbps teniendo un notable aumento 50 Gbps para el año 2011. Según el ministerio de las telecomunicaciones para el 2019 el país contó con una empresa propia de producción de fibra, ubicada en Esmeraldas, denominada LatamFiberHome, capaz de producir 1 millón de kilómetros de fibra por año. (MINTEL, 2016) (Zevallos, 2014, pp. 144-148)

Se han hecho la mayor parte de estudios en redes *GPON* por parte de las Universidad de las Fuerzas Armadas o la Escuela Superior Politécnica del Litoral, además que hay únicamente un par de estudios de redes *XG-PON* en el país por parte de estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional para el barrio de Carcelén y Mariscal de Quito.

A nivel local, Ambato conto con fibra óptica gracias a la empresa CNT como se mencionó anteriormente, a partir de ello, han nacido varias Pymes que mediante los permisos del *ARCOTEL* han podido otorgar el servicio a las zonas que aún no lo disponían, aunque claramente aún existen zonas que no disponen del servicio. Todos los estudios que se han realizado han sido utilizando el estándar tradicional G984.X, por lo que aún no existen trabajos usando tecnología *XG-PON*.

1.2. Formulación del Problema

¿Al realizar un correcto diseño de una red FTTH utilizando la tecnología *XG-PON* permitirá brindar un correcto servicio para la parroquia La Merced de la ciudad de Ambato?

1.3. Justificación del Trabajo de Titulación

1.3.1. Justificación Teórica

Los sistemas de comunicación óptico, han contribuido para que la navegación por internet y otros servicios se lo pueda hacer de una manera más rápida, eliminando los problemas que tenía las comunicaciones por ondas electromagnéticas. Sin embargo, la mayoría de los estudios de diseñar redes *FTTH* para distintas partes del Ecuador se han enfocado únicamente en usar el estándar G984.X (redes *GPON*), cuando en la realidad el avance de las redes *PON* ha ido en avance, tal que este documento se está quedando obsoleto.

En la actualidad el usuario final desea que su servicio de internet sea mejor a lo tradicional, debido a que consume plataformas de *streaming* con resoluciones de video de 4K u 8K, participa en reuniones de trabajo o videoconferencias mediante plataformas como *Zoom* o *Microsoft Teams* o simplemente pasar tiempos de ocio jugando videojuegos en línea, por lo que necesitará mayor velocidad de bajada y subida para sus distintas actividades.

Los estudios realizados en la actualidad van direccionados para satisfacer las necesidades de telecomunicaciones en los hogares (clientes masivos), por ende, se realiza cada día más investigación y utilización de las redes *FTTH*.

La importancia del este proyecto radica en poder diseñar una red *FTTH* para una parroquia de la ciudad de Ambato utilizando un nuevo estándar de las redes *PON* conocido como *XG-PON* o *10G-PON*, el cual permite que los nuevos servicios puedan funcionar sin ningún problema gracias a su velocidad de transferencia de datos, y así poder impulsar a los futuros ingenieros en telecomunicaciones en utilizar nuevos estándares para poder crear sus redes *FTTH* a lo largo del Ecuador.

1.3.2. Justificación Aplicativa

La razón por la que surgió este proyecto es porque las telecomunicaciones tienen un gran avance en la actualidad, dado que por las condiciones que ha pasado el mundo en los últimos meses debido a la pandemia del coronavirus, el internet ha sido el pilar fundamental para que varias áreas de trabajo no se hayan detenido en su totalidad. El problema radica en que no todas las localidades cuentan con un servicio de internet por fibra óptica, o si lo tienen se continúa usando la arquitectura tradicional utilizando el estándar *G984.X*.

Con estos antecedentes se planea diseñar una red *FTTH* utilizando una tecnología que permita que los servicios actuales como televisión en alta definición, videoconferencias, streaming y demás funcionen sin ningún inconveniente, como lo es *XG-PON* con su estándar *G.987.X*. Con el objetivo de que este trabajo a futuro pueda servir al autor como un emprendimiento para crear su propia empresa.

Se pretenderá dar el servicio para la parroquia La Merced de la ciudad de Ambato, ya que el tendido de fibra es escaso perteneciente a la empresa CNT y un proveedor independiente, pero, como ya se explicó antes, únicamente se ha hecho dicho estudio bajo el estándar tradicional. Se diseñará mediante una topología de red que se adapte a las especificaciones del estándar establecido y analizando el tipo de fibra que se utilizará para la propuesta en esta investigación con el fin de validar el diseño realizado.

La Figura 1-1 muestra el área geográfica donde se realizará el diseño de la red *XG-PON*. Esta parroquia perteneciente al cantón Ambato, se encuentra en los alrededores del centro de la ciudad, por lo que se pretende que exista una cantidad notable de clientes potenciales que consumen los servicios actuales de entretenimiento y trabajo, por ende, deseen adquirir un plan de internet que ofrezca una calidad de servicio mejor al de su proveedor tradicional.

El diseño propuesto permite segmentar en zonas de mejor manera los clientes, a partir de ello se determina los lugares específicos, ya sean armarios o postes, donde irán los equipos pasivos de la red, para finalmente determinar en cada zona el usuario más lejano y cercano y confirmar que su recepción es la adecuada.

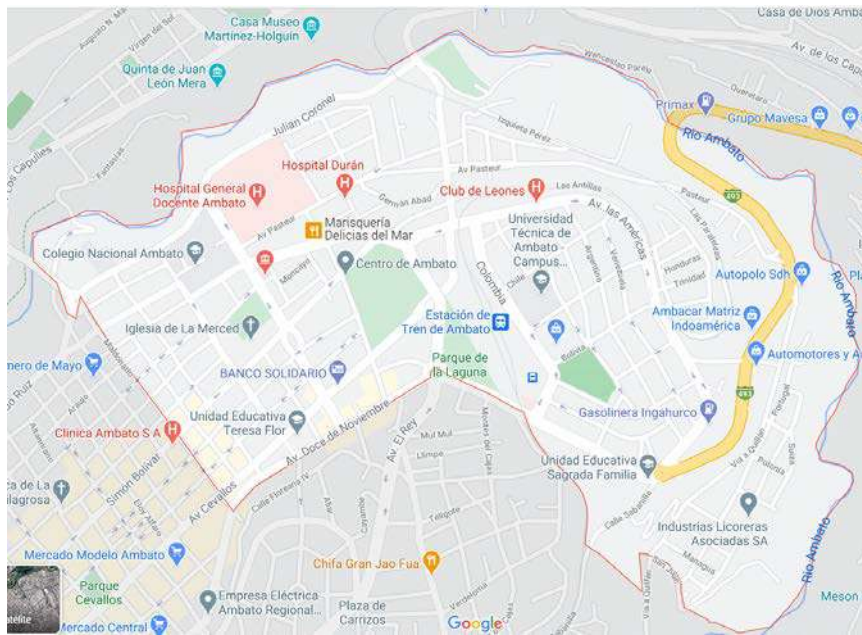


Figura 1-1. Esquema de un sistema de monitoreo
Fuente: Google, 2020

El diseño y la evaluación se realizó mediante el software Optisystem, donde se tomó en cuenta parámetros como la potencia de recepción entre el usuario más cercano y lejano de cada zona y realizar el análisis de la probabilidad de error de bit (BER) o factor de calidad (Q), mediante el diagrama de ojo para así garantizar la eficiencia del enlace para verificar si es factible el diseño propuesto.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo General*

Diseñar y evaluar una red FTTH basado en el estándar G.987.X para la parroquia La Merced de la ciudad de Ambato.

1.4.2. *Objetivo Específicos*

- ✓ Realizar un estudio de la demanda actual que permita determinar la necesidad de utilizar tecnología XG-PON en la parroquia La Merced de la ciudad de Ambato.
- ✓ Diseñar la infraestructura de red FTTH utilizando el estándar G.987.X en la parroquia La Merced de la ciudad de Ambato.
- ✓ Realizar el presupuesto óptico para determinar la factibilidad del enlace de la red XG-PON.

- ✓ Evaluar el rendimiento teórico de la red FTTH basado en XG-PON y GPON mediante el software de simulación Optisystem.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Fibra óptica

Es el medio de comunicación que permite transportar información por medio de un rayo de luz o señal luminosa a través de varias reflexiones que se dan en el interior conocido como núcleo. A diferencia de las ondas electromagnéticas, la luz permite transmitir o recibir información a mayor velocidad y con una mejor calidad, debido a que es inmune a factores externos como la diafonía, ambiente, estática, etc. (Tomasi, 2003, p. 425)

2.1.1. El espectro electromagnético

Como ya se mencionó antes, la luz es la que viaja por la fibra óptica llevando la información del usuario. Esta luz viaja a una determinada frecuencia o trabaja a una determinada longitud de onda, todos estos parámetros se relacionan en la siguiente fórmula:

$$v = \lambda * f \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2)$$

Donde:

v= Velocidad de propagación en el medio (3×10^8 en el vacío)

λ = Longitud de onda

f= Frecuencia

La Figura 1-2 muestra cómo se encuentra distribuido el espectro electromagnético para las diferentes áreas de trabajo. Siendo el infrarrojo cercano e intermedio el área de trabajo de las comunicaciones ópticas, es decir entre 770nm – 1550 nm.

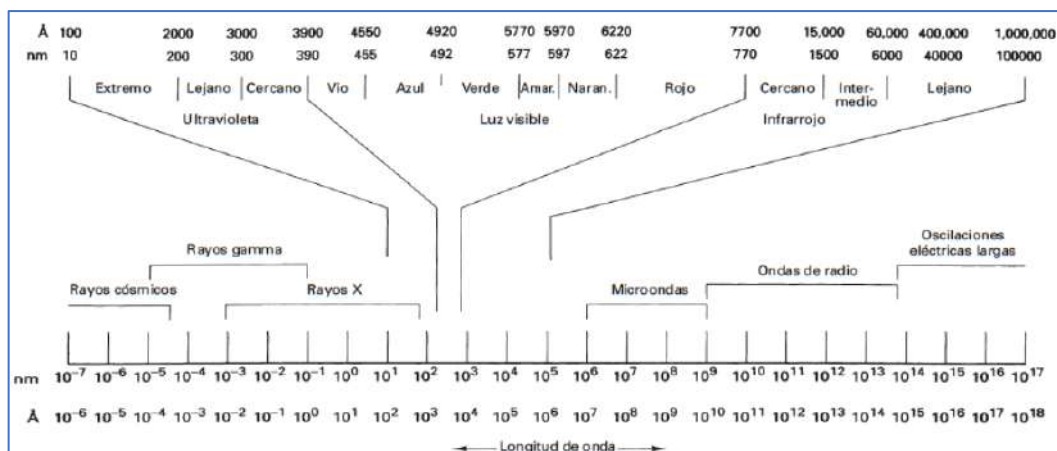


Figura 1-2. Espectro electromagnético

Fuente: (Tomasi, 2003, p. 426)

2.1.2. Elementos constituyentes de la fibra óptica

La fibra óptica está compuesta por el núcleo, el revestimiento y recubrimiento exterior o llamado también color.

2.1.2.1. Núcleo

Conocido como “*core*”, está formado por dióxido de silicio (SiO_2) o de dióxido de germanio (GeO_2). Su tamaño dependerá del modo de transmisión, ya sea monomodo es decir que se envía un solo rayo de luz de 8 a 10 μm , o multimodo que la luz toma varios caminos provocando desfases de 50 a 62.5 μm . (Schmidberg, 2017, p. 35)

2.1.2.2. Revestimiento

Conocido como “*cladding*”, está formado de dióxido de silicio (SiO_2), independiente del modo de transmisión, el tamaño será de 125 μm . Su función consiste de permitir al rayo de luz poder realizar las reflexiones en el núcleo, dado que su permitividad es menor a la del núcleo. (Schmidberg, 2017, p. 35)

2.1.2.3. Recubrimiento exterior

Conocido como “*coating*” o color, está formado de acrílico, independiente del modo de transmisión su tamaño será de 245 μm . Permite además de proteger al revestimiento, poder identificar a que grupo pertenece, existen 12 colores para poder diferenciarlas. (Schmidberg, 2017, pág. 35)

La Figura 2-2 muestra la fibra óptica y sus componentes:

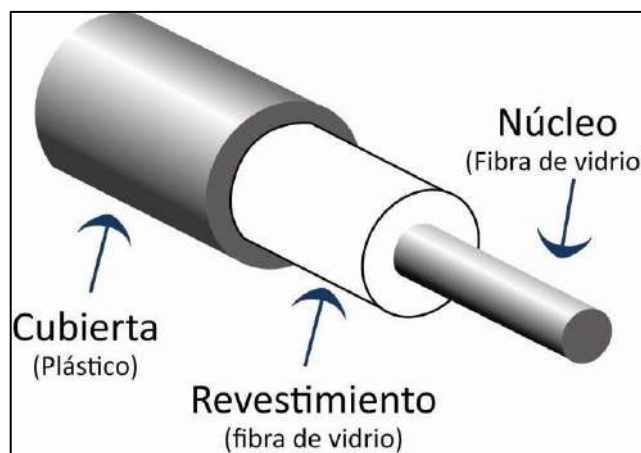


Figura 2-2. Componentes de la fibra óptica
Fuente: (Mendoza, 2016)

2.1.3. Modos de transmisión de la luz en la fibra óptica

La fibra óptica se divide según la forma en la que se propaga la luz en el interior del núcleo y estos pueden ser monomodo y multimodo.

2.1.3.1. Fibra monomodo

Dado que el tamaño del núcleo es muy pequeño, permite que la luz sea transmitida directamente sin haber reflexiones en el camino que puedan provocar desfases al momento de llegar al receptor. Este modo permite tener una mejor señal en el receptor y un mayor ancho de banda. (Maldonado, 2017, pp. 7-8)

Este tipo de modo se usa para abarcar grandes distancias de hasta 300 Km o para dar servicio de “triple play” a los hogares. Trabaja en las ventanas de 1300 nm y 1550 nm.

La fuente luminosa necesaria para poder transmitir de forma monomodo es el diodo *LÁSER*. En la Figura 3-2 se observa como la luz viaja a través de un núcleo muy angosto logrando tener una transmisión directa y con una mejor recepción.

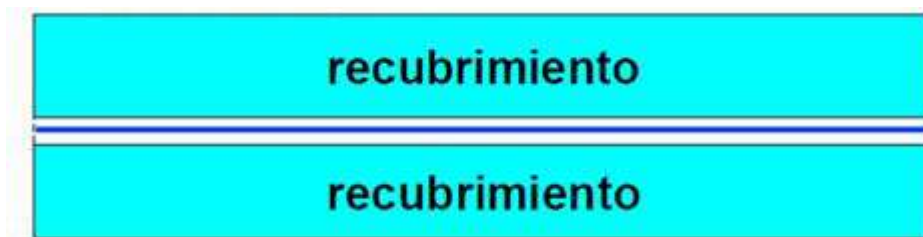


Figura 3-2. Fibra monomodo

Fuente: (FIBRAOPTICA, 2018)

2.1.3.2. Fibra multimodo

La luz viaja en varios sentidos o también conocidos como rutas o vías, esto se debe al tamaño del núcleo, que es mayor al del monomodo. Debido a eso la luz llega en diferentes tiempos provoca un efecto denominado dispersión (unión de haces de luz en un mismo tiempo). Debido a esta desventaja su distancia de transmisión es corta, cercana a los 2 Km. Permite trabajar en las ventanas de trabajo de 850 nm y 1300 nm, por lo que aquí únicamente se estará dando un servicio básico de internet. (Maldonado, 2017, pp. 7-8)

La fuente luminosa necesaria para poder transmitir de forma multimodo es el diodo LED. La Figura 4-2 muestra la representación de una fibra multimodo, en ella se puede observar como la luz viaja en diferentes caminos y a su vez en diferentes tiempos, provocando lo que se conoce como la dispersión modal, lo que causa un ensanchamiento del pulso de transmisión.

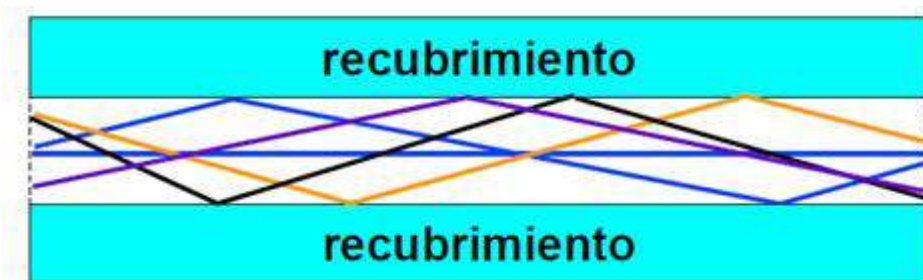


Figura 4-2. Fibra multimodo

Fuente: (FIBRAOPTICA, 2018)

2.1.4. Estándares de las características técnicas de la fibra óptica

La Tabla 1-2 muestra los diferentes tipos de normativas o estándares establecidas por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (ITU), cada una de estas especifican las características de la fibra dependiendo de varios factores, como el modo de transmisión, longitud de onda, tamaño del revestimiento y núcleo, atenuación, etc.

Tabla 1-2: Tipos de estándares de la fibra óptica según la ITU

Normativa	Descripción
ITU-T G651	Características de un cable de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 mm.
ITU-T G652	Características de las fibras y cables ópticos monomodo
ITU-T G653	Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada
ITU-T G654	Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado
ITU-T G655	Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula
ITU-T G656	Características de una fibra y cable con una dispersión distinta de cero para el transporte óptico de banda
ITU-T G657	Características de un cable y fibra óptica monomodo insensible a la pérdida de flexión

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

La Tabla 2-2 indica más específicamente los parámetros técnicos que poseen cada una de estas fibras según su normativa técnica anteriormente explicada.

Tabla 2-2: Parámetros técnicos de cada una de los estándares de fibra óptica

Normativa	Atenuación	Longitud de onda	Diámetro del revestimiento	Modo de transmisión	Radio de macro curvatura
ITU-T G651	0.3dB/Km-1.0dB/km	850/1310 nm	50/245µm	Multimodo	30mm
ITU-T G652	0.5 dB/Km	1310/1550 nm	8 a 10/125µm	Monomodo	30mm
ITU-T G653	0.35 dB/Km	1550 nm	7.8 a 8.5/125µm	Monomodo	30mm
ITU-T G654	0.22 dB/Km	1550 nm	9.5 a 10.5/125µm	Monomodo	30mm
ITU-T G655	0.4 dB/Km	1550/1625 nm	8 a 11/125µm	Monomodo	30mm
ITU-T G656	0.35dB/Km	1550/1625 nm	7 a 11/125µm	Monomodo	30mm
ITU-T G657	0.4 dB/Km	1310/1550 nm	8 a 7/125µm	Monomodo	30mm

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

2.1.5. Tipos de cableado de fibra óptica

Para determinar cuál es el cable a usar, se debe conocer cuál será la aplicación del mismo o el ambiente de trabajo, debido a que tienen diferentes estructuras los cables como por ejemplo los cables aéreos, subterráneos o submarinos.

Por lo general, el uso de cables aéreos es el más usado para zonas urbanas que no dispongan de ductos subterráneos. Los tipos de cable aéreo son:

- ✓ **Cable Figure 8:** son creados de tubos amplios, por lo que su instalación es fácil, ya que se sujeta al poste con soportes metálicos. Admite hasta 144 hilos de fibra óptica y su peso es de 270 Kg/km. (Cruz, 2019, p. 16)
- ✓ **Cable de tierra óptico (OPGW):** protege a la fibra de la inserción de agua, transmisión de los rayos o cortocircuitos, ya que se encuentra cubierta por capas de acero y alambre de aluminio. (Cruz, 2019, p. 17)
- ✓ **Cable Auto Soportado Completamente Dieléctrico (ADSS):** son ideales para transmisión de datos a largas distancias, además que poseen inmunidad a interferencias del exterior. (Cruz, 2019, pp. 17-18)

2.1.6. Transmisores y receptores ópticos

Al usar la luz en los enlaces de comunicación, provoca que estos sistemas modifiquen sus equipos de transmisión y de recepción. Es necesario entonces usar dispositivos que permitan enviar luz por el canal de transmisión, que son los laser o led, los cuales tienen varias semejanzas y diferencias; además de dispositivos que puedan detectar esa luz que les llega, como los PIN o APD para nuevamente convertirla en datos o señales eléctricas.

2.1.6.1. Transmisor óptico

El transmisor óptico consiste de un generador de portadora y un modulador. “Los pulsos de información modulan a la portadora que es un haz de luz que se enciende y apaga”. (Simon, 2014, p. 3)

A nivel general se puede decir que el elemento más importante en la etapa de transmisión es la fuente óptica, la cual permite transmitir pulsos digitales a velocidad altas, esto es debido a las altas frecuencias que operan. (Coimbra, 2011, p. 2)

En la Figura 5-2 se muestra el esquema más básico de cómo debe funcionar la etapa de transmisión:

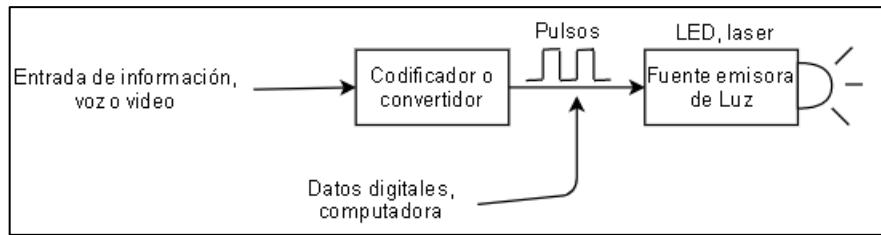


Figura 5-2. Esquema de un sistema transmisor óptico

Realizado por: Mayorga, Sebastián.2020

Como se observa, es necesario que los datos de audio y video sean modulados a pulsos, por lo que deberán pasar por una etapa de conversión. Luego estos pulsos estarán aptos para poder ingresar a la fuente óptica, y de ahí una vez convertidos en luz pueden ingresar al medio de la fibra óptica. Se han definido como fuentes ópticas 2 dispositivos:

- ✓ **Diodo emisor de luz o LED:** es uno de los dispositivos fotónicos más sencillos y es útil para generar señales ópticas en comunicaciones. Para la transmisión por fibra se utilizan las longitudes de onda de 850 y 1310 nm, además que se usa para fibra multimodo (Sanchis, 2008, p. 5)

La Figura 6-2 muestra cómo es su ancho espectral en relación a su potencia es de 50 nm, aunque puede variar de 40 a 80 nm, dependiendo de la calidad de su fabricación.



Figura 6-2. Ancho espectral del diodo LED.

Fuente: (ACTIWEB, 2013)

- ✓ **Diodo láser:** es uno de los dispositivos que permite una mayor distancia de cobertura, llegando hasta los 100 Km, por lo que funciona para fibra monomodo. La Figura 7-2 muestra cómo es su ancho espectral la cual, a diferencia del LED, es sumamente más estrecha, y al ser este así, permite operaciones a más altas frecuencias porque hay menor dispersión en la fibra, es óptimo usar en las ventanas de 1300 y 1550 nm, con ello podemos transmitir audio, video y datos. (SIMON, 2014)

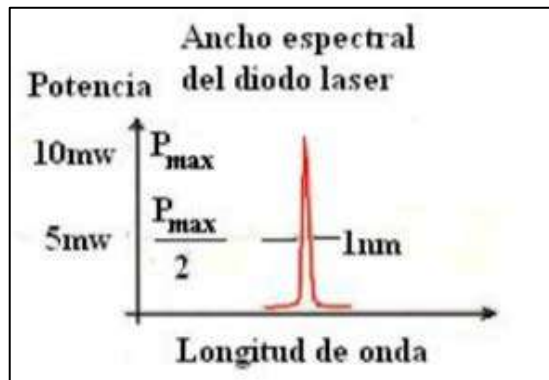


Figura 7-2. Ancho espectral del diodo láser.

Fuente: (ACTIWEB, 2013)

2.1.6.2. Receptor óptico

En las comunicaciones ópticas, el receptor óptico tiene un papel importante, debido a que es el encargado de convertir las señales ópticas a eléctricas y recuperar los datos. El principal componente aquí es el fotodetector. La Figura 8-2 muestra como debe ser básicamente un receptor óptico donde el diodo PIN o APD es el encargado de recoger la luz del medio guiado.

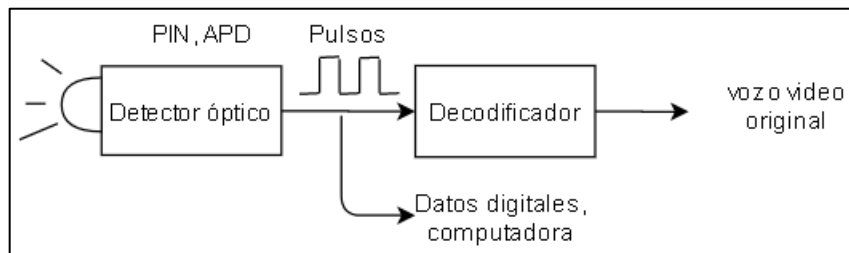


Figura 8-2. Esquema de un sistema transmisor óptico

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

A continuación se detallan los dos fotodetectores.

- ✓ **Fotodetector PIN:** es uno de los dispositivos que más se utiliza para detectar la luz. Tiene un nivel de sensibilidad de -34 dBm y una velocidad de transmisión de 2 a 34 Mbps. Tiene un mejor funcionamiento en fibras multimodo, debido a que se usa el láser en el transmisor. No soportan tan largas distancias, por lo que el enlace óptico deberá ser de máximo 30 Km, (Flores, 2002, p. 1)
- ✓ **Fotodetector APD:** son más complejos de crear, por lo que su costo será mayor, sin embargo, logra tener sensibilidades de -50 a -56 dBm. Tiene un mejor funcionamiento en fibras monomodo, debido a que se usa el láser en el transmisor, además que logra enlaces de más de 30 Km de distancia. (Flores, 2002, p. 1)

2.1.7. Empalmes o unión de fibra óptica

Dado que la fibra, dependiendo de proveedor, vienen en diferentes longitudes, por lo que, si el enlace es más extenso, será necesario unir 2 tramos para convertirlos en uno solo, esto se lo conoce como hacer un empalme o fusión.

Este procedimiento se lo debe hacer de manera profesional para que los núcleos queden unidos de una manera perfecta. Esto dependerá también del tipo de pulido que posea la fibra que será explicado más adelante. Los tipos de empalmes son de 2 tipos.

2.1.7.1. Empalme mecánico

Consiste de un conector de forma cilíndrica, en donde las dos fibras se alinean y se aseguran de manera mecánica, de ahí su nombre. Por lo general son usados en fibras multimodo y para restauraciones temporales. Provocan pérdidas de entre 0.1 a 0.8 dB. (Cruz, 2019, p. 18)

En la Figura 9-2 se observa el empalme mecánico, en donde únicamente la fibra se coloca en ambos extremos y permite que exista comunicación.



Figura 9-2. Empalme mecánico.

Fuente: (CONECTRONICA, 2013)

2.1.7.2. Empalme por fusión

Se unen las fibras a través de un equipo llamado fusionadora, en el cual ingresan los núcleos de ambos tramos de fibra y los unifica en una sola. Para esto es necesario retirar las capas exteriores de la fibra y dejar únicamente el núcleo. A diferencia del empalme mecánico, fusionar permite tener una cantidad inferior de pérdidas, esto dependerá de la calidad del equipo, la precisión de cortar los núcleos, etc.; por lo cual es necesario revisar el OTDR y determinar si se encuentra en un rango óptimo, de no ser el caso volver a repetir el proceso. (Cruz, 2019, p. 18)

Finalmente, como los núcleos quedan descubiertos después de ser unidos es necesarios colocarles una capa de protección llamada termocontraible. La Figura 10-2 muestra el resultado de fusionar la fibra protegida por el termocontraible.



Figura 10-2. Empalme por fusión.

Fuente: (TDTPROFESIONAL, 2015)

2.1.8. Conectores ópticos

Son uno de los elementos pasivos más importantes en los enlaces ópticos ya que permite realizar las conexiones entre los equipos transmisor o receptor o al momento de unir fibra mediante el empalme. Existen varios tipos de conectores, la Figura 11-2 muestra los más utilizados con sus respectivos nombres:

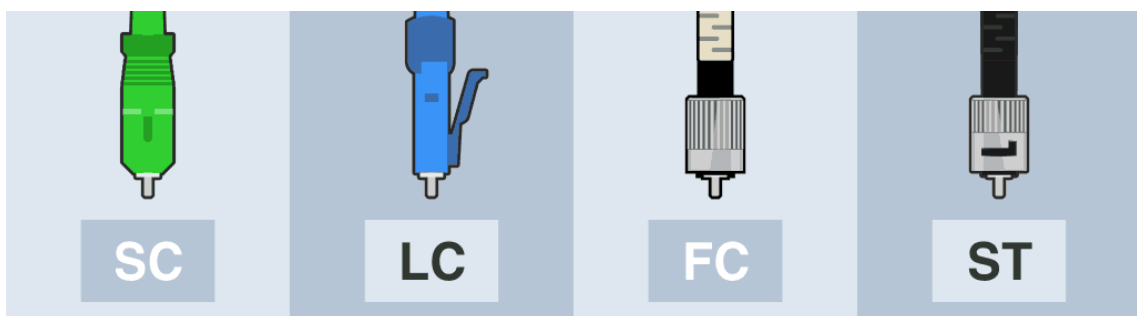


Figura 11-2. Tipos de conectores ópticos.

Fuente: (PROMAX, 2019)

Para un mejor entendimiento se procederá a explicar cada uno a continuación:

- ✓ **SC (Conector de suscriptor):** su ajuste es a presión, son compactos, se usan en redes FTTH, telefonía, televisión por cable, etc. por lo general provocan pérdidas de 0.25 dB y se usan en fibras ya sea monomodo y multimodo. (Company, 2019)
- ✓ **LC (Conector pequeño):** su ajuste es similar al de los conectores RJ45, son más seguros que los conectores SC, usados fibras monomodo y multimodo, producen pérdidas de tan solo 0.1 dB. (Company, 2019)
- ✓ **FC (Conector de férula):** Su ajuste es mediante enroscamiento, gracias a esto puede soportar vibraciones o movimiento, por lo que es muy usado en instrumentos de medición como el OTDR. Se usa en fibras monomodo dando pérdidas de 0.3 dB. Al dar más pérdidas los proveedores prefieren usar conectores LC o SC. (Company, 2019)

- ✓ **ST (Punta recta):** es similar al conector FC, con la diferencia que se usa en fibras multimodo provocando pérdidas de 0.25 dB. Se lo usa en redes corporativas o el ámbito militar. (Company, 2019)

2.1.9. Tipos de pulidos ópticos

Pulido se refiere al extremo del conector, la Figura 12-2 muestra los pulidos más utilizados:

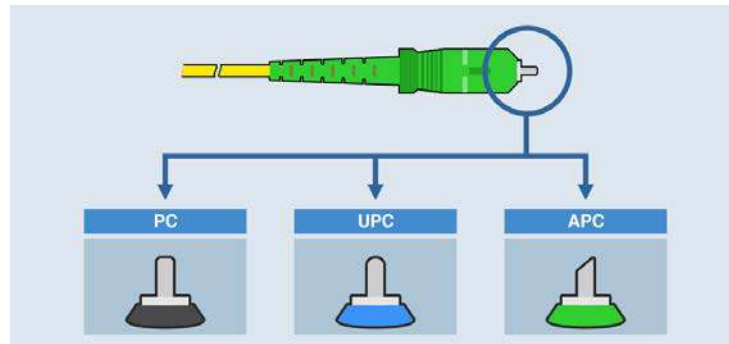


Figura 12-2. Tipos de pulidos.

Fuente: (PROMAX, 2019)

Para un mejor entendimiento se procederá a explicar cada uno a continuación:

- ✓ **PC (Contacto físico):** posee una superficie plana como se observa en la Fig.8-II, permite un acoplamiento correcto entre los conectores. (CAREFIBER, 2019)
- ✓ **UPC (Ultra contacto físico):** son similares al pulido anterior, posee una superficie con una curva pronunciada. Este tipo de pulido es utilizado en secciones de fibra, por ejemplo, el OTDR. (CAREFIBER, 2019)
- ✓ **APC (Contacto físico en ángulo):** su superficie termina en una inclinación de 8 grados, este pulido logra un enlace óptico de mayor calidad lo cual hace que la transición de la luz no retorne al núcleo de la fibra, se utiliza en fibras monomodo. (CAREFIBER, 2019)

2.1.10. Herrajes

“Sirven para sujetar los cables de fibra óptica aérea al poste, son de tipo acero galvanizado, además se usan para el soporte y protección del cable canalizado.” (Cruz, 2019, p. 19)

La Figura 13-2 muestra cómo queda un herraje implementado en el poste eléctrico.



Figura 13-2. Herraje implementado en poste eléctrico.

Fuente: (OPTIPATCH, 2019)

2.1.11. Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU)

Es el organismo especializado en telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el cual es el encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

Entre las funciones más importantes de esta organización es la de desarrollar estándares que facilitan la interconexión entre infraestructuras de comunicación nacionales e internacionales, permitiendo un perfecto intercambio de información. Para el diseño de la red XG-PON, la *ITU* ha desarrollado una gran cantidad de documentos que detallan los avances de las comunicaciones ópticas, además del cableado, modos de transmisión, etc.

2.1.12. Parámetros de métodos de prueba de la fibra óptica

Bajo el estándar G.650 de la ITU, se detalla y explican los principales parámetros de la fibra óptica, desde su definición hasta como realizar los métodos de prueba, siendo los más importantes la atenuación y la dispersión cromática o modal.

2.1.12.1. Atenuación (α)

Consiste en la disminución o pérdida de potencia del transmisor. La unidad con la que se relaciona a la atenuación es el de dB/km, esto se define como la relación que existe entre la potencia de salida respecto a la potencia de entrada de la señal luminosa, además que mientras más cable de fibra óptica sea utilizado entre el transmisor y receptor mayor serán más pérdidas que se formen por cada kilómetro. Debido a características propias que posee la fibra óptica sobre la atenuación se pueden mencionar dos principales tipos que son las pérdidas por absorción y dispersión. (González, 2007, p. 2)

- ✓ **Pérdidas por absorción:** son producidas por las impurezas que poseen los materiales que se usan para fabricar la fibra óptica. Estos imperfectos provocan que se formen iones de

hidroxilo (OH-) o vapor de agua y que la luz sea absorbida en varios puntos del camino y sea convertida en calor. (González y Becerra, 2016 pp. 7-8)

- ✓ **Pérdidas por dispersión:** Conocidas científicamente como pérdidas por dispersión Rayleigh y Mie, este tipo de pérdidas son ocasionadas por irregularidades físicas de la fibra que nacen en el proceso de fabricación. A causa de esto, cuando un rayo de luz impacta sobre una de estas irregularidades provoca que se difracte, es decir que se disperse en muchas direcciones, incluso tratar de salir del núcleo de la fibra. (González y Becerra, 2016, pp. 7-8)

La Figura 14-2, muestra la atenuación que sufre la fibra óptica. Como podemos observar, el modo multimodo provoca mayores pérdidas que el monomodo, además que al trabajar en las longitudes de onda de 1400 nm a 1500 nm aparecen las pérdidas de por absorción, mientras que las pérdidas de dispersión son casi nulas al utilizar longitudes de onda más grandes.

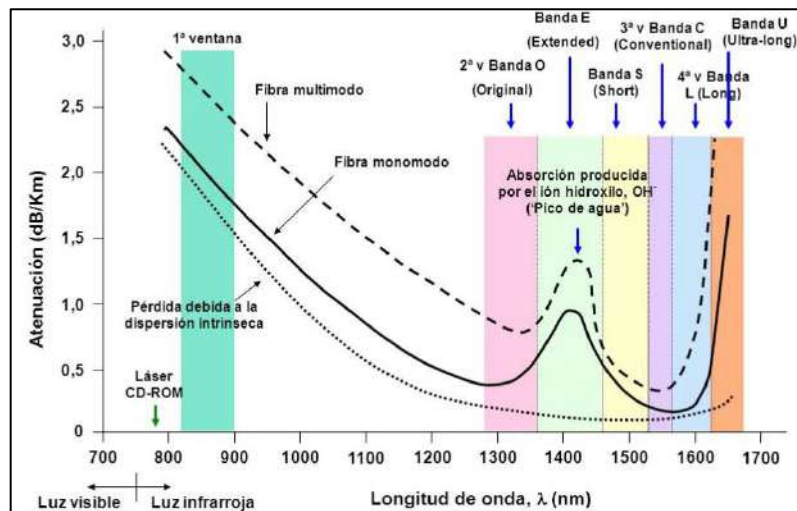


Figura 13-2. Atenuación en una fibra óptica por longitud de onda.

Fuente: (INCOMBLOG, 2020)

2.1.12.2. Dispersión cromática

Ocurren en fibra con modo de transmisión monomodo, son causados por el ancho espectral que tiene la fuente, la cual emite luces a diferentes longitudes de onda, por lo que cada una viaja a una velocidad diferentes y por ende llegan en diferentes tiempos al mismo destino, causando el ensanchamiento del pulso. (González y Becerra, 2016, pp. 7-8)

2.1.12.3. Dispersión modal

Ocurren en fibra con modo de transmisión multimodo, provocará que los haces de luz tomen diferentes caminos en la fibra, lo cual llegan al destino en diferentes tiempos, provocando nuevamente el ensanchamiento del pulso. (González y Becerra, 2016, pp. 7-8)

2.2. Redes de fibra óptica hacia cualquier parte (*FTTX*)

Las siglas “*FTTX*” tratan sobre “*Fiber to the X*” o “Fibra hacia algún lugar”. Estas redes se han desarrollado de una manera muy amplia en los últimos años, debido a la evolución de los servicios, como video streaming, videojuegos online, reuniones etc., al punto de seguir desarrollando nuevas tecnologías de redes *GPON* y sus sucesoras. (COMMSCOPE, 2018, pp. 3-7)

2.2.1. Arquitectura de los diferentes tipos de red *FTTX*

La red *FTTX* describe una serie de topologías, donde la “X” puede ser cualquier destino. La Figura 14-2 muestra las diferentes redes más usadas en la actualidad:

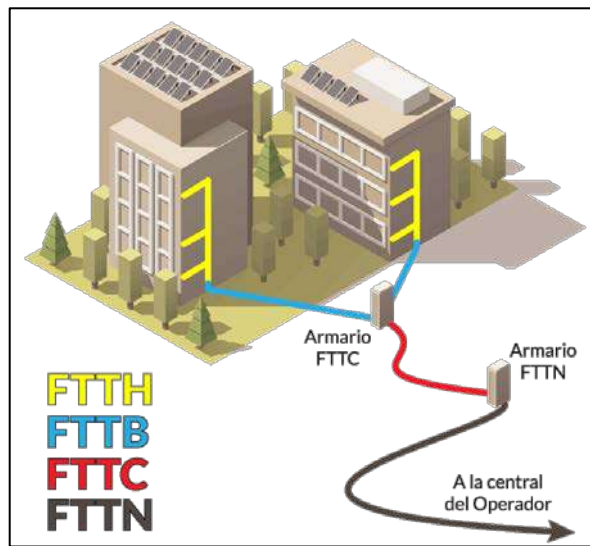


Figura 14-2. Topologías de redes *FTTX*.

Fuente: (Martínez, 2018)

Para una mejor comprensión se procederá a detallar cada una de ellas:

- ✓ **FTTN:** Sus siglas significan “fibra hasta el nodo”, quiere decir que existirá fibra hasta el primer armario y en adelante se usará cable coaxial o par trenzado. Puede abarcar entre 200 a 500 hogares otorgándoles a cada uno una velocidad de hasta 30 Mbps. (COMMSCOPE, 2018, p. 3-7)
- ✓ **FTTC:** Sus siglas significan “fibra hasta el gabinete”, quiere decir que existirá fibra hasta el segundo armario y en adelante se usará cable coaxial o par trenzado. Puede abarcar entre 200 a 500 hogares otorgándoles a cada uno una velocidad de hasta 100 Mbps. (COMMSCOPE, 2018, p. 3-7)
- ✓ **FTTB:** Sus siglas significan “fibra hasta el edificio”, quiere decir que existirá fibra hasta la entrada de los edificios y en adelante se usa una red metálica. Puede otorgar a cada uno una velocidad de hasta 100 Mbps. (COMMSCOPE, 2018, pp. 3-7)

- ✓ **FTTH:** Sus siglas significan “fibra hasta el hogar o el usuario final”, la señal que llega al hogar del cliente es transmitida por niveles de splitteo que están ubicados en varios puntos de la red.

Este tipo de red reemplaza completamente las infraestructuras de cobre o línea telefónica como en los casos anteriores por elementos pasivos. Al tener una infraestructura netamente con dispositivos ópticos, comienza a aparecer los términos *PON* (redes ópticas pasivas) y dependiendo de la capacidad de transmisión sus derivados *GPON*, *XG-PON*, etc. Por lo general este tipo de redes *FTTH* soporta velocidades de 40 Mbps a 1.25 Gbps, pero, dependerá del estándar o tecnología a usar. (COMMSCOPE, 2018, pp. 3-7)

2.2.2. Topologías de redes FTTH

Las topologías más usadas son:

2.2.2.1. Punto a punto

Consiste en una conexión directa entre transmisor y receptor óptico por medio de la fibra óptica, sin que exista equipos pasivos de por medio. Las ventajas que posee es que permite tener una comunicación fiable, dedicada, robusta. Por lo general este tipo de configuración no es muy adecuado usar debido a la capacidad que tiene los puertos del transmisor capaz de albergar más abonados, por lo que se estaría desperdiciando su capacidad, sin embargo, puede ayudar a conectar a lugares a grandes distancias que necesiten transmitir un gran ancho de banda. (COMMSCOPE, 2018) Este tipo de enlaces además son la referencia para la familiarización con el funcionamiento de los sistemas de comunicación óptico. En la Figura 15-2 se puede apreciar una configuración punto a punto en donde el equipo del abonado está directamente conectado a la central o equipo transmisor.

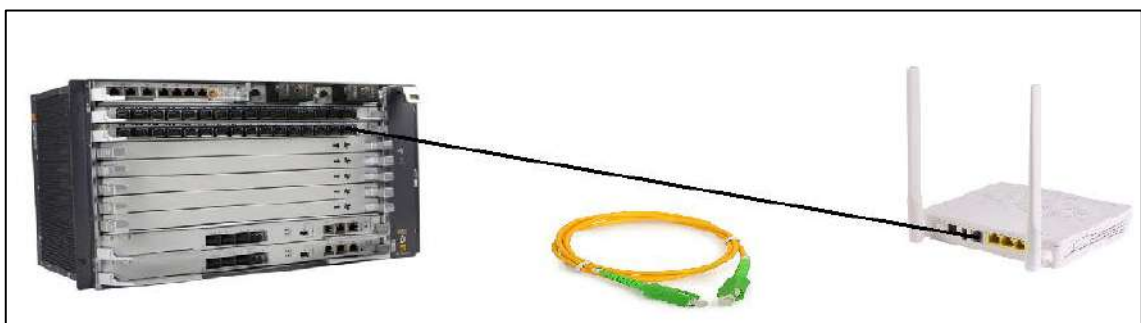


Figura 15-2. Topología punto a punto

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

2.2.2.2. Punto a multipunto

Conocida como topología tipo árbol, consiste en un enlace con la diferencia que un mismo terminal o puerto del transmisor se conectan varios receptores, dividiendo la señal para cada uno de ellos.

Esta configuración es la base fundamental para el diseño de redes *FTTH*, llamadas también *PON* (Red Óptica Pasiva). A diferencia de un enlace punto a punto, en este tipo de topología ya existirán equipos en medio de la comunicación, conocidos como *splitters* los cuales dividen la potencia de recepción en partes iguales. Al utilizar estos elementos pasivos de por medio causarían que la señal de recepción disminuya por lo que se debe hacer un estudio adecuado para determinar qué tipos de *splitters* permiten que la señal de recepción sea la más óptima. (Fàbrega y Graells, 2013, p. 29)

La Figura 16-2 muestra la arquitectura de la topología punto multipunto, en donde un puerto del transmisor puede dar servicio de manera simultánea a un gran número de usuarios.

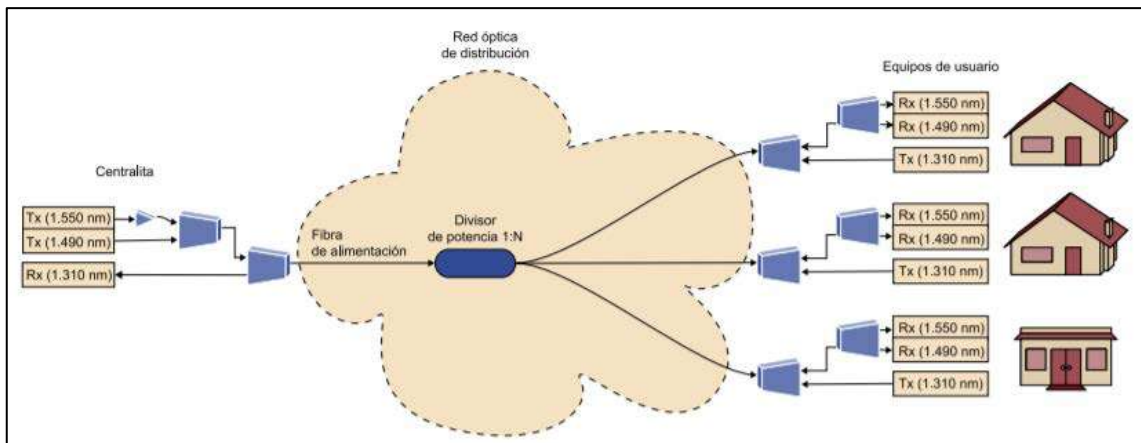


Figura 16-2. Topología punto a multipunto

Fuente: (Fàbrega y Graells, 2013, p. 29)

2.3. Estándares *PON* (Redes Ópticas Pasivas)

Creados por la ITU, constituyen una serie de documentos, en la que se detalla cada una de las redes ópticas pasivas (*PON*) que se han ido desarrollando en los últimos años, desde su arquitectura, potencia de trabajo, velocidades de transmisión, longitudes de onda, modos de transmisión, protocolos, etc.

A continuación, se detalla cada uno de los estándares que se han ido desarrollando hasta llegar a la tecnología *XG-PON*.

2.3.1. *APON*

Fue el primer estándar *PON*, permitía la conexión entre el transmisor y el equipo del abonado mediante la tecnología *ATM* (Modo de Transferencia Asíncrono), fue desarrollado en 1998 y registrado en la *ITU* bajo el estándar ITU- T G.983. (ITU-T, 1998)

Para la comunicación se utilizan dos canales, un descendente formando celdas *ATM* de 53 bytes añadiendo un identificador de 3 bytes con el que se permite identificar al equipo receptor y un ascendente con celdas de 54 bytes, para poder distinguirlos. Al ser una tecnología naciente de las comunicaciones ópticas su tasa de transmisión máxima fue de 155 Mbps simétricos.

2.3.2. BPON

Conocido como Red Óptica Pasiva Broadband, fue desarrollado en el 2001 bajo el mismo estándar ITU- T G.983, es conocido como el reemplazo o una mejora de la anterior tecnología APON.

La diferencia más notable es que podía realizar multiplexación por longitud de onda o WDM, con lo que se aumentó las velocidades de transmisión al punto de convertirse en un tráfico asimétrico, logrando dar un canal descendente de 622 Mbps y un canal ascendente de 155 Mbps, aunque se logró que exista un tráfico simétrico a 622 Mbps, sin embargo, provocaba un costo mayor.

2.3.3. EPON

Conocido como Red Óptica Pasiva Ethernet, fue el único documento desarrollado por la *IEEE* bajo el estándar 802.3.ah creada en el año 2004 y fue llamada como “la técnica *PON* de nueva generación”, ya que otorgaba velocidades de transmisión de 1 Gbps, debido a que ya utilizaba el protocolo de transporte Ethernet en conjunto con la infraestructura PON con topología de punto a multipunto.

Al usar Ethernet permitió a estas redes tener administración y mantenimiento, además de brindar calidad de servicio (CoS), para poder transportar datos en tiempo real, como audio, video, procurando que no existan fallas tanto en la transmisión como en recepción.

2.3.4. GPON

Las redes de fibra óptica *GPON* se definen como las redes de fibra pasiva con capacidad del rango de los Gigabits por segundo. Este tipo de redes son usados por empresas de telecomunicaciones para dar todos los servicios que demanda el usuario final en la actualidad sobre una única infraestructura como voz, datos, y en especial video.

2.3.4.1. Recomendaciones redes GPON

Las recomendaciones más importantes que da la ITU sobre redes *GPON* son:

- ✓ **ITU-T G.984.1:** Esta normativa trata acerca de las características generales de las redes GPON, desde términos básicos, abreviaturas, las ventanas de trabajo, el tipo de interfaz de los elementos que constituyen una red GPON. su arquitectura, etc. (ITU-T, 2008)
- ✓ **ITU-T G.984.2:** Esta normativa trata acerca de la especificación de la capa dependiente de los medios físicos y métodos de transmisión, es decir, las velocidades de subida y de bajada,

ya sea de manera simétrica o asimétrica, teniendo velocidades de 1.24416 Gbps y 2.48832 Gbps en sentido descendente y 155,520 Mbps, 622,080 Mbps, 1.24415 Gbps y 2.48832 en sentido ascendente. (ITU-T, 2008) Este documento además se detalla los requerimientos de la capa descendiente de medios físicos (PMD), capa de convergencia de transmisión (TC) y del protocolo de determinación de distancia para los sistemas. (ITU-T, 2008)

- ✓ **ITU-T G.984.3:** Esta normativa trata acerca de las especificaciones de la capa de convergencia de transmisión, es decir, proporcionar servicio de banda ancha y estrecha, proporciona las mismas velocidades que en el documento anterior, con el adicional que ya se trata el tema de la seguridad de convergencia de transmisión de las PON. (ITU-T, 2014)
- ✓ **ITU-T G.984.4:** Esta normativa trata acerca de la gestión y control (OMCI) en fibra hasta el hogar del abonado (FTTH) y fibra hasta el negocio (FTTB). Este documento también detalla la gestión de intercambio de información que se da entre las entidades de la transmisión como el transmisor llamado también OLT y el receptor conocido como ONT. (ITU-T, 2008). Esta recomendación además señala los servicios de gestión de rendimiento y fallos para que opere una red GPON los cuales son:

- Capa de transferencia asíncrona (ATM).
- Método de encapsulación
- Servicio de emulación de circuitos
- Servicios de voz
- Multiplexación por longitud de onda.

- ✓ **ITU-T G.984.5:** define rangos de longitud de onda para las ventanas de trabajo, reservados para señales de servicio de audio/datos y video, donde serán transmitidos a través de la multiplexación por división de longitud de onda. (ITU-T, 2014) La recomendación señala las siguientes ventanas de trabajo o rangos de longitud de onda a usar dependiendo si es un canal descendente o ascendente.

- Descendente: 1480 nm – 1500 nm
- Ascendente: 1290 nm – 1330 nm
- Banda de mejora de video descendente: 1550 nm – 1560 nm

2.3.4.2. Multiplexación de servicios

La Figura 17-2 muestra las técnicas de multiplexación al momento de transmitir o recibir o información:

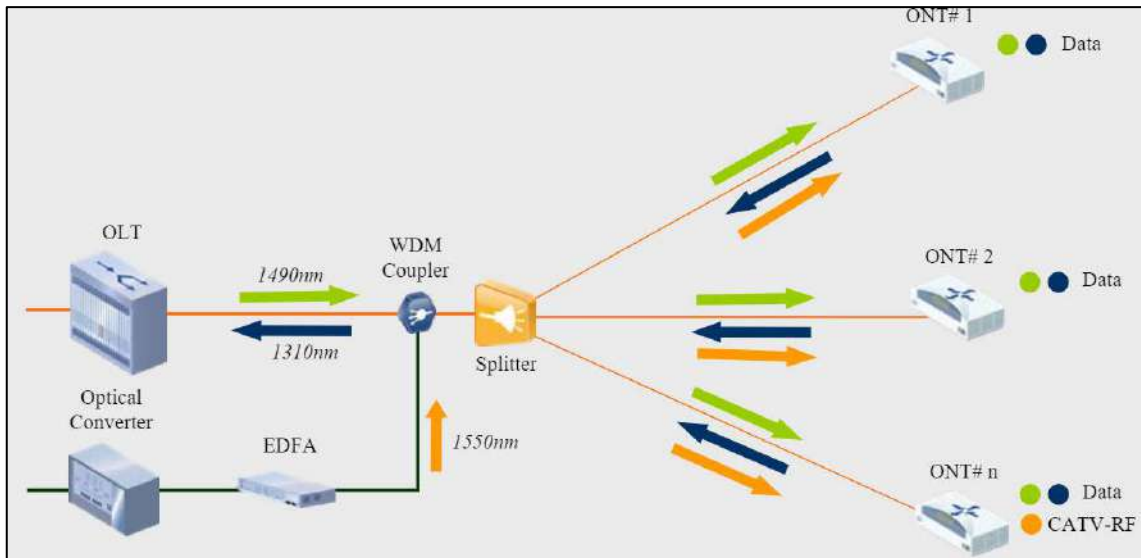


Figura 17-2. Técnicas de multiplexación

Fuente: (Lattanzi y Graf, 2010, p. 24)

Como podemos observar, la transmisión o recepción de la información, funcionan bajo una técnica de multiplexación diferente, por lo que la comunicación de bajada se lo hace mediante *TDM* y de subida mediante *TDMA*.

✓ **Multiplexación por división de tiempo (TDM):**

Consiste en el control del canal descendente de comunicación, es decir la información que es enviada desde el transmisor u *OLT* hacia el receptor u *ONU*, como podemos observar en la Figura 17-2, la *OLT* envía en un instante de tiempo paquetes de información para cada abonado, las cuales al momento de llegar al divisor de potencia o splitter no se separan sino que se envía a cada usuario todas las tramas en conjunto, lo que se conoce como tráfico broadcast, la *ONT* es la encargada de al recibir toda la información, filtrar el tráfico del usuario y desechar los datos de los demás.

✓ **Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA):**

Consiste en el control del canal ascendente de comunicación. Para la subida de información, es muy importante conocer la distancia que hay entre el equipo del abonado y el segundo nivel de splitteo, para que los paquetes se sincronicen y no se provoquen colisiones entre otro usuario pudiendo provocar que la información se distorsione o desaparezca.

Como podemos observar en la Figura 17-2 los paquetes de subida se encuentran correctamente sincronizados logrando que cada uno se coloque uno después de otro, utilizando de manera eficiente el ancho de banda.

2.3.4.3. Arquitectura de red GPON

La Figura 18-2 expone la arquitectura de una red GPON, la topología que adopta este tipo de redes ópticas son las punto multipunto, debido a que con un único puerto del equipo transmisor que se encuentra en la oficina del proveedor puede dar servicio a una gran cantidad de usuarios al mismo tiempo, aprovechando los beneficios de la asignación de ancho de banda que vimos anteriormente, teniendo una cobertura de máximo 20 Km.

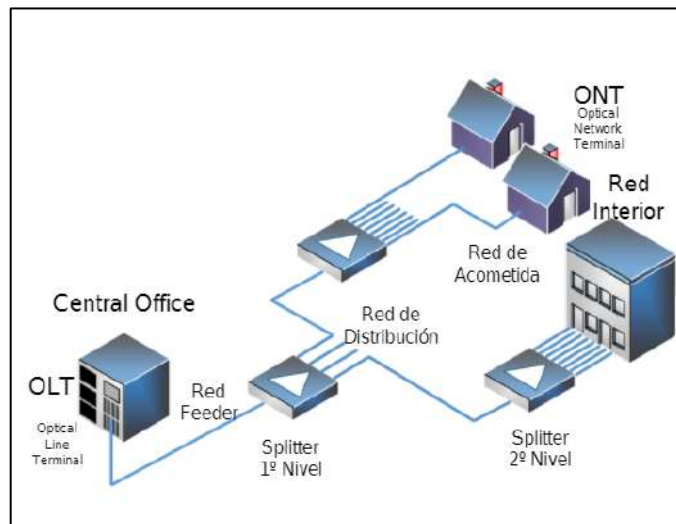


Figura 18-2. Arquitectura red GPON

Fuente: (López, 2015, p. 4)

Básicamente una red GPON consiste de un equipo transmisor (*OLT*), equipo receptor de cada usuario (*ONT*), equipos pasivos divisores de potencia conocidos como *splitters* y el medio que permite conectar cada una de las partes que es la fibra óptica. Al momento de elegir una ubicación para los splitters, hay que tener en cuenta la relación división / eficiencia de desarrollo, con el objetivo de que pueda ser escalable para el surgimiento de futuras adaptaciones de esta tecnología. (Cruz, 2019, p. 21)

A continuación, se procederá a detallar más a profundidad cada uno de los equipos que compone una red GPON.

✓ **Terminal de línea óptico (OLT):**

Es el equipo transmisor de la red *GPON*, además de poder interconectar la red *FTTH* con la red global o con el proveedor internacional. Básicamente es el corazón de toda la red debido a que cada uno de sus puertos reciben la información de una serie de usuarios que se encuentran en una zona o área geográfica establecida, por ende, el tráfico que reciben es muy alto por lo que deben soportar tasas de información del grado de Gbps, tal es el caso de una red *GPON* que posee tráfico de 2.5 Gbps de bajada y 1.25 Gbps de subida. (Cruz, 2019, p. 21)

Las *OLT* también hacen de administrar y sincronizar el tráfico que va hacia el equipo de los abonados u *ONT* mediante *TDM*, tráfico que se transmite por la red *ODN* y se replica por todos los puertos de los *splitters* que estén asociados a la las *ONTs* de una zona conectadas a cada puerta *PON* de la *OLT*.

✓ **Red de distribución óptica (ODN):**

Corresponde a todos los equipos que se encuentran entre la *OLT* y la *ONT*, la Figura 19-2 muestra una red *ODN* con todos los equipos en medio de la comunicación.

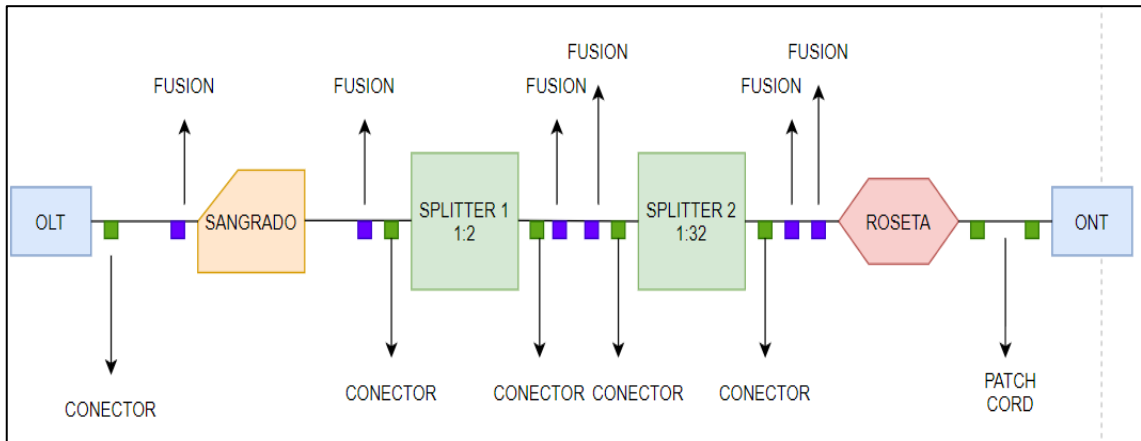


Figura 19-2. Red ODN

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Uno de los principales elementos de la red ODN es la fibra óptica ya que es el medio de la comunicación, y la que permite interconectar a los equipos pasivos, también están los *splitters*, los cuales permiten que se pueda usar el mismo canal por un grupo de usuarios, optimizando los recursos, y proporcionando escalabilidad a la red. Lo máximo que se puede dividir el canal es hasta 64 clientes, la Tabla 3-2 expone los diferentes tipos de configuración que puede haber entre los *splitters*. (CRUZ, 2019 pág. 21)

Tabla 3-2: Tipos de división de *splitters*

Primer nivel de <i>splitteo</i>	Segundo nivel de <i>splitteo</i>
1:2	1:32
1:4	1:16
1:8	1:8

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Como podemos observar en la Figura 19-2 para que los *splitters* se puedan conectar a la fibra óptica es necesario usar conectores adicionales los cuales permiten acoplar los equipos al medio.

✓ **Splitter**

Son elementos ópticos pasivos que, a través de una o dos entradas, logran replicar por sus salidas, la señal óptica que ingresa. La principal desventaja que poseen estos equipos es que introducen

niveles de atenuación que se incrementan a medida que la cantidad de puertos de salida aumenta como muestra la Figura 20-2.

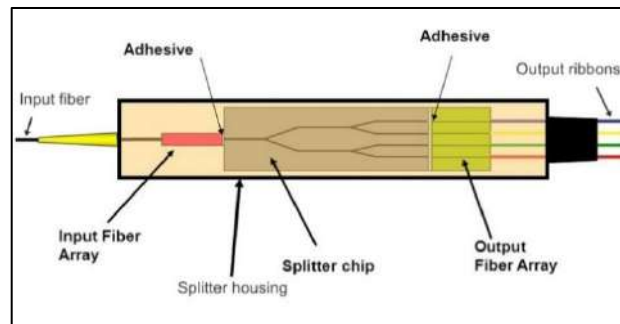


Figura 20-2. Splitter 1x4

Fuente: (INTECH, 2020)

Se les conoce como splitter primario aquellos que tienen configuración $2 \times n$, es decir que puedan tener un canal de respaldo, mientras que los splitter secundarios son los que tienen configuración $1 \times n$, es decir que no poseen un canal de respaldo en el caso de fallas.

✓ **Roseta**

Este elemento funciona como un punto de terminación de la red óptica (*ODN*) utilizando empalme por fusión en una extensión llamada *pigtail*.

✓ **Cable Patchcord**

Permite conectar a la roseta con el equipo receptor u *ONT*, el cual ayuda a transportar a cualquier parte del hogar la *ONU* y únicamente es necesario adquirir un cable más extenso.

✓ **Red Feeder**

Se le denomina al tramo de fibra óptica que interconecta la *OLT* con el primer nivel de *splitteo*.

✓ **Red de Distribución**

Se le denomina al tramo de fibra óptica que interconecta los dos elementos pasivos, es decir el *splitter* del primer nivel con el de segundo nivel.

✓ **Red de Dispersión**

Se le denomina al tramo de fibra óptica que interconecta la *ONT* con el segundo nivel de *splitteo*.

✓ **Armario de distribución de fibra (FDH)**

Consisten de cajas metálicas las cuales en su interior se encuentran los *splitters* de primer nivel. Permiten en forma separada las ampliaciones de red *feeder* y de red de distribución. Por lo general estos equipos se encuentran instalados en el suelo. Debido a que la red *feeder* viene a través de ductor subterráneos. La Figura 21-1 muestra como es un armario de distribución de fibra.



Figura 21-2. Armario de distribución de fibra (FDH)

Fuente: (CAREFIBER, 2020)

✓ Caja de distribución óptica (NAP)

Consisten de cajas plásticas que contiene el splitter de segundo nivel. Estos equipos son instalados en las cimas de los postes eléctricos para que sea más óptimo y fácil llevar la red de dispersión del cliente a su hogar, aunque esto depende de cuanto es su divisor, ya que mientras más grande será más pesado y no soportará el poste sostenerlo. La Figura 22-2 muestra como es una caja de distribución óptica, dentro contiene un splitter 1x8.



Figura 22-2. NAP

Fuente: (Aire, 2020)

2.3.5. XG-PON

XG-PON o 10G-PON es un estándar para transmisiones de banda ancha con la capacidad de entregar velocidades de 10 Gbps sobre las redes *PON* y en cualquier tipo de infraestructura *FTTX*. La principal idea de esta tecnología es el de poder coexistir con las redes *GPON*, además del

hecho de favorecer al desarrollo de servicio de nueva generación como la televisión de alta definición (*HDTV*), televisión IP (*IPTV*), video conferencias, plataformas de streaming, etc.

Al igual que con el estándar *GPON* (G.984.X), las redes *XG-PON* también poseen uno que se continua aún en desarrollo, el cual es el G.987.X. Los documentos que nacen a partir de este son idénticos al de estándar *GPON*, para comprender un poco mejor cuales son las diferencias se detallará cada uno a continuación.

2.3.5.1. Recomendaciones de redes *XG-PON*

Estos documentos son presentados y modificados por la ITU según los avances en fibra óptica que se van desarrollando.

✓ **ITU-T G.987.1**

Este estándar trata sobre las características generales que posee este tipo de tecnología. A partir de esto es que se crean las otras 2 recomendaciones. Una de las ventajas que posee el *XG-PON* es que puede ser implantado sobre una arquitectura *PON* o *FTTX* como se analizó anteriormente, lo cual proporciona escalabilidad y evita que se hagan modificaciones a la infraestructura. (ITU-T, 2016)

Esta recomendación también menciona acerca de los escenarios de migración de *GPON* a *XG-PON*, cabe aclarar que este proceso debe ser imperceptible para el usuario final. Los escenarios para poder hacer esto son:

- El primer escenario trata acerca de que la empresa de telecomunicaciones tiene implementada una infraestructura *GPON*, sin embargo, algunos de sus clientes desean que la velocidad de su internet sea mayor, por lo que será necesario emigrarlos al *XG-PON* por lo que, es importante evitar la suspensión del servicio a los usuarios que no desean este incremento, realizar las debidas modificaciones a la infraestructura de red y cumplir lo ofrecido a los clientes. (Villacis, 2013, p. 29)
- El segundo escenario consiste en que la empresa de telecomunicaciones no disponga aun de ningún tipo de infraestructura, por lo que al determinar mediante un estudio de mercado que los clientes desean un servicio con velocidades superior a los normal, se instala una infraestructura netamente *XG-PON*. (Villacis, 2013, p. 29)

Al usar una tecnología que proporciona al usuario final mayor velocidad de transferencia de datos, se puede ofrecer servicios de nueva generación como son:

- TV digital, transmisión RF
- IPTV usando transmisiones multicast
- Acceso a internet con velocidades de transmisión en el grado de los Gbps

- VPN a través de internet o a través de IP, VoIP, etc.

Finalmente, también menciona cuales son los requerimientos que necesita *XG-PON* para funcionar de manera correcta, aunque como se ha ido mencionando, sus características son similares a la de una red *GPON* para la coexistencia, por lo que la fibra deberá usarse de manera monomodo, usar la ventana de trabajo de 1550 nm de bajada de 1300 nm de subida, el enlace máximo será de 20 km y la diferencia principal que ahora la velocidad será de 10 Gbps simétricamente (*XG-PON2*) o 10 Gbps de bajada y 2.5 Gbps de subida (*XG-PON1*), además que la relación de división será de 1 a 128 y la encriptación de los datos se la deberá hacer de manera descendente. (Villacis, 2013, p. 31)

✓ **ITU-T G.987.2:**

Esta recomendación consiste en detallar las características de la capa PMD o capa física dependiente. (ITU-T, 2016)

Los requerimientos que esta demanda son:

- Velocidades de 10 Gbps de bajada y 2.5 Gbps de subida
- Código de línea NRZ (no retorno a cero)
- Transmisiones bidireccionales usando técnicas WDM
- La fuente de transmisión deberá ser Laser SLM (modo longitudinal único)
- Compatible con el tipo de fibra ITU-T G.952

✓ **ITU-T G.987.3:**

Esta recomendación consiste de detallar las características de la capa de convergencia (*XGTC*), la cual especifica los formatos y procedimientos de asignación entre las capas superiores y el flujo de bits más adecuado para modular la portadora óptica, así como la capa de administración (*OAM*), el cual asigna de ancho de banda, selecciona de la llave de encriptación de datos, señala en el proceso de asignación dinámico de ancho de banda y activación forzada de la *ONT*. (ITU-T, 2014)

2.3.5.2. *Multiplexación de servicios.*

✓ **Multiplexación por división de tiempo (TDM):**

Al igual que en la tecnología *GPON*, la multiplexación por división de tiempo (*TDM*), se lo hace en sentido descendente de la comunicación. Por lo que ahora va a multiplexar las tramas sobre el medio de transmisión. Cada *ONU* recibe las tramas y procesa sólo las del usuario. Para el sentido ascendente *TDM* ayuda a realizar la asignación de ancho de banda como se ha mencionado anteriormente.

✓ **Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)**

En una arquitectura *XG-PON*, la *OLT* provee el acceso múltiple o el control de acceso al medio para las transmisiones ascendentes. Como se ha explicado en el G.987.1, las velocidades de transmisión son mucho mayores que en *GPON* al grado de 10 Gbps de bajada y 2.5 Gbps de subida, por ende, las tramas que se envían a la *OLT* se lo hacen en menor tiempo, específicamente cada 125 μ s la *OLT* transmite una trama descendente.

2.3.5.3. Arquitectura de una red *XG-PON*.

La Figura 23-2 muestra cómo se compone una red *XG-PON*.

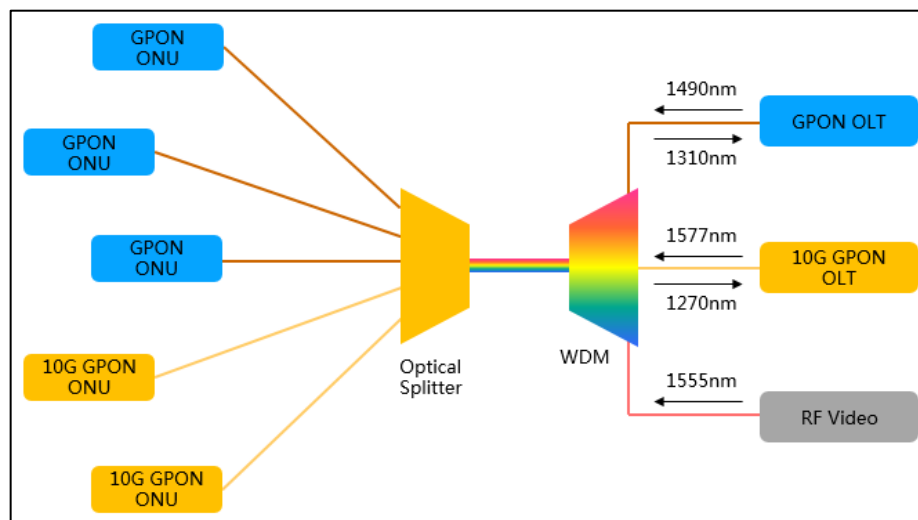


Figura 23-2. Arquitectura de red *XG-PON*

Fuente: (GPONSOLUTION, 2019)

La arquitectura es completamente similar a la analizada en el estándar *GPON*, por la coexistencia que habrá entre las 2 tecnologías, para que su migración pueda ser realizada sin ninguna alteración del servicio del cliente.

Ambos estándares usan la multiplexación por división de longitud de onda (*WDM*), debido a que para la transmisión de audio, datos y video se usan diferentes longitudes de onda, de igual forma que continúan existiendo equipos pasivos en medio de la comunicación.

La diferencia más notable claramente será de los abonados que puede soportar un puerto de la *OLT*, debido a que cada uno soporta velocidades de 10 Gbps de bajada, puede soportar de entre 128 a 256 usuarios, a diferencia de su predecesora que únicamente llega a 64, sin embargo, eso dependerá netamente del diseño de la red, debido a que se debe escoger los elementos pasivos más indicados que no provoquen demasiadas pérdidas. Otra particularidad que podemos observar en la imagen 23-2, es el uso de sus longitudes de onda de trabajo de audio y datos, *XG-PON* ahora trabaja a 1577 nm – 1270 nm en sentido descendente y ascendente, respectivamente, y a 1550 nm para la transmisión de video.

2.3.5.4. Servicios Triple Play.

Consiste en los servicios de telefonía, televisión y datos, ubicadas en una misma infraestructura de red, es decir. los tres servicios utilizan el mismo medio de transmisión el cual es la fibra óptica, por lo cual los requerimientos en ancho de banda son altos para que funcione dentro de los parámetros aceptables, evitando que se forme alguna interrupción en el servicio.

Los servicios que componen el *triple play* son:

- ✓ **Servicio de Datos:** Se caracteriza por requerir anchos de banda elevados. Puede darse pérdida de paquetes, pero es capaz de recuperarse ya que es inmune a los retardos de información o “jitter”. (SANI, 2017, p. 33)
- ✓ **Servicio de Voz:** Se caracteriza por tener un ancho de banda bastante reducido. Por lo general, se usa el codec básico G.711, con su tasa de bits será de 64 kbps. El factor que más puede afectar a la calidad del servicio es el retraso y el jitter. Normalmente para el servicio telefónico se recomiendan retardos inferiores a 400 ms. (SANI, 2017, p. 33)
- ✓ **Servicio de Vídeo:** En este caso se transmiten grandes volúmenes de datos y, además, suele presentar ciertos requisitos sobre el jitter y los retardos. Normalmente este servicio va acompañado por el servicio de voz, con lo que debe existir una correcta sincronía entre ambos. (SANI, 2017, p. 33)

2.3.5.5. Capacidad Requerida por servicio.

Para el servicio de televisión o video se toma en cuenta el algoritmo de codificación MPEG-4 por la codificación y compresión, por canal en formato estándar, es decir sin mucha definición, se requiere de 1 a 2 Mbps mientras que en formato de alta definición (HD) de 7 a 8 Mbps por canal. (SANI, 2017, p. 34)

Para el servicio de telefonía, como se mencionó antes, se define una capacidad de 64 Kbps ya que, para lograr la digitalización, la señal analógica se muestrea a 8.000 veces por segundo, es decir a 8 kHz, el valor de cada muestra puede ser un valor entre 0 y 255 lo que supone un flujo de datos de 8 KB/s o 64 Kb/s, la cual se denomina calidad de sonido telefónico.

En el servicio de internet se coloca la capacidad promedio de 20 Mbps para la transferencia de puramente datos mientras que es necesario dar un añadido de 2 Mbps para videoconferencias. Este análisis se lo hace para un sector residencial. (SANI, 2017, p. 34)

La Tabla 4-2 muestra el total de capacidad requerida para una zona residencial.

Tabla 4-2: Capacidad sector comercial

Servicio		Capacidad requerida	Capacidad total
Televisión	SDTV	2 Mbps	10 Mbps
	HDTV	8 Mbps	
Telefonía digital		64 kbps	0.064 Kbps

Datos	Internet	20Mbps	22 Mbps
	Videoconferencias	2 Mbps	
Total			32,064 Mbps

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Para el sector corporativo los parámetros de televisión y telefonía digital se mantiene, mientras que, para la transferencia de datos, este necesita de una mayor tasa de transferencia, por la actividad comercial que manejan y la gran cantidad de usuarios que se conectan a la vez, se proyecta para internet un ancho de banda de 50 Mbps, mientras que videoconferencias un mínimo de 2 Mbps para una transmisión-recepción. (SANI, 2017, p. 34)

La tabla 5-2 muestra el total de capacidad requerida para una zona corporativa

Tabla 5-2: Capacidad sector corporativo

Servicio		Capacidad requerida	Capacidad total
Televisión	SDTV	2 Mbps	10 Mbps
	HDTV	8 Mbps	
Telefonía digital		64 kbps	0.064 Kbps
Datos	Internet	50Mbps	52 Mbps
	Videoconferencias	2 Mbps	
Total			62,064 Mbps

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

2.3.5.6. Parámetros para análisis de rendimiento.

✓ **Relación Señal a Ruido (SNR)**

Es una forma de medir el desempeño del enlace, es decir, la atenuación que experimenta una señal entre el extremo transmisor y el receptor, obteniendo así importantísimos datos, como la calidad de componentes utilizados en el enlace (equipos de transmisión, recepción, cables, etc.).

✓ **Tasa de error de Bits (BER)**

Corresponde a la tasa de errores en la transmisión, la cual determina en cierta medida la calidad del enlace de transmisión. (Marín, 2009, pp. 1-10)

Este parámetro requiere ser el más pequeño posible, estas especificaciones deben ser analizadas según la tecnología, por ejemplo, para GPON el mínimo que establece es 10^{-9} para el caso extremo de condiciones de atenuación y dispersión del trayecto óptico, lo que significa que ha llegado 1 bit erróneo de 1000 millones de bits transmitidos. (ITU-T, 2008)

La tasa de bits errados permite determinar el porcentaje de bits que han tenido errores en comparación a los bits totales en una transmisión, la medición se hace en un intervalo de tiempo determinado, viene dado por:

$$BER = \frac{N_e}{N_t} [dBm] \quad (3)$$

Donde:

N_e = es el número de errores que ocurren en un tiempo t

N_t = es el número de bits que llegan hasta el receptor en el mismo tiempo t.

Es decir que el *BER* es la probabilidad que un error ocurra en un período de bit dado.

✓ Diagrama de ojo

“Es una forma muy útil y exitosa para medir la calidad de una señal digital y por ende la integridad del sistema que lo transmite. Aunque la técnica sea en gran parte cualitativa esto puede proporcionar algunos datos cuantitativos útiles en términos de tendencias y si un sistema funciona según la especificación.” (Marín, 2009, pp. 1-10)

La Figura 24-2 muestra como es un diagrama de ojo.

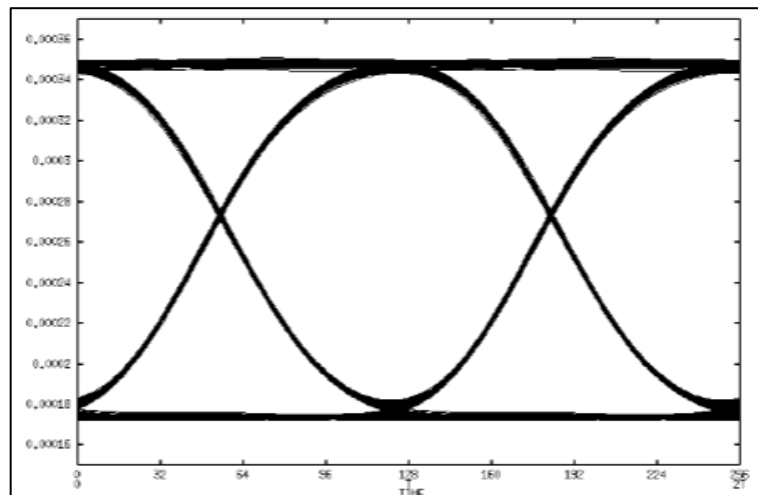


Figura 24-2. Diagrama de ojo

Fuente: (Dinamarca, 2002, p. 11)

✓ Factor de calidad (Q)

Sirve para obtener una evaluación de la calidad de funcionamiento que se puede esperar cuando la red está en servicio, el valor mínimo a obtener es 6.

El factor Q se define como la relación señal a ruido (eléctrica) en el circuito de decisión de un receptor de señal digital y lo hace mediante la ecuación:

$$Q_{dB} = SNR + 10 \cdot \log \frac{B_o}{B_c} [dBm] \quad (4)$$

Donde:

B_o = corresponde al ancho de banda óptico del receptor

B_c = ancho de banda eléctrico del filtro del receptor.

SNR= relación señal/ruido.

2.4. Comparación de los parámetros más importantes de los estándares GPON y XG-PON

Como se ha podido analizar, el estándar G.987.X es bastante similar al G.984.X, esto es claramente debido a las migraciones futuras que deberán realizar los proveedores, es decir de GPON a XG-PON, sin embargo, este cambio no debe afectar en la disponibilidad del servicio al usuario.

La Tabla 6-2 expone las principales diferencias que hay entre los 2 estándares.

Tabla 6-2: Diferencias entre GPON y XG-PON

Característica	GPON	XG-PON
Numero de fibras para la transmisión	2	1
Tasa máxima de transmisión descendente	2.4 Gbps	XG-PON1: 10 Gbps XG-PON2: 10 Gbps
Tasa máxima de transmisión ascendente	2.4 Gbps	XG-PON1: 2.5 Gbps XG-PON2: 10 Gbps
Longitudes de onda	Upstream 1490 Downstream 1310 Video RF 1550	Upstream 1577 Downstream 1270 Video RF 1550
Autenticación entre la OLT y la ONU a través del canal OMCI	Si	Si
Autenticación entre la OLT y la ONU utilizando 802.x	No	Si
Encriptación de datos con el algoritmo CMAC	No	Si

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este apartado se detallan los métodos y las técnicas utilizadas en el diseño de la red óptica para la parroquia La Merced de la ciudad de Ambato

3.1. Tipo y Diseño

Se trabajó con una Investigación no experimental, porque no existe manipulación de las variables independientes, es decir, no se realizan experimentos porque se busca innovación usando tecnología existente.

El diseño es transversal porque se hace el análisis, la incidencia e interrelación en un momento determinado.

3.2. Enfoque

Cualitativo- Cuantitativo porque parte de algo no medible que posteriormente pasó a algo medible, es decir parte de hechos que al final terminaron por aportar conclusiones.

3.3. Método de investigación

- ✓ **Método deductivo**, se utilizó para la comprensión de conceptos, principios de funcionamiento, uso de tecnologías; necesarios para realizar los diseños de la red de fibra óptica.
- ✓ **El método inductivo**, se utilizó al determinar la problemática mediante el estudio de casos, hechos o fenómenos relativos al acceso a la información haciendo el uso de enlaces de internet se llegó a diagnosticar la situación actual y por ende presentar la propuesta formulada en el presente trabajo.
- ✓ **El método analítico**, permitió analizar extensivamente las ventajas del uso de la fibra óptica, diseño entre otras que son objeto de estudio del presente trabajo, posibilitando la comprensión, descripción, determinación de causas y efectos de los hechos o fenómenos relativos al objeto de estudio.
- ✓ **Síntesis**, posibilitó la reconstrucción de ideas en relación al problema facilitando la comprensión y establecimiento de la propuesta.

3.4. Técnicas

Comprenden todos los procedimientos y herramientas utilizados para recoger, generar, analizar y presentar información válida, fiable y objetiva.

- ✓ **Observación:** usada para recopilar los datos y contrastar con los puntos tipificados en los planos del sector de análisis, requisito necesario para que el diseño se acople a las necesidades y a la proyección de la red *XG-PON*.
- ✓ **Encuesta:** esta técnica se utilizó para recopilar información de la población del sector de estudio para el diseño de la red y la proyección de la misma, mediante la aplicación de un cuestionario.

3.5. Escenario

La parroquia La Merced, pertenece al grupo de las 9 parroquias urbanas del cantón Ambato de la provincia de Tungurahua. Esta parroquia posee un total de 14266 habitantes y 5258 viviendas, estas cifras no están disponibles de manera pública en la página oficial del *INEC* (Instituto Nacional de Estadística y Censos), debido a que dicha organización realiza un cálculo total de la zona urbana de Ambato. Por lo que se solicitó mediante oficio y se tuvo la respuesta pertinente. Ver Anexo A, el cual detalla de mejor manera, los habitantes por sexo y las viviendas según el tipo. Para este proyecto se toma en cuenta el número de viviendas, ya que los servicios son contratados por hogar y no por habitante.

La Figura 1-3 muestra el área geográfica correspondiente a la parroquia de interés para proveer el servicio de internet, dicha imagen fue tomada del Google Earth, que con las herramientas disponibles es posible delimitar el área de interés.



Figura 1-3. Localización geográfica de la parroquia La Merced

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

3.6. Estudio de la demanda

Para realizar el diseño, es necesario establecer como punto de partida el realizar encuestas en la parroquia, con el fin de identificar la demanda tanto en el sector residencial como corporativo, es decir, reconocer a los clientes que estén insatisfechos con su servicio actual para ofertar un nuevo servicio, y determinar los elementos para la red.

3.6.1. Tamaño de la Muestra

Debido a que se cuenta con una gran cantidad de habitantes y viviendas se debe tomar una muestra, para analizar la insatisfacción y determinar los requerimientos.

Para poder determinar el tamaño de la muestra y a la vez el número de encuestas a realizar se usa la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N}{E^2(N - 1) + 1} \quad (5)$$

Donde:

- ✓ n= tamaño de la muestra
- ✓ N= Población (número de viviendas) (5258 según Anexo A)
- ✓ E= Margen de error (0.05)

Sustituyendo los datos extraídos del Anexo A en la formula (5) tenemos:

$$n = \frac{5258}{(0.05)^2(5258 - 1) + 1}$$
$$n = 372$$

Es decir, el tamaño de la muestra será de 372 viviendas por ende se harán la misma cantidad de encuestas.

3.7. Análisis de los resultados

En base a la encuesta realizadas (ver Anexo B), se analiza los resultados obtenidos, considerando que, debido a la emergencia sanitaria, las restricciones de movilidad son limitadas, y con el fin de poder recabar información relevante para el estudio se realizaron únicamente 4 preguntas, las cuales se analizan a continuación.

✓ **¿Qué servicios de telecomunicaciones tiene usted actualmente contratado?**

Telefonía fija

Televisión por cable

Internet

La Tabla 1-3 muestra los datos recopilados referente a cuantas viviendas tienen actualmente los servicios de telecomunicaciones, mientras que el Gráfico 1-3 presenta la tabla mediante un diagrama de barras.

Tabla 1-3: Número de usuarios que disponen los servicios de telecomunicaciones

SERVICIOS	SI	PORCENTAJE	NO	PORCENTAJE
Telefonía Fija	350	94,09%	22	5,91%
TV por Cable	225	60,48%	147	39,52%
Internet	316	84,95%	56	15,05%

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

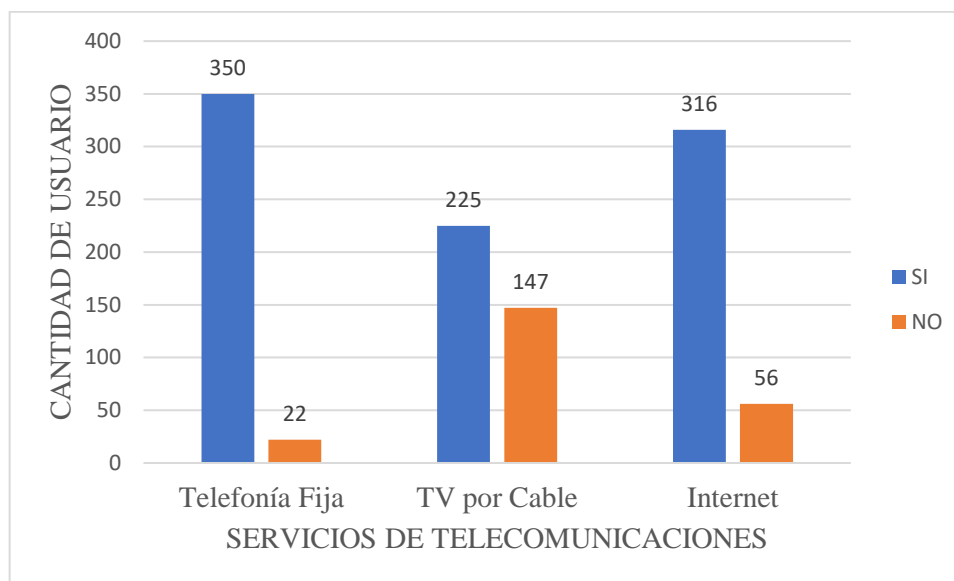


Gráfico 1-3. Usuarios que disponen de los servicios de telecomunicaciones

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

El Gráfico 1-3 muestra como la mayoría de los encuestados poseen estos servicios de telecomunicaciones, siendo la telefonía fija y el internet los más predominantes con un 94% y 85% respectivamente, mientras que la televisión por cable hay una tendencia similar entre aquellos que poseen el servicio y los que no lo tienen.

✓ **Marque con una X la respuesta. ¿Qué tanto se siente conforme con su servicio actual?**

Nivel de conformidad	Internet	TV por Cable	Telefonía
----------------------	----------	--------------	-----------

Excelente			
Muy Bueno			
Bueno			
Malo			
Muy Malo			

En la Tabla 2-3 muestra los datos recopilados referente a que tanto se siente conformes con sus respectivos servicios contratados.

Tabla 2-3: Nivel de conformidad de cada servicio

Nivel de conformidad	Internet	TV por Cable	Telefonía
Excelente	28	45	32
Muy Bueno	8	32	53
Bueno	59	118	215
Malo	150	19	29
Muy Malo	71	11	21

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

El Gráfico 2-3 muestra la tabulación del nivel de conformidad mediante un diagrama de barras para una mejor comprensión.

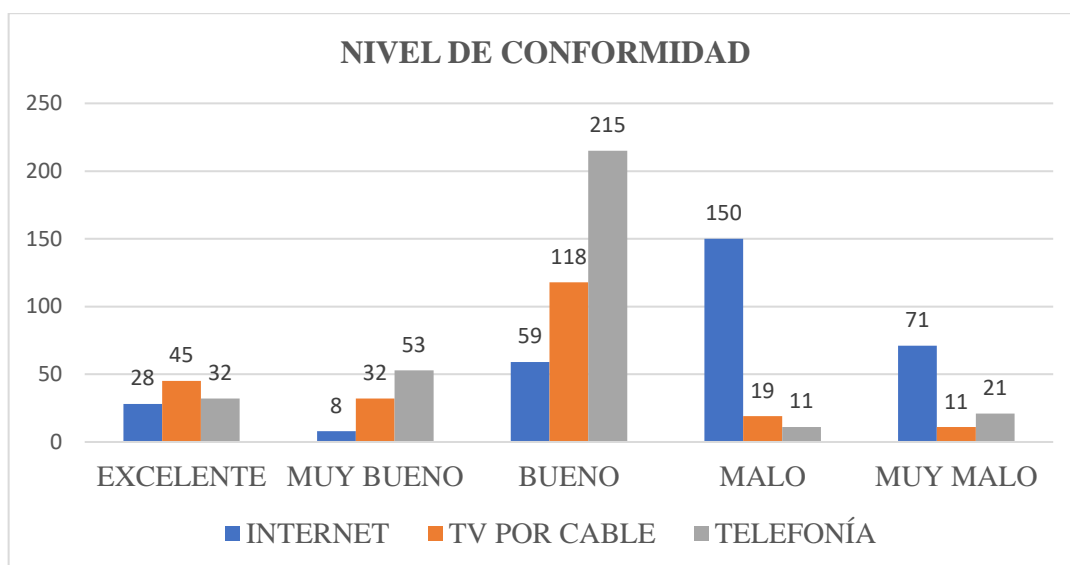


Gráfico 2-3. Nivel de conformidad de los servicios

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Al analizar los resultados se concluye que actualmente los servicios provocan desconformidad al usuario final a pesar de un nivel de satisfacción aceptable, además que, muy pocos usuarios están satisfechos con su proveedor actual.

El servicio de internet demuestra una tendencia cualitativa entre malo y muy malo representando el 70% de la muestra analizada.

✓ ¿Ha escuchado hablar acerca de los avances tecnológicos de la fibra óptica como es la tecnología *XG-PON*?

Si

No

La Tabla 3-3 muestra los datos recopilados referente a si los habitantes de la parroquia conocen acerca de la fibra óptica y sus avances tecnológicos como *XG-PON*.

Tabla 3-3: Datos recopilados referente a si el usuario conoce de *XG-PON*

Pregunta 3	Resultado	Porcentaje
SI	12	3.33%
NO	360	96.77%

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

El Gráfico 3-3 muestra la tabulación de los datos de la pregunta 3 mediante un diagrama de barras para una mejor comprensión.



Gráfico 3-3. Usuarios que conocen sobre *XG-PON*

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Como se observa, los habitantes casi en su totalidad desconocen sobre los avances de la fibra óptica. La mayoría de estas personas manifiestan que su servicio de internet mediante fibra óptica no ha mejorado el servicio, a lo contrario, existe disconformidad debido al aumento de rubros por cobro del servicio sin mejoría en la velocidad de transferencia de datos y tiempo de respuesta.

✓ ¿Estaría dispuesto a cambiarse a una nueva tecnología que le proporcione un servicio más eficaz?

Si

No

La Tabla 4-3 muestra los datos recopilados referente a si los habitantes desearían cambiarse por una mejor tecnología que ofrezca un correcto servicio.

Tabla 4-3: Datos recopilados referente a si el usuario desearía cambiarse a *XG-PON*

Pregunta 3	Resultado	Porcentaje
SI	277	74.46%
NO	95	25.54%

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

El Gráfico 4-3 muestra la tabulación de los datos de la pregunta 4 mediante un diagrama de barras para una mejor comprensión.

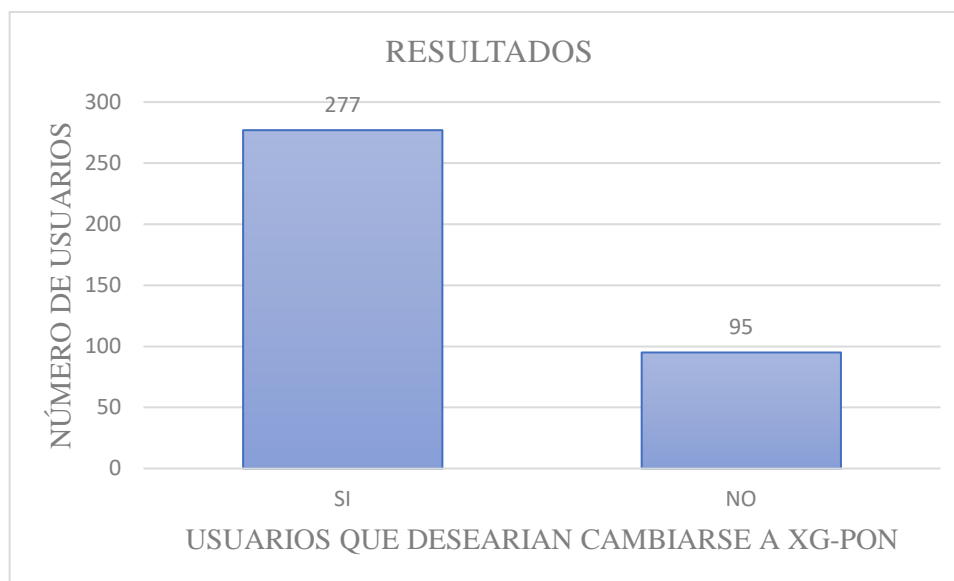


Gráfico 4-3. Usuarios que desearían cambiarse a *XG-PON*

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Como podemos observar, el 74.46% de los encuestados al verificar que la disponibilidad y calidad del servicio no corresponde a las ofertadas, están dispuestos a cambiar de proveedor y de tecnología que proporcione mejores prestaciones como es el caso de *XG-PON*. El 25.56% restante temen a que sean nuevamente timados y que no mejore para nada su servicio. Sin embargo, si el diseño de la propuesta tecnológica cumple las expectativas de los usuarios, existe una potencial posibilidad de abarcar todo el sector.

Se concluye que el sector tiene gran número de habitantes que no se sienten conformes con su servicio actual de telecomunicaciones, en especial el servicio de internet, que, debido a las circunstancias mundiales, la demanda del servicio ha incrementado debido a las actividades de teletrabajo a la que la población actualmente está sujeta.

La muestra analizada indica el 74.46% de la aceptación de la propuesta, por lo que es factible el diseño de una red *FTTH* utilizando el estándar G.987.X, es decir la tecnología *XG-PON*, con el fin de poder mejorar el servicio al usuario final.

3.8. Diseño lógico de la red *FTTH*

El diseño lógico de la red se lo establece en base a las siguientes consideraciones:

- ✓ Delimitación Geográfica
- ✓ Arquitectura
- ✓ Topología
- ✓ Dimensionamiento de la red

3.8.1. *Delimitación Geográfica*

Para el diseño lógico se realiza la segmentación del área de interés en zonas estratégicas para mantener el control y mantenimiento de la red. Por lo general, las zonas se las define en base a:

- ✓ Proyección de crecimiento de la red
- ✓ Concentración poblacional
- ✓ Área Comercial
- ✓ Accesos
- ✓ Etc.

La Figura 2-3 muestra a la parroquia delimitada del resto de la ciudad, esta imagen fue obtenida de los planos de AutoCAD del mapa completo de Ambato, (ver anexo C), a partir de esto, se procede a sectorizar en zonas, con el fin de administrar en forma óptima los recursos tecnológicos durante el diseño y la distribución.

Esta parroquia se encuentra en la parte norte de la ciudad, aledaña a las parroquias La Península y Atocha al norte, Huachi Loreto al sur, La Península al este y San Francisco al Oeste.

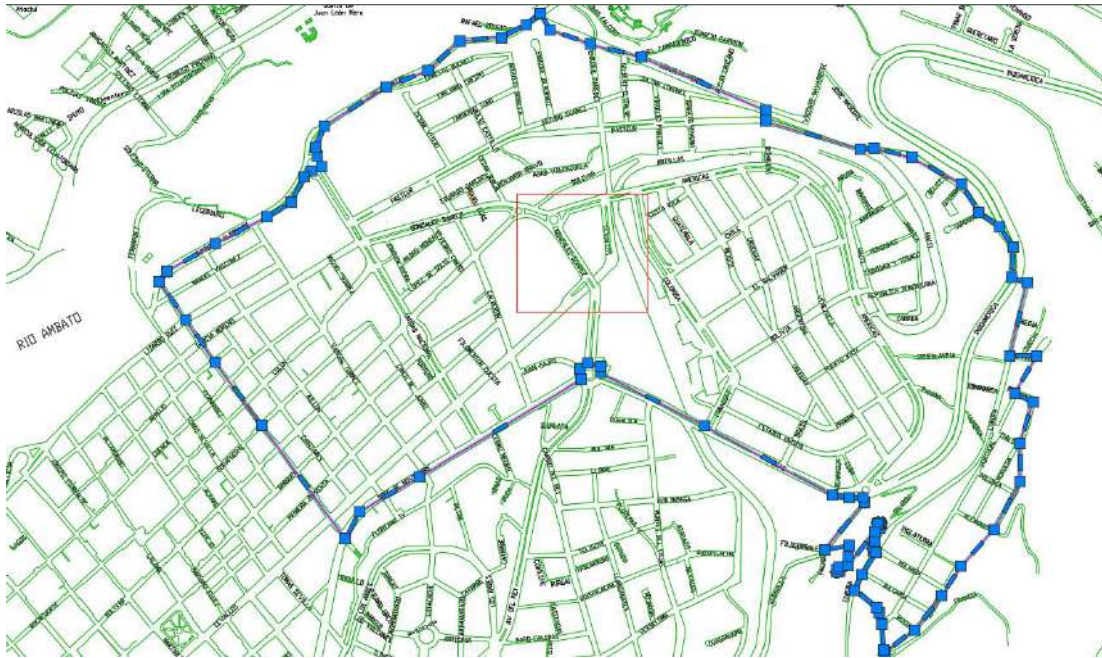


Figura 2-3. Localización en AutoCAD de la parroquia La Merced

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

La Figura 3-3 muestra la sectorización de la parroquia. Se ha decidido que dividirá en 6 partes a La Merced debido a que cada una compone de partes residenciales y corporativas o empresariales. Cada una de ella va a ser brevemente explicada a continuación:

- ✓ **Zona 1:** corresponde al área geográfica que más proximidad tiene al centro de la ciudad, corresponden las calles: Av. 12 de noviembre por el sur hasta llegar a la calle Maldonado por el oeste hasta llegar a la calle Humberto Albornoz para tomar el lado derecho hasta llegar a la Av. Unidad nacional y cerrar la primera zona.
- ✓ **Zona 2:** corresponde al área geográfica que más al norte se encuentra de la parroquia, esta zona se encuentra entre las calles Julián Coronel por el norte hasta terminar la calle y llegar al complejo El Socavón para de ahí bajar por la calle Dr. Julio Enrique Paredes hasta llegar a la Av. de las Américas, para finalmente seguir por la izquierda hasta llegar a calle González Suarez y subir por la Av. Unidad Nacional.
- ✓ **Zona 3:** corresponde a la zona sur de la parroquia, se encuentra en las zonas 1, 2 y 4. Limita con las calles Gonzales Suarez y Av. de las Américas por el norte, calles Colombia y Paraguay por el este, Av. de las Américas y Av. 12 de Noviembre por el Sur, y Av. Unidad Nacional por el oeste
- ✓ **Zona 4:** corresponde al área conocido como Ingahurco, limita al norte, sur y este con la Av. de las Américas y al oeste con las calles Colombia y Paraguay.
- ✓ **Zona 5:** corresponde a una parte del barrio de Cashapamba, esta área es un poco peculiar debido a que no corresponde un área cuadrada o similar, debido a las callas que poseen curvan

muy notorias, por lo que está limitada al norte por la calle Izurieta Pérez, al este por las callas Las Paralelas, al sur por la Av. de las Américas y finalmente en el oeste por la calle Dr. Julio Enrique Paredes.

- ✓ **Zona 6:** corresponde a la parte conocida como El Paraíso. Esta es la zona con mayor dificultad de acceso debido a que parte se encuentra por bosques o árboles que imposibilita una conexión directa. Se encuentra entre las calles Las Paralelas, Pasteur, Av. de las Américas, Austria y Suiza.

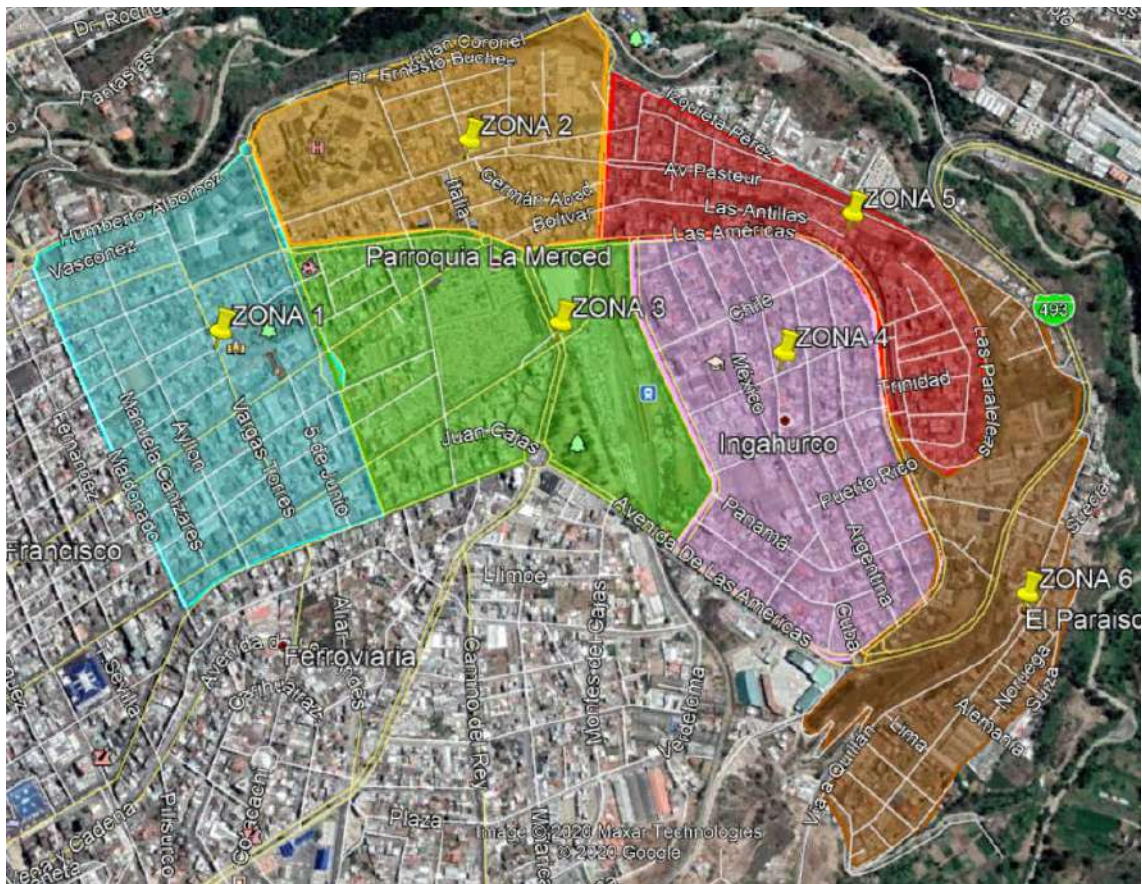


Figura 3-3. Sectorización de la parroquia La Merced

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

3.8.2. Capacidad del servicio

Según el estándar ITU G.711, recomienda utilizar un canal de 64 Kbps en cada sentido para el servicio de telefonía fija, mientras que, para la televisión digital o televisión por cable, el sistema utilizado en el país es el ISDB-T (Radiodifusión Digital de Servicios Integrados), el cual utiliza como algoritmo de compresión de MPEG4, por lo tanto, la capacidad mínima requerida para proporcionar un servicio de SDTV o HDTV es de 2 Mbps y 9 Mbps respectivamente. Para el servicio de internet no existe estándar que recomiende un ancho de banda óptimo, debido a que cada proveedor decide qué plan ofertar al cliente. Aprovechando que la tecnología XG-PON

proporciona un canal con mayor ancho de banda, al sector residencial se le asigna una capacidad de 20 Mbps con la posibilidad de aumentarlo, mientras que para el sector empresarial o corporativo un canal de 50 Mbps.

Todas las especificaciones anteriormente detalladas se resumen en la Tabla 5-3, para una mejor comprensión.

Tabla 5-3: Nivel de conformidad de cada servicio

SERVICIO		SECTOR RESIDENCIAL		SECTOR CORPORATIVO	
		CAPACIDAD REQUERIDA	CAPACIDAD TOTAL	CAPACIDAD REQUERIDA	CAPACIDAD TOTAL
Televisión	SDTV	2 Mbps	11 Mbps	2 Mbps	11 Mbps
	HDTV	9 Mbps		9 Mbps	
Telefonía	Digital	64 kbps	0.064 Kbps	64 kbps	0.064 Kbps
Datos	Internet	20Mbps	22 Mbps	50Mbps	52 Mbps
	Videokonferencias	2 Mbps		2 Mbps	
Total			33,064 Mbps		63,064 Mbps

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Analizando la Tabla 5-3 se concluye que la capacidad mínima necesaria para un correcto servicio sería de 33,064 Mbps por cada vivienda y 63,064 Mbps por sector corporativo.

3.8.3. Topología de la red

La tecnología *XG-PON* utiliza multiplexación por división de longitud de onda (*WDM*), es decir, el canal de subida (Upstream) trabaja a una longitud de onda diferente que al de bajada (Downstream), por lo que la topología más adecuada es tipo árbol.

- ✓ **Canal ascendente (Upstream):** se envía la información desde la ONT hacia la OLT, mediante TDMA, utiliza una longitud de onda de trabajo de 1260-1280 nm.
- ✓ **Canal descendente (Downstream):** se envía la información en un solo sentido en forma de broadcast, es decir hacia todos los receptores, mediante TDM, desde la OLT hacia las ONT, lo hace con una longitud de onda de trabajo de 1575-1581 nm, se considera una topología punto-multipunto.

3.8.4. Arquitectura de la red XG-PON

La Figura 4-3 muestra, las partes más importantes de la red XG-PON u ODN, estos son la OLT o equipo transmisor, Red Feeder, Red de Distribución, Red de dispersión, Red interna y equipo receptor u ONT.



Figura 4-3. Diagrama de la red

Realizado por: (SANI, 2017, p. 58)

3.8.4.1. Terminal de línea Óptica (OLT).

El equipo transmisor u OLT se lo debe ubicar en un lugar intermedio que abarque o permita la conexión de toda la zona, es por eso que se escoge la ubicación en la Av. de las Américas y calle Colombia debido a la posición céntrica o intermedia entre los puntos más alejados, lo que equilibra y no afecta el presupuesto óptico.

La Figura 5-3 muestra la ubicación de la OLT de manera geográfica en el Google Earth, mientras que la Figura 6.3 en el programa AutoCAD, para el cual se está utilizando una simbología que sea entendible para todas las personas que lean este documento, Ver Anexo D.



Figura 5-3. Localización de la OLT geográficamente

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

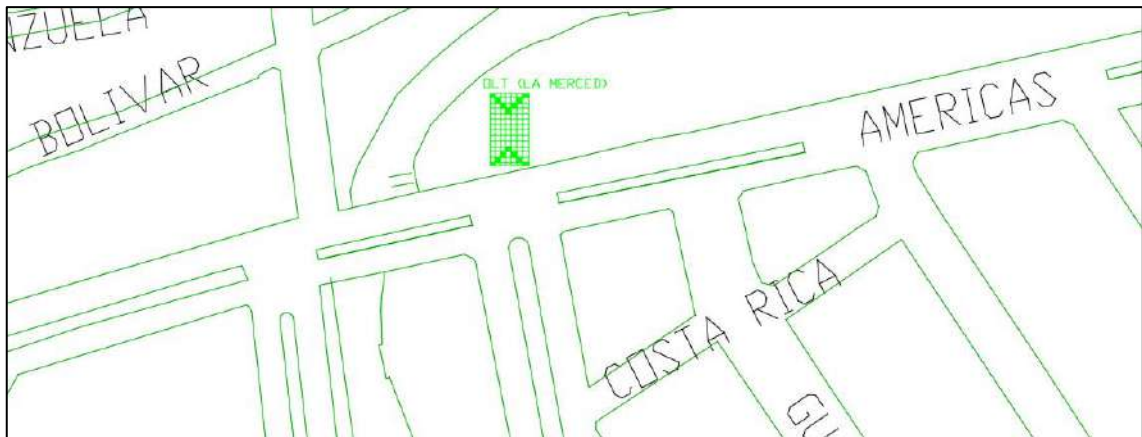


Figura 6-3. Localización de la OLT para el diseño de la red *FTTH*

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020.

3.8.4.2. Distribuidor de Fibra Óptica (ODF).

Es el lugar donde llegan los hilos de fibra óptica y permite conectar la planta externa con los equipos de acceso (OLT). (SANI, 2017, p. 59)

3.8.4.3. Red troncal

Conocido además como *red feeder*, comprende el tendido de fibra que se instala desde la OLT u ODF hasta el primer nivel de splitteo para generar las ramificaciones. Para el tendido de esta parte de la red se ha tomado la ruta que se encuentre lo más central a las zonas, logrando así una distribución casi uniforme de la cantidad de fibra a utilizar, con la finalidad de evitar daños en la planta externa.

Por lo general, para determinar por cuales calles va a ir el tendido de la red troncal o *feeder*, se toman en consideración los siguientes parámetros:

- ✓ Accesibilidad para el trazado y despliegue la red en toda el área de cobertura
- ✓ Ruta céntrica que cubra todo el sector.
- ✓ Escalabilidad para el crecimiento poblacional y de la red.
- ✓ Evitar calles que tengan curvaturas muy abruptas.

Para la red *feeder* se utilizan cables de 144 y 288 hilos de capacidad, para el estudio se usa el de 144 hilos. La Figura 7-3 muestra mediante una línea azul el tendido de la *red feeder* de fibra óptica el cual se extiende por el este por la Av. de las Américas y por el oeste por la calle Simón Bolívar.

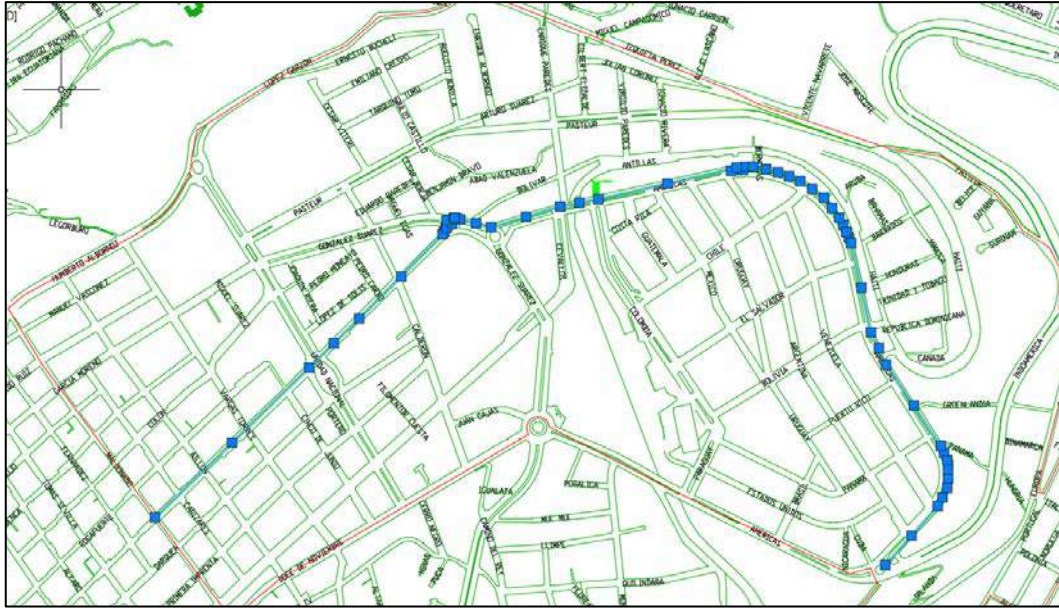


Figura 6-3. Red Feeder

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020.

Como se puede observar, al ubicar la fibra óptica por la calle Simón Bolívar y la Av. de las Américas, cumple con el requisito de que este ubicado en una zona céntrica del área de trabajo, además que permite que la red se logre expandir tanto hacia el oeste a la parroquia San Francisco como al Sur a la parroquia Huachi Loreto, finalmente se evita que la red troncal no sufra curvaturas muy cerradas.

Dado que la OLT se encuentra en medio, se destinan 96 hilos de fibra óptica que sean instalados hacia la Av. Simón Bolívar y 48 hilos hacia la Av. de las Américas, porque a que a futuro hay más probabilidad que la red se expanda hacia el centro de la ciudad.

Debido a que la red *feeder* está utilizando 144 hilos, es necesario identificarlos. En la Figura 7-2 se observa la nomenclatura con su respectivo significado.



Figura 7-3. Identificador de la red Feeder

Realizado por: (Galarza y Parra, 2015, p. 70)

Como el número de viviendas, según el INEC, de la parroquia La Merced es de 5258 y, XG-PON al tener mayor tasa de transferencia puede abarcar hasta 128 clientes por cada puerto de la OLT, se necesitan un total de 41.07 hilos de fibra. Como el sector se encuentra dividido en 6 zonas, se destinan 8 hilos de cable feeder para cada una, 7 que cubra la demanda actual y un hilo sobrante para el crecimiento de la red o en el caso de haber fallas y se necesite migrar a los clientes a otro puerto.

Según se analiza en la Figura 4-3, la red Feeder se encuentra entre la OLT y el armario de distribución de fibra (FDH) o porta splitter o mangas como también se conoce, por lo tanto, a continuación, se detalla la ubicación de estas mangas para cada zona.

✓ Derivación del cable Feeder para la zona 1

El cable de fibra Feeder se encuentra tendido a lo largo de la Av. Simón Bolívar, por lo que cruza casi exactamente por la mitad de la zona 1. En la calle Vargas Torres se realiza el primer sangrado, es decir, extraer los 8 primeros hilos del buffer de 144 hilos y se los instalan en dos mangas troncales denominadas M_01 y M_02 que se van a instalar entre las calles Vicente Rocafuerte y Vargas Torres. En cada manga se ubican 4 *splitters* 1:8, teniendo en total 8 *splitters*, de los cuales 7 se encuentran en funcionamiento y uno de reserva en caso de mantenimiento o escalabilidad. Inicialmente como están instalados 96 hilos de fibra por la Av. Bolívar, su nomenclatura sería FT_01_00_00 (144)(1..96), como se realiza un sangrado, de los 96 hilos se extraen 8, es decir, FT_01_00_00 (144)(1..8) y se fusionan con la derivación FT_01_01_00 (12) (1..8), por lo que 4 hilos van en la M_01 es decir FT_01_01_00 (12) (1..4) y 4 hilos en la M_02, es decir FT_01_01_00 (12) (5..8).

La Figura 8-3 muestra la ubicación de las mangas troncales para la zona 1.

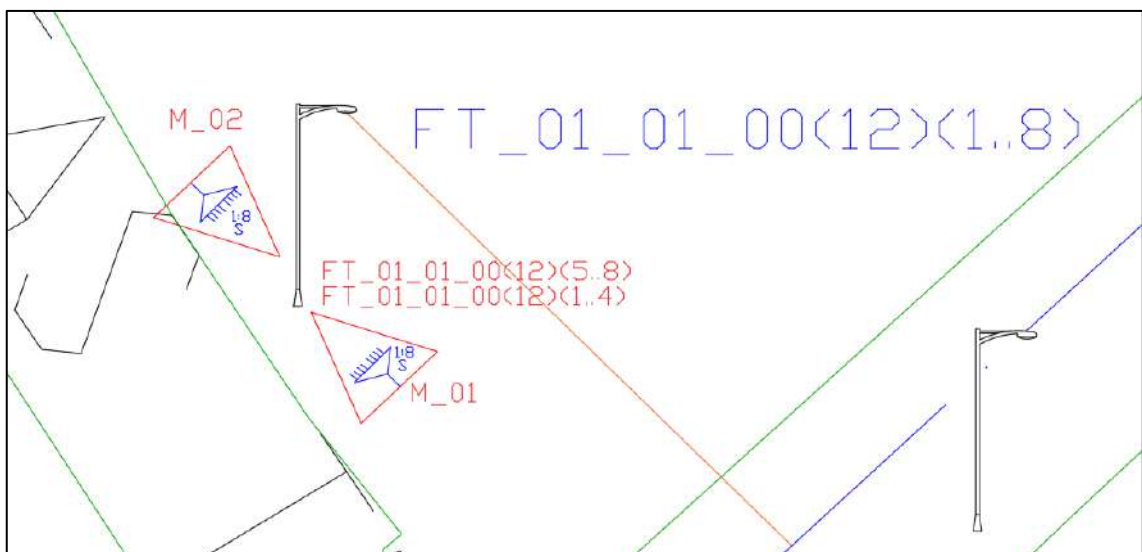


Figura 8-3. Sangrado y Mangas troncales M_01 y M_02 de la zona 1

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020.

✓ Derivación del cable Feeder para la zona 2

Esta área se encuentra por encima de la red *feeder* principal, por lo que es necesario realizar el sangrado entre las calles Gonzales Suarez y Simón Bolívar, para que a partir de ahí instalar la fibra en la zona de interés.

Al realizar el sangrado se extraen 8 hilos de fibra óptica que serán instalados en la calle Cesar Borja hasta llegar a la Av. Pasteur, para ahí instalar las dos mangas troncales M_03 y M_04, de igual forma, en cada manga se ubican 4 splitters 1:8, teniendo en total 8 *splitters*, de los cuales 7 se encuentran en funcionamiento y uno de reserva en caso de mantenimiento o escalabilidad.

Como ya se hizo el primer sangrado en la zona 1, para este lugar se retiran los 8 hilos siguientes de los 96 hilos, es decir, FT_01_00_00 (144)(9..16) y se fusionan con la derivación FT_01_02_00 (12) (1..8), por lo que 4 hilos van en la M_03 es decir FT_01_02_00 (12) (1..4) y 4 hilos en la M_04, es decir FT_01_02_00 (12) (5..8).

La Figura 9-3 muestra la ubicación de las mangas troncales para la zona 2.

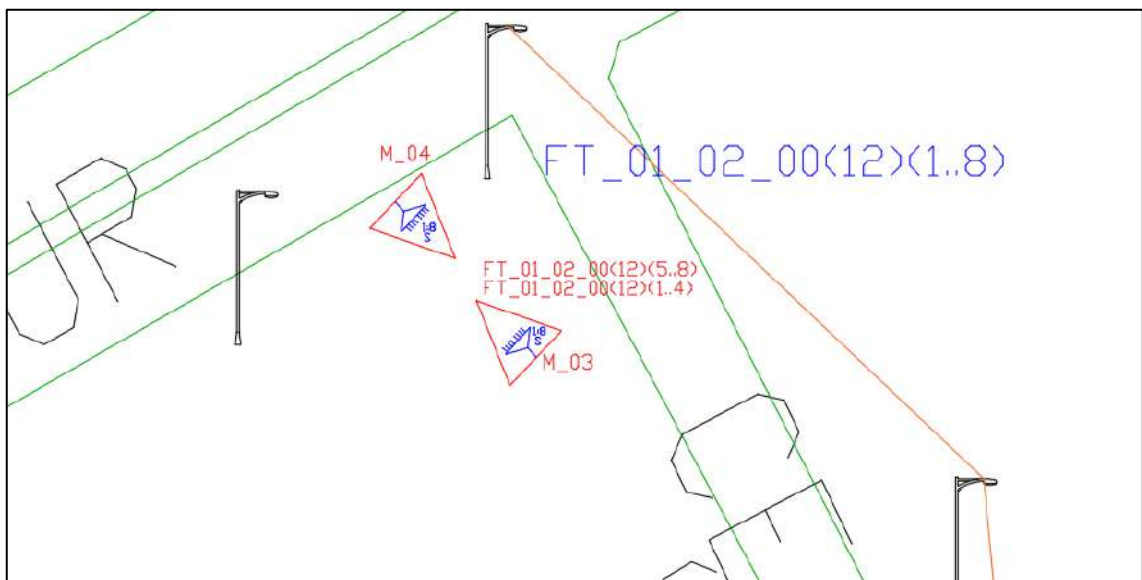


Figura 9-3. Sangrado y Mangas troncales M_03 y M_04 de la zona 2

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020.

✓ Derivación del cable Feeder para la zona 3

Al igual que en la zona 2, para esta área la red *Feeder* se encuentra en el extremo superior, por lo que, el sangrado se realiza en las calles Gonzáles Suárez y Av. de las Américas, para posteriormente tomar los 8 hilos de fibra óptica e instalarlos por la calle Gonzáles Suárez hasta llegar a la Av. Pedro Fermín Cevallos, donde se ubican las mangas troncales denominadas M_05 y M_06, e igualmente en cada una se colocan 4 splitters 1:8, teniendo en total 8 *splitters*, de los cuales 7 se encuentran en funcionamiento y uno de reserva en caso de mantenimiento o escalabilidad.

Como ya se realizaron dos sangrados, para este lugar se extraen los 8 hilos siguientes de los 96 hilos, es decir, FT_01_00_00 (144)(17..24) y se fusionan con la derivación FT_01_03_00 (12) (1..8), por lo que 4 hilos van en la M_05 es decir FT_01_03_00 (12) (1..4) y 4 hilos en la M_06, es decir FT_01_03_00 (12) (5..8).

La Figura 10-3 muestra la ubicación de las mangas troncales para la zona 3.

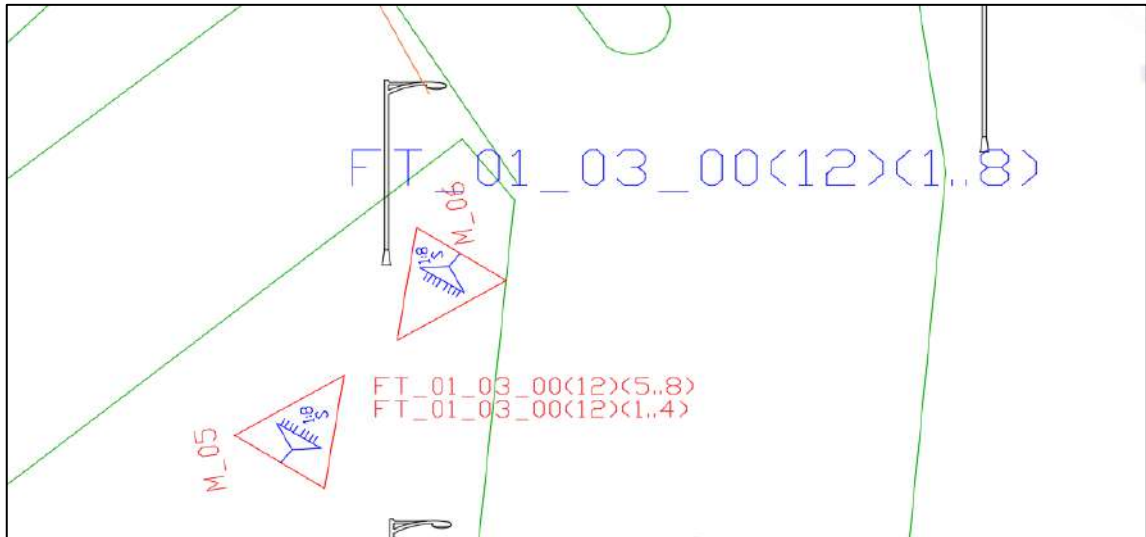


Figura 10-3. Sangrado y Mangas troncales M_05 y M_06 de la zona 3

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

✓ **Derivación del cable Feeder para la zona 4**

A diferencia de las anteriores 3 zonas, para este sector se usa el otro grupo de los 144 hilos, es decir, los 48 hilos restante. Para tener un lugar céntrico el sangrado se lo realiza en la Av. de las Américas y calle México.

A partir de ahí se realiza el tendido por la calle México hasta llegar a la calle Bolivia, donde se colocan las mangas troncales M_07 y M_08, e igualmente en cada una se colocan 4 splitters 1:8, teniendo en total 8 *splitters*, de los cuales 7 se encuentran en funcionamiento y uno de reserva en caso de mantenimiento o escalabilidad.

Para el sangrado, se extraen los primeros 8 hilos de los 48 hilos, es decir, FT_01_00_00 (144)(97..104) y se fusionan con la derivación FT_01_04_00 (12) (1..8), por lo que 4 hilos van en la M_07 es decir FT_01_04_00 (12) (1..4) y 4 hilos en la M_08, es decir FT_01_04_00 (12) (5..8).

La Figura 11-3 muestra la ubicación de las mangas troncales para la zona 4.

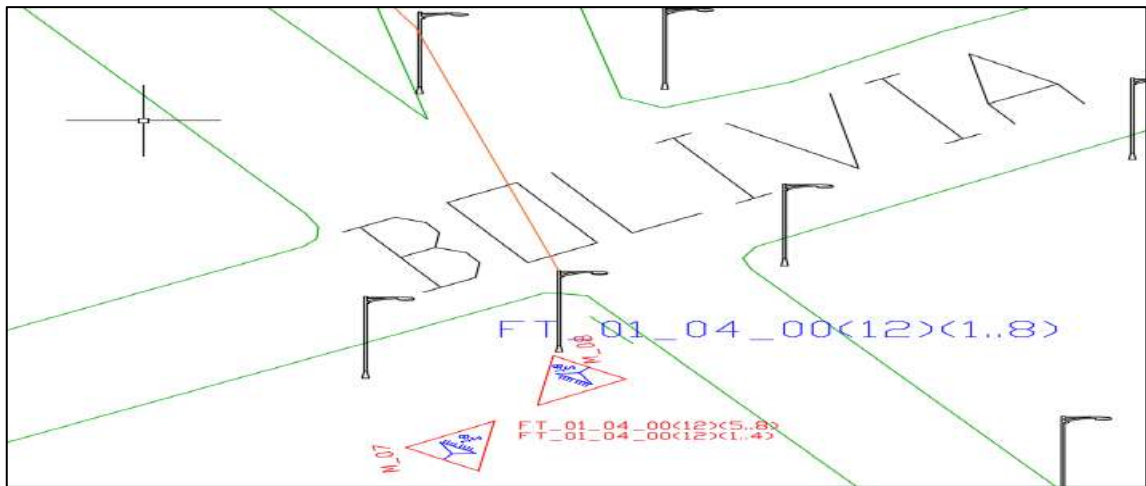


Figura 11-3. Sangrado y Mangas troncales M_07 y M_08 de la zona 4

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

✓ Derivación del cable Feeder para la zona 5

Esta es una de las zonas con mayor dificultad de acceso, debido a la no continuidad de las carreteras a causa de que ahí se encuentra las vías del tren, por lo que es necesario que las mangas troncales se separen y abarquen la mitad de la zona cada una.

Para la primera manga troncal, M_09, de la zona, se realiza el sangrado de la red feeder principal entre las Av. Pedro Fermín Cevallos y la calle Dr. Julio Enrique Paredes, para posteriormente extender la red feeder por la calle Dr. Julio Enrique Paredes hasta llegar a la Av. Pasteur.

Según la nomenclatura, hasta el momento de los 96 hilos de fibra se han utilizado 24, por lo que para esta manga se usan los hilos FT_01_00_00 (144)(25..28) y se fusionan con la derivación FT_01_05_00 (12) (1..8), por lo que 4 hilos van en la M_07 es decir FT_01_05_00 (12) (1..4) y dentro se encuentran los 4 splitters 1:8, teniendo en total 8 *splitters*, de los cuales 7 se encuentran en funcionamiento y uno de reserva en caso de mantenimiento o escalabilidad.

La Figura 12-3 muestra la ubicación de la manga troncales para la parte izquierda de la zona 5.



Figura 12-3. Sangrado y Manga troncal M_09 de la mitad de la zona 5

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Para la segunda manga troncal, M_10, de la zona, se realiza el sangrado de la red feeder principal entre las Av. de las Américas y la calle Barbados, para posteriormente extender la red feeder por la calle Barbados.

Según la nomenclatura, hasta el momento de los 48 hilos de fibra óptica de los 144 se han utilizado únicamente 8, por lo que para esta manga se usan los hilos FT_01_00_00 (144)(105-108) y se fusionan con la derivación FT_01_06_00 (12) (1..8), por lo que 4 hilos van en la manga troncal M_10 es decir FT_01_10_00 (12) (1..4) y, al igual que en la otra mitad, dentro se encuentran los 4 splitters 1:8.

La Figura 13-3 muestra la ubicación de la manga troncales para la parte derecha de la zona 5.

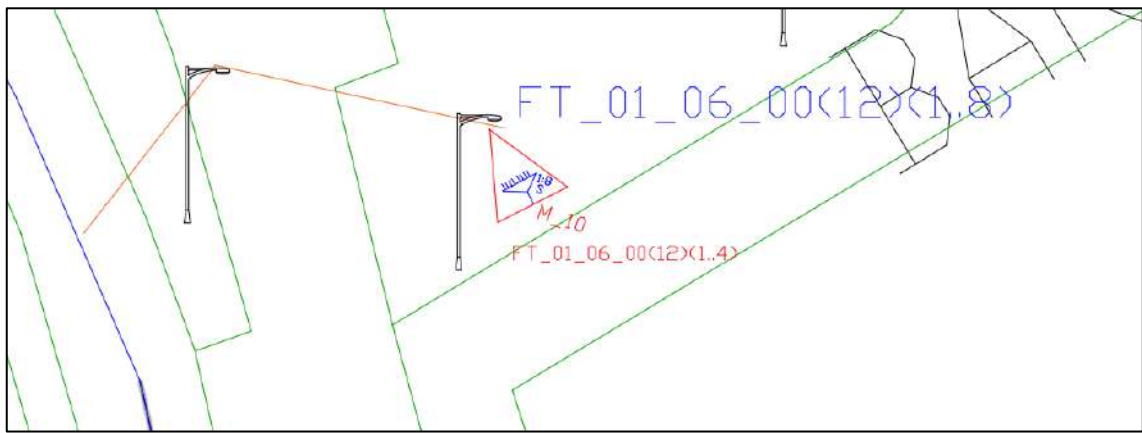


Figura 13-3. Sangrado y Manga troncal M_10 de la mitad de la zona 5

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

✓ **Derivación del cable Feeder para la zona 6**

Al igual que con la anterior zona, posee una cobertura con una dificultad notable de decidir la ubicación de los equipos, sin embargo, esta área no se encuentra separada por las vías del tren por lo que tenemos continuidad por todo el lugar.

El sangrado se lo hace entre la Av. de las Américas y calle Groenlandia, a partir de ahí se realiza el tendido por la calle Groenlandia hasta llegar a la Av. Indoamérica, donde se colocan las mangas troncales M_11 y M_12, e igualmente en cada una se colocan 4 splitters 1:8, teniendo en total 8 *splitters*, de los cuales 7 se encuentran en funcionamiento y uno de reserva en caso de mantenimiento o escalabilidad.

Para el sangrado, se extraen los 8 hilos siguientes de los 48 hilos, es decir, FT_01_00_00 (144)(109..116) y se fusionan con la derivación FT_01_07_00 (12) (1..8), por lo que 4 hilos van en la M_11 es decir FT_01_07_00 (12) (1..4) y 4 hilos en la M_12, es decir FT_01_07_00 (12) (5..8).

La Figura 14-3 muestra la ubicación de las mangas troncales para la zona 5.

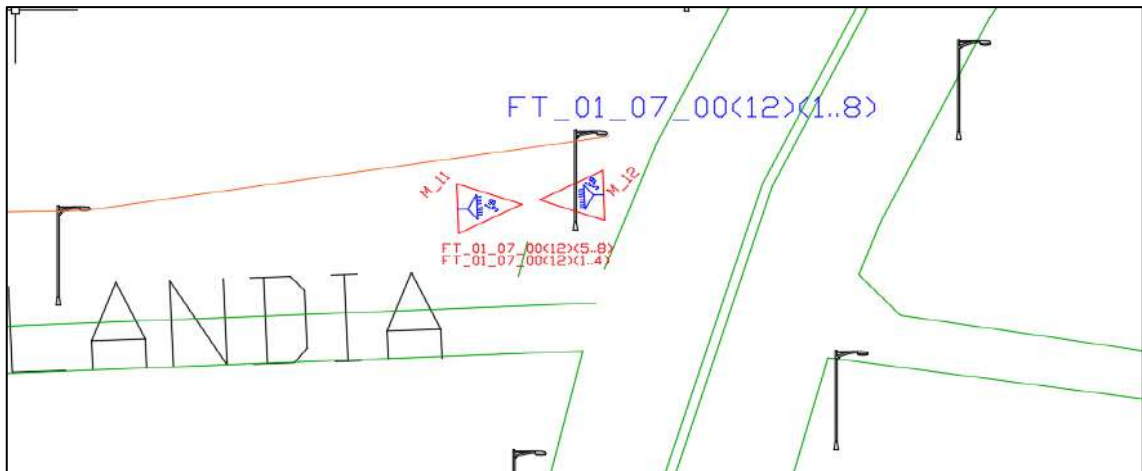


Figura 14-3. Sangrado y Mangas troncales M_11 y M_12 de la zona 6

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

En resumen, la red *Feeder* es la columna vertebral de la red *FTTH*, debido a que debe soportar el tráfico proveniente de los usuarios finales, por lo que ubicar a las mangas o *FDH* de una manera estratégica es importante, con el objetivo de optimizar recursos, e impedir que el servicio del cliente se deteriore. La Figura 15-3 muestra de manera general la localización de cada manga troncal en su respectiva zona.

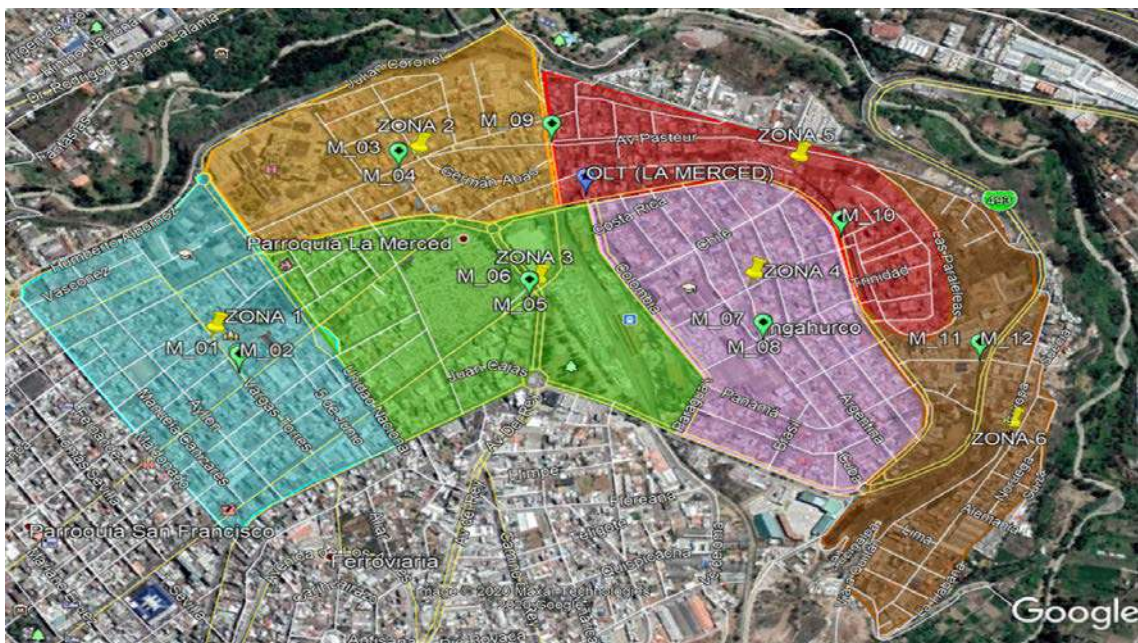


Figura 15-3. Mapa de la parroquia La Merced con las mangas troncales ubicadas

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

3.8.4.4. Red de distribución

Comprende el canal de comunicación entre el primer nivel de splitteo y el segundo, es decir la fibra que se encuentra en las mangas troncales se pasa a las cajas de distribución óptica o también

como NAP. La capacidad para la red de distribución es de 12, 24, 48 o 96 hilos. Al igual que con la red *Feeder*, la red de distribución puede abarcar hasta 96 hilos por lo que es necesario identificarlos. En la Figura 16-2 se observa la nomenclatura con su respectivo significado.

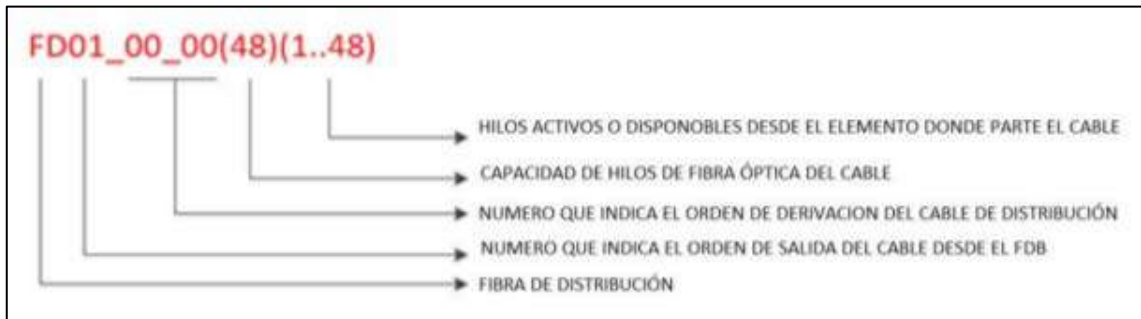


Figura 16-3. Identificador de la red de Distribución

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

Según se analiza en la Figura 4-3, la red de Distribución se encuentra entre la manga troncal y la caja de distribución óptica (NAP), por lo tanto, a continuación, se detalla la ubicación de estas NAPs para cada zona.

✓ **Red de distribución zona 1**

Para la primera zona, al usar 7 hilos de la red Feeder y cada uno conectados a un splitter 1:8 en total habrá 56 NAPs distribuidas a lo largo y ancho del lugar. Además de la nomenclatura que se da a la fibra de distribución, también es necesario identificar a las NAPs por letras alfanuméricas. La Figura 17-3 se observa la distribución de las 56 NAPs, cada una con su numeración respectiva.



Figura 17-3. Cajas de distribución ópticas para la M_01 y M_02

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Según la distribución de las NAPs de la Figura 17-3, se observa que hay numeración desde la A hasta la G, dejando el último hilo de fibra de la red feeder para el crecimiento de la red, es decir la nomenclatura H1 – H8. Como son 56 NAPs utilizadas y máximo 64, hay varias formas de determinar el tipo de cable de distribución, sin embargo, para el diseño se usa el cable de distribución de fibra óptica de 24 hilos, por lo que se necesita 3 de este tipo. La nomenclatura para los 3 grupos de fibra de 24 hilos es:

- ✓ FD01_00_00(24)(1..24)
- ✓ FD02_00_00(24)(1..24)
- ✓ FD03_00_00(24)(1..24)

Para la distribución de los hilos de fibra óptica de distribución, se recomienda empezar por la NAP más cercana a las mangas troncales M_01 y M_02, es decir por F1.

La Figura 18-3 muestra la conexión entre la NAP más cercana y la manga troncal M_02 con sus respectivas especificaciones. (Ver Anexo C)

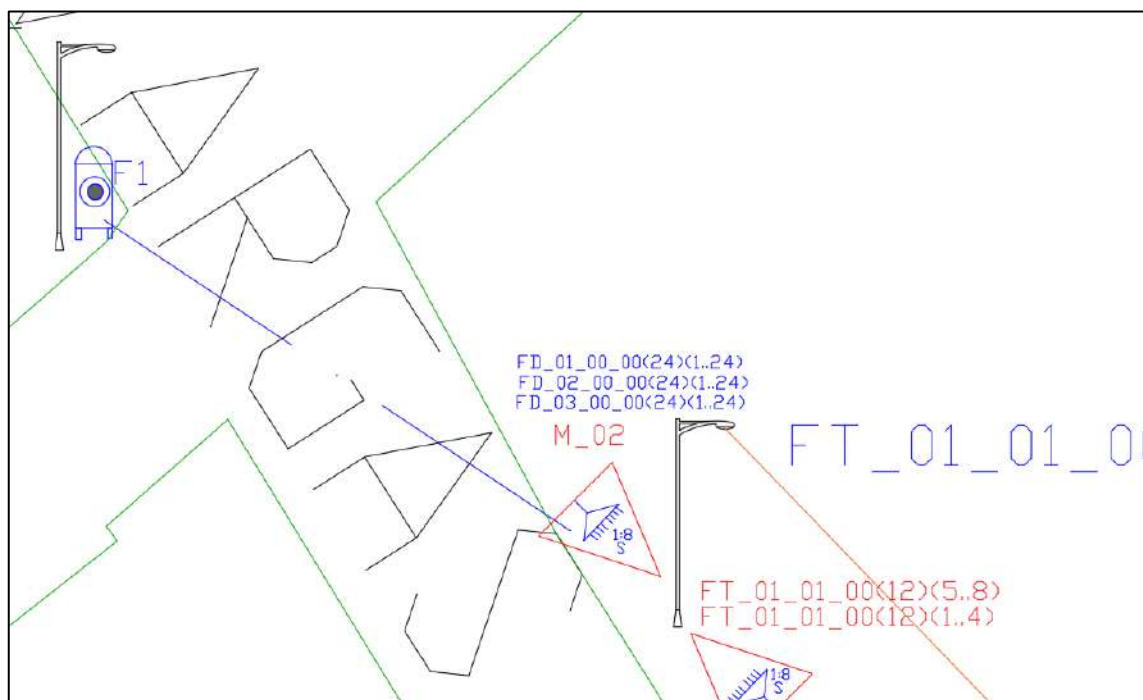


Figura 18-3. NAP más cercana a la MT_02

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

✓ Red de distribución zona 2

Para la zona 2, al usar 7 hilos de la red Feeder y cada uno conectados a un splitter 1:8 en total habrá 56 NAPs distribuidas a lo largo y ancho del lugar. Además de la nomenclatura que se da la fibra de distribución, también es necesario identificar a las NAPs por letras alfanuméricas. La Figura 19-3 se observa la distribución de las 56 NAPs, cada una con su numeración respectiva.



Figura 19-3. Cajas de distribución ópticas para la M_03 y M_04

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Según la distribución de las NAPs de la Figura 19-3, se observa que hay numeración desde la A hasta la G, dejando el último hilo de fibra de la red feeder para el crecimiento de la red, es decir la nomenclatura H1 – H8. Como son 56 NAPs utilizadas y máximo 64, hay varias formas de determinar el tipo de cable de distribución, sin embargo, para el diseño se usa el cable de distribución de fibra óptica de 24 hilos, por lo que se necesita 3 de este tipo. Para poder distinguir la red de distribución entre zonas, la nomenclatura se hace a continuación de la anterior. Por lo tanto, para esta área su nombramiento es:

- ✓ FD04_00_00(24)(1...24)
- ✓ FD05_00_00(24)(1...24)
- ✓ FD06_00_00(24)(1...24)

Para la distribución de los hilos de fibra óptica de distribución, se recomienda empezar por la NAP más cercana a las mangas troncales M_03 y M_04, es decir por B5.

La Figura 20-3 muestra la conexión entre la NAP más cercana y la manga troncal M_03 con sus respectivas especificaciones. (Ver Anexo C)

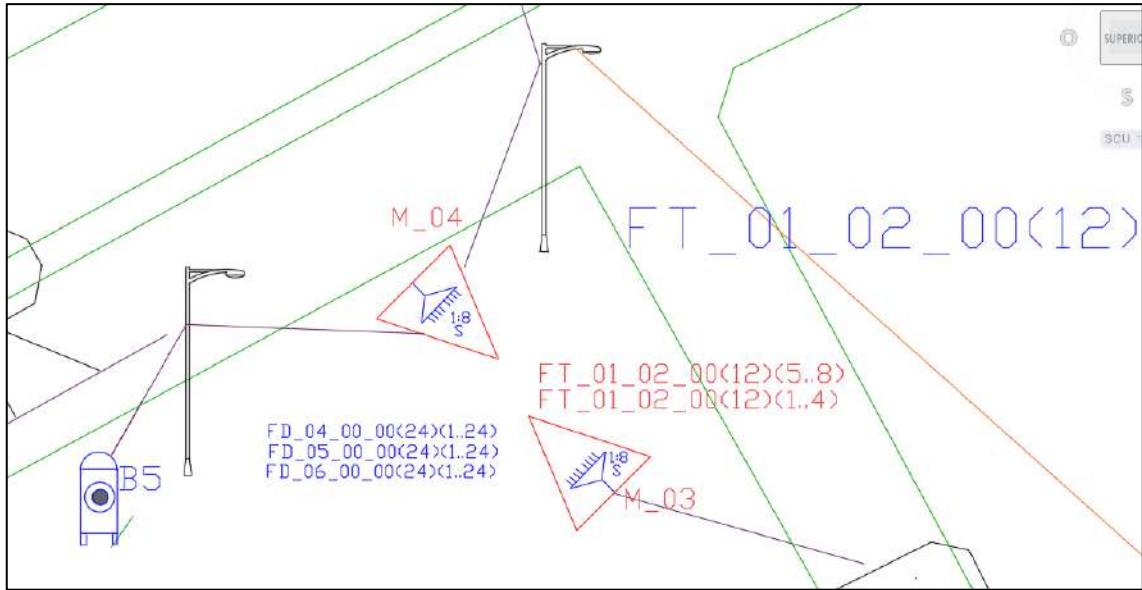


Figura 20-3. NAP más cercana a la MT_04
 Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

✓ **Red de distribución zona 3**

Para la zona 3, al usar 7 hilos de la red Feeder y cada uno conectados a un splitter 1:8 en total habrá 56 NAPs distribuidas a lo largo y ancho del lugar. Además de la nomenclatura que se da a la fibra de distribución, también es necesario identificar a las NAPs por letras alfanuméricas. La Figura 21-3 se observa la distribución de las 56 NAPs, cada una con su numeración respectiva.



Figura 21-3. Cajas de distribución ópticas para la M_05 y M_06
 Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Según la distribución de las NAPs de la Figura 21-3, se observa que hay numeración desde la A hasta la G, dejando el último hilo de fibra de la red feeder para el crecimiento de la red, es decir la nomenclatura H1 – H8. Como son 56 NAPs utilizadas y máximo 64, hay varias formas de determinar el tipo de cable de distribución, sin embargo, para el diseño se usa el cable de distribución de fibra óptica de 24 hilos, por lo que se necesita 3 de este tipo. Para poder distinguir la red de distribución entre zonas, la nomenclatura se hace a continuación de la anterior. Por lo tanto, para esta área su nombramiento es:

- ✓ FD07_00_00(24)(1...24)
- ✓ FD08_00_00(24)(1...24)
- ✓ FD09_00_00(24)(1...24)

Para la distribución de los hilos de fibra óptica de distribución, se recomienda empezar por la NAP más cercana a las mangas troncales M_05 y M_06, es decir por E5.

La Figura 22-3 muestra la conexión entre la NAP más cercana y la manga troncal M_05 con sus respectivas especificaciones. (Ver Anexo C)

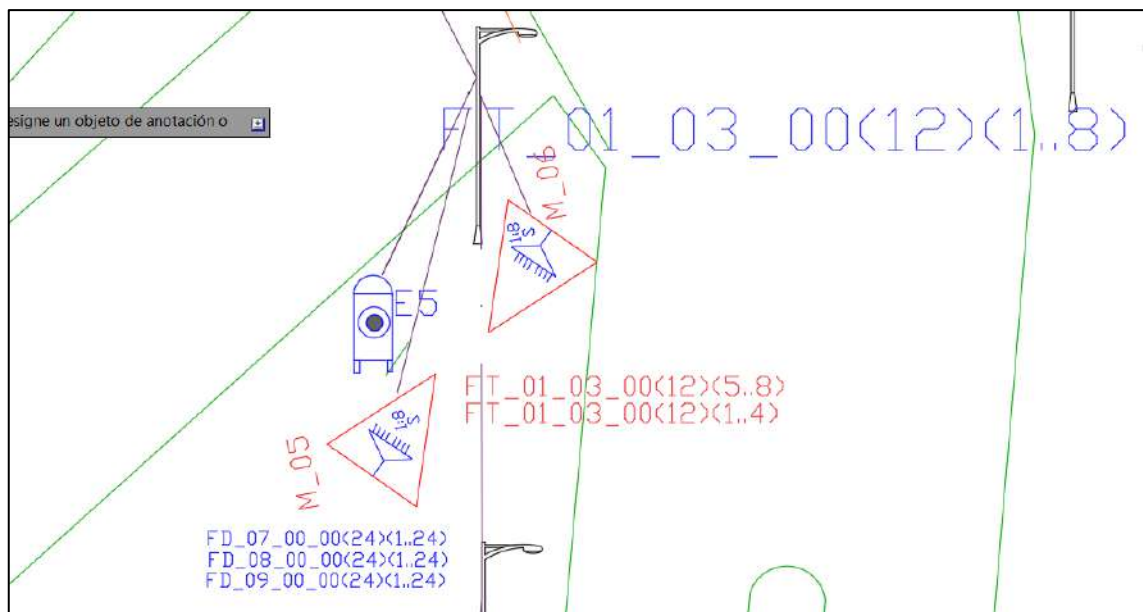


Figura 22-3. NAP más cercana a la MT_05
Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

✓ Red de distribución zona 4

Para la zona 4, al usar 7 hilos de la red Feeder y cada uno conectados a un splitter 1:8 en total habrá 56 NAPs distribuidas a lo largo y ancho del lugar. Además de la nomenclatura que se da la fibra de distribución, también es necesario identificar a las NAPs por letras alfanuméricas. La Figura 23-3 se observa la distribución de las 56 NAPs, cada una con su numeración respectiva.



Figura 23-3. Cajas de distribución ópticas para la M_05 y M_06

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Según la distribución de las NAPs de la Figura 23-3, se observa que hay numeración desde la A hasta la G, dejando el último hilo de fibra de la red feeder para el crecimiento de la red, es decir la nomenclatura H1 – H8. Como son 56 NAPs utilizadas y máximo 64, hay varias formas de determinar el tipo de cable de distribución, sin embargo, para el diseño se usa el cable de distribución de fibra óptica de 24 hilos, por lo que se necesita 3 de este tipo. Para poder distinguir la red de distribución entre zonas, la nomenclatura se hace a continuación de la anterior. Por lo tanto, para esta área su nombramiento es:

- ✓ FD10_00_00(24)(1...24)
- ✓ FD11_00_00(24)(1...24)
- ✓ FD12_00_00(24)(1...24)

Para la distribución de los hilos de fibra óptica de distribución, se recomienda empezar por la NAP más cercana a las mangas troncales M_07 y M_08, es decir por A3.

La Figura 24-3 muestra la conexión entre la NAP más cercana y la manga troncal M_07 con sus respectivas especificaciones. (Ver Anexo C)

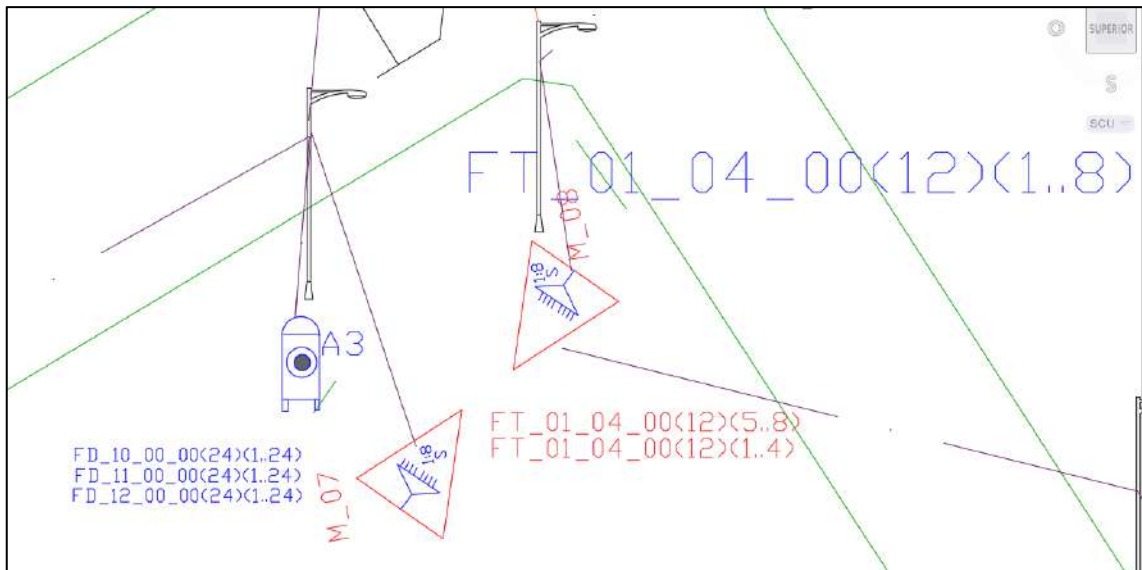


Figura 24-3. NAP más cercana a la MT_07

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

✓ **Red de distribución zona 5**

Para la zona 5, al usar 7 hilos de la red Feeder y cada uno conectados a un splitter 1:8 en total habrá 56 NAPs distribuidas a lo largo y ancho del lugar. Además de la nomenclatura que se da a la fibra de distribución, también es necesario identificar a las NAPs por letras alfanuméricas.

Según lo analizado en la red Feeder, esta zona no es continua debido a que cruza las vías del tren, por lo que se divide en 2 partes. La Figura 25-3 se observa la distribución de las 28 NAPs de la zona izquierda, mientras que la Figura 26-3 se observan las 28 NAPs restantes, cada una con su numeración respectiva.



Figura 25-3. Cajas de distribución ópticas para la M_09

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020



Figura 26-3. Cajas de distribución ópticas para la M_10

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Según la distribución de las NAPs de la Figura 25-3 y Figura 26-3, se observa que hay numeración desde la A hasta la G, dejando el último hilo de fibra de la red feeder para el crecimiento de la red, es decir la nomenclatura H1 – H8. Como son 56 NAPs utilizadas y máximo 64, hay varias formas de determinar el tipo de cable de distribución, sin embargo, para el diseño se usa el cable de distribución de fibra óptica de 24 hilos, por lo que se necesita 3 de este tipo.

Para poder distinguir la red de distribución entre zonas, la nomenclatura se hace a continuación de la anterior. Por lo tanto, para esta área su nombramiento es:

- ✓ FD13_00_00(24)(1...24)
- ✓ FD14_00_00(24)(1...24)
- ✓ FD15_00_00(24)(1...24)

Para la distribución de los hilos de fibra óptica de distribución, se recomienda empezar por la NAP más cercana a la manga troncal M_09, es decir A3 y M_10, es decir por F5.

La Figura 27-3 muestra la conexión entre la NAP más cercana y la manga troncal M_09 con sus respectivas especificaciones, mientras que la Figura 28-3 la NAP más cercana y la manga troncal M_10. (Ver Anexo C)

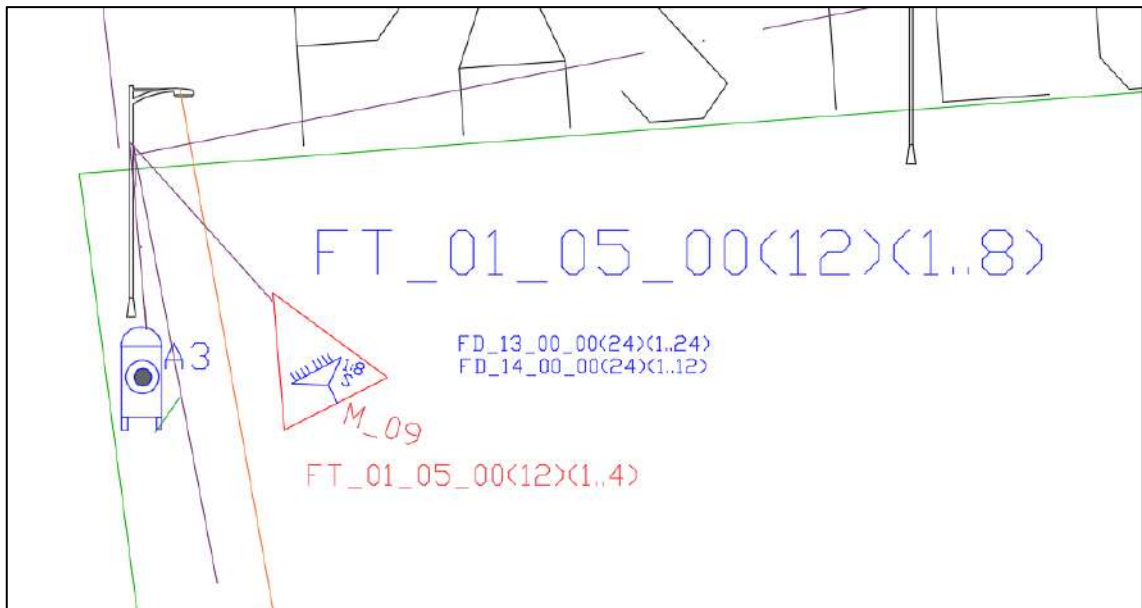


Figura 27-3. NAP más cercana a la MT_09

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

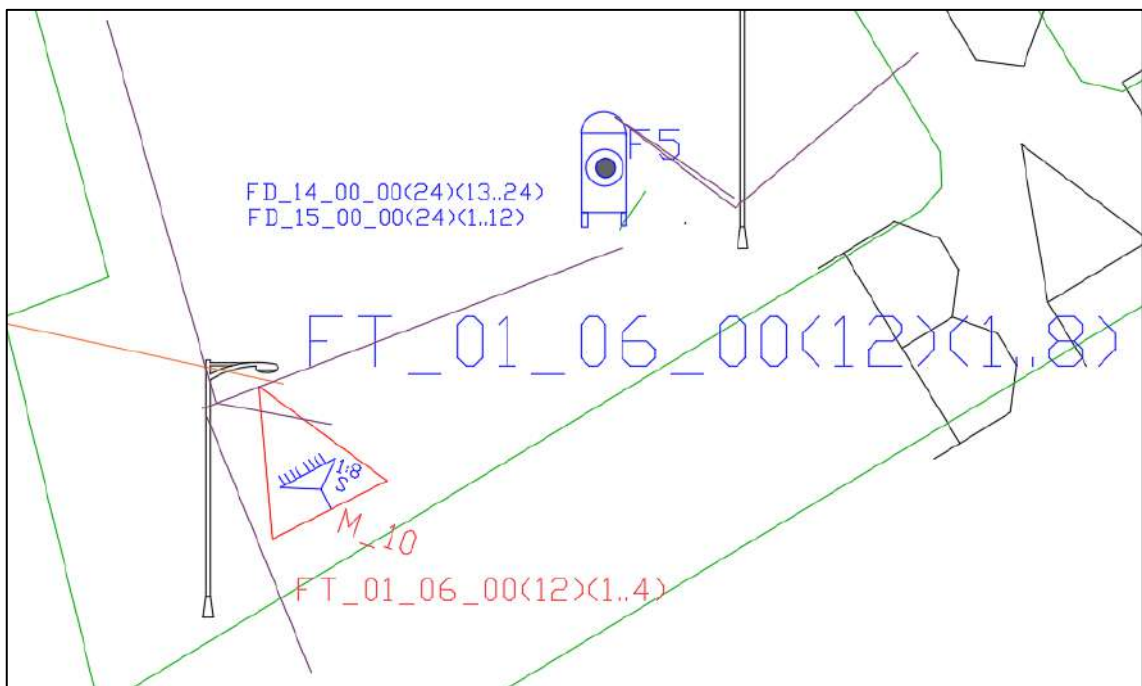


Figura 28-3. NAP más cercana a la MT_10

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

✓ **Red de distribución zona 6**

Para la zona 6, al usar 7 hilos de la red Feeder y cada uno conectados a un splitter 1:8 en total habrá 56 NAPs distribuidas a lo largo y ancho del lugar. Además de la nomenclatura que se da a la fibra de distribución, también es necesario identificar a las NAPs por letras alfanuméricas. La Figura 29-3 se observa la distribución de las 56 NAPs, cada una con su numeración respectiva.



Figura 29-3. Cajas de distribución ópticas para la M_11 y M_12

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Según la distribución de las NAPs de la Figura 29-3, se observa que hay numeración desde la A hasta la G, dejando el último hilo de fibra de la red feeder para el crecimiento de la red, es decir la nomenclatura H1 – H8. Como son 56 NAPs utilizadas y máximo 64, hay varias formas de determinar el tipo de cable de distribución, sin embargo, para el diseño se usa el cable de distribución de fibra óptica de 24 hilos, por lo que se necesita 3 de este tipo. Para poder distinguir la red de distribución entre zonas, la nomenclatura se hace a continuación de la anterior. Por lo tanto, para esta área su nombramiento es:

- ✓ FD16_00_00(24)(1...24)
- ✓ FD17_00_00(24)(1...24)
- ✓ FD18_00_00(24)(1...24)

Para la distribución de los hilos de fibra óptica de distribución, se recomienda empezar por la NAP más cercana a las mangas troncales M_11 y M_12, es decir por B4.

La Figura 30-3 muestra la conexión entre la NAP más cercana y la manga troncal M_11 con sus respectivas especificaciones. (Ver Anexo C)

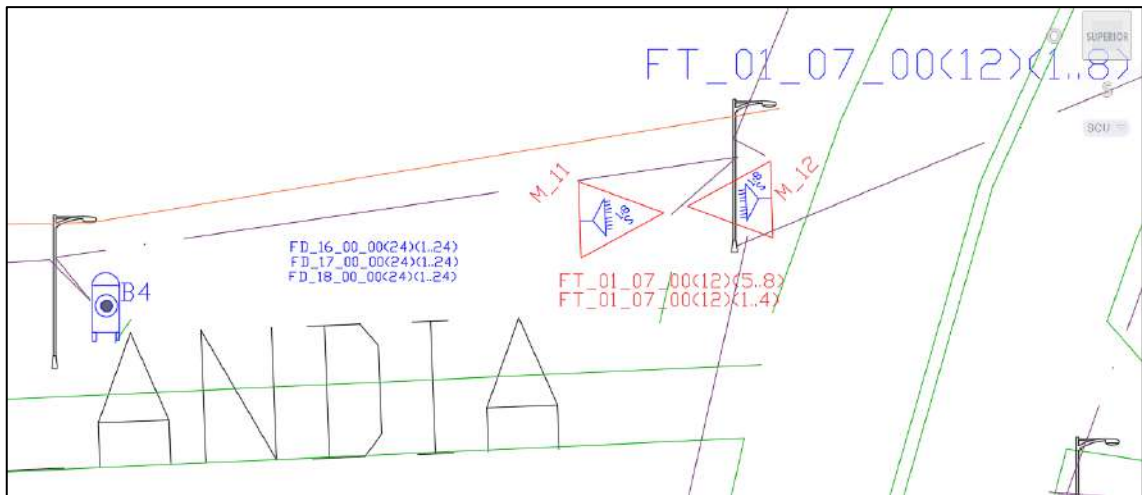


Figura 30-3. NAP más cercana a la MT_11

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

3.8.4.5. Red de dispersión

Comprende el canal de comunicación entre el segundo nivel de splitteo y el usuario final, en donde se fusiona con el conector de la roseta óptica. Para evitar pérdidas es necesario usar equipos pasivos cuyos conectores y pulidos sean SC/APC, según lo recomendado por la normativa de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT)

La Figura 31-3 se observa una parte de la red XG-PON complementada con la simbología del cliente, es decir con su roseta óptica y equipo de abonado (Ver Anexo C)



Figura 31-3. Red de dispersión

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

3.8.4.6. Red interna

Comprende el canal de comunicación que hay en el hogar del abonado, es decir entre la roseta óptica y el equipo de terminal óptica (ONT-ONU), coloquialmente conocido como router o modem el cual se lo debe colocar en un lugar específico para una correcta cobertura. La Figura 32-3 se observa la simbología que corresponde tanto a la roseta óptica como a la ONT, utilizada para el diseño de la red XG-PON.

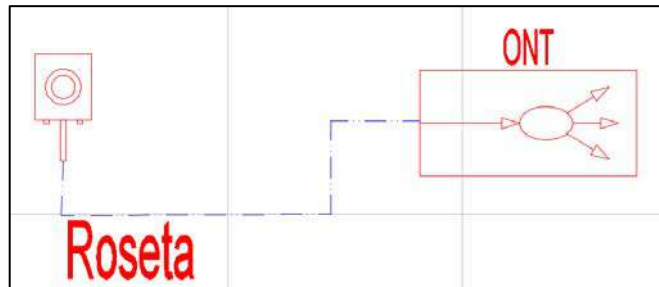


Figura 32-3. Red interna

Realizado por: (CRUZ, 2019 pág. 60)

3.8.5. Análisis del ancho de banda

Según la Tabla 5-3, la capacidad requerida en el sector residencial y corporativo es de 33 Mbps y 63 Mbps respectivamente, por lo que es importante determinar si la relación de división provocada por los splitters otorga un canal de comunicación a cada usuario con un ancho de banda adecuado para sus servicios. Al utilizar la tecnología XG-PON1, es decir una velocidad de cada puerto de la OLT de downstream de 10 Gbps y de upstream de 2.4 Gbps, por lo que es una red asimétrica.

En la red FTTH se determinó que en cada zona se usa en la red troncal splitters 1:8 mientras que en la de distribución se usa splitters 1:16, teniendo de esta forma una relación de 1:128 en total por cada puerto del equipo transmisor.

Para determinar cuál es el ancho de banda en cada sección de la red XG-PON se usa la siguiente ecuación:

$$AB_{fibra} = Velocidad\ de\ bajada * Relación\ de\ splitteo \quad (6)$$

✓ Red troncal

Al ser el enlace de comunicación entre la OLT u ODF y el primer nivel de splitteo el ancho de banda es el establecido por el estándar G.987.1, es decir 10 Gbps de downstream y 2.4 Gbps de upstream.

✓ Primer nivel de splitteo

Al utilizar en las mangas troncales splitters con relación 1:8, el ancho de banda que se usa la fibra de distribución es:

$$AB_{fibra} = (10 \text{ Gbps}) * \frac{1}{8} = 1.25 \text{ Gbps (Downstream)}$$

$$AB_{fibra} = (2.4 \text{ Gbps}) * \frac{1}{8} = 300 \text{ Mbps (Upstream)}$$

✓ Segundo nivel de splitteo

Al utilizar en las cajas de distribución ópticas (NAP) splitters con relación 1:16, el ancho de banda que se usa la fibra de dispersión es:

$$AB_{fibra} = (1.25 \text{ Gbps}) * \frac{1}{16} = 78.125 \text{ Mbps (Downstream)}$$

$$AB_{fibra} = (300 \text{ Mbps}) * \frac{1}{16} = 18.75 \text{ Mbps (Upstream)}$$

Por ende, cada canal de comunicación del usuario final es de 78 Mbps, cumpliendo con los requisitos establecidos.

Una vez determinada la cantidad de splitters a utilizar en cada zona y los niveles de relación de splitteo se realiza el diagrama lógico de la red, la Figura 33-3 se observa dicho diagrama.

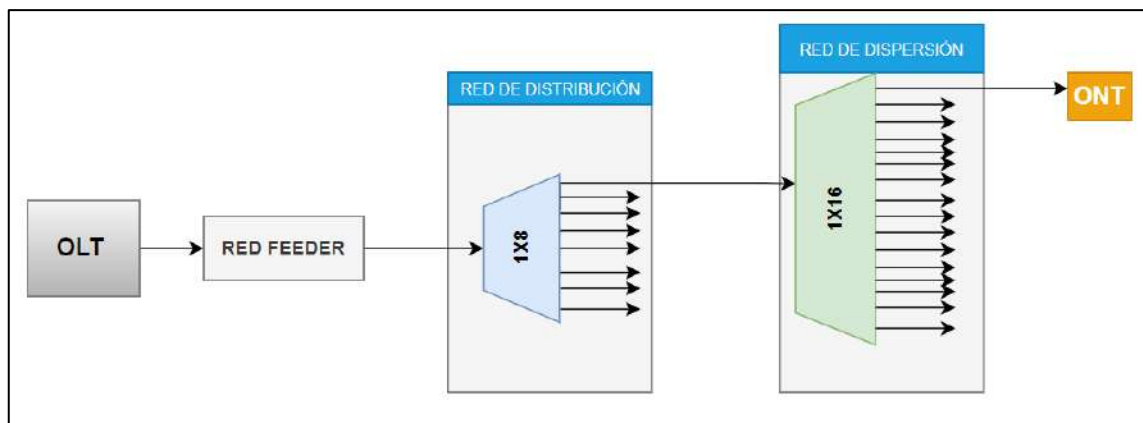


Figura 33-3. Diagrama Lógico de la red XG-PON

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

3.9. Diseño físico de la red FTTH

El diseño físico consiste en determinar cuáles serán los equipos a utilizar en la red XG-PON. Como se ha mencionado, una red FTTH está compuesta por equipos activos y pasivos. La Figura 34-3 se observa la clasificación de estos elementos.

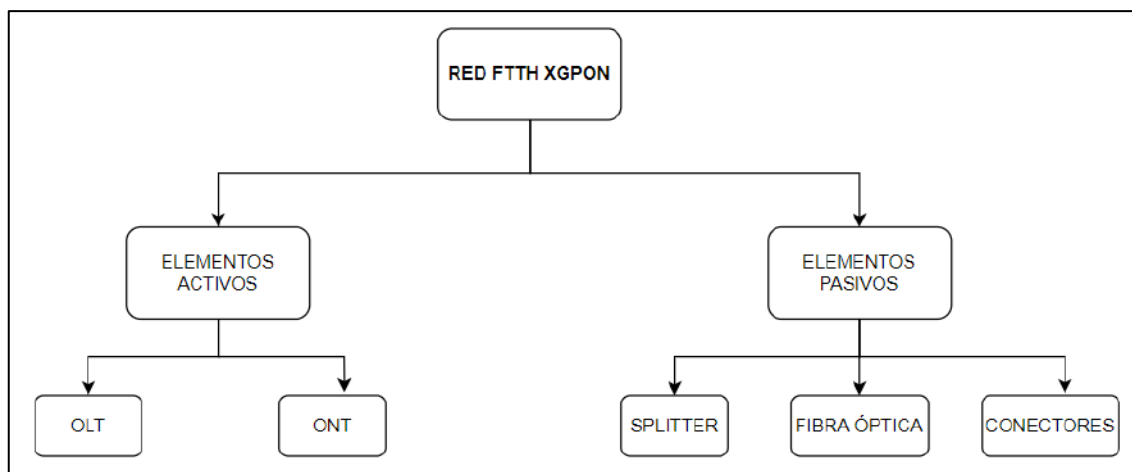


Figura 34-3. Clasificación de elementos activos y pasivos

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

En el mercado de las Telecomunicaciones existe una gran cantidad de empresas que fabrican y ofertan los elementos de las FTTH, a continuación, se describe los equipos de la red FTTH XGPON a utilizar.

3.9.1. Elementos activos

Compete a los equipos que se encuentran en los extremos de la comunicación, es decir, el transmisor u OLT ubicado en la planta interna u oficina central y el receptor u ONT, en el hogar del abonado.

3.9.1.1. OLT

Dado que se utiliza tecnología XG-PON, cada puerto del transmisor debe soportar un mayor ancho de banda que su tecnología antecesora GPON, por lo que se estudiará el equipo OLT *Huawei MA5800-X17*. Este equipo activo es el ideal para las redes que tienen mayores tasas de transferencia de datos y por ende un mayor ancho de banda en el canal de comunicación.

Huawei proporciona equipos OLT capaz de soportar protocolos que brinden seguridad y calidad del servicio al usuario como *HTTPS* (Protocolo de Transferencia de Hiper-Texto segura), *SSH* (*Secure Shell*).

Una de las ventajas que posee la OLT *Huawei MA5800-X17* es la coexistencia entre las tecnologías GPON y XG-PON, de poder funcionar en cualquier red FTTH, es decir FTTH, FTTB, FTTC, FTTN, además de poder centralizar todo el tráfico de todos los equipos del exterior como ONTs, MDUs, *switches*, permitiendo tener una arquitectura de red más simplificada.

La Figura 35-3 muestra al equipo *Huawei MA5800-X17*.



Figura 35-3. Equipo OLT *Huawei MA5800-X17*

Fuente: (Huawei, 2019)

Las especificaciones de esta OLT se resumen en la Tabla 6-3.

Tabla 6-3: Especificaciones de la OLT Huawei MA5800-X17

Parámetro	Especificación
Dimensiones (WxDxH)	493 mm x 287 mm x 486 mm
Capacidad de conmutación del sistema	7 Tbit / s
Número máximo de puertos en un subrack	272 x GPON / 136 x 10G GPON
Temperatura ambiente	-40° C a 65 °
Rango de voltaje de trabajo	-38.4V CC a -72 V CC

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Esta OLT además posee los siguientes elementos:

- ✓ Tarjetas de *Uplink* para la conexión del equipo con la red de datos
- ✓ Tarjetas de servicio de 16 puertos 10G-PON cada una
- ✓ Tarjetas de poder para regular su energía con los -38 a -72 V requeridos
- ✓ Tarjetas de control con el fin de lograr una gestión del equipo.

Las tarjetas de servicio son las *H901XGSF*, cada una posee 16 puertos con la capacidad de conectar 128 usuarios cada una. La Figura 36-3 muestra como son estas tarjetas de servicio, la cual utiliza conectores de fibra óptica tipo SC – PC de color azul. Estos puertos de la tarjeta deben ser conectados hacia el ODF de la red troncal para de ahí conectar el primer splitter.

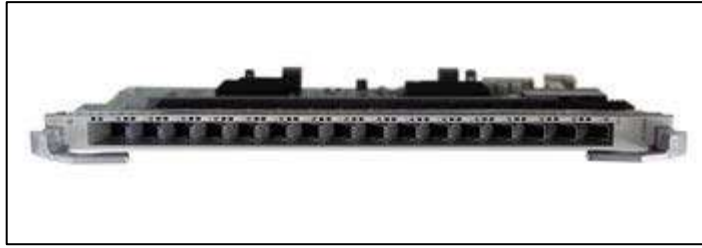


Figura 36-3. Tarjeta de servicio *H901XGSF*

Fuente: (ROUTER-SWITCH, 2019)

Algunas de las características más importantes que posee este modelo son:

- ✓ Da una mejor experiencia de video 4K / 8K / VR, otorgando un inicio rápido de video o cambiar el canal.
- ✓ Permite virtualizar la infraestructura, con el objetivo de tener OLT virtuales dedicadas a un único servicio.
- ✓ Permite escalabilidad de la red.

3.9.1.2. *ONT*

Consiste en el equipo receptor ubicado en la localidad de cada cliente. Este elemento activo deberá contar con las siguientes características con el fin de otorgar una correcta calidad de servicio:

- ✓ Debe ser compatible con el estándar G.987.X es decir XG-PON.
- ✓ Debe contar con los puertos necesarios para ofrecer el servicio de *Triple Play*.
- ✓ Debe tener instaurado un láser transmisor DFB para fibras ópticas monomodo.

Para el diseño de la red FTTH, se utiliza una ONT de la misma marca de la OLT, la Huawei *HN8M038055Q*, este equipo tiene la capacidad de satisfacer las necesidades del usuario final, la Figura 37-3 muestra a este modelo de ONT.



Figura 37-3. ONT *HN8M038055Q*

Fuente: (ROUTER-SWITCH, 2020)

Las especificaciones de esta ONT se resumen en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3: Especificaciones de la ONT Huawei *HN8M038055Q*

Parámetro	Especificación
Dimensiones (WxDxH)	238 mm x 190 mm x 26 mm
Puertos de red	XG-PON
Puertos	4 GE + 1* 10GE + 2.4G y 5G Wi-Fi + 2USB
Temperatura ambiente	0 ° C hasta + 40 ° C
Fuente de alimentación	12 V CC, 3 A
Cobertura	150 m
Peso	850 g
Consumo máximo de energía	< 34 W

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Los parámetros técnicos de los puertos de la ONT se resumen en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3: Especificaciones de los puertos ONT Huawei *HN8M038055Q*

Parámetro	Especificación
PUERTO XG-PON	
Clase	N1 / N2a
Sensibilidad del receptor	-28 dBm
Longitud de onda	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Upstream:</i> 1260-1280nm • <i>Downstream:</i> 1575-1580nm
PUERTO ETHERNET	
VLAN	Etiquetas VLAN basadas en puertos Ethernet y eliminación de etiquetas
Direcciones MAC	Aprendizaje de direcciones MAC
WLAN	
Protocolo	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.11 b / g / n (2.4G) • IEEE 802.11 a / n / ac (5G)
Seguridad	WPS
Interconexión inteligente	Cobertura de Wi-Fi inteligente

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

3.9.2. Elementos pasivos

Compete a los equipos que se encuentran entre el transmisor u OLT y receptor u ONT, como los distribuidores de fibra óptica (ODF), divisores de potencia o *splitters* albergados en las mangas

troncales o puntos de acceso a la red (NAP), conectores, roseta y fibra óptica. A continuación, se detalla la selección de equipos para cada elemento pasivo:

3.9.2.1. Distribuidores de fibra óptica (ODF)

Permite la conexión entre la planta interna en donde se encuentra la OLT y la plata externa donde se encuentra el resto de la red FTTH. Para el presente trabajo se utiliza ODF de la marca *TYCO* debido a que es la marca más utilizada en el país. La Figura 38-3 muestra como es el ODF, mientras que la Tabla 9-3 sus características.



Figura 38-3. ODF *TYCO* de 96 puertos

Fuente: (GLOBALELECTRIC, 2020)

Tabla 9-3: Características del ODF *TYCO*

Parámetro	Especificación
Número de puertos	12, 24, 36, 48, 72, 96
Tipo de conector / pulido	SC, FC, LC (APC, UPC)
Bandejas removibles	Si

Fuente: (GLOBALELECTRIC, 2020)

3.9.2.2. Divisores de potencia o power splitters

Permiten distribuir la potencia del transmisor y ancho de banda de cada puerto de manera uniforme. Una de las ventajas que poseen estos equipos es que un mismo ancho de banda puede ser compartido por varios usuarios, y a la vez una desventaja de los splitters es que la potencia disminuye por la distribución, lo que se traduce a inserción de pérdidas. La Tabla 10-3 muestra las pérdidas que provocan cada uno de los splitters según su relación.

Tabla 10-3: Pérdidas de los splitters según su relación

Nivel de división de potencia	Pérdidas (dB)
1:64	19.5
1:32	16.5

1:16	13.5
1:8	10.0
1:4	7.0
1:2	3.6

Fuente: (Draka, 2009, p. 20)

Es recomendable utilizar splitters de no tanto niveles para tener un mejor despliegue de la red y un correcto mantenimiento. Para la red FTTH se ha utilizado 2 tipos de splitters, 1:8 en las mangas troncales y 1:16 en las NAPs.

Para el diseño presente de la red XG-PON se usarán splitters de la marca *Huawei* con el fin de que haya una relación entre los equipos activos ya que se usa la misma marca, de no conseguirlos se puede optar por la marca *OptyTECH* ya que ofrece características muy similares. La Figura 39-3 muestra como es un splitter 1:8.



Figura 39-3. Splitter 1:8 *Huawei*

Fuente: (OPTYTECH, 2018)

3.9.2.3. Rack de ODFs

Consiste únicamente de un armario metálico en donde se almacenarán las ODFs. Dado que la red FTTH de la parroquia La Merced se distribuyó 96 hilos para el lado oeste de la zona y 48 para la zona este, es necesario utilizar este equipo para un mejor control y cuidado.

Como se está utilizando ODFs *TYCO*, lo recomendable es utilizar los Rack de la misma marca. La Figura 40-3 se observa como es el armario.



Figura 40-3. Rack de ODFs

Fuente: (GLOBALELECTRIC, 2020)

3.9.2.4. Mangas troncales

Consiste únicamente de una caja donde se almacenan los splitters de primer nivel posterior a realizar el sangrado de la red *feeder*, por lo general se instalan en los postes o ductos subterráneos. Para el diseño realizado, se ha utilizado splitters 1:8, lo que el equipo más adecuado es el *GP01-H9JM4* de la marca *OptyTECH*. La Figura 41-3 muestra al elemento pasivo, mientras que la Tabla 11-3 las características técnicas.

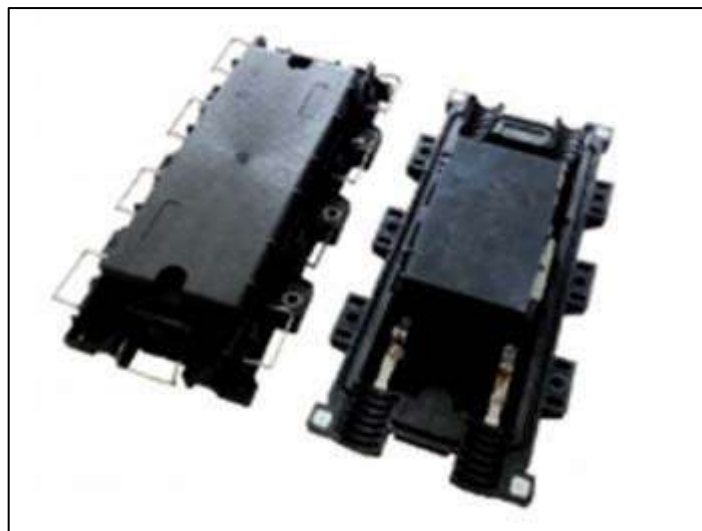


Figura 41-3. Manga troncal *GP01-H9JM4*

Fuente: (OPTYTECH, 2020)

Tabla 11-3: Características de la NAP JFOPP - PDB0216

Parámetro	Especificación
Sellado	Mecánico
Instalación	Simple instalación, rentable y reutilizable
Despliegue	Entornos aéreos, subterráneos o enterrados directamente.
Numero de hilos	Hasta 96 empalmes

Fuente: (OPTYTECH, 2020)

3.9.2.5. Punto de acceso a la red (NAP)

Consiste únicamente de una caja donde se almacenan los splitters de segundo nivel, por lo general se instalan en los postes o paredes de las casas. Para el diseño realizado, se ha utilizado splitters 1:16, por lo que la NAP más adecuada es la *JFOPP - PDB0216* de la marca *OptyTECH*. La Figura 42-3 muestra al elemento pasivo, mientras que la Tabla 12-3 las características técnicas.

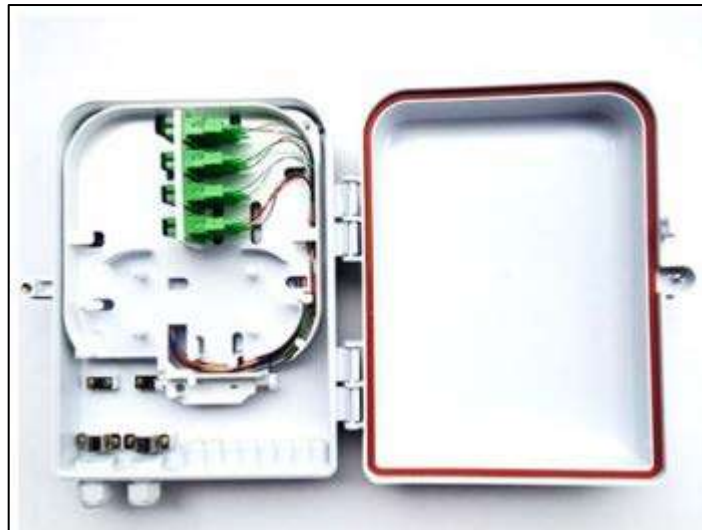


Figura 42-3. NAP con splitter 1:16

Fuente: (OPTYTECH, 2020)

Tabla 12-3: Características de la NAP JFOPP - PDB0216

Parámetro	Especificación
Material	Plástico de alto impacto
Alojamiento	Splitters PLC de 1x8 y 1x16
Resistencia	Rayos UV, lluvia, ambiente salinos y ácidos.
Montaje	Pared y poste
Conector	SC/APC
Uso en redes	FTTH, CATV, LAN.

Fuente: (OPTYTECH, 2020)

3.9.2.6. Roseta óptica

Consiste únicamente de una caja plástica ubicada dentro del hogar del cliente, en la cual se conecta la fibra proveniente de las NAPs, para posteriormente conectarlo hacia la ONT. La roseta a utilizar ha sido igualmente de la marca OptyTECH. La Figura 43-3 muestra el modelo de la roseta óptica escogida.



Figura 43-3. Roseta óptica

Fuente: (OPTYTECH, 2018)

3.9.2.7. Conector SC/APC

Permite una conexión entre la fibra óptica y un elemento pasivo, la Figura 44-3 se observa como es el conector SC/APC mientras que la Tabla 13-3 sus características.



Figura 44-3. Conector SC/APC

Fuente: (ALCAD, 2018, p. 1)

Tabla 13-3: Características del conector SC/APC

Parámetro	Especificación
Tipo de fibra	Monomodo
Perdidas	0.4 dB
Temperatura	-40 °C - +70 °C
Peso	0.01 Kg

Dimensiones	110 mm – 110mm – 5mm
-------------	----------------------

Fuente: (ALCAD, 2018, p. 1)

3.9.2.8. Patchcord de fibra óptica

Permite conectar a la roseta con el equipo receptor u ONT. Para el diseño de la red XG-PON se utiliza este elemento de la marca OptyTECH. La Figura 45-3 muestra como es un *patchcord* de fibra, mientras que la Tabla 14-3 sus características.



Figura 45-3. Patchcord de Fibra Óptica

Fuente: (OPTYTECH, 2020)

Tabla 14-3: Características del Patchcord de Fibra Óptica

Parámetro	Especificación
Tipo de fibra	Monomodo (G652D o G655C)
Diámetro de la chaqueta	2mm – 3mm
Pérdida de inserción	0.2 dB
Durabilidad	1000 conexiones
Longitud	3, 5, 10, 15, 20 m

Fuente: (ALCAD, 2018, p. 1)

3.9.2.9. Fibra óptica

A diferencia de los anteriores elementos pasivos, la fibra óptica debe cumplir una cierta cantidad de parámetros los cuales se encuentran detallados en el estándar de la ITU G.65X. A continuación, se detalla las características de la fibra según la red FTTH.

✓ Red *feeder* y de distribución

Para estas 2 redes, sus características se encuentran en el estándar UIT-T G.652 e UIT-T G.655, ver Anexo E, las cuales expresan que sin fibras monomodo. La Tabla 15-3 muestra los parámetros más importantes de ambos estándares.

Tabla 15-3: Parámetros de los estándares UIT-T G.652 e UIT-T G.655

Parámetro	G.655	G.652
Coefficiente de dispersión	8	17
Longitud	20 Km	20 Km
Ancho espectral de la fuente	0.2 nm	0.2 nm
Dispersión cromática	32[ps]	0,068[ns]
Ancho de banda	15,625 Gbps	7,352 Gbps

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Dado que se está diseñando una red FTTH con tecnología XG-PON, la cual brinda un ancho de banda de 10 Gbps, la fibra óptica más recomendable a utilizar sería la G.655 para la red *feeder* de la marca Furukawa, mientras que la otra fibra puede ser utilizada para la red de distribución.

✓ Red de dispersión

Para esta red, sus características se encuentran en el estándar UIT-T G.657. Esta fibra es la más manipulada de las anteriores, debido a que es el tramo que se conecta hacia la roseta de cada usuario además de proporcionar un fácil manejo de instalación. Para el presente diseño se utiliza fibra de dispersión bajo el estándar UIT-T G.657 marca Furukawa.

3.10. Presupuesto óptico del enlace

Como la red FTTH está compuesta tanto de equipos activos como pasivos, estos últimos provocan que la potencia del transmisor disminuya cada vez que atraviesa uno de estos elementos, es decir, se están insertando pérdidas.

El presupuesto óptico permite realizar un análisis de cuánto es la pérdida total que se está insertando a la red, y determinar si se encuentra en los rangos de atenuación aceptables, de lo contrario realizar las debidas configuraciones como reemplazar los divisores de potencia o *splitters* o conectores, realizar mejores fusiones a la fibra, aumentar la potencia del transmisor, etc.

3.10.1. Diagrama de elementos de la red XG-PON

La Figura 46-3 muestra la red FTTH XG-PON, representado en bloques cada uno de los elementos activos o pasivos que existen entre el transmisor y cada usuario o cliente. Como podemos observar en medio de la comunicación se encuentran los 2 niveles de división de potencia o *splitters* los cuales son conectados a la fibra óptica mediante un conector y una fusión a cada extremo. Existe además una fusión proveniente de la red *feeder* la cual se denomina sangrado, el cual consiste únicamente de extraer de los buffers de fibra óptica los hilos necesarios para dar cobertura a la zona. Finalmente existe una fusión con la roseta óptica el cual se conecta al patchcord del equipo receptor.

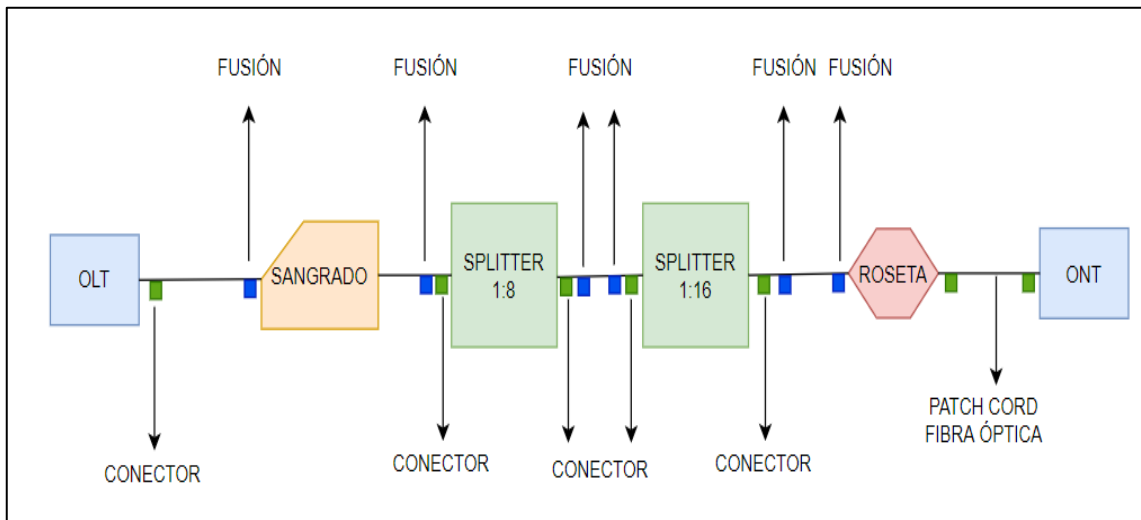


Figura 46-3. Representación de los equipos activos y pasivos de la red XG-PON

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Se considera además un margen de guarda de 3dB, el cual ayuda a prever inserción de pérdidas en el futuro, como serían nuevas fusiones, conectores, intercambio de *splitters*, etc. Este parámetro al igual que los demás equipos pasivos se considera como una pérdida de potencia.

La Tabla 16-3 muestra de manera resumida, todos los elementos pasivos que provocan pérdidas con sus respectivas cantidades.

Tabla 16-3: Valores de atenuación de los equipos pasivos de la red XG-PON

Elemento pasivo de la red		Atenuación (dB)	Cantidad
Conectores		0.4 dB	5
Fusiones		0.1 dB	6
<i>Splitters</i>	1:8	10 dB	1
	1:16	13.5 dB	1
Fibra óptica	1577 nm	0.4 dB/km	-
Margen de guarda		3 dB	1
Patchcord		0.2 dB	1

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

En base a los parámetros de la Tabla 16-3 se utiliza la siguiente fórmula para calcular las pérdidas totales de un usuario, para cada zona.

$$At = A_f + L_c + L_e + A_{sp1} + A_{sp2} + Ms \quad (7)$$

Donde:

✓ At = Atenuación total

- ✓ A_f = Atenuación de la fibra
- ✓ L_c = Pérdida total de conectores
- ✓ L_e = Pérdida total de empalmes
- ✓ A_{sp1} = Atenuación del primer nivel de splitteo
- ✓ A_{sp2} = Atenuación del segundo nivel de splitteo
- ✓ Ms = Margen de seguridad

Para los cálculos se toma a consideración la recomendación de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), referente a la reserva 30 metros de fibra óptica cada 500 metros para futuros mantenimientos. (Telecomunicaciones, 2012, pág. 25)

Una vez calculado la atenuación total se procede a realizar el balance de potencia, es decir, comprobar que la potencia recibida sea superior a la sensibilidad del equipo. Para este análisis se usa la siguiente fórmula

$$P_{rx} \leq P_{tx} - At \quad (8)$$

Donde:

- ✓ P_{rx} = Sensibilidad del equipo receptor
- ✓ P_{tx} = Potencia del transmisor
- ✓ At = Pérdida total de conectores

3.10.2. Rango de atenuación

Según la recomendación ITU-T G.987.2, al equipo transmisor u OLT y receptor u ONT debe recibir una cierta cantidad de pérdidas obligatorias. La Tabla 17-3 muestra el rango de atenuación según la clase.

Tabla 17-3: Rango de atenuación para XG-PON según su clase

Clase	Pérdida mínima (dB)	Pérdida máxima (dB)
Nominal 1 (N1)	14	29
Nominal 2 (N2)	16	31
Extendido 1 (E1)	18	33
Extendido 2 (E2)	20	35

Fuente: (ITU-T, 2016, p. 6)

Los equipos activos traen en sus especificaciones o *datasheets* bajo que clase están fabricados, porque, si las pérdidas son mayores a las permitidas, no podría funcionar ningún servicio *Triple*

Play. De igual manera, si las pérdidas recibidas son inferiores a la atenuación mínima, se tiene el riesgo de que el equipo receptor se deteriore.

Para el diseño de la red FTTH se adoptará la clase N2, según lo analizado en las especificaciones técnicas de la OLT y ONT de la Tabla 8-3.

3.10.3. Presupuesto de pérdidas

A continuación, se realizan los cálculos para determinar si las pérdidas del usuario más lejano y cercano se encuentran en el rango de atenuación de la clase N2. El único parámetro a variar en cada cliente es la distancia o cantidad de fibra óptica a utilizar.

✓ Cálculo del usuario más cercano

El usuario más cercano se encuentra en la zona 5 a una distancia de 0.21 km de la OLT, adicionalmente se le debe incluir los 30 metros se reserva, por lo que la distancia total es de 0.24 km. Reemplazando los datos de la Tabla 16-3 en la fórmula (7) tenemos:

$$At = \left(0.24 \text{ km} * \frac{0.4 \text{ dB}}{\text{km}}\right) + (5 * 0.4 \text{ dB}) + (6 * 0.1 \text{ dB}) + 10 \text{ dB} + 13.5 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$$

$$**At = 29.20 dB**$$

Por lo tanto, con 29.20 dB, la ONT recibe las pérdidas necesarias según las especificaciones de la clase N2.

✓ Cálculo del usuario más lejano

El usuario más lejano se encuentra en la zona 6 se encuentra a una distancia de 1.82 km de la OLT, adicionalmente se le debe incluir los 90 metros se reserva, por lo que la distancia total es de 1.91 km. Reemplazando los datos de la Tabla 16-3 en la fórmula (7) tenemos:

$$At = \left(1.91 \text{ km} * \frac{0.4 \text{ dB}}{\text{km}}\right) + (5 * 0.4 \text{ dB}) + (6 * 0.1 \text{ dB}) + 10 \text{ dB} + 13.5 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$$

$$**At = 29.86 dB**$$

Por lo tanto, con 29.86 dB, la ONT recibe las pérdidas necesarias según las especificaciones de la clase N2.

La Tabla 18-3 muestra la atenuación que recibe el usuario más cercano y distante de cada zona y la distancia de separación de la OLT.

Tabla 18-3: Atenuación del usuario más cercano y lejano de cada zona

ZONA	USUARIO	Distancia (km)	Atenuación (dB)
1	Más cercano	0.88	29.45
	Más lejano	1.48	29.69
2	Más cercano	0.48	29.29
	Más lejano	0.82	29.43
3	Más cercano	0.45	29.28
	Más lejano	1.06	29.52
4	Más cercano	0.56	29.32
	Más lejano	1.12	29.55
5	Más cercano	0.24	29.20
	Más lejano	1.26	29.60
6	Más cercano	1.07	29.53
	Más lejano	1.91	29.86

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

En resumen, en toda la parroquia La Merced los usuarios tendrán pérdidas entre 29.20 dB a 29.86 dB. Al no haber mucha diferencia entre las pérdidas del usuario más lejano y cercano de entre todas las zonas, se confirma que hay una correcta ubicación tanto de la OLT como de las mangas troncales y NAPs.

3.10.4. Cálculo del balance de potencias

A continuación, se determina si la potencia recibida en el equipo de cada usuario es superior a la sensibilidad del receptor. Según la recomendación ITU-T G.987.2, la sensibilidad del receptor al utilizar la clase N2 debe ser de -28 dBm (ITU-T, 2016, p. 7), por lo que cada fabricante debe regirse a esa norma, mientras que la potencia del transmisor se debe encontrar entre los +4 dBm a +8 dBm. (ITU-T, 2016, p. 8)

Para los cálculos se utiliza 5 dBm como potencia del transmisor.

✓ Cálculo del usuario más cercano

Reemplazando los datos de la atenuación total, sensibilidad del receptor y potencia del transmisor en la fórmula (8) tenemos:

$$-28 \text{ dBm} \leq 5 \text{ dBm} - 29.20 \text{ dB}$$

$$\mathbf{-28 \text{ dBm} \leq -24.20 \text{ dBm}}$$

Por lo tanto, con -24.20 dBm, la ONT recibe una potencia óptima según las especificaciones de la clase N2.

✓ **Cálculo del usuario más lejano**

Reemplazando los datos de la atenuación total, sensibilidad del receptor y potencia del transmisor en la fórmula (8) tenemos:

$$-28 \text{ dBm} \leq 5 \text{ dBm} - 29.86 \text{ dB}$$

$$\mathbf{-28 \text{ dBm} \leq -24.86 \text{ dBm}}$$

Por lo tanto, con -24.86 dBm, la ONT recibe una potencia óptima según las especificaciones de la clase N2.

La Tabla 19-3 muestra la potencia que recibe el usuario más cercano y distante de cada zona.

Tabla 19-3: Potencia de recepción del usuario más cercano y lejano de cada zona

ZONA	USUARIO	Distancia (km)	Potencia (dBm)
1	Más cercano	0.88	-24.45
	Más lejano	1.48	-24.69
2	Más cercano	0.48	-24.29
	Más lejano	0.82	-24.43
3	Más cercano	0.45	-24.28
	Más lejano	1.06	-24.52
4	Más cercano	0.56	-24.32
	Más lejano	1.12	-24.55
5	Más cercano	0.24	-24.20
	Más lejano	1.26	-24.60
6	Más cercano	1.07	-24.53
	Más lejano	1.91	-24.86

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

En resumen, la potencia de recepción de cualquier usuario de la parroquia La Merced se encontrará entre -24.20 dB a -24.86 dBm y dado que la sensibilidad del receptor es de -28 dBm, se concluye todos los usuarios de todas las zonas tendrán servicio.

3.11. Simulación de la red

Para el proceso de simulación, se trabaja con el software de simulación Optisystem de la empresa Optiwave. Este software al ser diseñado por una empresa es necesario adquirir una licencia para

instalarlo y utilizarlo, sin embargo, ofrece una versión gratuita de treinta días, tiempo suficiente para desarrollar la simulación de la red.

Optisystem se presenta como una herramienta que contribuye al diseño de enlaces de transmisiones ópticas, los resultados obtenidos tienen un gran porcentaje de aproximación a los resultados reales, esto permite realizar pruebas, análisis de calidad, detección de errores, experimentar con nuevas configuraciones a nuevas distancias, nuevas distribuciones e implementación de nuevos dispositivos. (Ordoñez, 2015, pp. 75-77)

Por lo tanto, Optisystem permite comprobar los resultados teóricos del balance de potencias que se calculó en la sección 3.10.4, de los usuarios más lejanos y cercanos de cada zona.

3.11.1. Análisis del software de simulación Optisystem

Creado por la empresa Optiwave, en un programa de simulación que permite comprobar el diseño de redes PON. Los resultados entregados por el software tienen un porcentaje de aproximación a los reales. Este software trabaja con una interfaz gráfica de fácil comprensión para el usuario.

Las características que posee Optisystem son:

- ✓ Capacidad de diseño y simulación de redes ópticas
- ✓ Capacidad de simulación como: mezcla de 4 longitudes de onda, modulación cruzada de fase o de auto-fase.

Las principales herramientas de análisis de resultados son (Optiwave):

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

La Figura 47-3 muestra la interfaz gráfica del software Optisystem, mientras que la Tabla 20-3 las características técnicas.

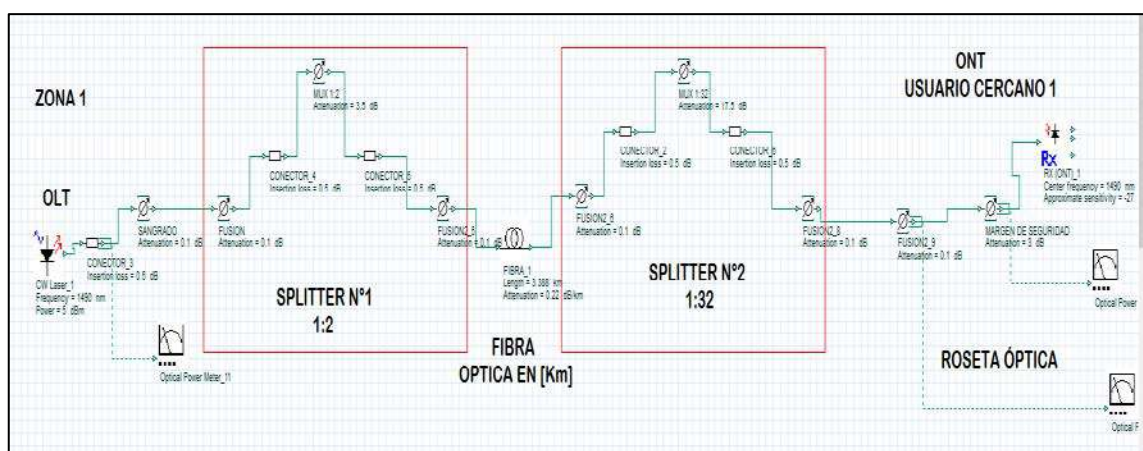


Figura 47-3. Interfaz gráfica del software Optisystem

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Tabla 20-3: Características técnicas de Optisystem

Parámetro	Característica
Interfaz	Gráfica de interfaz de usuario (GUI)
Tipo de licencia	✓ Pagada ✓ Gratuita por 30 días
Requerimientos del sistema	Compatible con: ✓ Windows XP x64 ✓ Windows Vista x64 ✓ Windows 7, 8 o 10 x64
Espacio del disco	350 MB
Memoria RAM	1024 MB (4 GB) (Recomendado)

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

3.11.2. Desarrollo de la simulación

Como se ha mencionado anteriormente, una red FTTH se compone del transmisor, OLT, receptor, ONT, y la red de distribución óptica o ODN donde se alojan los equipos pasivos, por ende, la simulación se divide de igual forma. A continuación, se detalla cada una de las partes, en el Anexo F se presenta el diseño completo de la red FTTH.

3.11.2.1. Descripción del equipo transmisor (OLT)

La OLT está formada por dos subsistemas, uno que corresponde a la transmisión de datos en sentido descendente, es decir hacia la ONT, y otro a la recepción de datos en sentido ascendente, es decir de la ONT hacia la OLT.

El subsistema de transmisión óptico WDM descendente se divide en 2 subsistemas, que corresponde al transmisor de voz/datos y video, debido a que cada uno trabaja a una longitud de onda distinta, siendo el servicio de voz/datos funcionando a una longitud de onda de 1577 nm mientras que el video a 1550 nm.

El subsistema de recepción ascendente opera a una longitud de onda de 1270 nm. Según las configuraciones realizadas al software, el transmisor puede enviar la información según lo establecido al estándar G.987.X, es decir 10 Gbps. La Figura 48-3 se observa cada uno de estos subsistemas de la OLT.

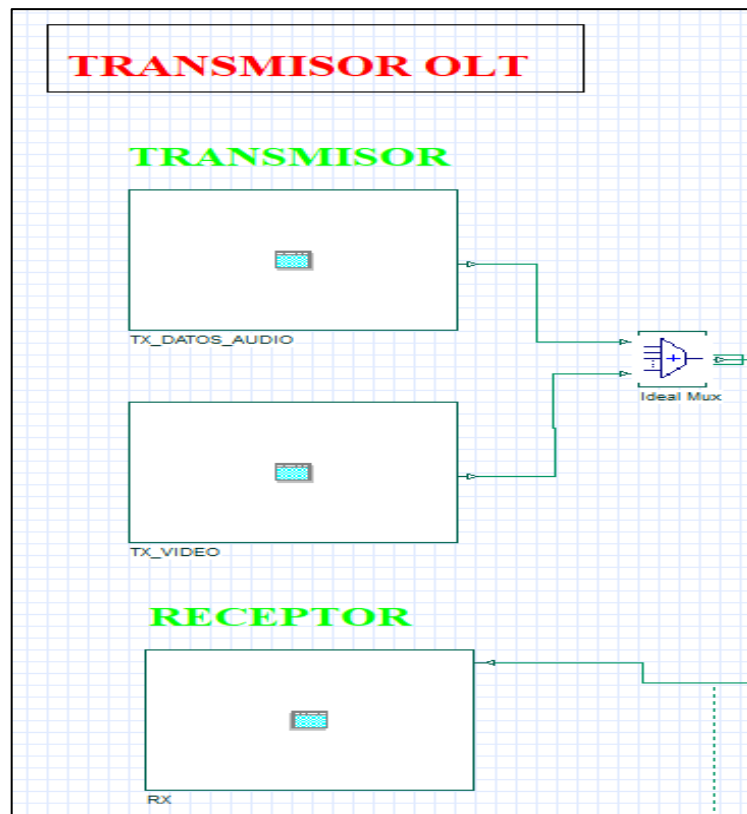


Figura 48-3. OLT (Terminal de línea óptica)

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Como podemos observar en la Figura 48-3, para que ambos servicios viajen por la misma fibra óptica es necesario realizar multiplexación por división de longitud de onda (WDM), debido a que cada servicio opera en una ventana de trabajo diferente, en el Optisystem se lo puede representar mediante un multiplexador ideal.

A continuación, se detalla los elementos que poseen cada uno de los subsistemas.

✓ **Transmisor de voz, datos y video**

Cada subsistema se encuentra formado por un generador de bits, una fuente óptica y un modulador de señal, los cuales se detallan a continuación:

- **Generador de secuencia de bits:** este elemento permite generar una secuencia de bits que serán modulados y posteriormente enviados por la fibra óptica hacia el receptor. Esta secuencia de bits es semejante a que un usuario este navegando por internet, realizando alguna llamada codificada o mirando algún servicio de videostreaming.
- **Codificador NRZ:** este elemento toma los bits del generador de secuencia y los convierte en una señal codificada eléctrica de no retorno a cero. Según el estándar G.987.2 la tecnología XG-PON opera con NRZ.

- **CW Laser:** consiste en la fuente óptica del transmisor, el cual además funciona como portadora para la modulación óptica posterior. A este elemento es necesario configurar su longitud de onda de trabajo y potencia de acuerdo a los parámetros del estándar.
- **Modulador Mach-Zehnder:** a este elemento llega la señal eléctrica del codificador NRZ y la modula con la frecuencia portadora óptica de la fuente CW láser.

La figura 49-3 muestra el transmisor de voz/datos y el de video, como se puede observar la diferencia entre ambos es la longitud de onda de trabajo.

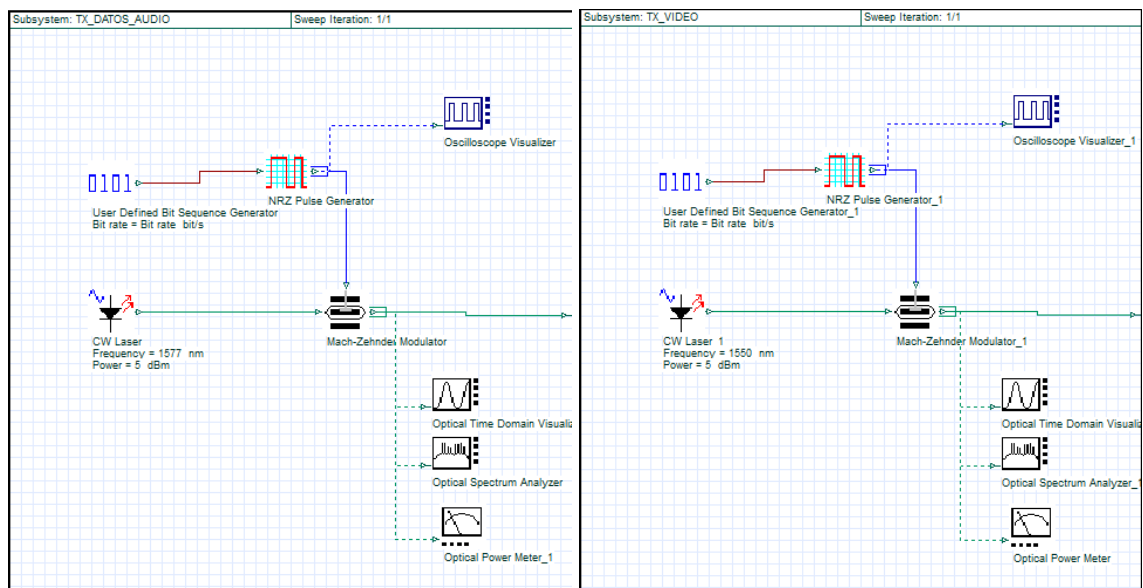


Figura 49-3. Transmisor de voz/datos y video

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

✓ **Receptor de voz, datos**

El subsistema se encuentra formado por un filtro óptico Butterworth, un receptor óptico y un analizador de probabilidad de error de bit. A continuación, se detalla los elementos:

- **Filtro óptico Butterworth:** este elemento permite filtrar la señal recibida de la ONT y eliminar componente de ruido provocada por los equipos pasivos. El software permite modificar el orden del filtro, el cual mientras mayor sea el orden, mejor filtrada estará la señal.
- **Receptor óptico:** esta es una herramienta muy útil debido que contiene todos los elementos de un receptor, los cuales son: fotodetector, filtro pasa bajas y un demodulador óptico. Además, permite modificar la sensibilidad del receptor, y la frecuencia de trabajo del mismo. Versiones anteriores del Optisystem impedían realizar estas modificaciones y venían con parámetros inmodificables.

- **Analizador de probabilidad de error de bit (BER):** este elemento permite determinar la calidad de servicio del enlace, el cual entrega resultados como el factor de calidad Q, la probabilidad de error de bit (BER) y el diagrama de ojo el cual deben ser superiores a lo establecido por el estándar.

La figura 50-3 muestra el receptor de voz/datos de la OLT, como se puede observar el filtro y el receptor trabajan en una longitud de onda de 1270 nm.

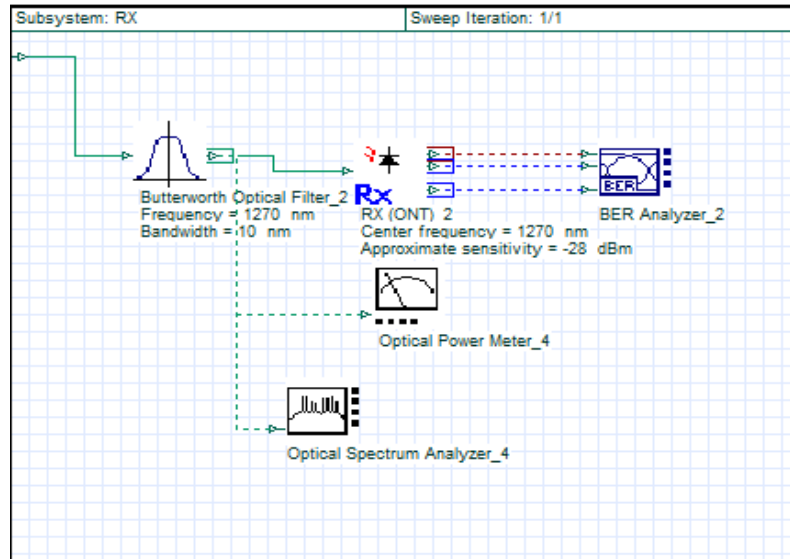


Figura 50-3. Receptor de voz/datos de la OLT

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

3.11.2.2. Descripción de la red de distribución óptica (ODN)

La ODN está compuesta por todos los elementos pasivos de la red FTTH. La Figura 51-3 muestra todos los equipos que se encuentran en medio de la comunicación. Como podemos observar la red FTTH está dividida en la red *feeder*, red de distribución y dispersión, siendo la fibra óptica el medio de comunicación.

Para la simulación se está usando fibra óptica bajo el estándar G.655.D, el cual provoca pérdidas de 0.4 dB/Km, para el primer nivel de splitteo se usa splitters 1:8 mientras que para el segundo nivel de splitteo se usa splitters 1:16, provocando pérdidas de 10 dB y 13.5 dB respectivamente, adicionalmente para conectar la fibra a estos equipos es necesario utilizar conectores ópticos con su respectiva fusión. Finalmente, como pérdida adicional se encuentra el margen de seguridad de 3 dB para posibles aumentos de pérdidas a futuro.

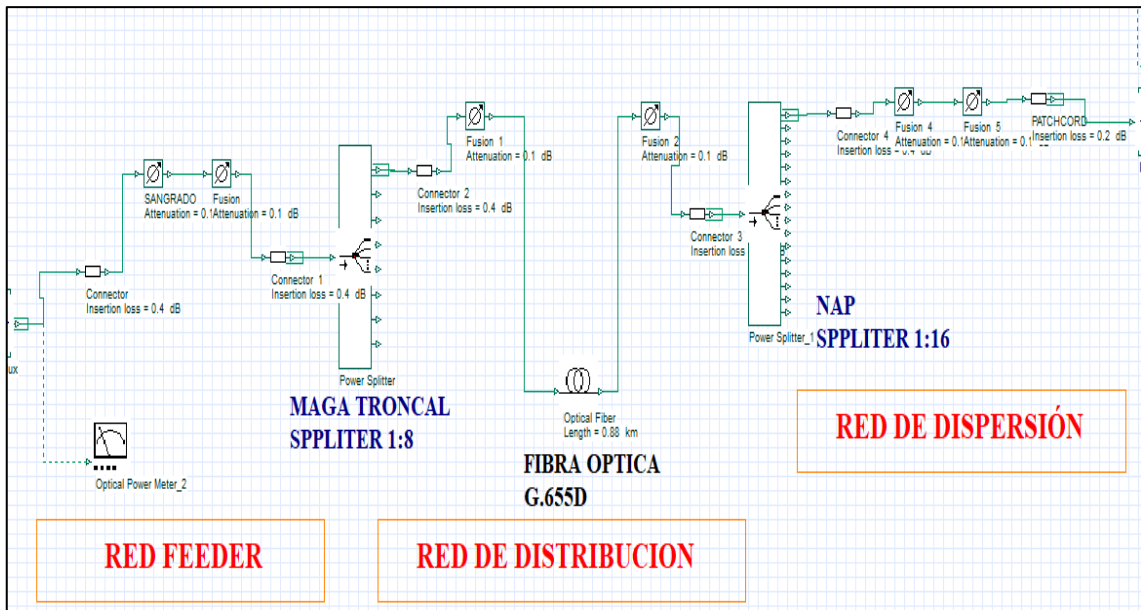


Figura 51-3. Red de distribución Óptica (ODN)

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

3.11.2.3. Descripción del equipo receptor (ONT, ONU)

La ONT está formada por dos subsistemas, uno que corresponde a la recepción de datos en sentido descendente, es decir desde la OLT y otro a la transmisión de datos en sentido ascendente, es decir hacia la OLT. El subsistema de recepción óptico WDM descendente se divide en 2 subsistemas, que corresponde al receptor de voz/datos y video, ya que cada uno trabaja a una longitud de onda distinta. La Figura 52-3 se observa cada uno de estos subsistemas de la ONT.

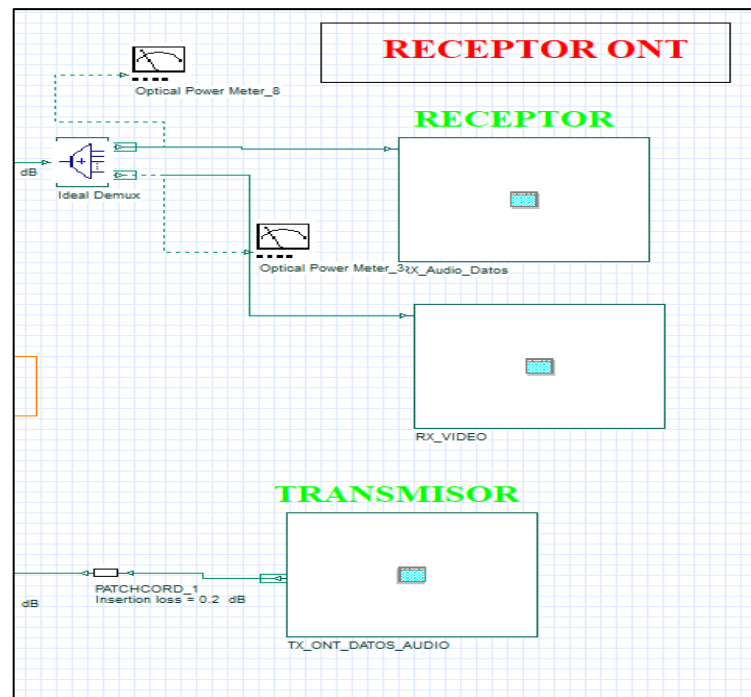


Figura 52-3. ONT (Terminal de red óptica)

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2020

Como podemos observar, como en la misma fibra óptica se transmiten todos los servicios, es necesario realizar la demultiplexación por división de longitud de onda (DWDM) para poder separarlos, debido a que cada uno opera en una ventana de trabajo diferente, en el Optisystem se lo puede representar mediante un demultiplexor ideal.

Para no ser redundantes, los elementos que poseen los subsistemas de recepción de audio/datos y videos son similares al receptor de la OLT, con la diferencia de la longitud de onda de trabajo, 1577 nm para voz/datos y 1550 nm para video, de igual manera con el subsistema del trasmisor de la ONT es idéntico al de la OLT con la diferencia de la ventana de trabajo de 1270 nm.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE RESULTADOS

En este capítulo se realizará la simulación y evaluación de la red FTTH utilizando el estándar G.987.X, XG-PON, mediante el software Optisystem.

4.1. Resultados de la simulación

Los resultados obtenidos de la simulación en Optisystem permiten determinar el correcto funcionamiento de la red FTTH con tecnología XG-PON. Se realiza el análisis de los parámetros de factor de calidad Q, probabilidad de error de bit BER, diagrama de ojo, atenuación y potencia recibida. Dado que la tecnología XG-PON debe coexistir con GPON, sus parámetros de calidad de servicio son similares, es decir que el factor Q debe ser mayor a 6 y el BER inferior a 1×10^{-10} . El parámetro que adiciona el estándar G.987.2 es la calidad de servicio de servicio de la transmisión de video, por lo que su *jitter* o retardo está relacionado al BER, el cual debe ser inferior a 1×10^{-12} . (ITU-T, 2016, p. 25)

Para observar los resultados se utilizan las siguientes herramientas del software:

- ✓ **Optical Power Meter:** herramienta que permite al usuario medir la potencia de recepción en la ONT, además de las pérdidas.
- ✓ **Optical Time Domain Visualizer:** permite visualizar a la señal modulada en el dominio del tiempo
- ✓ **Optical Spectrum Analyzer:** permite visualizar el espectro de la señal modulada y verificar la frecuencia portadora
- ✓ **BER Analyzer:** es una herramienta que entrega los resultados de la calidad del enlace, como el factor de calidad Q, la probabilidad de error de bit BER y diagrama de ojo.

A continuación, se presentan las gráficas resultantes de cada una de las herramientas anteriormente mencionadas, tanto para el usuario más lejano y cercano de toda la parroquia y comprobar el correcto funcionamiento del enlace. Para los demás usuarios cercanos y lejanos de cada zona únicamente se presentan estos resultados mediante tablas para una mejor comprensión.

4.1.1. Potencia

A continuación, se presentan los resultados de la potencia a la salida de la OLT, potencia de recepción de la ONT tanto del usuario más cercano y más lejano de la parroquia La Merced.

4.1.1.1. Potencia del transmisor (OLT)

La Figura 1-4 muestra a la herramienta *Optical Power Meter* entregando el resultado de la potencia del equipo transmisor. Como se puede observar, la OLT entrega a la fibra óptica una potencia de 5.222 dBm, cumpliendo con los parámetros del estándar G.987.2 referente al rango de potencia suministrada por el equipo activo.

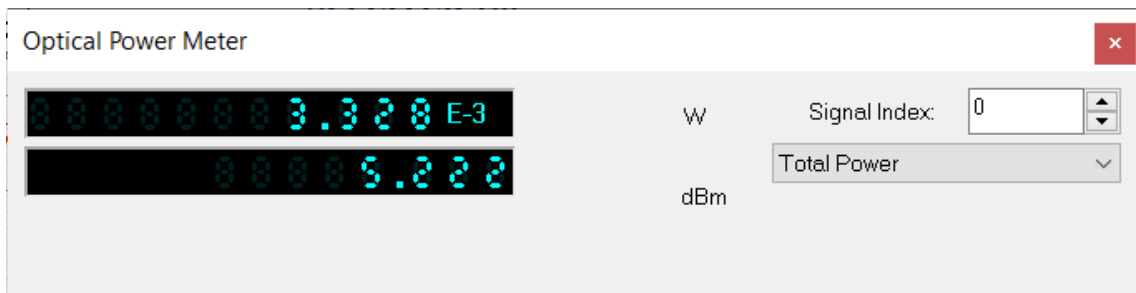


Figura 1-4. Potencia suministrada por la OLT hacia el medio óptico

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

4.1.1.2. Potencia recibida usuario más cercano

Como se analizó en el presupuesto de pérdidas, el usuario más cercano de la parroquia La Merced se encuentra en la zona 5 a 0.24 Km de la OLT. La Figura 2-4 se observa la potencia recibida por este usuario según el software Optisystem.

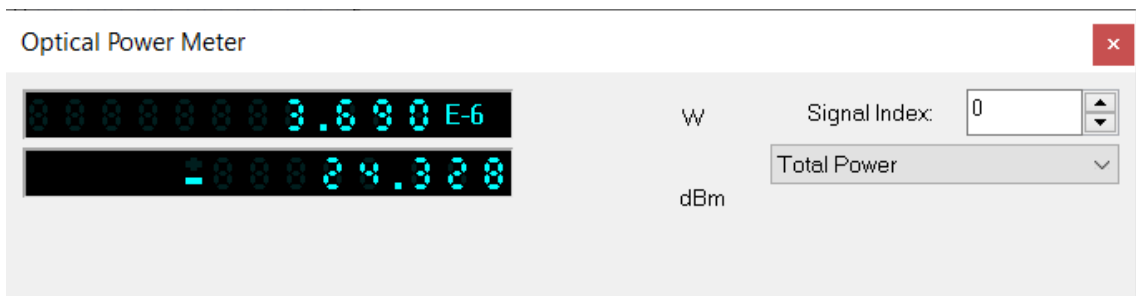


Figura 2-4. Potencia recibida a la ONT del usuario más cercano

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

Como se puede analizar el *Optical Power Meter* presenta -24.328 dBm, comparado con el valor teórico del presupuesto óptico, que es de -24.20 dBm, se obtiene una diferencia de -0.128 dBm, la cual es irrelevante debido que sigue siendo mayor a los -28 dBm de la sensibilidad del receptor, por ende, el enlace es óptimo. Esta disminución de potencia se debe a que Optisystem al simular la red toma a consideración parámetros adicionales, como pérdidas intrínsecas y extrínsecas a causa del material de fabricación de la fibra óptica.

4.1.1.3. Potencia recibida usuario más lejano

Como se analizó en el presupuesto de pérdidas, el usuario más lejano de la parroquia La Merced se encuentra en la zona 6 a 1.91 Km de la OLT. La Figura 3-4 se observa la potencia recibida por este usuario según el software Optisystem.

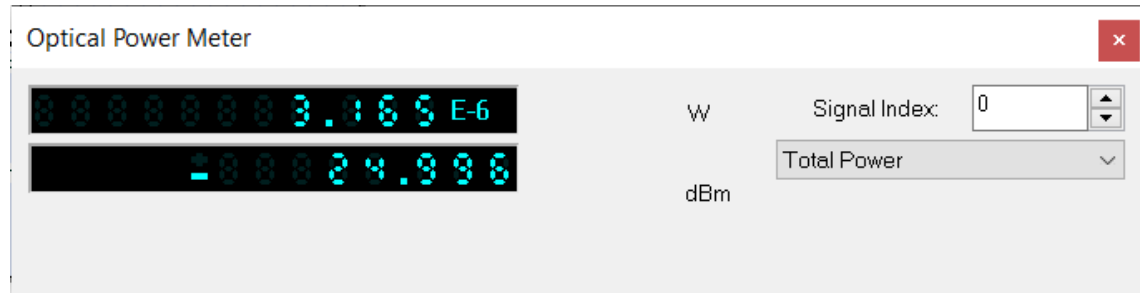


Figura 3-4. Potencia recibida a la ONT del usuario más cercano

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

Como se puede analizar el *Optical Power Meter* presenta -24.996 dBm , comparado con el valor teórico del presupuesto óptico, que es de -24.86 dBm , se obtiene una diferencia de -0.136 dBm , la cual es irrelevante debido que sigue siendo mayor a los -28 dBm de la sensibilidad del receptor, por ende, el enlace es óptimo.

4.1.1.4. Potencia recibida de los usuarios cercanos y lejanos de las otras zonas

La Tabla 1-4 muestra la potencia de recepción de las ONT de cada uno de los usuarios de las zonas. Para una mejor comprensión se ha insertado los valores entregados por el *Optical Power Meter* y los teóricos del presupuesto óptico, determinando cuanta diferencia existen entre ambos.

Tabla 1-4: Potencia de recepción del usuario más cercano y lejano de cada zona

ZONA	USUARIO	POTENCIA RECIBIDA (dBm)		DIFERENCIA (dBm)
		Presupuesto Óptico	Optisystem	
1	Más cercano	-24.45	-24.584	-0.134
	Más lejano	-24.69	-24.824	-0.134
2	Más cercano	-24.29	-24.424	-0.134
	Más lejano	-24.43	-24.56	-0.13
3	Más cercano	-24.28	-24.412	-0.134
	Más lejano	-24.52	-24.656	-0.134
4	Más cercano	-24.32	-24.456	-0.134
	Más lejano	-24.55	-24.68	-0.13
5	Más cercano	-24.20	-24.328	-0.134

	Más lejano	-24.60	-24.736	-0.134
6	Más cercano	-24.53	-24.66	-0.13
	Más lejano	-24.86	-24.996	-0.134

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

Como cada usuario tiene una potencia de recepción mayor a la sensibilidad de -28 dBm, podemos confirmar que toda la parroquia posee un correcto servicio. Por lo que es necesario comprobar los demás parámetros de calidad.

4.1.2. Señal transmitida y recibida

A continuación, se presentan los resultados referentes a la secuencia de bits codificadas en NRZ y modulada por la portadora de audio/datos, para posteriormente ser recibidos por la ONT y realizar el proceso inverso.

4.1.2.1. Secuencia de bits codificados y modulados

Como se analizó en el Figura 49-3, el transmisor óptico se encuentra formado por un generador de secuencia de bits que posteriormente son codificados mediante NRZ para finalmente ser modulados con la fuente óptica a una frecuencia de 1577 nm para audio/datos y 1550 nm para video. La Figura 4-4 muestra la secuencia de bits codificados en NRZ.

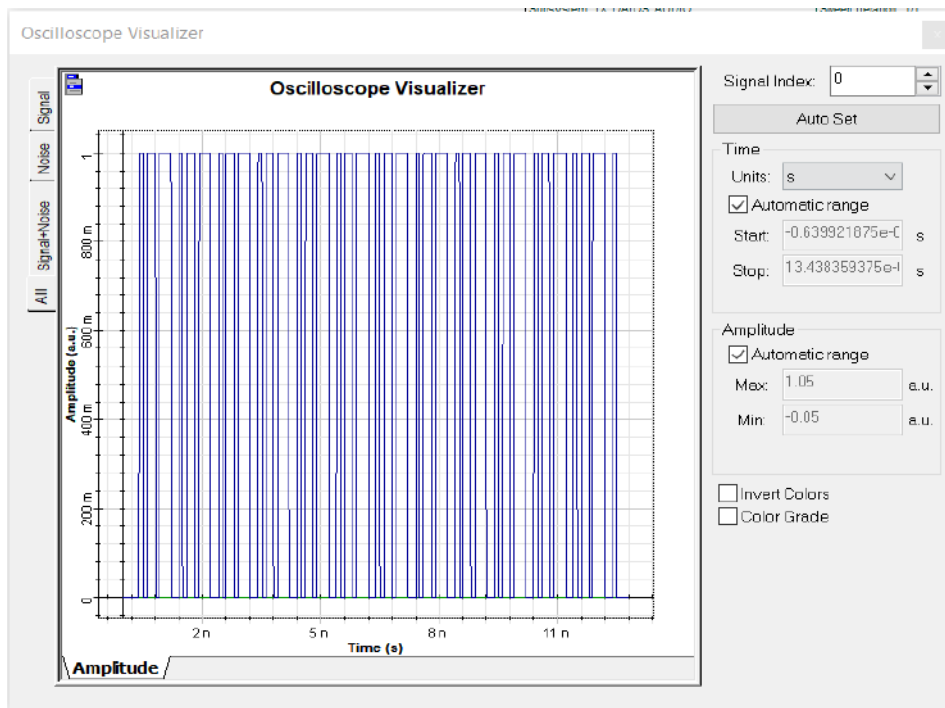


Figura 4-4. Secuencia de bits codificada a NRZ

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

La Figura 5-4 muestra a la herramienta *Optical Time Domain Visualizer* indicando la señal resultante modulada.

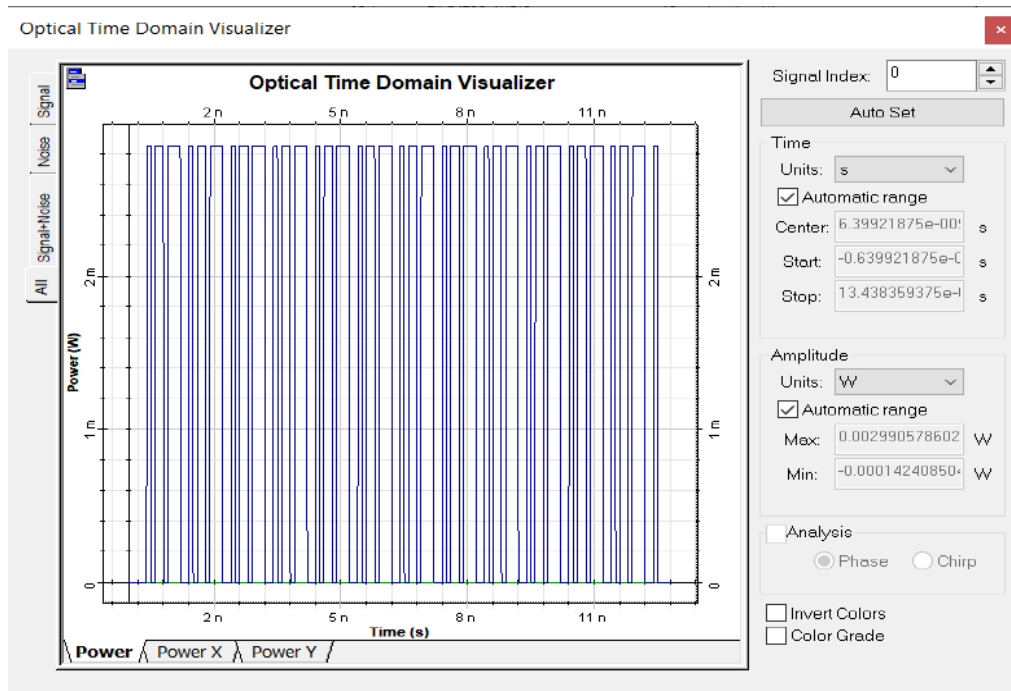


Figura 5-4. Señal modulada resultante

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

4.1.2.2. Secuencia de bits receptados y demodulados

La Figura 6-4 muestra la señal que recibe la ONT, la cual se encuentra contaminada de ruido, debido al uso de elementos pasivos que se encuentran en medio de la comunicación.

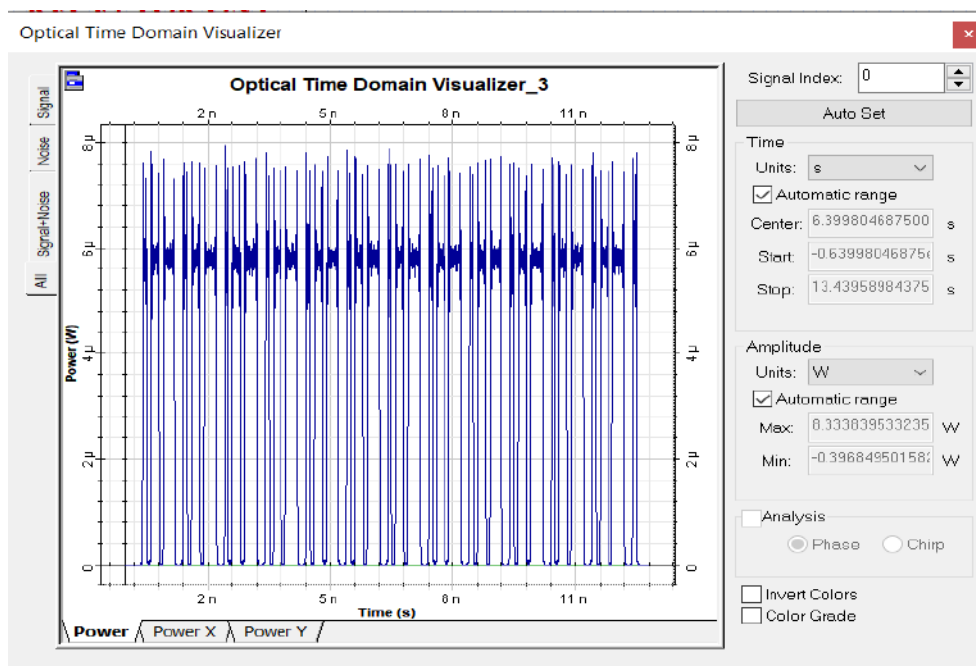


Figura 6-4. Señal modulada recibida en la ONT

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

Para eliminar las componentes de ruido es necesario primero utilizar un filtro pasabanda de Butterworth, el cual permite eliminar el ruido que se encuentran fuera del ancho de banda, además de poder separar el servicio de audio/datos con el de video.

Para eliminar el ruido que se encuentra dentro del ancho de banda, el receptor óptico del Optisystem realiza el proceso de demodulación, para posteriormente aplicar un filtro pasabajas. Finalmente se procede a decodificación NRZ para obtener los bits transmitidos. La Figura 7-4, muestra a la señal demodulada y decodificada sin componentes de ruido.

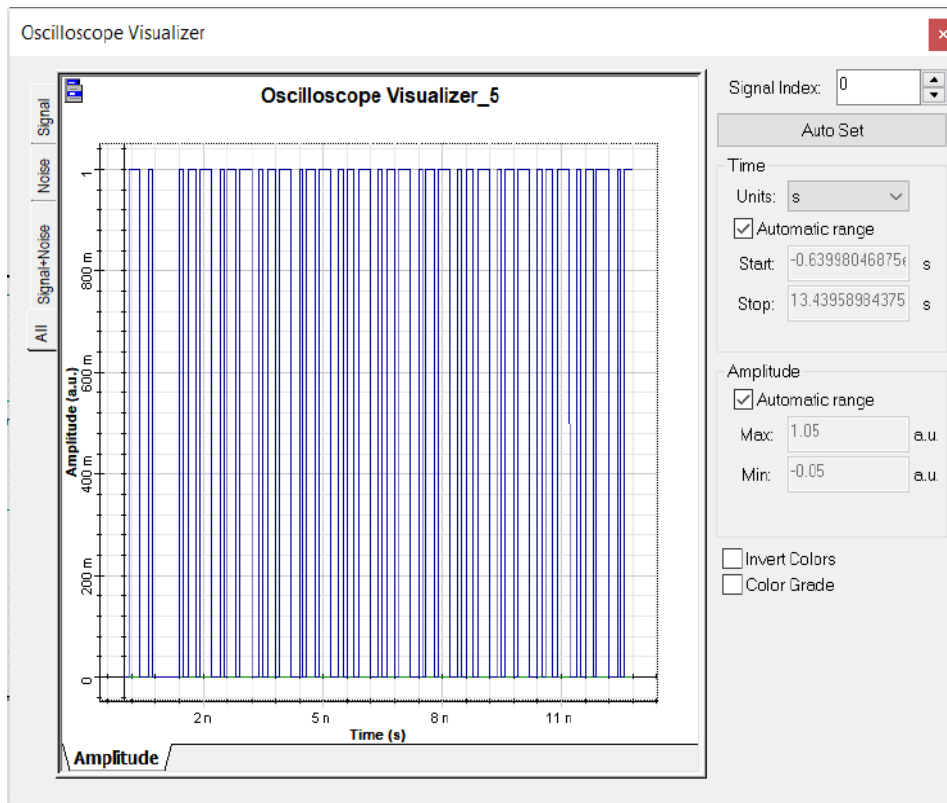


Figura 7-4. Secuencia de bits recibidos en la ONT

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

4.1.3. Espectro de la señal transmitida y recibida

A continuación, se presentan los resultados referentes al espectro de cada uno de los servicios de telecomunicaciones que se transmiten de manera combinada en la misma fibra óptica y el espectro que recibe la ONT.

4.1.3.1. Espectro de la señal transmitida combinada

Como se ha explicado, el transmisor de audio/datos y video operan a una longitud de onda diferente. La Figura 8-4 muestra el espectro de los servicios de audio/datos y video. Como se puede observar existen un impulso a 1550 nm, representando el transmisor de video, y uno en 1577 nm, representando el transmisor de audio datos.

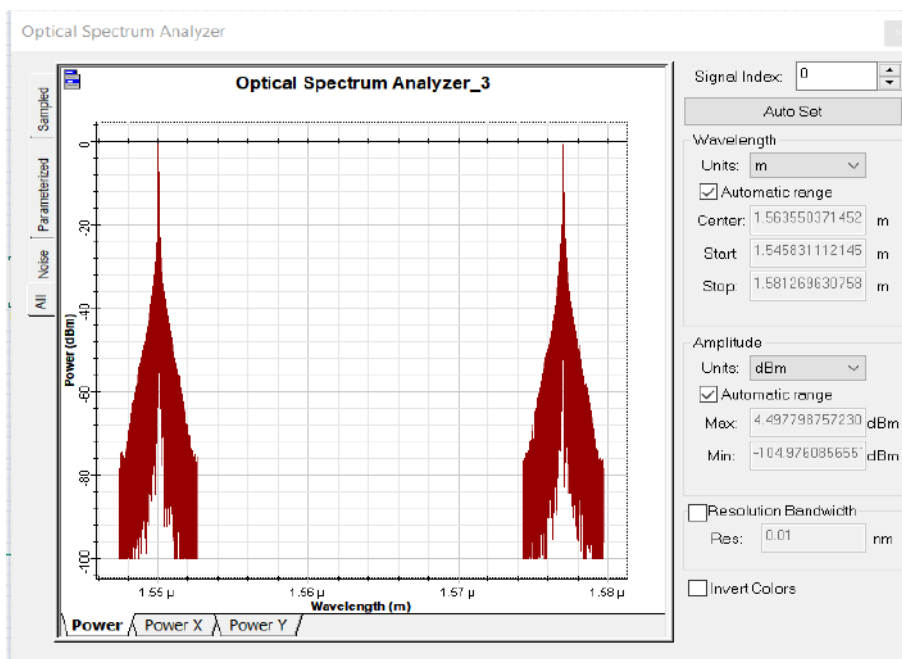


Figura 8-4. Espectro del transmisor de audio/datos y video

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

4.1.3.2. Espectro de la señal recibida de cada servicio

Debido a que los servicios de telecomunicaciones se combinan en la fibra óptica, es necesario utilizar filtros pasabanda, que permitan eliminar las componentes de ruido y espectros de otras frecuencias que se encuentren fuera del ancho de banda. Los receptores ópticos utilizan filtros de Butterworth, capaces de eliminar todas las componentes e interferencias indeseadas. La Figura 9-4 muestra al espectro de audio/datos filtrado, mientras que la Figura 10-4 el espectro de video.

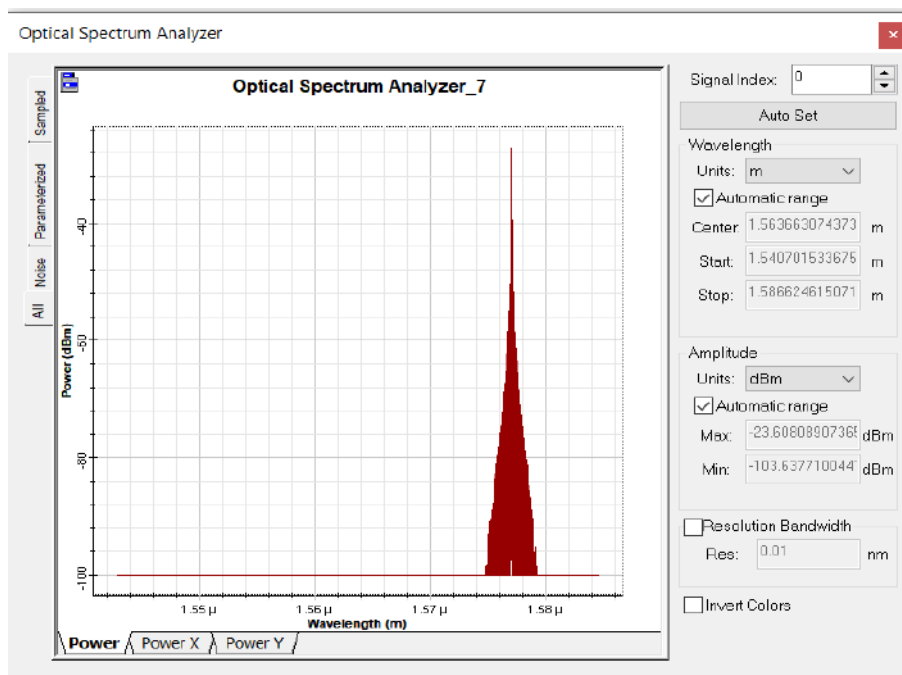


Figura 9-4. Espectro del servicio de audio/datos filtrado en el receptor

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

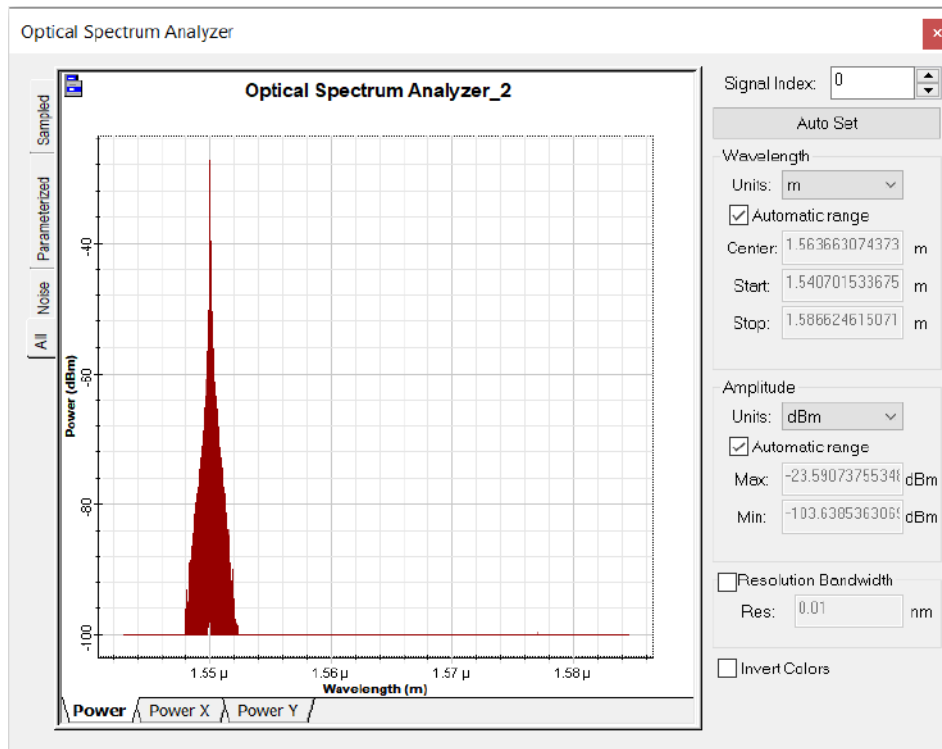


Figura 10-4. Espectro del servicio de video filtrado en el receptor

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

4.1.4. Factor de calidad (Q) y probabilidad de error de bit (BER)

A continuación, se presentan los resultados referentes a los parámetros de factor de calidad y probabilidad de error de bit del enlace, tanto para el usuario más lejano y cercano de toda la parroquia La Merced, para esto se utiliza la herramienta *BER Analyzer* del software.

Como se analizó anteriormente, el factor de calidad está relacionado con la atenuación, dispersión y ruido que es generado por el sistema de comunicación y según el estándar G.984.2, debe ser un valor superior a 6. El BER consiste en los bits recibidos respecto a los bits erróneos, el cual según la norma ITU, debe ser menor a 1×10^{-10} para audio/datos y 1×10^{-12} para video.

4.1.4.1. Factor de calidad y probabilidad de error de bit del usuario más cercano

El usuario más cercano de toda la parroquia se encuentra en la zona 5 a 0.24 Km de la OLT. La Figura 11-4 se observa los resultados referentes a los parámetros de calidad de servicio del receptor de audio/datos.

Según Optisystem el factor de calidad máximo del sistema es de 16.565, el cual significa una inferior cantidad de pérdidas por atenuación o dispersión respecto a la potencia suministrada por la OLT, mientras que el mínimo BER es de 6.266×10^{-62} , es decir que se puede esperar 6 bits erróneos por cada 1×10^{62} bits transmitidos.

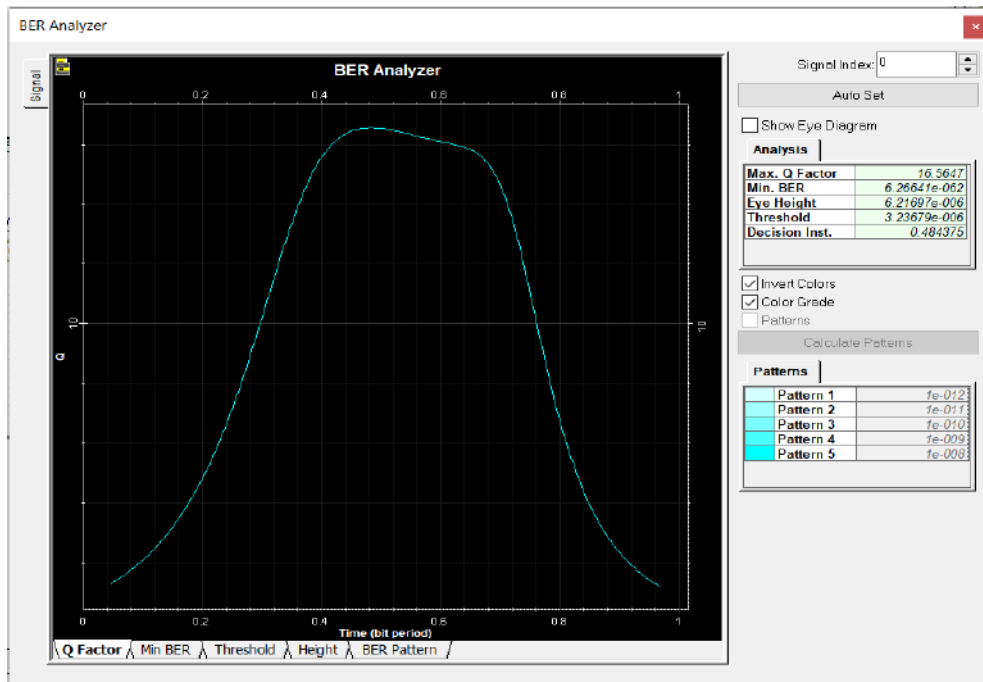


Figura 11-4. Factor Q y BER del receptor de audio/datos del usuario más cercano

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

La Figura 12-4 muestra los parámetros de calidad de servicio del receptor de video. El factor de calidad máximo del sistema es de 17.825, mientras que el mínimo BER es de 2.243×10^{-72} , es decir que se puede esperar 2 bits erróneos por cada 1×10^{72} bits transmitidos.

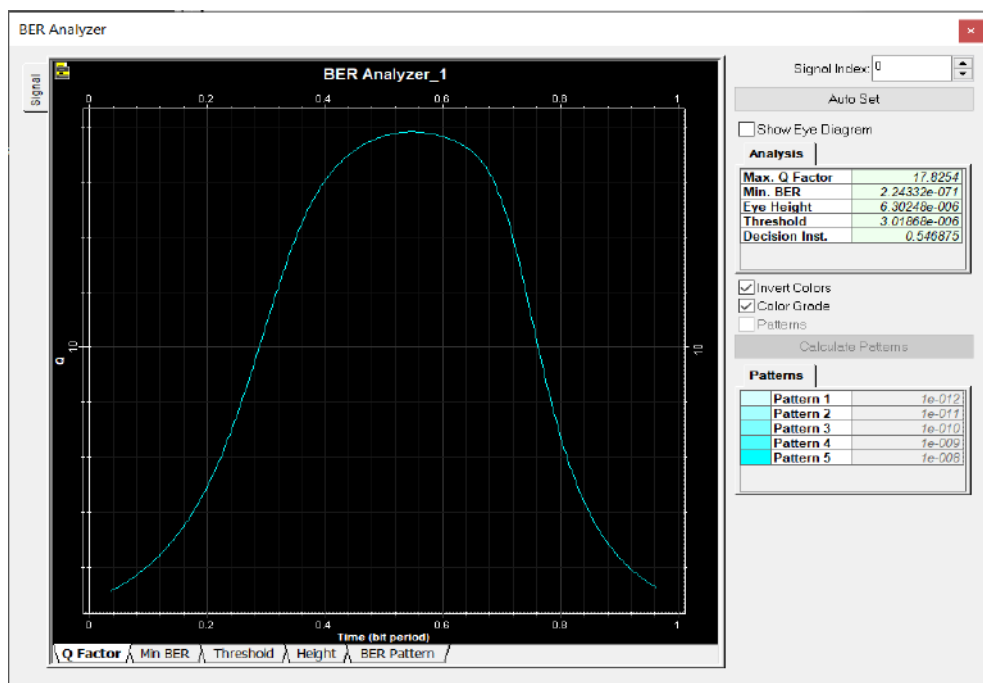


Figura 12-4. Factor Q y BER del receptor de video del usuario más cercano

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

4.1.4.2. Factor de calidad y probabilidad de error de bit del usuario más lejano

El usuario más lejano a 1.91 Km de la OLT. La Figura 13-4 se observa los resultados referentes a los parámetros de calidad de servicio del receptor de audio/datos. El factor de calidad máximo del sistema es de 15.431, mientras que el mínimo BER es de 5.07×10^{-54} , es decir que se puede esperar 5 bits erróneos por cada 1×10^{54} bits transmitidos.

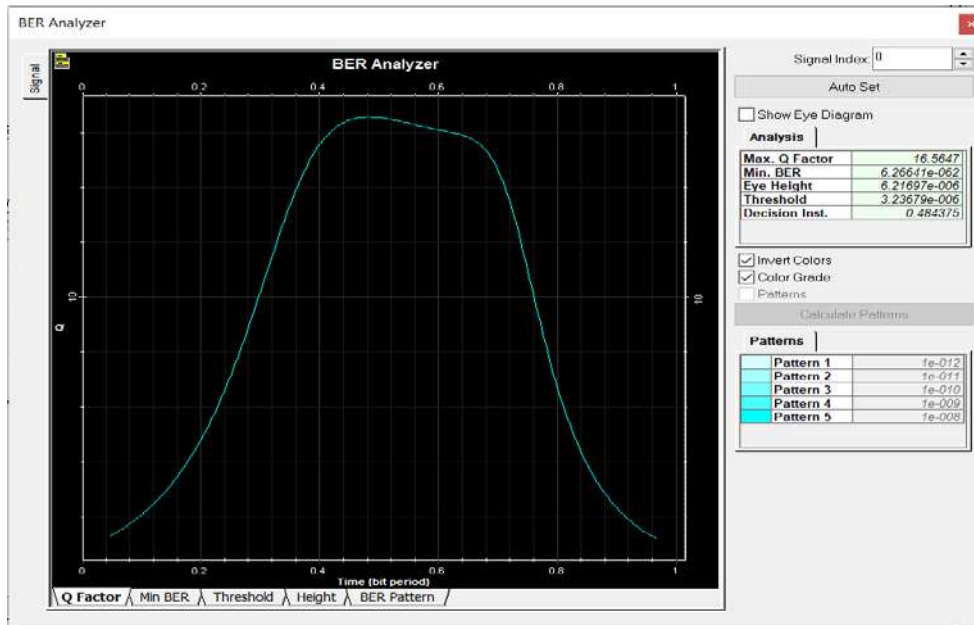


Figura 13-4. Factor Q y BER del receptor de audio/datos del usuario más lejano

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

La Figura 14-4 muestra los parámetros de calidad de servicio del receptor de video. El factor de calidad es de 15.886, mientras que el mínimo BER es de 3.942×10^{-57} , es decir que se puede esperar 3 bits erróneos por cada 1×10^{57} bits transmitidos.

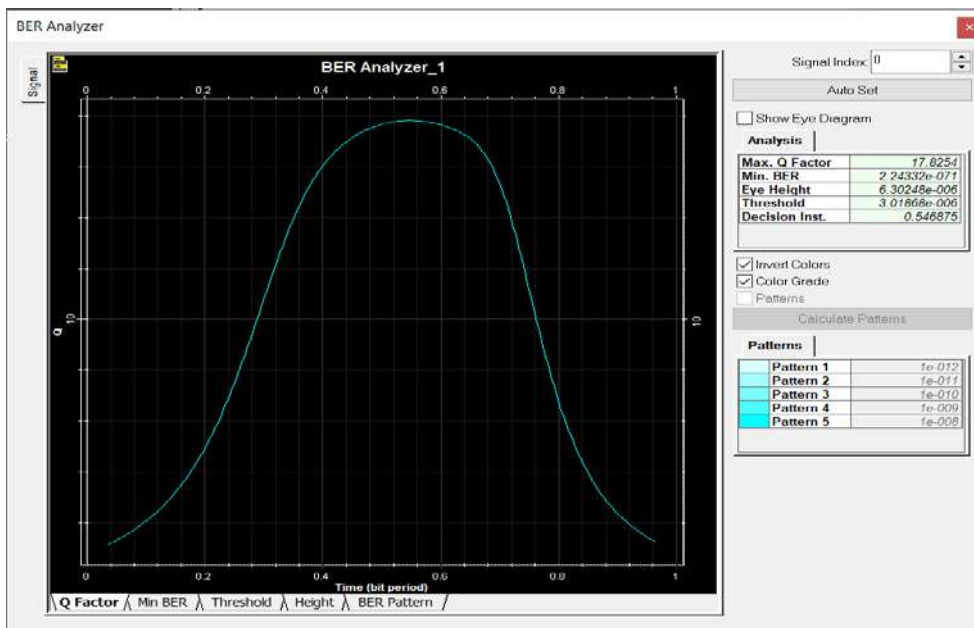


Figura 14-4. Factor Q y BER del receptor de video del usuario más cercano

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

4.1.4.3. Factor de calidad y probabilidad de error de bit del resto de usuarios

La Tabla 2-4 muestra el factor de calidad y el BER de las ONT de cada uno de los usuarios de las zonas, tanto de audio/datos como video

Tabla 2-4: Parámetros de calidad de servicio de los demás usuarios

ZONA	USUARIO	Factor de calidad (Q)		Probabilidad de error de bit (BER)	
		Audio/datos	Video	Audio/datos	Video
1	Más cercano	15.644	16.962	2.393×10^{-55}	4.009×10^{-65}
	Más lejano	15.995	16.26	1.234×10^{-57}	4.591×10^{-60}
2	Más cercano	16.37	17.50	2.707×10^{-60}	1.028×10^{-68}
	Más lejano	15.987	17.034	6.128×10^{-58}	1.488×10^{-65}
3	Más cercano	16.63	17.506	3.227×10^{-62}	5.067×10^{-69}
	Más lejano	16.07	16.742	5.332×10^{-58}	2.955×10^{-63}
4	Más cercano	17.456	17.418	8.824×10^{-69}	3.685×10^{-68}
	Más lejano	15.843	16.684	6.14×10^{-57}	3.287×10^{-63}
5	Más cercano	16.562	17.809	6.899×10^{-62}	2.910×10^{-71}
	Más lejano	16.744	16.592	1.131×10^{-63}	9.315×10^{-62}
6	Más cercano	15.835	16.783	4.78×10^{-56}	2.66×10^{-63}
	Más lejano	15.315	15.768	1.798×10^{-53}	2.032×10^{-57}

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

4.1.5. Diagrama de ojo

A continuación, se presentan los resultados referentes al diagrama de ojo del enlace, tanto para el usuario más lejano y cercano de toda la parroquia La Merced, para esto se utiliza la herramienta *Eye Diagram Analyzer* del software.

Como se analizó anteriormente, el diagrama de ojo permite determinar la calidad del enlace, el cual representa de manera combinada la transmisión de unos y ceros en un determinado tiempo.

4.1.5.1. Diagrama de ojo del usuario más cercano

El usuario más cercano de toda la parroquia se encuentra en la zona 5 a 0.24 Km de la OLT. La Figura 15-4 se observa el diagrama de ojo del receptor de audio/datos.

Según el software de simulación el factor de calidad máximo del sistema es de 16.565, mientras que el mínimo BER es de 6.266×10^{-62} , es decir que se puede esperar 6 bits erróneos por cada 1×10^{62} bits transmitidos. La altura del ojo es de 6.217×10^{-6} , el cual confirma que los bits se están transmitiendo sin ninguna interferencia ya que el uno lógico se encuentra alrededor de 7×10^{-6} , además que los cruces de los pulsos se dan exactamente entre 0 y 1, por lo que el *jitter* es nulo.

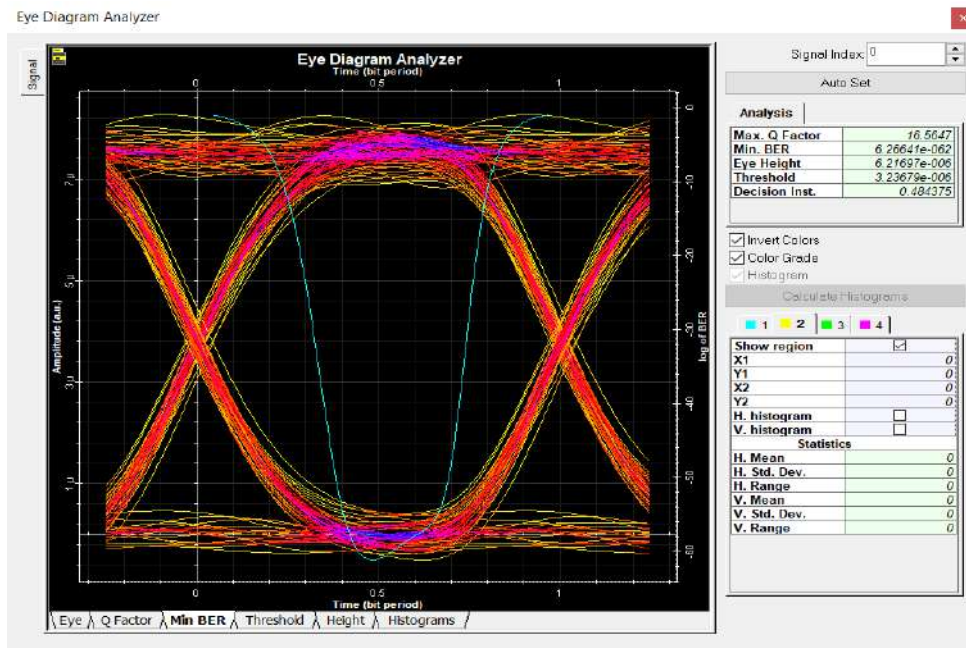


Figura 15-4. Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más cercano
 Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

La Figura 16-4 se observa el diagrama de ojo del receptor de video. El factor de calidad máximo del sistema es de 17.825, mientras que el mínimo BER es de 6.302×10^{-71} , es decir que se puede esperar 6 bits erróneos por cada 1×10^{71} bits transmitidos. La altura del ojo es de 6.305×10^{-6} , indicando que no hay interferencia, además que el *jitter* es nulo.

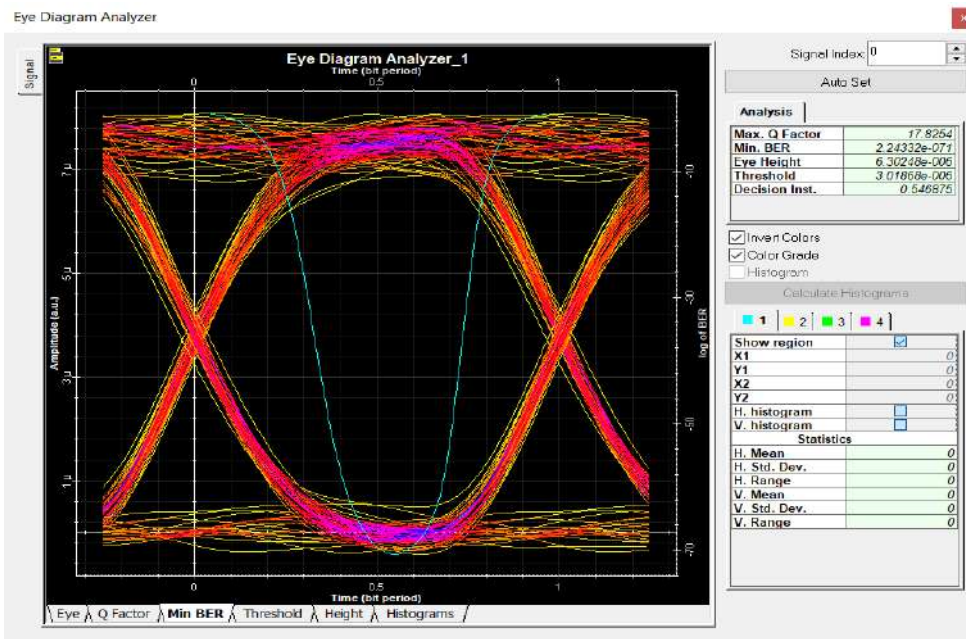


Figura 16-4. Diagrama de ojo del receptor de video del usuario más cercano
 Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

4.1.5.2. Diagrama de ojo del usuario más lejano

La Figura 17-4 muestra el diagrama de ojo del receptor de audio/datos. Según el software, el factor de calidad del sistema es de 16.431, mientras que el mínimo BER es de 5.072×10^{-54} , es

decir que se puede esperar 5 bits erróneos por cada 1×10^{54} bits transmitidos. La altura del ojo es de 5.228×10^{-6} , el cual comprueba que no existe interferencia, además que los cruces de los pulsos se dan exactamente entre 0 y 1, por lo que el *jitter* es nulo.

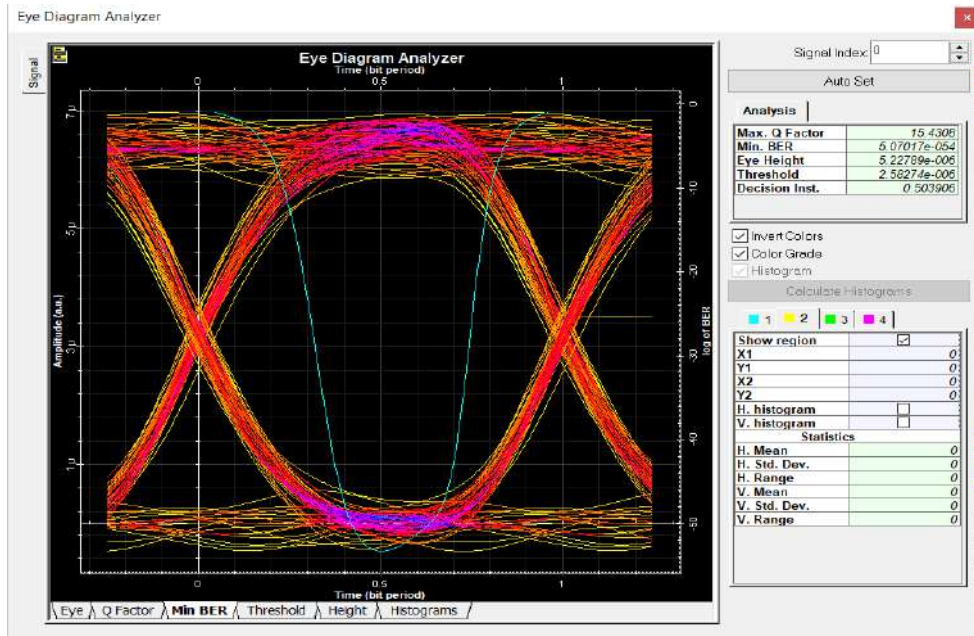


Figura 17-4. Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más lejano

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

La Figura 18-4 se observa el diagrama de ojo del receptor de video. El factor de calidad máximo del sistema es de 15.886, mientras que el mínimo BER es de 3.942×10^{-57} , es decir que se puede esperar 3 bits erróneos por cada 1×10^{57} bits transmitidos. La altura del ojo es de 5.278×10^{-6} , indicando que no hay interferencia, además que el *jitter* es nulo.

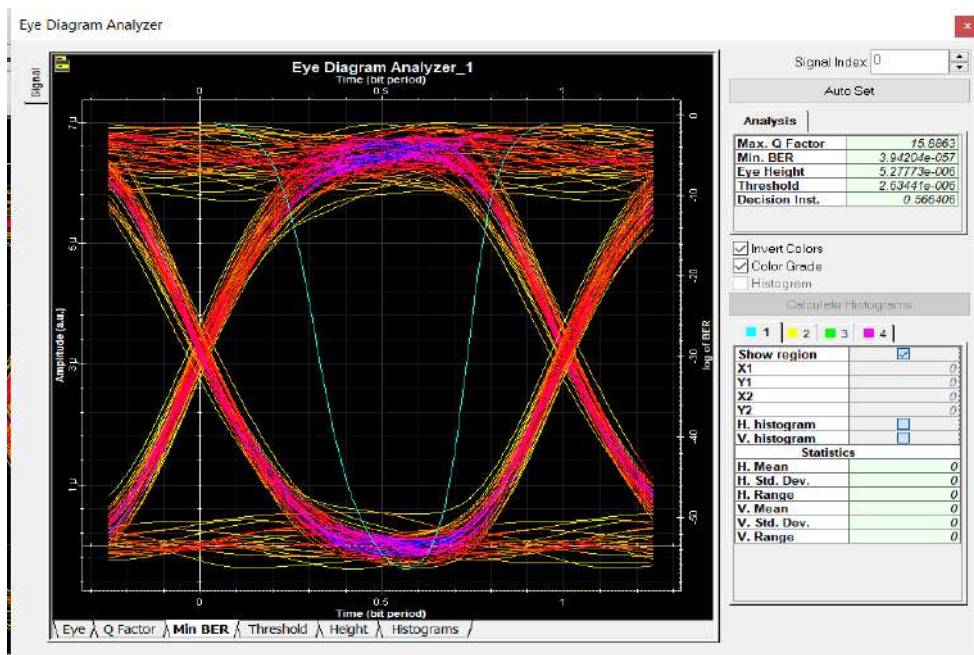


Figura 18-4. Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más lejano

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

4.1.5.3. Altura del ojo del resto de usuarios

La Tabla 3-4 muestra el parámetro de altura de ojo de las ONT de cada uno de los usuarios de las zonas, tanto de audio/datos como video.

Tabla 3-4: Parámetros de altura de ojo de los demás usuarios

ZONA	USUARIO	Altura de ojo	
		Audio/datos	Video
1	Más cercano	5.74×10^{-6}	5.883×10^{-6}
	Más lejano	5.402×10^{-6}	5.519×10^{-6}
2	Más cercano	6.051×10^{-6}	6.142×10^{-6}
	Más lejano	5.841×10^{-6}	5.925×10^{-6}
3	Más cercano	6.09×10^{-6}	6.161×10^{-6}
	Más lejano	5.967×10^{-6}	5.77×10^{-6}
4	Más cercano	6.077×10^{-6}	6.088×10^{-6}
	Más lejano	5.671×10^{-6}	5.74×10^{-6}
5	Más cercano	6.216×10^{-6}	6.301×10^{-6}
	Más lejano	5.677×10^{-6}	5.652×10^{-6}
6	Más cercano	5.663×10^{-6}	5.77×10^{-6}
	Más lejano	5.223×10^{-6}	5.278×10^{-6}

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

4.2. Estudio comparativo de los estándares G.984.X (GPON) y G.987.X (XG-PON)

Para corroborar que los resultados obtenidos de la potencia de recepción y calidad de servicio son mejores al utilizar la tecnología XG-PON que su antecesora GPON, se utilizó los datos del trabajo de titulación de masterado de la Ing. Jenny Edith Sani Domínguez, el cual consistía del diseño y evaluación de una red FTTH utilizando el estándar G.984.X, para la zona urbana del cantón Pelileo de la provincia de Tungurahua.

La Tabla 4-4 muestra las diferencias entre los parámetros de simulación de los dos diseños de red FTTH.

Tabla 4-4: Diferencia entre la simulación de GPON contra XG-PON

Parámetro	Diseño de red con GPON	Diseño de red con XG-PON
Norma de trabajo	ITU-T G.984.2	ITU-T G.987.2
Longitud de onda	<ul style="list-style-type: none"> • Downstream: 1490 nm • Upstream: 1310 nm • Video RF: 1550 nm 	<ul style="list-style-type: none"> • Downstream: 1577 nm • Upstream: 1270 nm • Video RF: 1550 nm
Método de transmisión	WDM	WDM

Código de línea	NRZ	NRZ
Clase	B+	N2
Potencia de la OLT	8 dBm	5 dBm
Sensibilidad de la ONT	-28 dBm	-28 dBm
Relación de división de potencia	1:32	1:128

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

4.2.1. Potencia de recepción

A continuación, se presentan los resultados referentes al presupuesto óptico de la red FTTH con tecnología GPON.

4.2.1.1. Presupuesto de pérdidas

La Tabla 5-4 muestra en síntesis las pérdidas totales del usuario más lejano de cada una de las zonas de la red.

Tabla 5-4: Presupuesto óptico NAP's más distantes

Zona	Distancia de la OLT (km)	Atenuación total (dB)
1	0.21	24.67
2	0.115	24.64
3	0.19	24.67
4	0.9	24.92
5	1.855	25.25

Fuente: (Sani, 2017)

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

Como se puede analizar, la atenuación que recibe el usuario más distante de cada zona es inferior a los resultados obtenidos de la red XG-PON de la Tabla 18-3, sin embargo, esto se da por una menor relación de división de potencia de los splitters, ya que cada puerto de la OLT abarca de entre 32 a 64 clientes usando GPON, mientras que XG-PON puede dar un servicio simultaneo de 128 clientes; por ende, existirán más pérdidas para el usuario, pero no afectará su servicio. Además, que esta red GPON utilizó para el presupuesto óptico la clase B+, por lo que su rango de pérdidas es de 13-28 dB, mientras que XG-PON al usar la clase N2, permite que la ONT reciba una atenuación de entre 16-31 dB.

4.2.1.2. Balance de potencia

La Tabla 6-4 muestra la atenuación promedio de la potencia recibida del usuario más lejano de cada zona.

Tabla 6-4: Atenuación promedio por cada zona

Zona	Transmisión			Distribución			Dispersión		
	In	Out	% Pérdida	In	Out	% Pérdida	In	Out	% Pérdida
Zona 1	8	7,78	2,74	7,78	-23,31	97,15	-23,31	-23,33	0,11
Zona 3	8	7,71	3,63	7,71	-23,38	96,26	-23,38	-23,40	0,11
Zona 4	8	7,76	2,97	7,76	-23,33	96,92	-23,33	-23,35	0,10
Zona 2	8	7,47	6,60	7,47	-23,37	93,29	-23,37	-23,64	0,11
Zona 5	8	7,67	4,17	7,67	-23,42	95,72	-23,42	-23,45	0,10

Fuente: (Sani, 2017, p. 106)

La potencia de recepción de la ONT de esta red GPON se encuentra alrededor de -23 dBm, mientras que en la red XG-PON, se obtuvo resultados de hasta -25 dBm; dado que la red GPON fue diseñada utilizando la clase B+, la potencia mínima transmisión debe ser de 8 dBm, mientras que la red 10G-PON, al usar la clase N2, se debe inyectar una potencia de entre 4 a 8 dBm, por lo que, el usuario final recibe menor potencia, sin embargo, continúa siendo mayor a la sensibilidad del receptor.

4.2.2. Parámetros de calidad de servicio

La Tabla 7-4 muestra el factor de calidad y probabilidad de error de bit del usuario más lejano y cercano de la red GPON.

Tabla 7-4: Factor Q y BER de Naps cercanas y distantes

Parámetro	Zona	Cercana	Distante	Diferencia	% Diferencia
FACTOR Q	Zona 1	13,83	12,47	1,64	12,18
	Zona 3	14,12	13,75	1,63	11,85
	Zona 4	12,79	12,1	2,31	17,63
	Zona 2	12,76	12,37	-0,39	-3,15
	Zona 5	11,85	10,59	-1,26	-11,9
BER	Zona 1	1,34E-27	1,18E-36	-1,34E-27	-1,14E+11
	Zona 3	4,34E-29	2,64E-38	-4,34E-29	-1,64E+11
	Zona 4	1,99E-22	1,74E-34	-1,99E-22	-1,14E+14
	Zona 2	1,45E-32	1,86E-30	1,85E-30	9,92E+01
	Zona 5	1,04E-27	1,74E-21	1,74E-21	1,00E+02

Fuente: (Sani, 2017, p. 103)

Como se logra observar, el usuario más cercano de la zona 3 posee un mayor factor de calidad de su enlace con 14.12, mientras que el usuario más distante de la misma zona posee la menor probabilidad de error de bit con 2.64×10^{-38} . Según la Tabla 3-4 el usuario más cercano de la zona 5 posee un factor de calidad de 17.81 y una probabilidad de error de bit de 2.910×10^{-71} . A partir de estos resultados se confirma que la red XG-PON otorga una calidad de servicio superior a la de GPON debido a su mayor transferencia de datos simultáneos de 10 Gbps.

4.2.3. Comparación porcentual

El Gráfico 1-4 muestra mediante un diagrama de barras, la mejora en porcentaje del factor de calidad de la tecnología GPON contra la XG-PON. Para el usuario más cercano aumenta en un 26.13% su calidad de servicio, mientras que para el usuario más distante en un 42.92%, por lo que respalda que toda el área de cobertura poseerá un correcto funcionamiento para los diferentes servicios de telecomunicaciones.

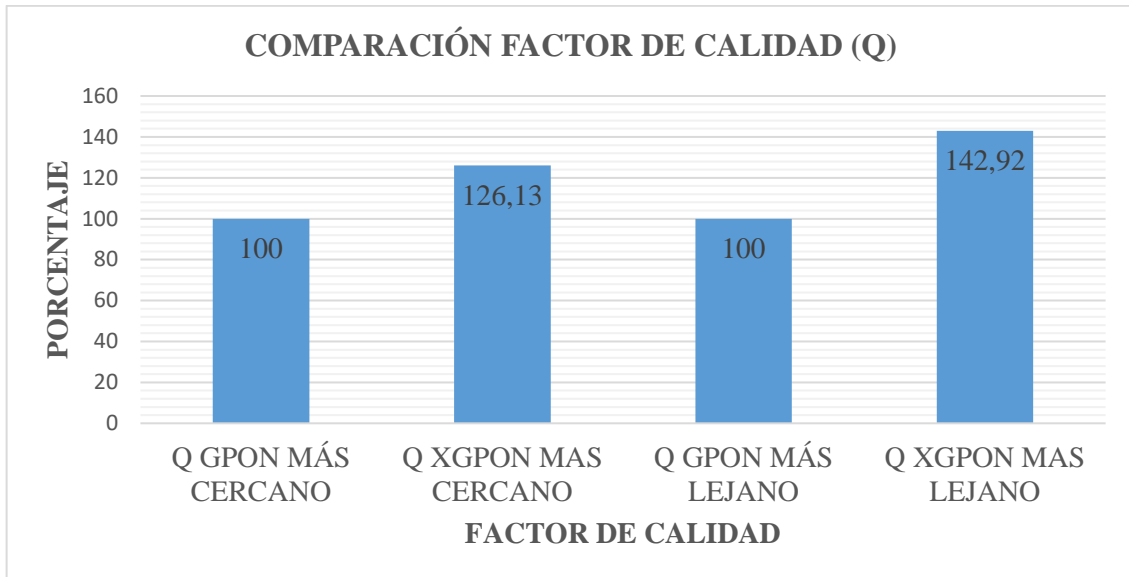


Gráfico 1-4. Comparación porcentual del factor de calidad de GPON y XG-PON

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

El Gráfico 1-4 se observa la mejora en porcentaje de la probabilidad de error de bit de la tecnología GPON contra la XG-PON. Para el usuario más cercano y lejano disminuye en un 100% la probabilidad de que un bit sea enviado de manera errónea, por lo que respalda que la tecnología XG-PON fue diseñada para mejorar estos parámetros de calidad de servicio.

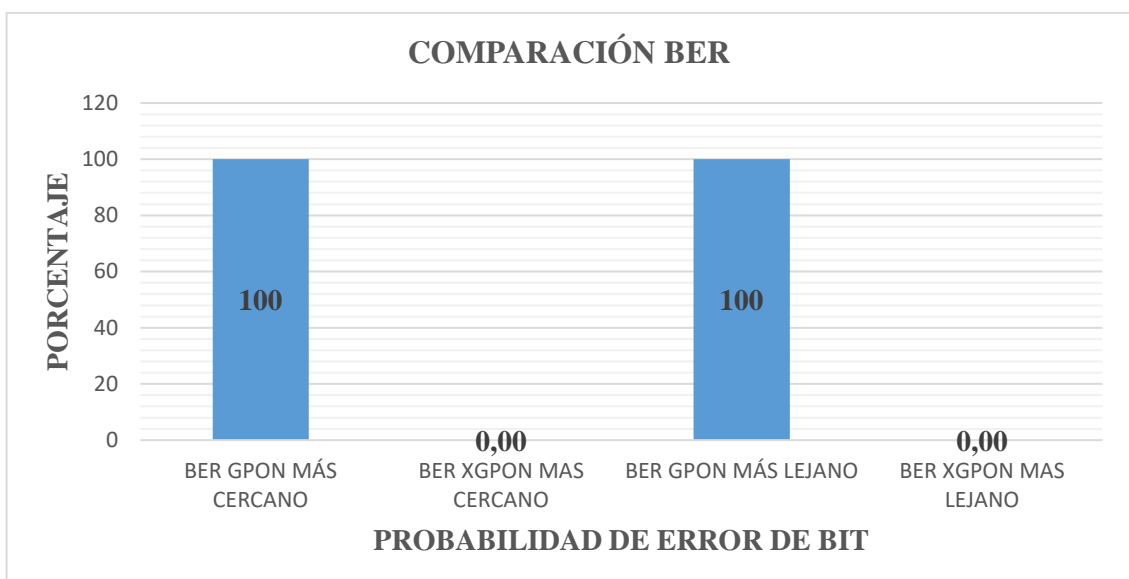


Gráfico 2-4. Comparación porcentual de la probabilidad de error de bit de GPON y XG-PON

Realizado por: Mayorga, Sebastián, 2021

CONCLUSIONES

- ✓ Las redes XG-PON al manejar velocidades de 10 Gbps de bajada y 2.4 Gbps de subida, generan grandes beneficios como una alta disponibilidad de los servicios de telecomunicaciones como TV digital, IPTV, internet de alta velocidad, etc., otorgar escalabilidad a la red FTTH al optimizar los recursos activos como son la OLT, y adicionalmente permitir una mayor relación de la potencia con más usuarios a diferencia de la tecnología antecesora GPON.
- ✓ Al utilizar *splitters* de 1:8 para el primer nivel y de 1:16 para el segundo, se obtuvieron valores de atenuación inferiores a los 31 dB que especifica la clase N2a de la norma G.987.2, en el presupuesto de pérdidas teóricos, permitiendo 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 del enlace se realizó para el usuario más cercano y lejano de toda parroquia La Merced, del cual al utilizar la misma arquitectura de red FTTH el único parámetro a modificar fue la distancia entre la OLT y su ONT, es decir la cantidad de fibra óptica a utilizar por usuario, además de las consideraciones; por lo que el rango de atenuación que existió entre ambos usuarios fue de 29.20 dB – 29.86 dB. Por lo tanto, en el balance de potencias, el cliente más cercano posee una potencia de recepción de - 24.20 dBm y el más distante de - 24.86 dBm, siendo estos resultados mayores a los - 28dBm de sensibilidad del receptor.
- ✓ Para comprobar los resultados se utilizó el software Optisystem 16.0 en su versión gratuita, obteniendo una potencia de recepción del usuario más cercano y más lejano de - 24.328 dBm y - 24.996 dBm respectivamente, existiendo una diferencia de -0.136 dBm, corroborando con lo obtenido de manera teórica. En los parámetros adicionales de calidad de servicio de determinó que el mejor y peor factor de calidad fue de 17.81 y 15.82 respectivamente, mientras que la probabilidad de que exista un error en la transferencia de bits se encuentra en el rango de 2.91×10^{-71} – 2.032×10^{-57} , por lo que se obtuvieron resultados favorables referente a lo definido por el estándar.
- ✓ Al utilizar una mejor tecnología de comunicación óptica, se comprobó que el factor de calidad mejoró en un 26.13% para el usuario más cercano y en un 42.92% para el usuario más lejano que al utilizar GPON. Mientras que la probabilidad de error de bit disminuyó notablemente en un 100% para ambos clientes, esto se da debido a la mayor capacidad de transmisión de datos que posee la tecnología XG-PON.

RECOMENDACIONES

- ✓ Revisar los estándares más actualizados que se encuentren disponibles en la página oficial de la ITU referentes a la familia G.987.X, ya que se acostumbra a utilizar versiones que se encuentran abandonadas u obsoletas, lo que pueda causar que se realice un diseño de red erróneo.
- ✓ Al momento de realizar el diseño lógico de la red FTTH, ya sea utilizando el software ArcGIS o AutoCAD, es recomendable solicitar la planimetría más actualizada que posea los GAD Municipales de cada cantón, con el fin de evitar contratiempos al momento de diseñar e implementar.
- ✓ Si se desea implementar la red FTTH es necesario tener precaución al momento de manipular la fibra óptica de manera aérea, ya que internamente el núcleo está fabricado de vidrio por lo que someterlo a curvas abruptas durante el trayecto del enlace puede causar fallas en el servicio. Adicionalmente procurar que las fusiones provoquen la menor atenuación posible.
- ✓ Se recomienda verificar los manuales técnicos de los equipos activos y pasivos o *datashets*, con el fin de verificar cual es el tipo de conector y pulido que utilizan y así evitar gastos innecesarios para el proveedor.
- ✓ Cuando se vaya a simular la red XG-PON en el software Optisystem, se recomienda verificar cada campo editable de cada elemento de la red, como atenuación, longitud de onda, filtros, velocidad de transmisión, etc., ya que si no se revisa adecuadamente y únicamente se modifica ciertos parámetros, puede darse resultados erróneos
- ✓ Se recomienda verificar las semejanzas y diferencias que posee el software Optisystem con su versión pagada y su versión gratuita de 30 días, con el fin de determinar si ambos programas entregan los mismos resultados o incluye más opciones para la red XG-PON.
- ✓ Se recomienda que este documento sea tomado como referencia, ya sea para la elaboración de otros diseños de redes XG-PON a nivel nacional, como para la creación de una nueva guía por parte del ARCOTEL que permita actualizar las redes FTTH con el nuevo estándar G.987.X.

BIBLIOGRAFÍA

ACTIWEB. *Amplificadores en la comunicación óptica* [blog]. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <http://actiweb2010.blogspot.com/2013/12/amplificadores-en-la-comunicacion-optica.html>.

AIRE. *Caja terminal de distribución óptica UPC 1 a 8 NAP-UPC-8* [blog]. [Consulta: 9 noviembre 2020]. Disponible en: <https://aire.ec/tienda/fibra-ptica/caja-terminal-de-distribucion-optica-upc-1-a-8-nap-upc-8/>.

ALCAD. *Conector Óptico Sc/Apc Mecánico* [en línea]. España: 2018, p. 1. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <https://alcadelectronics.com/es/producto/conector-optico-sc-apc-mecanico-9160028>.

CAREFIBER. *Caja de conexiones de la fibra óptica de 576 FDH, gabinete cruzado óptico al aire libre de la conexión IP65* [en línea]. 2020, p. 1. [Consulta: 9 noviembre 2020]. Disponible en: <http://spanish.opticalfiberpigtail.com/sale-8756798-576-fdh-fiber-optic-junction-box-ip65-outdoor-optical-cross-connection-cabinet.html>.

CAREFIBER. *Hablemos de conectores ópticos* [en línea]. 2019, p. 1. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.check-fiber.com/conectores-opticos/>.

CNT. *Normas de diseño y construcción de redes de telecomunicaciones con fibra óptica.* [en línea]. 2012, p. 25. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/bajarArchivo.cpe?Archivo=82hGsId48DVFwdM_QO0Xekka9d1D5n_2aLkN-jGIKM.

COIMBRA, E. *El canal óptico, la fibra óptica* [en línea]. 2011, p. 2. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://pdfslide.tips/documents/1-wwwcoimbrawebcom-objetivo-1-sistemas-opticos-de-comunicacion-edison-coimbra-g-comunicaciones-opticas-tema-1-de-ultima-modificacion-21-de-noviembre.html>.

COMMSCOPE. *FTTX fibra a la X principios básicos, la fibra óptica* [en línea]. Carolina del Norte, 2018, pp. 3-7. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/2525-fiber-to-the-x-fundamentals-ebook-eb-112495-es.pdf?r=1>.

CONECTRONICA. *Nuevos empalmes mecánicos de reflectancia de especificación de Grado 1 de mayor o igual a 60dB* [blog]. 2013. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.conectronica.com/fibra-optica/conectores-de-fibra-optica/nueva-generacion-de-empalmes-mecanicos-de-reflectancia-de-especificacion-de-grado-1-de-mayor-o-igual-a-60db>.

CRUZ, N. Diseño de una red FTTx utilizando estándar G.984.x para proveer servicio Triple Play en la zona urbana del cantón Chambo [en línea] (Trabajo de titulación). (pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 16-60. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/11020>.

DINAMARCA, A. *Análisis de Diagramas de Ojo* [en línea]. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, 2002, p. 11. [Consulta: 30 noviembre 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/2638743-Analisis-de-diagramas-de-ojo.html>.

DRAKA. *Splitter Family For GPON FTTH Network* [en línea]. 2009, p. 20. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.focabex.com/library-n/FIBER-OPTIC-SPLITTERS.pdf>.

FÀBREGA, J, & GRAELLS, S. *Topologías de redes de fibra óptica y gestión de fallos* [en línea]. 2013, p. 29. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/76208/4/Sistemas%20de%20comunicaci%C3%B3n%20C3%B3pticos_M%C3%B3dulo%204_Topolog%C3%ADas%20de%20redes%20de%20fibra%20C3%B3ptica%20y%20gesti%C3%B3n%20de%20fallos.pdf.

FERNÁNDEZ, F, & TADUL, L. *Fibras ópticas en América Latina* [blog] 1999. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: http://quadernsdigitals.net/datos_web/articles/telos/telos10/t10fibras.htm.

FIBRAOPTICA. *Fundamentos de las Fibras Ópticas* [blog] 2014. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>.

FLORES, B. “Fotodetector basado en un dispositivo p-i-n y un Amplificador de Transimpedancia”. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla [en línea], 2002, (México) 1(1). pp. 1-7. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/5432038/fotodetector-basado-en-un-dispositivo-pin>.

GALARZA, G, & PARRA, D. 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 [en línea]

(Trabajo de titulación). (pregrado) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2015. pp. 70-76. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/36968>.

GLOBALELECTRIC. *Gabinete de Fibra Optica 19”* [en línea]. 2020, p. 1. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <https://globalelectric.com.ec/producto/gabinete-de-fibra-optica-19-2-20x0-75x0-80cm-ref-fist-gr2-22110i/>.

GLOBALELECTRIC. *Odf 96 Puertos Sc/Apc, Completo Ref FIST-GPS2L-EAC8.* [en línea]. 2020, p. 1. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <https://globalelectric.com.ec/producto/odf-96-ptos-sc-apc-completo-ref-fist-gps2l-eac8/>.

GONZÁLES, A. Análisis de Atenuación, Dispersión y Automodulación de Fase en Sistemas de Comunicaciones de Único Canal por Fibra Óptica a 10 Gb/s [en línea] (Trabajo de titulación). (maestría) Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Guanajuato, México. 2007. p. 2. [Consulta: 23 diciembre 2020]. Disponible en: <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/587/1/12251.pdf>.

GONZÁLES, M, & BECERRA, A. 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] (Trabajo de titulación). (pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 16-60. [Consulta: 23 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/5444/1/98T00098.pdf>.

GPONSOLUTION. *GPON, XG-PON, XGS-PON, What is the difference?* [blog]. 2019. [Consulta: 9 noviembre 2020]. Disponible en: <http://gponsolution.com/gpon-xg-pon-xgs-pon-what-is-the-difference.html>.

HUAWEI. *Smart NG-OLT MA5800* [en línea]. 2019, p. 1. [Consulta: 9 diciembre 2020]. Disponible en: <https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/access/olt/smart-ng-olt-ma5800>.

INCOMBLOG. *Atenuación* [blog]. 2020. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://blog.incom.mx/entrada/Atenuaci%C3%B3n/28/>.

INTECH. *Splitter optyczny do budowy sieci pasywnych* [blog]. 2020. [Consulta: 9 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.spawaniemiatlowodow.com.pl/artykuly/pomoc/splitter-optyczny/>.

ITU-T, G.652: Características de las fibras y cables ópticos monomodo. [en línea], 2016. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I/es>.

ITU-T, G.655: Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula. [en línea], 2009. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.655-200911-I/es>.

ITU-T, G.983.1: Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas. [en línea], 1998. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.1-199810-S/es>.

ITU-T, G.984.1: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales. [en línea], 2008. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/es>.

ITU-T, G.984.2: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos. [en línea], 2008. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-200803-S!Amd2/es>.

ITU-T, G.984.3: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión. [en línea], 2014. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3-201401-I/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], 2008. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4-200802-I/es>.

ITU-T, G.984.5: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Banda de ampliación. [en línea], 2014. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.5-201405-I/es>.

ITU-T, G.987.1: Redes ópticas pasivas con capacidad de 10 Gigabit (XG-PON): Requisitos generales. [en línea], 2016. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.1-201603-I/es>.

ITU-T, G.987.2: Redes ópticas pasivas con capacidad de 10 Gigabit (XG-PON): Especificación de capa dependiente del medio físico (Physical media dependent, PMD). [en línea], 2016. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.2-201602-I/es>.

ITU-T, G.987.3: Redes ópticas pasivas con capacidad de 10 gigabits (XG-PON): Especificaciones de la convergencia de transmisión (TC). [en línea], 2014. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.3-201401-I/es>.

LATTANZI, M, & GRAF, A. *Redes FTTx* [en línea]. 2010, p. 24. [Consulta: 9 noviembre 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/455634-Redes-fttx-conceptos-y-aplicaciones-ing-miguel-lattanzi-mlattanzi-ieee-org-lic-agustin-graf-agustin-graf-huawei-com.html>.

LÓPEZ, E. *FTTH Course* [en línea]. 2015, p. 4. [Consulta: 11 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280069225_FTTH_Course_-_Module_2.

MALDONADO, D. *Composición de un sistema de comunicación basado en fibra óptica* [en línea]. 2017, pp. 7-8. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/1677095-Tema-composicion-de-un-sistema-de-comunicacion-basado-en-fibra-optica-linea-de-transmision-por-ella-viaja-la-luz.html>.

MARÍN, A. *Optimización de procedimiento para medición de diagrama de ojo y BER con equipo de comunicación por fibra óptica*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 2009. pp. 1-10.

MARTÍNEZ, J. *FTTx ¿Qué significa? ¿Qué variantes tiene?* [blog]. 2018. [Consulta: 9 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.prored.es/fttx-que-significa-que-variantes-tiene/>.

MENDOZA, S. *Fibra Óptica* [blog]. 2016. [Consulta: 9 noviembre 2020]. Disponible en: <http://2016redes5cp2g7.blogspot.com/2016/04/cables-compuestos-de-forma-optica.html>.

MILLÁN, R. “GPON (Gigabit Passive Optical Network)”. *BIT* [en línea], 2008, (España) 1(1). pp. 63-67. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/21665222/Qu%C3%A9_es_GPON_Gigabit_Passive_Optical_Networks_.

MINTEL. *Ecuador es pionero en la Fabricación de Fibra Óptica de la región* [blog]. 2016. [Consulta: 9 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuador-es-pionero-en-la-fabricacion-de-fibra-optica-de-la-region/>.

OPTIWAVE. *OptiSystem Overview* [blog]. 2020. [Consulta: 23 diciembre 2020]. Disponible en: <https://optiwave.com/optisystem-overview/>.

OPTIPATCH. *Abrazadera* [en línea]. Argentina: 2019, p. 1. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.optipatch.com.ar/herrajes/abrazadera.html>.

OPTYTECH. *Caja Terminal de 16 puertos Modelo: JFOPP - PDB0216*. [en línea]. 2020, pp. 1-5. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.optytech.com.ec/images/optytech->

equipos-accesorios-telecomunicaciones/01-cliente/05-archivos/DS%20FDB%20Caja%20Terminal-Box-JFOPP-PDB0216.pdf.

OPTYTECH. *Manga de empalme de Fibra Óptica lineal Modelo: GP01-H9JM4.* [en línea]. 2020, pp. 1-2. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.optytech.com.ec/images/optytech-equipos-accesorios-telecomunicaciones/01-cliente/05-archivos/DS%20Manga%20de%20Empalme%20lineal%20GP01-H9JM4.pdf>.

OPTYTECH. *Patch cord de Fibra Óptica SC/UPC-LC/UPC.* [en línea]. 2020, pp. 1. [Consulta: 15 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.optytech.com.ec/images/optytech-equipos-accesorios-telecomunicaciones/01-cliente/05-archivos/DS%20Patchcords%20FO%20JFOPT-13.pdf>.

OPTYTECH. *Roseta FO 2 puertos.* [en línea]. 2020, p. 1. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.optytech.com.ec/images/optytech-equipos-accesorios-telecomunicaciones/01-cliente/05-archivos/Data%20Sheet%20Roseta%202F.pdf>.

OPTYTECH. *Splitter 1x8 con conector SC/APC.* [en línea]. 2018, pp. 1-2. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.optytech.com.ec/images/optytech-equipos-accesorios-telecomunicaciones/01-cliente/05-archivos/DS%20SPLITTER%20PLC-6.pdf>.

ORDOÑEZ, A. *Diseño y simulación de los efectos de FWM en una red UDWDM PON* [en línea] (Trabajo de titulación). (maestría) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 2015. pp. 75-77. [Consulta: 23 diciembre 2020]. Disponible en: http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8546/TESIS_ANGEL%20ORD%c3%93%c3%91EZ_MAESTRIA_PUCE_V2.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

POZO, L, & ZURITA, K. *Diseño y simulación de una red de acceso 10G-PON para el sector de La Mariscal* [en línea] (Trabajo de titulación). (pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2019. pp. 141-153. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20075/1/CD-9513.pdf>

PROMAX. *Tipos de conectores de fibra óptica: Guía sencilla* [blog]. 2019. [Consulta: 8 noviembre 2020]. <https://www.promax.es/esp/noticias/578/tipos-de-conectores-de-fibra-optica-guia-sencilla/>.

ROUTER-SWITCH. *H901XGSF* [en línea]. 2019, p. 1. [Consulta: 9 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.router-switch.com/h901xgsf.html>.

ROUTER-SWITCH. *HN8M038055Q* [en línea]. 2019, p. 1. [Consulta: 10 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.router-switch.com/hn8m038055q.html>.

SANCHIS, E. *El diodo de emisión de luz (LED)* [en línea]. 2008, p. 5. [Consulta: 11 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.uv.es/=esanchis/cef/pdf/Temas/B_T3.pdf.

SANI, E. Diseño, evaluación de una red FTTH utilizando Optisystem y estrategia para la obtención de concesión que permita brindar servicios Triple Play (Trabajo de titulación) (maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 33-106.

SCHMIDBERG, E. *Redes con Fibra Óptica.* [en línea]. 2017, p. 35. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://cie.gov.ar/web/images/Fibra-optica.pdf>.

SIMON, C. *Transmisores y receptores ópticos.* [en línea]. 2014, p. 3. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: http://docentes.uto.edu.bo/schoquechambim/wp-content/uploads/CAP_IV-tx_y_Rx.pdf.

TDTPROFESIONAL. *Videotutorial de cómo fusionar Fibra Óptica* [blog]. 2015. [Consulta: 8 noviembre 2020]. <https://www.tdtprofesional.com/blog/videotutorial-de-como-fusionar-fibra-optica/>.

TOMASI, W. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.* México: PEARSON EDUCACIÓN, 2003. 970-26-0316-1, pp. 422-426.

VILLACIS, A. Diseño de una red 10G-PON para el barrio Carcelén alto 3D [en línea] (Trabajo de titulación). (pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2013. pp. 29-31. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5911/1/CD-4733.pdf>.

ZEVALLLOS, J. *Historia de las Telecomunicaciones en el Ecuador.* Ecuador: Academia Nacional de Historia, 2014. 978-9978-394-15-1, pp. 144-148.

ANEXOS

Anexo A: Número de habitantes, viviendas y tasa de crecimiento poblacional de la parroquia La Merced del cantón Ambato, proporcionado por el INEC.



Tabla 1.
Población de la parroquia urbana la Merced de la ciudad de Ambato según sexo.

PARROQUIAS URBANAS DE AMBATO	Sexo		Total
	Hombre	Mujer	
LA MERCED	6.752	7.514	14.266

Fuente: VII Censo de Población y VI de Vivienda 2010

Elaboración: INEC-CZ3-GCC

Tabla 2.
Viviendas según tipo en la parroquia urbano de la ciudad de Ambato

TIPO DE VIVIENDA	LA MERCED
Casa/Villa	2.382
Departamento en casa o edificio	2.227
Cuarto(s) en casa de inquilinato	507
Mediagua	107
Rancho	-
Covacha	10
Choza	1
Otra vivienda particular	10
Hotel, pensión, residencial u hostel	3
Cuartel Militar o de Policía/Bomberos	1
Centro de rehabilitación social/Cárcel	-
Centro de acogida y protección para niños y niñas, mujeres e indigentes	-
Hospital, clínica, etc.	3
Convento o institución religiosa	1
Asilo de Ancianos u orfanato	1
Otra vivienda colectiva	4
Sin Vivienda (Mendigo)	1
Total	5.258

Fuente: VII Censo de Población y VI de Vivienda 2010

Elaboración: INEC-CZ3-GCC

Tabla 3.
POBLACIÓN Y TASAS DE CRECIMIENTO INTERCENSAL DE 2010-2001-1990 POR SEXO NACIONAL Y CIUDAD AMBATO

Código	Nombre de parroquia	Tasa de Crecimiento Anual 2001-2010			Tasa de Crecimiento Anual 1990 - 2001		
		Hombre	Mujer	Total	Hombre	Mujer	Total
	Nacional	1,96%	1,93%	1,95%	2,06%	2,14%	2,10%
180150	AMBATO	1,02%	0,88%	0,95%	1,88%	1,79%	1,83%

Fuente: VII Censo de Población y VI de Vivienda 2010

Elaboración: INEC-CZ3-GCC



Anexo B: Encuesta realizada a los habitantes de la parroquia La Merced del cantón Ambato.



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES**

La presente encuesta tiene como objetivo recolectar información para el “DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA RED FTTH BASADO EN EL ESTÁNDAR G.987.X PARA LA PARROQUIA LA MERCED DE LA CIUDAD DE AMBATO”. Le solicitamos por favor que conteste con la mayor seriedad y sinceridad.

✓ **¿Qué servicios tiene usted actualmente contratado?**

Telefonía fija

Televisión por cable

Internet

✓ **Marque con una X la respuesta. ¿Qué tanto se siente conforme con su servicio actual?**

Nivel de conformidad	Internet	TV por Cable	Telefonía
Excelente			
Muy Bueno			
Bueno			
Malo			
Muy Malo			

✓ **¿Ha escuchado hablar acerca de los avances tecnológicos de la fibra óptica como es la tecnología XG-PON?**

Si No

✓ **¿Estaría dispuesto a cambiarse a una nueva tecnología que le proporcione un servicio más eficaz?**

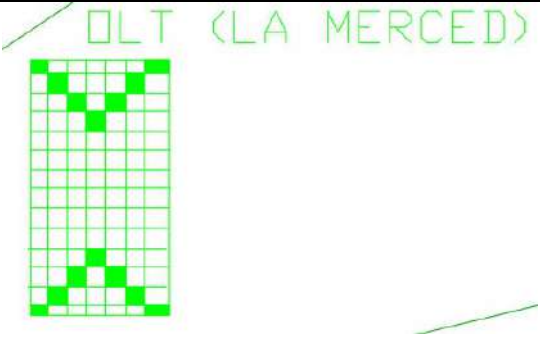

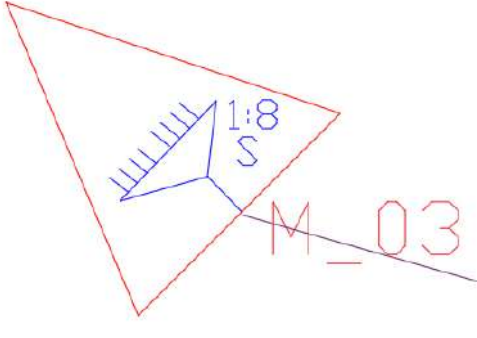

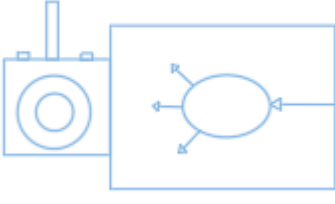
Si No




GRACIAS POR RESPONDER LA ENCUESTA

Anexo C: Diseño lógico de la red XG-PON de la parroquia La Merced del cantón Ambato.



Anexo D: Simbología utilizada para el diseño lógico de la red XG-PON

SÍMBOLO	DEFINICIÓN
	<p>OLT: Terminal de línea óptico</p>
	<p>POSTE</p>
	<p>MANGA TRONCAL AÉREA</p>
	<p>NAP:</p>
	<p>ROSETA Y ONT</p>

	RED FEEDER
	SANGRADO DE LA RED
	RED DE DISTRIBUCIÓN

Anexo E: Especificaciones técnicas de la fibra óptica determinado por el estándar G.652.D y G.655.D

Table 2 – ITU-T G.652.D attributes

Fibre attributes			
Attribute	Detail	Value	Unit
Mode field diameter	Wavelength	1310	nm
	Range of nominal values	8.6-9.2	µm
	Tolerance	± 0.4	µm
Cladding diameter	Nominal	125.0	µm
	Tolerance	± 0.7	µm
Core concentricity error	Maximum	0.6	µm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0	%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260	nm
Macrobending loss	Radius	30	mm
	Number of turns	100	
	Maximum at 1625 nm	0.1	dB
Proof stress	Minimum	0.69	GPa
Chromatic dispersion parameter	λ_{0min}	1300	nm
	λ_{0max}	1324	nm
3-term Sellmeier fitting (1260 nm to 1460 nm)	S_{0min}	0.073	ps/(nm ² × km)
	S_{0max}	0.092	ps/(nm ² × km)
Linear fitting (1460 nm to 1625 nm)	Minimum at 1550 nm	13.3	ps/(nm × km)
	Maximum at 1550 nm	18.6	ps/(nm × km)
	Minimum at 1625 nm	17.2	ps/(nm × km)
	Maximum at 1625 nm	23.7	ps/(nm × km)
Cable attributes			
Attribute	Detail	Value	Unit
Attenuation coefficient (Note 1)	Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2)	0.40	dB/km
	Maximum at 1383 nm ±3 nm after hydrogen ageing (Note 3)	0.40	dB/km
	Maximum at 1530-1565 nm	0.30	dB/km
PMD coefficient (Note 4,5)	M	20	cables
	Q	0.01	%
	Maximum PMD ₀	0.20	ps/√km

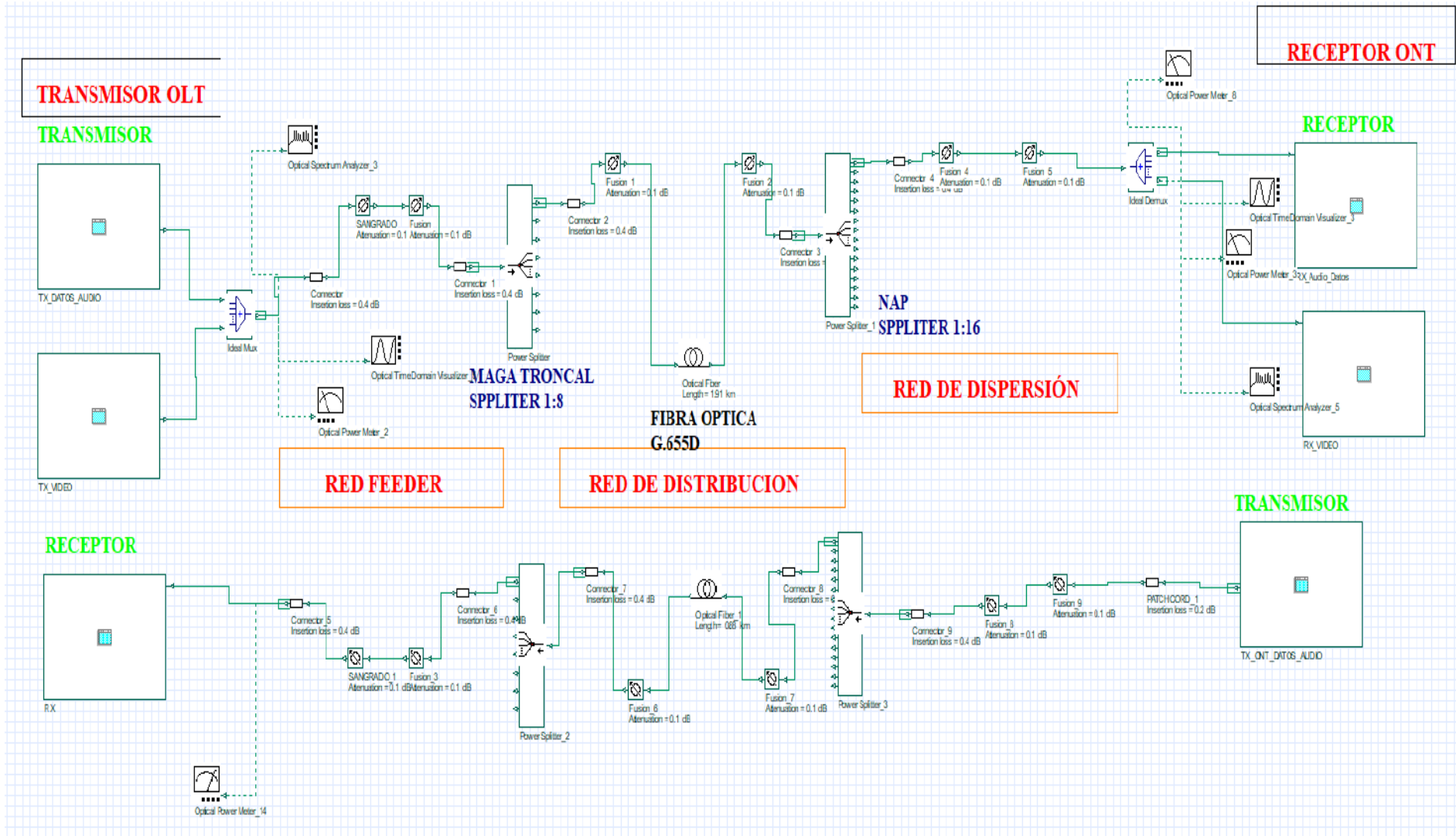
Table 2 – G.655.D attributes

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1550 nm
	Range of nominal values	8-11 μm
	Tolerance	± 0.6 μm
Cladding diameter	Nominal	125 μm
	Tolerance	± 1 μm
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding non-circularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1450 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 (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{7.00}{90}(\lambda - 1460) - 4.20$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{2.97}{75}(\lambda - 1550) + 2.80$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{2.91}{90}(\lambda - 1460) + 3.29$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{5.06}{75}(\lambda - 1550) + 6.20$

Table 2 – G.655.D attributes

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Uncabled fibre PMD coefficient	Maximum	(Note 1)
Attenuation coefficient (Note 2)	Maximum at 1550 nm	0.35 dB/km
	Maximum at 1625 nm	0.4 dB/km
PMD coefficient (Note 3)	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD ₀	0.20 ps/√km

Anexo F: Simulación de la red XG-PON




Inf.

Patricio Adolfo Romero <adolfo.romero@epoch.edu.ec>

Jue 1/7/2021 12:16

Para: HENRY SEBASTIAN MAYORGA PEREZ <henry.mayorga@epoch.edu.ec>

 1 archivos adjuntos (316 KB)

abstract_henry_mayorga.pdf;



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



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

Fecha de entrega: 13/07/2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR

Nombres – Apellidos: HENRY SEBASTIÁN MAYORGA PÉREZ

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

Carrera: INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

f. Analista de Biblioteca responsable:



Firmado electrónicamente por:
ELIZABETH
FERNANDA AREVALO
MEDINA

