



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

“DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA XG-PON PARA LA EXPANSIÓN DE SERVICIO DE INTERNET EN LA PARROQUIA GARCÍA MORENO DE LA ZONA DE INTAG PARA LA EMPRESA PROFYBER S.C.”

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

AUTOR: JEFERSON SANTIAGO RECALDE AVINCHO

DIRECTOR: MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

ASESOR: MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA

Ibarra-Ecuador

2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE	100395743-6		
APELLIDOS Y	Recalde Avincho Jefferson Santiago		
DIRECCIÓN	Camilo Pompeyo y Orquídeas		
E-MAIL	jsrecaldea@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	062 551-332	TELÉFONO MÓVIL	0983276971

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	“Diseño de una red de fibra óptica utilizando la tecnología XG-PON para la expansión de servicio de internet en la parroquia García Moreno de la zona de Intag para la empresa PROFYBER S.C.”
AUTOR	Recalde Avincho Jefferson Santiago
FECHA	31-10-2022
PROGRAMA	Pregrado
TÍTULO	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
DIRECTOR	Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MsC.

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 31 del mes de octubre de 2022

EL AUTOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. Recalde', is written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and cursive.

Jefferson Santiago Recalde Avincho

CI: 100395743-6



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN.

MAGISTER JAIME MICHILENA, DIRECTOR DEL PRESENTE
TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación “DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA XG-PON PARA LA EXPANSIÓN DE SERVICIO DE INTERNET EN LA PARROQUIA GARCÍA MORENO DE LA ZONA DE INTAG PARA LA EMPRESA PROFYBER S.C.” Ha sido desarrollado por el señor Jefferson Santiago Recalde Avincho bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MsC.

100219843-8

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

Mi familia, por estar siempre a mi lado en todo momento y circunstancia, apoyándome y brindándome su amor, fuerza, paciencia y aliento, que han forjado en mi la persona que soy hoy en día.

A mis amigos de la universidad Brayan, Anthony, Diego, Edwin y David, por siempre estar ahí cuando los necesito, apoyándome en todo momento y circunstancia de la vida.

Jefferson Santiago Recalde Avincho

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por la vida y la familia con la que me bendijo, dándome la oportunidad de seguir adelante cada día y cumplir todos mis objetivos y metas.

A mi familia por ese cariño y amor incondicional que me brindan día a día, ayudándome a superar las dificultades que se presentan en mi vida.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación quienes han enriquecido mis conocimientos.

INDICE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	II
CONSTANCIAS	III
CERTIFICACIÓN	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO.....	6
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES.....	15
1.1. Tema.....	15
1.2. Problema	15
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo General	17
1.3.2. Objetivos Específicos	17
1.4. Alcance	17
1.5. Justificación.....	18
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	20
2.1. Fibra Óptica	20
2.2. Principios Físicos.....	21
2.2.1. Reflexión	21
2.2.2. Refracción	22
2.2.3. Reflexión Interna Total	24
2.2.4. Atenuación	25
2.2.5. Pérdidas	26
2.2.6. Ventana de Transmisión de la Fibra Óptica	32
2.3. Tipos de Fibra Ópticas	34
2.3.1. Fibra Óptica Monomodo	35
2.3.2. Fibra Óptica Multimodo.....	36
2.4. Componentes de una Red de Fibra Óptica.....	37
2.4.1. Conectores.....	37
2.4.2. Divisor Óptico	41
2.4.3. Amplificadores	42
2.4.4. Cajas de Empalme	44
2.4.5. Transmisores Ópticos	45
2.4.6. Receptore Ópticos	46

	8
2.5. Arquitecturas de Redes de Acceso Óptico	47
2.5.1. FTTX (Fiber to the X)	47
2.5.2. FTTH (Fiber To The Home)	48
2.5.3. FTTC (Fiber To The Curb)	49
2.5.4. FTTB	50
2.5.5. FTTN	51
2.6. Redes Ópticas Pasivas (PON).....	51
2.6.1. Componentes y Dispositivos de Red Óptica Pasiva.....	52
2.6.2. Arquitectura PON.....	53
2.6.3. Operación de Red Óptica Pasiva.....	55
2.6.4. Tipos de Servicio PON.....	55
2.7. XG-PON (10 Gigabit Passive Optical Network)	59
2.8. Metodologías para el Diseño de Proyectos Tecnológicos.....	60
2.8.1. Modelo en Cascada	61
2.8.2. Modelo en V.....	62
2.8.3. Modelo Espiral	64
2.8.4. Modelo Iterativo.....	65
2.8.5. Elección de la Metodología.....	67
3. CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA.....	68
3.1. Situación Actual de la Parroquia.....	68
3.1.1. Ubicación	68
3.1.1. Población.....	69
3.1.1. Situación Actual de Proveedores.....	70
3.1.2. Proyección a Mediano Plazo	71
3.2. Opinión de los Abonados	72
3.2.1. Tamaño de la Muestra.....	73
3.3. Análisis de la Encuesta	75
3.3.1. Pregunta 1	77
3.3.2. Pregunta 2	77
3.3.3. Pregunta 3	77
3.3.4. Pregunta 4	78
3.3.5. Pregunta 5	78
3.3.6. Pregunta 6	78
3.3.7. Pregunta 7	79
3.3.8. Pregunta 8	79

	9
3.3.9. Pregunta 9	79
3.3.10. Pregunta 10	80
3.4. Fase 1: Requisitos y Requerimientos	80
3.4.1. Análisis	81
3.4.2. Requerimientos Stakeholders	81
3.4.3. Requerimientos del Sistema	83
3.4.4. Requerimientos de Arquitectura	86
3.5. Fase 2: Diseño de la Red	88
3.5.1. Arquitectura	88
3.5.2. Topología de División Óptica a Usar	89
3.5.3. Criterio de ubicación de equipos de red pasivos y activos	91
3.5.4. Cables de Fibra Óptica a Utilizar en el Diseño de la Red	95
3.5.5. Presupuesto de Potencia y Presupuesto de Pérdida Óptica	98
3.5.6. Especificaciones de Capa Dependiente de los Medios Físicos (PMD)	99
3.5.7. Cálculo del Presupuesto de Potencia Óptico	102
3.5.8. Redes de Acceso de Fibra Óptica para Arquitectura FTTH	113
3.5.9. Diagrama de Bloques	125
3.6. Elección de Hardware y Software para el Sistema	125
3.6.1. Selección Equipos de Borde y Servidor	126
3.6.2. Selección OLT	127
3.6.3. Selección ONTs	128
3.6.4. Elección de Software	129
3.7. Diseño de la red de Fibra Óptica Pasiva	130
3.7.1. Software para Diseño de Red	130
3.7.2. Redes de Acceso para FTTH	132
3.7.2.1. Redes de acceso para FTTH	132
3.7.3.2. Ubicación y descripción de OLT	132
3.7.3.3. Descripción y ubicación de NAPs de primer nivel	133
3.7.3.4. Descripción y ubicación de NAPs de nivel 2 del SP1	135
3.7.3.5. Descripción y ubicación de NAPs de nivel 2 del SP2	136
3.7.3.6. Descripción y ubicación de NAPs de nivel 2 del SP3	137
3.7.3.7. Descripción y ubicación de NAPs de nivel 2 del SP4	138
3.7.3.9. Descripción y ubicación de reservas del Feeder Troncal	139
3.7.3.10. Descripción y ubicación de reservas red de distribución de SP1	140
3.7.3.11. Descripción y ubicación de reservas de la red de distribución de SP2	141

	10
3.7.3.12. Descripción y ubicación de reservas de Feeder de distribución SP3.	142
3.7.3.13. Descripción y ubicación de reservas de Feeder de distribución SP4.	143
3.7.3.13. Simbología de los elementos del diseño.....	144
3.7.3.14. Diseño final de la red.	144
4. CAPITULO IV: ANALISIS FINANCIERO.....	148
4.1. Flujo de Caja.....	148
4.1.1. Egresos del Proyecto	148
4.1.2. Ingresos del Proyecto	151
4.1.3. Egresos e Ingresos Totales	153
4.2. Valor Presente Neto	154
4.3. Periodo de Recuperación de la Inversión.....	155
CONCLUSIONES.....	159
RECOMENDACIONES	160
Bibliografía.....	161

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura Fibra Óptica	21
Figura 2 Reflexión luz en la fibra óptica	22
Figura 3 Refracción de la luz en la fibra óptica.....	23
Figura 4 Reflexión interna total.....	25
Figura 5 Dispersión de Rayleigh	28
Figura 6 Dispersión MIE	29
Figura 7 Dispersión de Brillouin	30
Figura 8 Macro curvatura fibra óptica.....	31
Figura 9 Micro curvatura fibra óptica	32
Figura 10 Ventanas de transmisión fibra óptica	34
Figura 11 Tipos de fibras ópticas según el modo de propagación.....	35
Figura 12 Conector de fibra óptica SC	38
Figura 13 Conector de fibra óptica FC	39
Figura 14 Conector de fibra óptica LC	40
Figura 15 Conector de fibra óptica ST	41
Figura 16 Divisor óptico 1x4 (Splitter)	42
Figura 17 Amplificadores Ópticos	43
Figura 18 Caja de empalme de fibra óptica.....	45
Figura 19 Transmisor óptico	46
Figura 20 Receptor Óptico GPON	46
Figura 21 Arquitectura de red de acuerdo con la cercanía con el abonado de redes.....	47
Figura 22 Arquitectura FTTH	49
Figura 23 Arquitectura FTTC.....	50
Figura 24 Arquitectura FTTB.....	51

Figura 25 Arquitectura FTTN	51
Figura 26 Arquitectura PON tráfico ascendente y descendente	54
Figura 27 Diagrama del modelo en cascada	61
Figura 28 Diagrama del Modelo en V	63
Figura 29 Diagrama del Modelo Espiral	64
Figura 30 Diagrama del Modelo Iterativo	66
Figura 31 Mapa geográfico de Imbabura	68
Figura 32 Mapa topográfico de la parroquia de García Moreno	69
Figura 33 Arquitectura de la red FTTH.....	89
Figura 34 División óptica adicional en el nivel de red de acceso inferior.....	90
Figura 35 Zona de estudio de la red.	92
Figura 36 Ubicación OLT	94
Figura 37 Arquitectura red fibra óptica	104
Figura 38 Distancia máxima hacia el sur de la parroquia García Moreno	105
Figura 39 Distancia máxima hacia el norte de la parroquia García Moreno	105
Figura 40 Camino recorrido por la red Troncal.....	114
Figura 41 Camino recorrido por la red Troncal.....	115
Figura 42 Camino recorrido por la red de distribución	116
Figura 43 Camino recorrido por la red de distribución SP1 0.616Km	117
Figura 44 Camino recorrido por la red de distribución SP2 0.380Km.....	117
Figura 45 Camino recorrido por la red de distribución SP3 0.447Km.....	118
Figura 46 Camino recorrido por la red de distribución SP4 0.638Km.....	118
Figura 47 Camino recorrido por la red de dispersión.....	120
Figura 48 Diagrama de bloques.....	125
Figura 49 Paquetes ofertados por RedFTTH	131
Figura 50 Principales características de RedFHHT	131
Figura 51 Descripción y ubicación de la OLT	132
Figura 52 Descripción y ubicación de armarios ópticos de primer nivel	134
Figura 53 Descripción y ubicación de armarios ópticos de segundo nivel del SP1.	135
Figura 54 Descripción y ubicación de armarios ópticos de segundo nivel del SP2.	136
Figura 55 Descripción y ubicación de armarios ópticos de segundo nivel del SP3.....	137
Figura 56 Descripción y ubicación de armarios ópticos de segundo nivel del SP4.	138
Figura 57 Descripción y ubicación de reservas en el Feeder Troncal.....	139
Figura 58 Descripción y ubicación de reservas en el Feeder de distribución SP1.....	140
Figura 59 Descripción y ubicación de reservas en el Feeder de distribución SP2.....	141
Figura 60 Descripción y ubicación de reservas en el Feeder de distribución SP3.....	142
Figura 61 Descripción y ubicación de reservas en el Feeder de distribución SP4.....	143
Figura 62 Red de Fibra Óptica de García Moreno – Mapa Base.....	145
Figura 63 Red de Fibra Óptica de García Moreno – Mapa modo limpio.....	146
Figura 64 Red de Fibra Óptica de García Moreno – Mapa Satelital	147

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Pérdidas de divisor e inserción	42
Tabla 2 Comparación GPON vs XG-PON	60
Tabla 3 Ventajas y desventajas modelo en cascada.....	61

Tabla 4 Ventajas y desventajas Modelo en V	63
Tabla 5 Ventajas y desventajas Modelo en Espiral	65
Tabla 6 Ventajas y desventajas Modelo en Espiral	66
Tabla 7 Población y variación de habitantes García Moreno	70
Tabla 8 Cantidad de abonados por proveedor en el año 2021	70
Tabla 9 Cantidad de abonados por proveedor en el año 2021	73
Tabla 10 Datos de las encuestas realizadas.....	75
Tabla 11 Lista de Stakeholders del proyecto.....	81
Tabla 12 Lista de Stakeholders del proyecto.....	82
Tabla 13 Términos abreviados y acrónimos usados durante el análisis de requerimientos	84
Tabla 14 Prioridad de los Requerimientos del sistema.....	84
Tabla 15 Requerimientos Iniciales del Sistema.....	85
Tabla 16 Requerimientos de Arquitectura.....	86
Tabla 17 Atributos de fibra óptica de UIT-T G.652.D	96
Tabla 18 Atributos de fibra óptica de UIT-T G.657.A	97
Tabla 19 Rangos de atenuación por clase para G-PON.....	100
Tabla 20 Rangos de atenuación para la tecnología XG-PON.....	101
Tabla 21 Parámetros de potencias transmitidas de OLT y recibidas de ONU.....	101
Tabla 22 Rangos de atenuación de empalmes de fibra óptica	107
Tabla 23 Grados de atenuación y sus rangos medios y máximos de pérdida de potencia	108
Tabla 24 Atenuaciones para cada nivel de división óptica	109
Tabla 25 Caracterización splitters de la red	121
Tabla 26 Caracterización rutas de la red.....	122
Tabla 27 Caracterización reservas de la red	123
Tabla 28 Selección Equipos de Borde y Servidor	126
Tabla 29 Características del equipo de borde y servidor	126
Tabla 30 Elección OLT	127
Tabla 31 Características OLT	128
Tabla 32 Elección ONT	128
Tabla 33 Elección ONT	129
Tabla 34 Elección software de gestión	129
Tabla 35 Simbología.....	144
Tabla 36 <i>Egreso total de equipos activos</i>	148
Tabla 37 <i>Egreso total de equipos pasivos</i>	149
Tabla 38 <i>Egreso total del personal operativo</i>	150
Tabla 39 <i>Egreso total de movilización</i>	150
Tabla 40 <i>Egreso total de operación y mantenimiento</i>	151
Tabla 41 Ingresos totales por prestación del servicio	152
Tabla 42 Ingresos totales por instalación del servicio.....	152
Tabla 43 Tabla de flujo de caja neto por año.....	153

RESUMEN

El presente trabajo se basa en el diseño de una red de fibra óptica basado en la arquitectura FTTH de la tecnología XG-PON para la parroquia de García Moreno de Intag en la provincia de Imbabura, el cual satisfará las necesidades de los habitantes de esta ofertando un servicio de internet adecuado para los mismos. El objetivo principal de la presente investigación es realizar el diseño de la red de fibra óptica para la parroquia de García Moreno como una solución de oferta del servicio de Internet que brinde un ancho de banda que cubra las exigencias de los residentes a un costo accesible para los abonados.

Para el diseño se utilizó la metodología en cascada, donde se estudió a profundidad los requisitos y requerimientos necesarios para el diseño de este, principalmente satisfaciendo las necesidades de los usuarios del servicio de internet. El resultado que se obtiene sobre el diseño de la red óptica es que cubre las exigencias de los residentes de la parroquia de García Moreno en una relación de un ancho de banda de 70Mbps a un costo de \$25 como un plan básico que se ve representado en base a la situación actual de la zona de estudio.

Con respecto al análisis financiero se posee de inversión de \$40018.00, dicha inversión según el valor presente neto (VPN) arroja que el proyecto es viable ya que es superior a cero, y al ser viable se debe obtener un periodo de recuperación de la inversión (PRI) el cual es de 4 años con 10 meses y 28 días, ratificando la viabilidad del proyecto.

ABSTRACT

The present work is based on the design of a fiber optic network based on the FTTH architecture of the XG-PON technology for the parish of García Moreno de Intag in the province of Imbabura, which will satisfy the needs of the inhabitants of this offering. adequate internet service for them. The main objective of the present investigation is to carry out the design of the fiber optic network for the García Moreno parish as an Internet service offer solution that provides a bandwidth that covers the demands of the residents at an affordable cost for subscribers.

For the design, the cascade methodology was used, where the requirements and requirements necessary for its design were studied in depth, mainly satisfying the needs of Internet service users. The result obtained on the design of the optical network is that it covers the demands of the residents of the García Moreno parish in a ratio of a bandwidth of 70Mbps at a cost of \$25 as a basic plan that is represented in based on the current situation of the study area.

With respect to the financial analysis, there is an investment of \$40018.00, said investment according to the net present value (NPV) shows that the project is viable since it is greater than zero, and since it is viable, an investment recovery period must be obtained (PRI) which is 4 years with 10 months and 28 days, ratifying the viability of the project.

1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

El presente capítulo explica todo lo relacionado al problema que se está investigando, los objetivos que se van a cumplir dentro del proyecto, el alcance de este, y por último se explica el por qué se está realizando el mismo y cuál es el sector beneficiado.

1.1. Tema

Diseño de una red de fibra óptica utilizando la tecnología XG-PON para la expansión de servicio de internet en la parroquia García Moreno de la Zona de Intag para la empresa Profyber S.C.

1.2. Problema

En la actualidad los diferentes proveedores de servicio de internet tanto públicos como privados en la parroquia de García Moreno de Intag, brindan a los usuarios el servicio de Internet en la modalidad de radio enlace o dial-up(El Herald, 2020). La empresa Profyber S.C. es una empresa que se encarga de brindar servicios tecnológicos de los cuales se destaca principalmente el servicio de internet que se lo brinda por fibra óptica o radio enlaces. En su interés de extender su red actual dentro de la provincia de Imbabura se ha tomado en cuenta la parroquia de García Moreno, la cual por su zona geografía presenta varias necesidades a solventar.

La pandemia que azota al país y al mundo entero ha influido drásticamente en las actividades del diario vivir, con lo que se puede destacar que ha afectado principalmente el trabajo y la educación, los cuales se los debe realizar desde la comodidad del hogar, para precautelar la salud e integridad de todos, por tal motivo los usuarios de los diferentes proveedores de servicio de internet demandan de una conexión con buenas prestaciones para poder desempeñar dichas actividades sin ningún inconveniente. Debido a la geografía y ubicación de esta parroquia existe dificultad en

brindar un servicio estable y ofrecer las mejores prestaciones a los diferentes usuarios finales.

Gracias a las conversaciones realizadas con habitantes de la parroquia quienes colaboran directa o indirectamente con el tema de la presente investigación se ha logrado determinar que la gran mayoría de los usuarios poseen una conexión inalámbrica(Aguirre & Paspuezan, 2022), la cual es sensible a fallos ya sean de naturaleza electromagnética o debido a fenómenos naturales de la zona, perjudicando severamente las actividades telemáticas de los usuarios. En la parroquia de García Moreno de Intag las variaciones climáticas son muy comunes, ya sea por el tema de lluvias o la neblina que azota a la parroquia, causando problemas en dichas conexiones inalámbricas, por tal motivo los planes ofertados por los diferentes proveedores de servicios de internet de la zona no son lo suficientemente robustos a causa de la tecnología que se utiliza, incumpliendo con las diferentes necesidades de los usuarios(Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural, 2015).

Por lo tanto, en base a estas dificultades y requerimientos por parte de los usuarios y el afán de crecimiento de la empresa Profyber S.C. se plantea el presente proyecto de investigación, donde se ha visto indispensable el diseñar una red de fibra óptica FTTH utilizando la tecnología XG-PON para dicho sector, con el fin de satisfacer las diferentes necesidades de los clientes ampliando el ancho de banda, reduciendo la utilización de radioenlaces, que debido a las características y factores de esta zona no es la tecnología idónea para cumplir con las actividades telemáticas que se ha expuesto anteriormente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar una red de fibra óptica FTTH mediante la utilización de la tecnología XG-PON, para brindar servicio de internet a los usuarios de la parroquia de García Moreno de Intag y ampliar la cobertura de la empresa Profyber S.C.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar información acerca de la tecnología XG-PON, determinando las bases teóricas de su estructura y despliegue de la misma.
- Investigar la situación actual y topografía de la parroquia con la finalidad de determinar las necesidades de los usuarios.
- Diseñar una propuesta de fibra óptica con la tecnología XG-PON para satisfacer las necesidades telemáticas de los usuarios.
- Realizar un análisis costo-beneficio, para determinar la viabilidad económica del proyecto.

1.4. Alcance

En el proyecto de grado descrito en el presente documento se tiene como alcance, diseñar una red de fibra óptica FTTH en la parroquia de García Moreno de Intag mediante la tecnología XG-PON la cual se basa en la recomendación ITU-T G.987, la misma que consta de 2 fases, y su objetivo principal es aumentar el ancho de banda y definir una tasa de transmisión simétrica (ITU-T, 2012). Para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación se utilizará la metodología en cascada, en donde se trabajará de manera ordenada y secuencial en el desarrollo de esta.

Para la sustentación teórica se desarrollará mediante una investigación documental, donde se analizarán artículos, tesis y documentos relacionados con GPON, posteriormente se detallará acerca de la tecnología XG-PON y el estándar ITU-T G.987, finalmente se explicará la red de acceso FTTH y sus diferentes componentes dentro de dicha red.

Para la parte de diseño de la red de fibra óptica se analizará la situación actual de los diferentes proveedores de servicio de internet de la parroquia García Moreno de Intag, mediante la realización de encuestas se obtendrán dichos datos, también se podrá conocer la aceptación por parte de los habitantes de la parroquia de adquirir un servicio de internet por fibra óptica. Además, con un estudio de campo se puede conocer la disposición de la postería y planificar el dimensionamiento de nodos principales y secundarios dentro de la zona. Con toda la información recolectada se procederá a realizar el diseño de la red FTTH, así mismo, se estimará el crecimiento de la demanda de clientes que tendrá la empresa, con el fin de conocer los costos y presupuestos requeridos para la implementación del trabajo de grado, el mismo puede ser base para próximas expansiones de la empresa.

Por último, para determinar la rentabilidad del proyecto de investigación, se realizará un análisis de costo-beneficio y demostrar la factibilidad y rentabilidad para llevar a cabo el diseño de la red de fibra óptica FTTH mediante la tecnología XG-PON en la parroquia de García Moreno de Intag para la empresa Profyber S.C.

1.5. Justificación

La empresa Profyber S.C. dando cumplimiento a los derechos y obligaciones de los abonados, clientes y usuarios en “Disponer y recibir los servicios de telecomunicaciones contratados de forma continua, regular, eficiente, con calidad y eficacia”, que se especifica en el reglamento de la Agencia de Regulación y Control de

Telecomunicaciones (ARCOTEL, 2021) se tiene como objetivo la expansión de la empresa y brindar un servicio de calidad a los habitantes de la parroquia García Moreno de Intag, gracias a una red de fibra óptica mediante la tecnología XG-PON la cual que debido a sus cualidades y ventajas ofrece mejores prestaciones a los usuarios, y posee una casi nula interferencia sobre los fenómenos climáticos que existen en dicha zona. De esta manera los habitantes de la Parroquia de García Moreno de Intag tienen el derecho de acceder a un servicio de internet como lo manifiesta el Acuerdo MINTEL 018-2017 referente al Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información(MINTEL, 2017), en el numeral 2, en donde se cita que “Todas las personas, en forma individual o colectiva, tienen derecho al acceso universal a las tecnologías de información y comunicación (...)”

Por ende, el desarrollo de este proyecto de titulación además de expandir la cobertura de la empresa brinda un avance tecnológico a la parroquia de García Moreno de Intag que cuenta con un total de 5060 habitantes, quienes podrán contar una nueva alternativa de conectividad a internet, la cual será pionera debido a la nueva tecnología que se utiliza mediante esta nueva red de fibra óptica FTTH, dando facilidades en sus nuevas actividades telemáticas como teletrabajo, teleeducación, entre otras y cumpliendo el Plan Nacional de Desarrollo en donde se menciona que “cada vez más personas accedan a las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y a sus amplios beneficios de información y conocimiento”(Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda Una Vida, n.d.). Este proyecto funcionará como base en la expansión a nuevos sectores, facilitando un enfoque claro del estudio que se debe realizar, los puntos importantes a investigar, tener el conocimiento del presupuesto y rubros que influyen al momento de realizar una expansión de servicio de internet.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se recolectará toda la información teórica que permita la sustentación para el desarrollo del proyecto, donde se citará características y fenómenos de la fibra óptica, componentes de una red de fibra óptica, redes de acceso y estructura de la tecnología XG-PON.

2.1. Fibra Óptica

La fibra óptica es un filamento muy fino de vidrio o plástico, mediante el cual la luz puede propagarse por sucesivas reflexiones en el interior de esta, en la figura 1 se puede apreciar su estructura. Para su estudio puede ser considerada como un tubo transparente circular, por el cual los rayos de luz que entran por una punta pueden ser guiados por el interior hacia el extremo opuesto. Las fibras son aptas para transportar energía luminosa y señales ópticas, y constituyen el equivalente óptico de un par conductor. El uso de fibras ópticas en lugar de estos medios tradicionales tiene varias ventajas como, por ejemplo:

- Gran ancho de Banda
- Bajas pérdidas
- Tamaño y peso reducido
- Inmunidad a las interferencias electromagnéticas y radio frecuencias
- Seguridad
- Flexibilidad de los sistemas

Pero también se presentan algunas limitaciones, entre las cuales puede citarse:

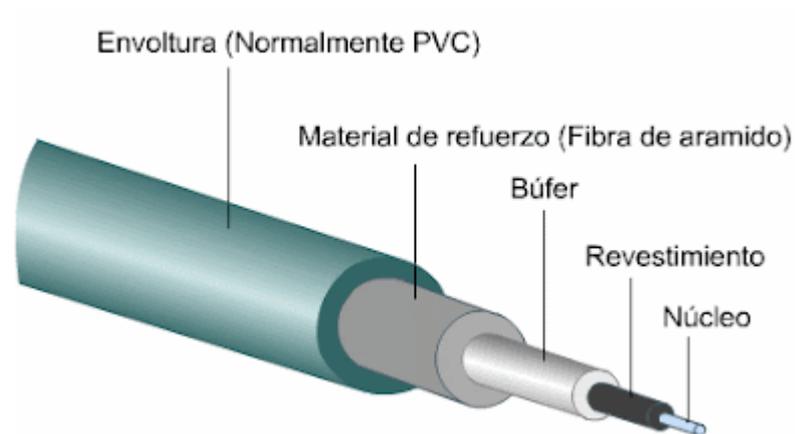
- Dificultad para manipulación
- Sin polaridad
- Dependencia

- Reparación complicada

Gran parte de los sistemas electrónicos de comunicaciones funcionan con señales eléctricas, por tal motivo la información que se desea transmitir debe ser convertida en una señal luminosa mediante el uso de transductores que existen, posteriormente dicha información será enviada por la fibra al lugar deseado, en donde para la recuperación de la señal original se utilizará transductores que actúan a la inversa de los primeros (Grazzini, 2020).

Figura 1

Estructura Fibra Óptica



Fuente: (La Fibra Óptica, n.d.)

2.2. Principios Físicos

A continuación, se da a conocer varios fenómenos y consideraciones que se deben tomar en cuenta al momento de transmitir la luz dentro de la fibra óptica.

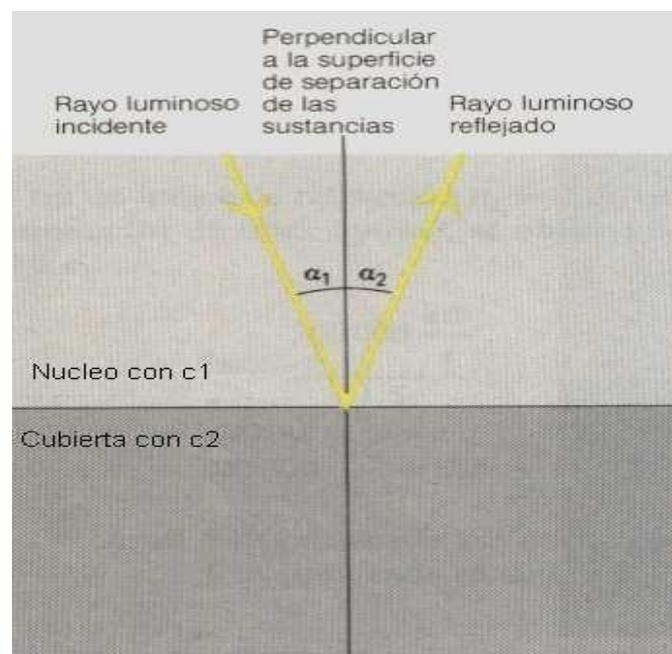
2.2.1. Reflexión

La reflexión de los rayos de luz se trata en el cambio de dirección de estos cuando se reflejan en una superficie, se mueven de un medio a otro el cual, cuya

composición puede cambiar continuamente. Dentro de la fibra óptica la cantidad de luz reflejada se basa en la relación tanto de los índices de refracción de la cubierta como del núcleo y también se debe tomar en cuenta el ángulo con el que incide el rayo de luz α_1 . El ángulo de incidencia es la relación entre la línea perpendicular a la superficie de separación entre el núcleo y la cubierta en el punto de incidencia y el ángulo del rayo incidente, como se observa en la figura 2 (Britannica, n.d.).

Figura 2

Reflexión luz en la fibra óptica



Fuente: (Llumiquinga & Mullo, 2008)

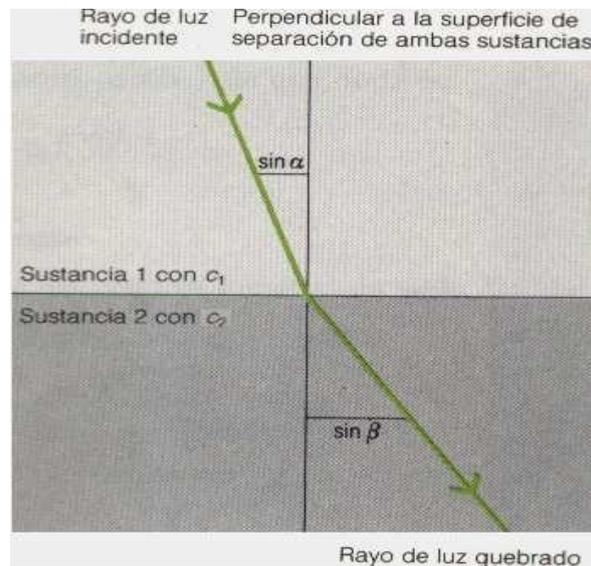
2.2.2. Refracción

La refracción sucede cuando la luz pasa de una densidad de material a otra, en donde la luz cambia de velocidad en diferentes densidades de materia; en la fibra óptica la refracción sucede cuando el rayo de luz del núcleo incide con un ángulo de modo oblicuo (material más denso) a la cubierta (material menos denso), en donde la

trayectoria de propagación cambia hacia la cubierta con un ángulo de refracción β , como se puede observar en la figura 3(Groves, 2019).

Figura 3

Refracción de la luz en la fibra óptica



Fuente:(LlumiQuinga & Mullo, 2008)

En donde se debe tener en cuenta la Ley de Snell que se visualiza en la ecuación [1], que nos indica cual es el comportamiento de la luz cuando pasa de un medio hacia otro, produciendo el fenómeno de la refracción y modificando la velocidad de la luz.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} \quad \text{Ecuación [1]}$$

α : ángulo de incidencia

β : ángulo de refracción

c_1 : velocidad de la luz en la sustancia 1

c_2 : velocidad de la luz en la sustancia 2

Se debe tener en cuenta que cada sustancia o material posee un índice de refracción η diferente, el mismo se lo obtiene de la relación entre la velocidad de la luz en la sustancia c y la velocidad de la luz en el vacío c_0 .

Para la fibra óptica es de la siguiente manera:

- Índice de refracción del núcleo $\eta_1 \geq 1$
- Índice de refracción del núcleo $\eta_1 \geq 1$

Con lo que se obtiene:

$$c_1 = \frac{c_0}{n_1} \text{ y } c_2 = \frac{c_0}{n_2} \quad \text{Ecuación [2]}$$

Finalmente se obtiene la expresión para la Ley de Snell:

$$\frac{\text{sen}\alpha}{\text{sen}\beta} = \frac{y_2}{y_1} \quad \text{Ecuación [3]}$$

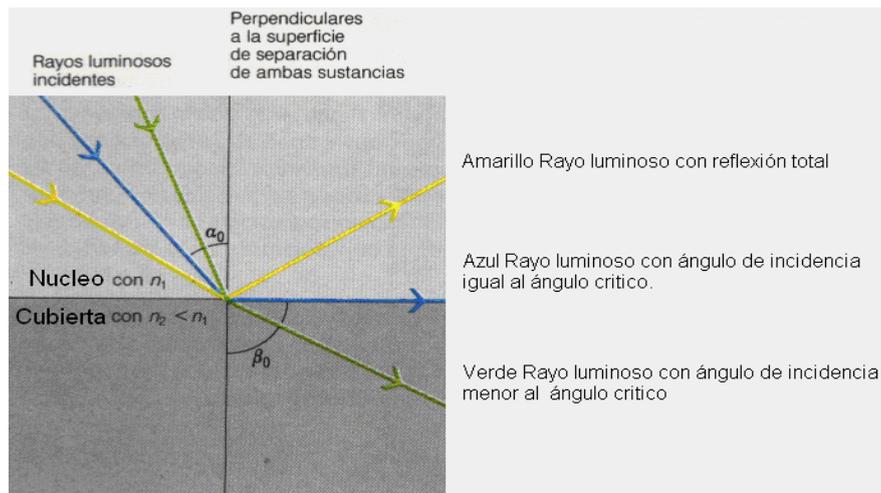
2.2.3. Reflexión Interna Total

Cuando la luz viaja de un medio a otro, cambia de velocidad y se refracta. Si los rayos de luz viajan por un material menos denso a un medio denso, se refractan hacia lo normal y si viajan de un medio denso a menos denso, se refractan lejos de lo normal. Para que se produzca una reflexión interna total, la luz debe viajar de un medio denso a un medio menos denso (por ejemplo, vidrio al aire o agua al aire). A medida que aumenta el ángulo de incidencia, también lo hace el ángulo de refracción. Cuando el ángulo de incidencia alcanza un valor conocido como ángulo crítico, los rayos refractados viajan a lo largo de la superficie del medio o, en otras palabras, se refractan a un ángulo de 90° . Cuando el ángulo de incidencia del rayo de luz es mayor que el ángulo crítico, entonces no se produce ninguna refracción. En cambio, toda la luz se refleja de nuevo en el material más

denso, en este caso el vidrio. Esto se llama reflexión interna total como se puede observar en la figura 4(Paschotta, n.d.).

Figura 4

Reflexión interna total



Fuente:(Llumiquinga & Mullo, 2008)

2.2.4. Atenuación

La atenuación dentro de la fibra óptica se caracteriza en la reducción de la potencia de la señal luminosa a medida que se propaga. La atenuación es causada por componentes de medios pasivos como empalmes de cables, cables y conectores. Se puede destacar que la atenuación en la fibra óptica es significativamente menor que para otros medios, todavía ocurre tanto en la transmisión multimodo como en la monomodo. Por tal motivo, para superar la atenuación dentro de un enlace de datos óptico eficiente, este debe tener suficiente luz disponible. Las pérdidas ópticas de una fibra generalmente se expresan en decibelios por kilómetro (dB/km). La expresión se denomina coeficiente de atenuación de la fibra α y la expresión es(Juniper Networks, 2022):

$$\alpha = \frac{10}{L} \log \frac{P(z)}{P(0)}$$

Donde $P(z)$ es la potencia óptica en una posición z desde el punto de origen, mientras que $P(0)$ es la potencia de origen.

2.2.5. Pérdidas

El resultado de las pérdidas dentro de la fibra óptica específicamente se trata de la disminución de potencia, con lo cual perjudica la velocidad de transmisión, reduce el ancho de banda y la capacidad general del sistema, las pérdidas más comunes que se pueden encontrar son las siguientes (Fosco Connect, 2022):

2.2.5.1. Pérdidas por Absorción. La absorción es uniforme. La misma cantidad del mismo material siempre absorbe la misma fracción de luz en la misma longitud de onda. Si tiene tres bloques del mismo tipo de vidrio, cada uno de 1 centímetro de grosor, los tres absorberán la misma fracción de la luz que pasa a través de ellos. La absorción también es acumulativa, por lo que depende de la cantidad total de material por el que pasa la luz. Si la absorción es del 1% por centímetro, absorbe el 1% de la luz en el primer centímetro, y el 1% de la luz restante el siguiente centímetro, y así sucesivamente (Fosco Connect, 2022).

2.2.5.2.1. Absorción Intrínseca del Material. La absorción intrínseca es causada por la interacción de la onda de luz que se propaga con otros componentes principales del vidrio que constituyen la composición material de la fibra. Estos holgados representan un mínimo fundamental para la pérdida alcanzable y solo se pueden superar cambiando el material de fibra.

2.2.5.2. Pérdidas por Dispersión. Las pérdidas de dispersión ocurren cuando una onda interactúa con una partícula de una manera que elimina la energía en la onda de propagación direccional y la transfiere a otras direcciones. La luz no se absorbe, solo se envía en otra dirección. Sin embargo, la distinción entre dispersión y absorción no importa mucho porque la luz se pierde de la fibra, en cualquier caso. Hay dos tipos principales de dispersión: dispersión lineal y dispersión no lineal.

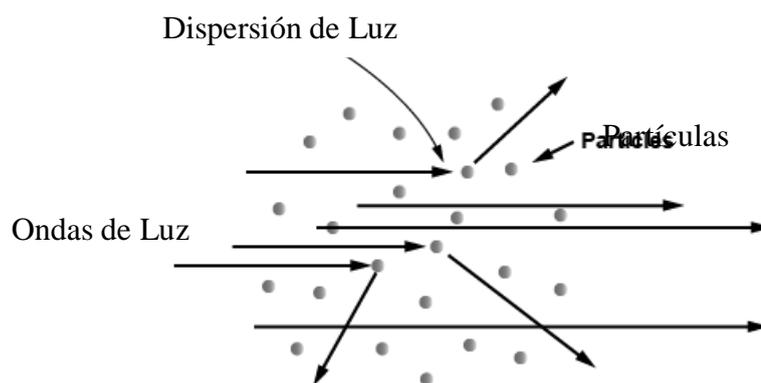
2.2.5.2.1. Dispersión Lineal. Para la dispersión lineal, la cantidad de potencia de luz que se transfiere de una onda es proporcional a la potencia en la onda. Se caracteriza por no tener ningún cambio de frecuencia en la onda dispersa.

2.2.5.2.2. Dispersión no Lineal. Se acompaña de un cambio de frecuencia de la luz dispersada. La dispersión no lineal es causada por altos valores de campo eléctrico dentro de la fibra (cantidad modesta a alta de potencia óptica). La dispersión no lineal hace que se disperse una potencia significativa en las direcciones hacia adelante, hacia atrás o hacia los lados.

2.2.5.3. Dispersión Rayleigh. La dispersión de Rayleigh es el principal tipo de dispersión lineal. Es causada por inhomogeneidades a pequeña escala que se producen en el proceso de fabricación de fibras. Ejemplos de inhomogeneidades son las fluctuaciones de la composición del vidrio y las fluctuaciones de densidad. La dispersión de Rayleigh representa aproximadamente el 96% de la atenuación en la fibra óptica. A medida que la luz viaja en el núcleo, interactúa con las moléculas de sílice en el núcleo como se puede observar en la figura 5. Estas colisiones elásticas entre la onda de luz y las moléculas de sílice dan como resultado la dispersión de Rayleigh. Si la luz dispersa mantiene un ángulo que soporta el viaje hacia adelante dentro del núcleo, no se produce atenuación. Si la luz se dispersa en un ángulo que no admite el viaje continuo hacia adelante, la luz se desvía fuera del núcleo y se produce la atenuación. Dependiendo del ángulo incidente, una parte de la luz se propaga hacia adelante y la otra parte se desvía de la ruta de propagación y escapa del núcleo de fibra (Fosco Connect, 2022).

Figura 5

Dispersión de Rayleigh

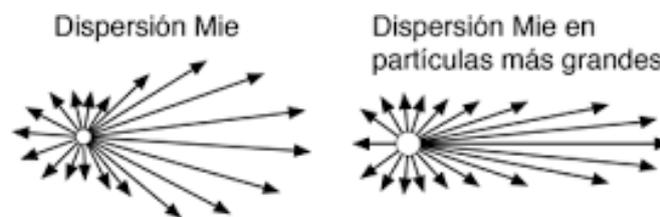


Fuente: (Fosco Connect, 2022)

2.2.5.4. Dispersión de MIE. Esta teoría describe la dispersión de la radiación electromagnética por partículas que son comparables en tamaño a una longitud de onda (mayor del 10% de la longitud de onda). Para partículas mucho más grandes, y mucho más pequeñas que la longitud de onda de la luz dispersa como se puede observar en la figura 6, hay aproximaciones simples y excelentes que son suficientes. Para las fibras de vidrio, la dispersión de Mie ocurre en inhomogeneidades tales como variaciones del índice de refracción del revestimiento del núcleo a lo largo de la fibra, impurezas en la interfaz núcleo-revestimiento, tensiones o burbujas en la fibra, o fluctuaciones de diámetro. La dispersión de Mie se puede reducir eliminando cuidadosamente las imperfecciones del material de vidrio, controlando cuidadosamente la calidad y la limpieza del proceso de fabricación. En las fibras comerciales, los efectos de la dispersión de Mie son insignificantes. Las fibras ópticas se fabrican con muy pocos defectos grandes (Fosco Connect, 2022).

Figura 6

Dispersión MIE

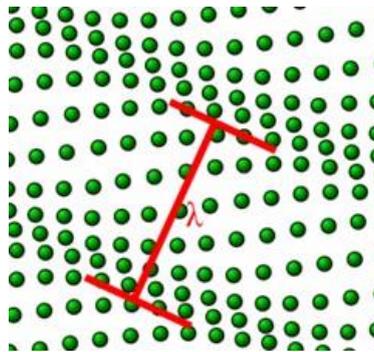


Fuente: (Nave, n.d.)

2.2.5.5. Dispersión de Brillouin. La dispersión de Brillouin es causada por la no linealidad de un medio como se observar en la figura 7. En las fibras de vidrio, la dispersión de Brillouin se muestra como una modulación de la luz por la energía térmica en el material. Un fotón incidente se puede convertir en un fotón disperso de energía ligeramente inferior, generalmente propagándose en la dirección hacia atrás, y un fonón (energía vibratoria). Este acoplamiento de campos ópticos y ondas acústicas se produce a través de la electrostricción. La frecuencia del haz reflejado es ligeramente inferior a la del haz incidente (Fosco Connect, 2022).

Figura 7

Dispersión de Brillouin



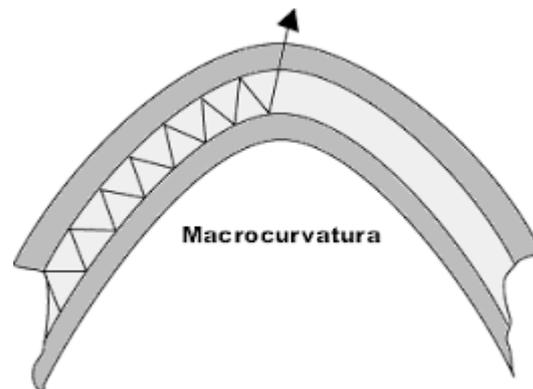
Fuente: (Nave, n.d.)

2.2.5.6. Dispersión Raman Estimulada. La dispersión Raman estimulada es una respuesta no lineal de las fibras de vidrio a la intensidad óptica de la luz. Esto es causado por vibraciones de la red de cristal (o vidrio). La dispersión Raman estimulada produce un fonón óptico de alta frecuencia, en comparación con la dispersión de Brillouin, que produce un fonón acústico de baja frecuencia y un fotón disperso. Cuando dos rayos láser con diferentes longitudes de onda (y normalmente con la misma dirección de polarización) se propagan juntos a través de un medio activo Raman, el haz de longitud de onda más larga puede experimentar amplificación óptica a expensas del haz de longitud de onda más corto. Este fenómeno se ha utilizado para amplificadores Raman y láseres Raman (Fosco Connect, 2022).

2.2.5.7. Pérdida de macro curvatura. La macro curvatura ocurre cuando la fibra se dobla en un gran radio de curvatura en relación con el diámetro de la fibra como se observa en la figura 8. Estas curvas se convierten en una gran fuente de pérdida de potencia cuando el radio de curvatura es inferior a varios centímetros. Macro curvatura se puede encontrar en una bandeja de empalme o un cable de fibra que se ha doblado, esta no causará una pérdida significativa de radiación si tiene un radio lo suficientemente grande. Sin embargo, cuando las fibras se doblan por debajo de un cierto radio, la radiación causa una gran pérdida de potencia de la luz (Fosco Connect, 2022).

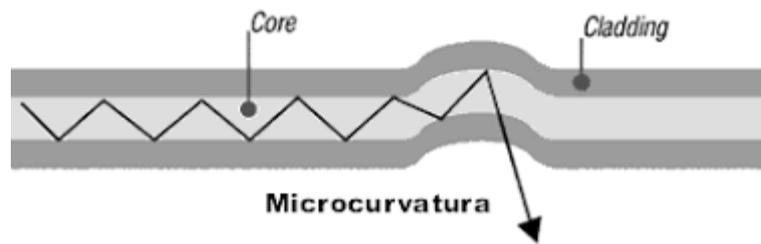
Figura 8

Macro curvatura fibra óptica



Fuente: (Rio, 2015)

2.2.5.8. Pérdida por micro curvatura. Las micro curvaturas son las curvas a pequeña escala en la interfaz de revestimiento del núcleo. Estas son curvas localizadas que pueden desarrollarse durante el despliegue de la fibra, o pueden deberse a tensiones mecánicas locales colocadas en la fibra, como tensiones inducidas por el cableado de la fibra o envolver la fibra en un carrete o bobina, esta también puede ocurrir en el proceso de fabricación de fibra. Son curvaturas agudas pero microscópicas que crean un desplazamiento axial local de unas pocas micras y un desplazamiento espacial de longitud de onda de unos pocos milímetros como se observa en la figura 9.

Figura 9*Micro curvatura fibra óptica*

Fuente: (Rio, 2015)

2.2.6. Ventana de Transmisión de la Fibra Óptica

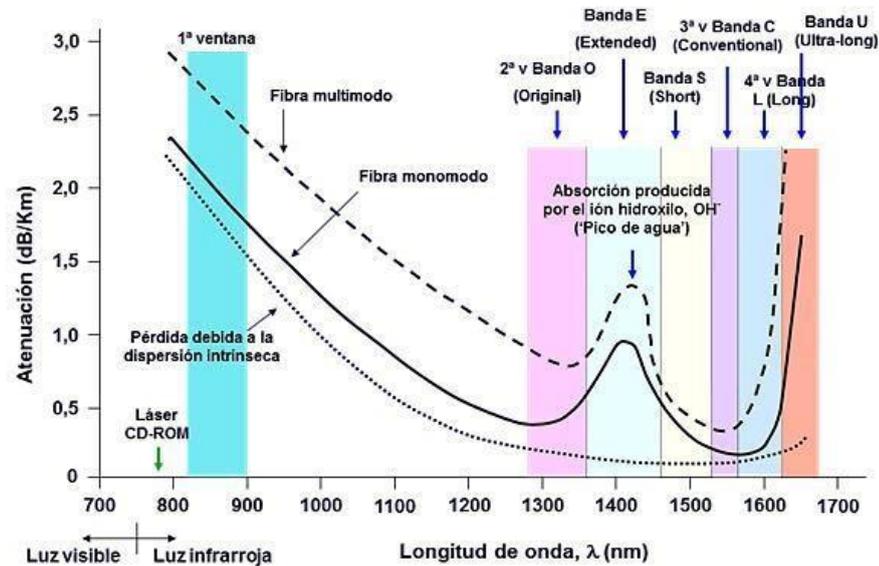
La razón principal para el uso del término "ventana" se aplica a cómo un tramo de fibra funcionaría inicialmente a una frecuencia óptica específica (longitud de onda). El primer objetivo fue la integración de una fuente de luz, un fotodetector y una fibra óptica para crear un enlace de fibra con la atenuación de señal más baja, lo que se logró en 1975. Este matrimonio de los 3 elementos básicos continúa hasta el día de hoy a medida que las nuevas tecnologías, incluida la multiplexación óptica y la fibra hasta el hogar, continúan evolucionando. A finales de la década de 1970, la única fuente de luz y fotodetectores disponibles funcionaba a 850 nm denominada primera ventana. Como las fibras monomodo no estaban disponibles hasta 1983, todos estos primeros sistemas usaban fibra multimodo utilizando diodos emisores de luz (LED) que tenían un ancho espectral de emisión amplio de 100 nanómetros (nm) o más. 850 nm era la longitud de onda central del espectro de 800-900 nm que permitiría a los sistemas de fibra óptica operar con la atenuación de la fibra de un valor de atenuación de 4 dB/ km.

Investigaciones posteriores con fibras ópticas encontraron que los efectos de absorción y dispersión de la fibra que causan la atenuación de la fibra fueron menores a medida que aumentaba la longitud de onda. Otro espectro ubicado alrededor de 1300 nm tendría pérdidas de atenuación reducidas a 1,5 dB / km utilizando fibras multimodo, lo que

resultó en ahorros de costos inmediatos debido a la eliminación de costosos regeneradores / repetidores. El desarrollo de nuevos fotodetectores de alto rendimiento y LED emisores de bordes junto con el desarrollo de nuevos diodos láser de estado sólido a fines de la década de 1970 y principios de la década de 1980 proporcionaron los componentes ópticos esenciales necesarios. Fue en este momento que el término "segunda ventana" se utilizó por primera vez, lo que implica que 850 nm era la primera ventana. La segunda "ventana" de 1300 nm se utilizó para definir una región espectral pasada y se definió como 1300 nm +/- 50 nanómetros (1250 nm – 1350 nm). Con el alto costo de los amplificadores a fines de la década de 1980, que se requerirían para los tramos oceánicos monomodo a partir de TAT-8. Mediante el uso de transmisores láser con una longitud de onda central de 1308,1 nm, se podrían reducir los costosos costos y el número de amplificadores. Redondear este número hasta 1310 nm fue un resultado que incluso hoy en día usamos para llamar a los sistemas de fibra monomodo a 1310 nm frente a 1300 nm. El término 1300 nm sería utilizado por aquellos que usan fibras multimodo. Sin embargo, ambos 1300/1310 nm están en el rango espectral de la segunda ventana. La tercera ventana anunciada por NTT en 1977 operaría con una longitud de onda central de 1550 nm y proporcionaría una atenuación más baja ($> .5$ dB / km). Combinado con el desarrollo del láser de retroalimentación distribuida (DFB) y el amplificador de fibra dopada con erbio, esto permitió una menor dispersión óptica y el desarrollo de sistemas de multiplexación por división de longitud de onda densa y alta velocidad (DWDM). La cuarta ventana de 1625 nm tenía una mayor atenuación óptica, pero amplió el espectro óptico utilizable disponible para los sistemas FTTx y WDM. Hoy en día, esta ventana también está especificada para el mantenimiento de sistemas de fibra viva y oscura según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)(Johnson, 2019).

Figura 10

Ventanas de transmisión fibra óptica



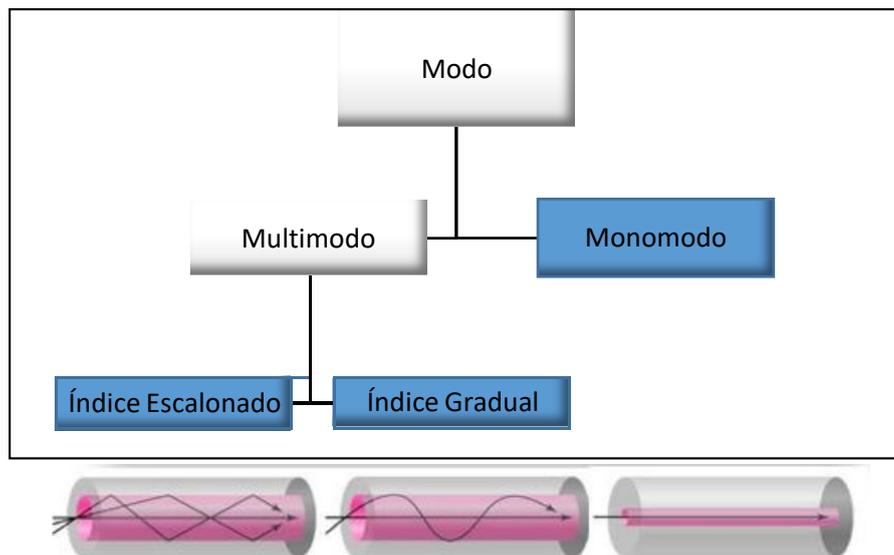
Fuente: (Guzman, 2018)

2.3. Tipos de Fibra Ópticas

Los tipos de fibra óptica, según Ruiz Marco (Ruiz, 2019) debido al modo de propagación del haz de luz en el interior del núcleo se las puede clasificar en 2 tipos: fibra óptica monomodo y fibra óptica multimodo como se observa en la figura 11. Y a su vez, la fibra multimodo se divide de 2 maneras que son: índice escalonado e índice gradual.

Figura 11

Tipos de fibras ópticas según el modo de propagación



Fuente: (Ruiz, 2019)

2.3.1. Fibra Óptica Monomodo

Una fibra óptica monomodo es un tipo de fibra óptica que permite la propagación de un solo rayo de luz a lo largo de la fibra. Aquí, el diámetro del núcleo al revestimiento es de 9 a 125 micrómetros. El diámetro del núcleo es muy pequeño debido a que solo un solo rayo de luz se transmite a través de él. Debido a la transmisión de un solo rayo de luz, la fibra óptica monomodo posee una distorsión mínima de la señal. Por lo tanto, no se observa una dispersión modal que admita la transmisión de señal a larga distancia con una velocidad de transmisión apreciablemente mejorada. Esto, como resultado, proporciona un mayor ancho de banda que sirve como una ventaja de la fibra óptica monomodo. Otro aspecto de la fibra óptica monomodo es que su pequeño tamaño de núcleo hace que su manejo sea algo difícil. Junto con esto, proyectar luz en el núcleo también se convierte en una tarea difícil. Todas las ventajas asociadas a la fibra óptica monomodo hacen que su uso sea adecuado con las tecnologías ópticas emergentes (Coach Electronics, 2022).

2.3.2. Fibra Óptica Multimodo

En la fibra óptica multimodo, varios rayos de luz se propagan a través de la fibra al mismo tiempo, pero cada uno se refleja en un cierto ángulo diferente al de otros durante la transmisión. El diámetro del núcleo al revestimiento en el caso de la fibra óptica multimodo es de 50-62.5 a 125 micrómetros. A medida que varios modos se propagan a través del núcleo, existen más posibilidades de interferencia de varios modos. Debido a esta dispersión intermodal se produce en fibras multimodo. Como la transmisión a larga distancia puede aumentar las posibilidades de dispersión dentro de la fibra, estas se utilizan principalmente en aplicaciones asociadas con distancias cortas. La fibra multimodo es una fibra óptica cara, pero los equipos de transmisión asociados con las fibras multimodo cuestan menos. Siempre que haya una necesidad de tener una conexión dentro del edificio, las fibras multimodo son la primera opción hoy en día debido a su naturaleza confiable (Coach Electronics, 2022). La fibra multimodo posee dos tipos de propagación que son: Índice gradual e Índice escalonado.

La fibra de índice gradual se caracteriza que dentro de su núcleo el índice de refracción es variable, ya que el mismo decrece al desplazarse desde el centro del núcleo hasta el revestimiento, como resultado se obtiene que los rayos de luz recorren la fibra describiendo trayectos ondulados. Dentro de esta fibra óptica los rayos de luz se propagan a diferentes velocidades, pero con la característica que llegan al mismo tiempo al otro extremo, por este motivo se reduce la dispersión modal en este tipo de fibras. La fibra óptica multimodo de índice escalonado se caracteriza en que el índice de refracción del núcleo es constante y a su vez superior al índice de refracción del revestimiento, por lo tanto, los rayos de luz se propagan a lo largo de la fibra óptica en forma de zigzag. A diferencia de las fibras multimodo de índice gradual la dispersión

modal es mayor en este tipo de fibra, limitando las velocidades de transmisión(Meneses, 2016).

2.4. Componentes de una Red de Fibra Óptica

A continuación, se dará a conocer los componentes que intervienen dentro de una red de fibra óptica, como por ejemplo conectores, splitters, cajas de empalmes, amplificadores, transmisores ópticos, divisores ópticos, que son parte fundamental de dicha red.

2.4.1. Conectores

Lo conectores de fibra es un tipo de componente óptico pasivo desmontable que se utiliza en la conexión entre fibra a fibra, la fuente de luz a la fibra y la fibra al detector para lograr el máximo acoplamiento de luz a la fibra receptora. Según la estimación, hay cientos de tipos diferentes de conectores de fibra en el mercado. Sin embargo, los tipos más utilizados son alrededor de una docena de conectores de fibra óptica. El conector de fibra está asociado con la confiabilidad y el rendimiento de los sistemas de transmisión óptica. Un mejor conector pierde muy poca luz debido a la reflexión o desalineación de las fibras(Derek, 2021).

2.4.1.1. Conector de Fibra Óptica SC. Es conector de fibra óptica cuadrado como se observa en la figura 12, que cuenta con una estructura cuadrada de empujar y tirar como se observa en la figura 12. El diámetro de la férula del SC es de 2,5 mm. Hay un resorte dentro de la brida y si escuchas que los resortes vibran cuando insertas el conector en la brida, eso significa que el conector se ha conectado correctamente. SC generalmente se usa en redes Gigabit Ethernet, comunicaciones de datos y aplicaciones de telecomunicaciones. Con las ventajas de bajo precio, fácil operación push-pull, baja pérdida de inserción, buena resistencia a la compresión, entre otros, ha sido ampliamente utilizado desde la década de 1990 con solo el ST compitiendo con él (Derek, 2021).

Figura 12

Conector de fibra óptica SC



Fuente: (Lopez, 2017)

2.4.1.2. Conector de Fibra Óptica FC. Conocido como conector férula, cuenta con una estructura de tornillo redondo como se observa en la figura 13. La instalación del tornillo del FC es un poco más complicada que el conector de fibra PUSH-PULL SC. Debe hacerse con mucho cuidado al alinear la llave, además, también existe el riesgo de rayar la cara del extremo de la fibra al insertar la virola en el gato. Lo mismo con el SC, el diámetro de la virola del conector de fibra LC también es de 2,5 mm. El conector FC se utiliza generalmente en datacom, telecomunicaciones, equipos de medición, láseres monomodo, etc. desde que se introdujo. Sin embargo, ha sido reemplazado gradualmente por SC y LC, que proporcionan el rendimiento equivalente de FC pero obtienen una velocidad de conexión más rápida hasta el momento (Derek, 2021).

Figura 13

Conector de fibra óptica FC



Fuente: (Lopez, 2017)

2.4.1.3. Conector de Fibra Óptica LC. Este adopta una estructura de pestillo de conector modular como se observa en la figura 14, que tiene una gran ventaja de facilidad de operación. El diámetro de la férula del FC es de solo 1,25 mm, que es la mitad de los conectores SC y FC. El pequeño tamaño contribuye a aumentar la densidad de conectores de fibra alojados en bastidores de cableado de fibra óptica. El conector LC ha dominado el mercado. Ha sido ampliamente utilizado en transceptores SFF (factor de forma pequeño) monomodo y multimodo y reemplazó gradualmente a SC debido a su tamaño más pequeño(Derek, 2021).

Figura 14

Conector de fibra óptica LC



Fuente: (Lopez, 2017)

2.4.1.4. Conector de Fibra Óptica ST. Este presenta una estructura de bayoneta como se puede observar en la figura 15. Al igual que en el FC, la pestaña de índice debe estar cuidadosamente alineada con una ranura cuando se inserta. Además, debido a la estructura con resorte, el conector de fibra óptica ST requiere mucha energía para empujar y torcer el conector. Al igual que SC y FC, el diámetro de la férula del conector también es de 2,5 mm. ST se usa típicamente en comunicación de datos multimodo, sin embargo, también ha sido reemplazado por conectores SC o LC(Derek, 2021).

Figura 15

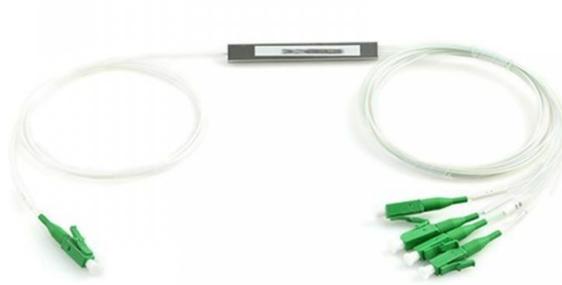
Conector de fibra óptica ST



Fuente: (Lopez, 2017)

2.4.2. Divisor Óptico

En las topologías de redes ópticas actuales, la llegada del divisor de fibra óptica contribuye a ayudar a los usuarios a maximizar el rendimiento de los circuitos de red óptica. El divisor óptico, o divisor de haz, es un dispositivo integrado de distribución de energía óptica de guía de onda que puede dividir un haz de luz incidente en dos o más haces de luz, y viceversa, que contiene múltiples extremos de entrada y salida. El divisor óptico ha desempeñado un papel importante en las redes ópticas pasivas (como EPON, GPON, BPON, FTTX, FTTH, etc.) al permitir que se comparta una sola interfaz PON entre muchos suscriptores. El divisor óptico pasivo puede separar o dividir, un haz de luz incidente en varios haces de luz en una cierta proporción. Como se muestra en la figura 16 se tiene la configuración dividida 1x4, con lo que se puede separar un haz de luz incidente de un solo cable de fibra de entrada en cuatro haces de luz y transmitirlos a través de cuatro cables de fibra de salida individuales en donde el ancho de banda es dividido para los 4 clientes(John, 2021).

Figura 16*Divisor óptico 1x4 (Splitter)*

Fuente: (John, 2021)

También se debe tener en cuenta las pérdidas de divisor que de acuerdo con la ITU-T G.984.2 como se muestra en la tabla 1, producto de la distribución de la potencia de luz y las pérdidas por inserción, que incluyen las demás pérdidas adicionales, las cuales son las utilizadas en los diseños de redes de la familia PON.

Tabla 1*Pérdidas de divisor e inserción*

Número de puertos	Pérdidas de divisor (dB)	Pérdidas por inserción (dB)
2	3	3,8
4	6	7,2
8	9	10,3
16	12	13,8
32	15	17,5

Fuente: (ITU-T, 2019)

2.4.3. Amplificadores

La pérdida de transmisión de la luz que pasa a través de la fibra óptica es el valor muy pequeño de menos de 0,2 dB por km con una longitud de onda de luz en la banda de 1.550 nm. Sin embargo, cuando la longitud de la fibra óptica es una distancia de hasta 10 km o 100 km, esa pérdida de transmisión no puede ser ignorada. Cuando la luz (señal) que propaga una fibra óptica de larga distancia se vuelve extremadamente débil,

es necesario amplificar la luz utilizando un amplificador óptico. Un amplificador óptico amplifica la luz tal como está sin convertir la señal óptica en una señal eléctrica, y es un dispositivo extremadamente importante que soporta las redes de comunicación óptica de larga distancia de hoy en día. Los principales tipos de amplificadores ópticos incluyen un EDFA, FRA y SOA como se observa en la figura 17 (Anritsu, 2022).

Figura 17

Amplificadores Ópticos

Amplificadores ópticos	OFA (Amplificador de Fibra Óptica)	EDFA (Amplificador de fibra dopada con erbio)
		FRA (Amplificador Raman de Fibra)
	SOA (Amplificador Óptico Semiconductor)	

Fuente: (Peñate, 2019)

2.4.3.1. EDFA (Amplificador de Fibra Dopada con Erbio). Es un amplificador óptico con iones de erbio agregados al núcleo de la fibra óptica. Cuenta con alta ganancia y bajo nivel de ruido, es independiente de la polarización y puede amplificar señales ópticas en la banda de 1,55 μm o 1,58 μm . Anteriormente era necesario usar un repetidor óptico para convertir temporalmente la luz atenuada en una señal eléctrica, amplificar eléctricamente y regenerar la forma de onda, luego volver a convertirla en luz y reenviarla (Anritsu, 2022).

2.4.3.2. FRA (Amplificador Raman de Fibra). Causa una emisión estimulada basada en SRS cuando una luz de excitación fuerte ingresa a la fibra óptica. La luz se amplifica en un rango de longitud de onda aproximadamente 100 nm más largo que la longitud de onda de la luz de excitación. Tiene una amplia región de longitud de onda de amplificación, y puede ser configurado libremente por la longitud de onda de la luz de excitación(Anritsu, 2022).

2.4.3.3. SOA (Amplificador Óptico Semiconductor). Es un elemento semiconductor. Al realizar un procesamiento antirreflectante en el plano de escisión de un láser semiconductor y eliminar la estructura del resonador, la luz puede entrar desde el exterior del semiconductor y amplificar la luz a través de la emisión estimulada. Un SOA se puede hacer en un tamaño compacto y sus menores costos de funcionamiento en comparación con un EDFA lo hacen más eficiente económicamente. Hasta hace pocos años, la luz de entrada de un SOA dependía en gran medida de la polarización, pero la investigación sobre la baja dependencia de la polarización ha procedido en los últimos años. Además, los EDFA están siendo reemplazados por SOA en los centros de datos, y se espera que su uso se expanda en la comunicación óptica futura(Anritsu, 2022).

2.4.4. Cajas de Empalme

Las cajas de empalme de fibra óptica para fijarse en una pared o se pueden adaptar para asegurarse en un poste, están destinados a ser un punto de terminación de red mientras se mantiene la organización y la seguridad. Es un medio conveniente para terminar las conexiones porque se puede usar con coletas de fibra para empalmar, o puede acomodar fibras predeterminadas con conectores al venir cargado con paneles adaptadores. Un panel de conexión de fibra tiene un punto de entrada para los cables

entrantes, una bandeja de empalme y un punto de salida para los cables divididos. La bandeja de empalme une el cable entrante con una coleta o un conector para continuar la transmisión de la señal, la mejor conexión proviene de empalmar el cable con una cola de fibra, la otra opción es utilizar un conector y una terminación de campo(Fiber Savvy, 2021).

Figura 18

Caja de empalme de fibra óptica



Fuente: (conectrónica, 2016)

2.4.5. Transmisores Ópticos

Estos dispositivos se encuentran al inicio de la red óptica, y es el encargado de transmitir la señal óptica en la red, dentro de sus funciones es enlazar a los usuarios con la red exterior esto lo realiza mediante la conversión de una señal eléctrica de entrada (información) en una señal óptica, conduciéndola hacia la fibra óptica. Otras de las funciones que realiza es, regular el tráfico de la red o multiplexar las señales previas a transmitir(Ruiz, 2019), en la imagen 19 se puede observar un modelo de transmisor óptico.

Figura 19*Transmisor óptico*

Fuente: (JUNPU, 2021)

2.4.6. Receptores Ópticos

El receptor óptico se encarga de convertir la señal óptica de nuevo en forma eléctrica y también se encarga de recuperar los datos que fueron transmitidos del sistema de ondas de luz, su componente principal es un fotodetector el cual convierte la luz en electricidad a través del efecto fotoeléctrico. Para el óptimo funcionamiento de un fotodetector es: bajo nivel de ruido, alta sensibilidad, bajo costo, respuesta rápida, y alta confiabilidad, el tamaño del este debe ser compatible con el tamaño del núcleo de fibra, para la fotodetección se utiliza el proceso de absorción óptica (FOSCO, 2022).

Figura 20*Receptor Óptico GPON*

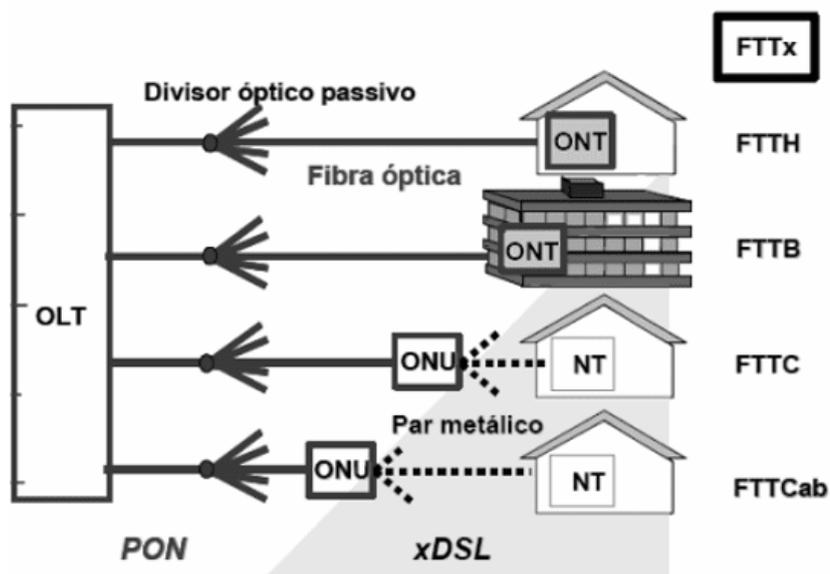
Fuente: (Alibaba, 2022)

2.5. Arquitecturas de Redes de Acceso Óptico

Estas se definen y clasifican de acuerdo con la cercanía al suscriptor o usuario final, las cuales engloban un conjunto de instalaciones y equipos que conectan los elementos de la red de transporte con los elementos terminales de usuarios que son: Terminal de línea, red de distribución de fibra óptica, terminal de red óptica y acometida. La primera arquitectura hace hincapié al medio de transporte en el acceso a la última milla el cual puede ser, fibra óptica, cobre, o ambos, para las redes de fibra óptica se puede utilizar las diferentes variedades de FTTX(Azami, 2021), la cual se la puede observar en la figura 21.

Figura 21

Arquitectura de red de acuerdo con la cercanía con el abonado de redes



Fuente: (Barbosa et al., 2018)

2.5.1. FTTX (Fiber to the X)

Fibra a la X es un término colectivo que se utiliza para describir varios tipos de arquitecturas de red de banda ancha, dependiendo de dónde terminen. La 'X' en 'FTTx' representa un objeto en particular, podría ser una casa, un gabinete o cualquier premisa del usuario final. Como resultado, FTTx podría ser Fibra hasta el hogar (FTTH), Fibra

hasta el edificio (FTTB), Fibra hasta las instalaciones (FTTP) y Fibra hasta la acera (FTTC). FTTx se utiliza para impulsar el acceso de próxima generación mediante una actualización significativa de la banda ancha disponible al realizar un cambio radical en la velocidad y la calidad del servicio, la arquitectura de red Fibre to the X (FTTx) encuentra su uso en la conectividad de última milla. La red se extiende desde la premisa del usuario final hasta el borde de la red del operador. Puede ofrecer una conectividad más rápida y mejor a hogares y empresas de todo el mundo (Sinha, 2021). A continuación, se indican las denotaciones que puede tomar la letra “x”, en donde dichas arquitecturas varían dependiendo entre la distancia del usuario y la fibra óptica.

- Fibra a la zona, FTTZ (Fiber To The Zone)
- Fibra al barrio, FTTN (Fiber To The Neighborhood)
- Fibra hasta la acera, FTTC (Fiber To The Curb)
- Fibra hasta el edificio, FTTB (Fiber To The Building)
- Fibra hasta la oficina, FTTO (Fiber To The Office)
- Fibra hasta el hogar, FTTH (Fiber To The Home)
- Fibra hasta al escritorio, FTTD (Fiber To The Desk)
- Fibra al equipo local del abonado, FTTP (Fiber To The Premise)

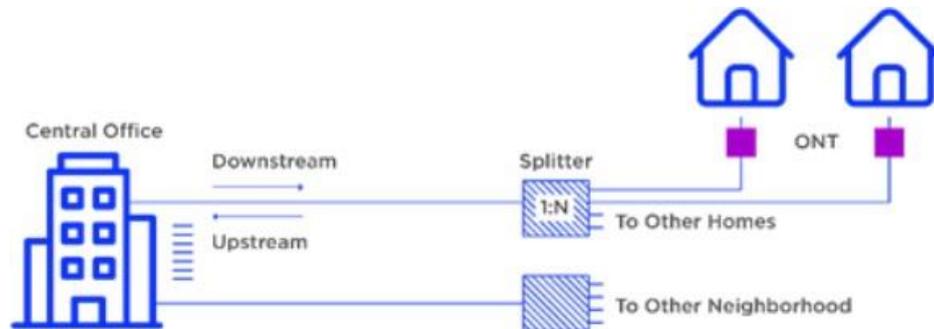
2.5.2. FTTH (Fiber To The Home)

Es una solución de acceso de fibra óptica diseñada para hogares, en estas redes, las fibras ópticas se conectan directamente desde el equipo de conmutación de un operador a residencias y edificios, como se observa en la figura 22. La razón por la que cada vez preferimos más la fibra para ofrecer Internet FTTH se debe a su velocidad superior, mayor ancho de banda, confiabilidad y preparación para el futuro. Dado que una conexión de fibra a H es hasta 100 veces más rápida que una conexión DSL tradicional, es mucho más apropiada para las aplicaciones actuales con muchos datos,

como la transmisión HD, la teleconferencia, los juegos multijugador de latencia cero, la realidad virtual, la vigilancia inteligente, los sensores de IoT y más (Mirakhur, 2021).

Figura 22

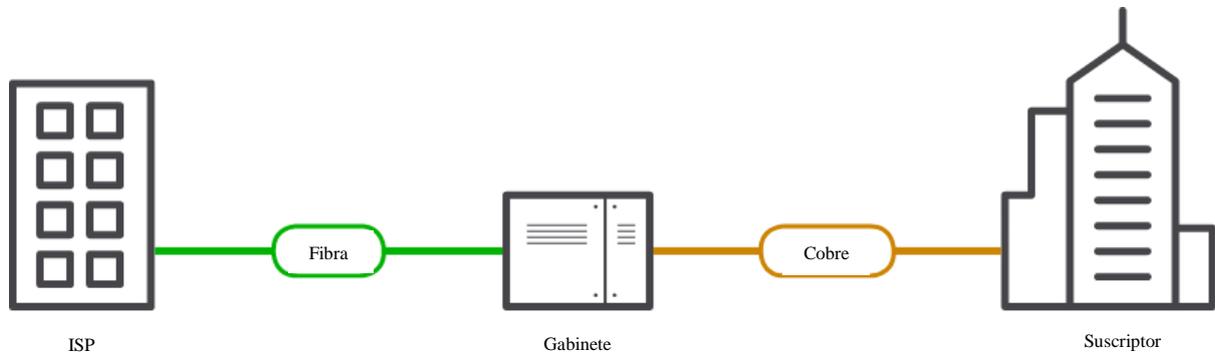
Arquitectura FTTH



Fuente: (Mirakhur, 2021)

2.5.3. FTTC (*Fiber To The Curb*)

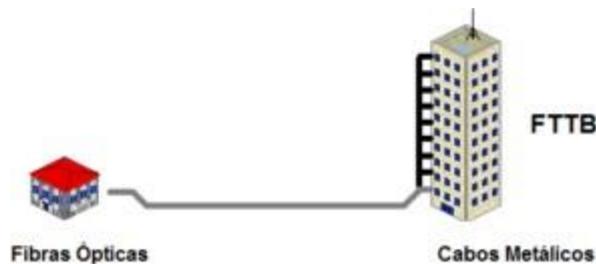
Se basa en la combinación de un cable de fibra óptica y un alambre de cobre tradicional como se observa en la figura 23, donde el cable de fibra óptica llega hasta el gabinete de la calle y el cable de cobre sirve para la conexión desde el hogar o negocios hacia el gabinete, la razón de esta arquitectura es por el alto costo del tendido de fibra óptica, en donde el cable de fibra óptica es un buen sustituto económico, el ancho de banda de los usuarios dependerá del splitteo que se ha realizado (1:2, 1:8, 1:32, etc.), se puede entregar un ancho de banda que va desde los 100Kbps hasta los 100Mbps por suscriptor (Watson, 2022).

Figura 23*Arquitectura FTTC*

Fuente: (Fast-Track, 2022)

2.5.4. FTTB

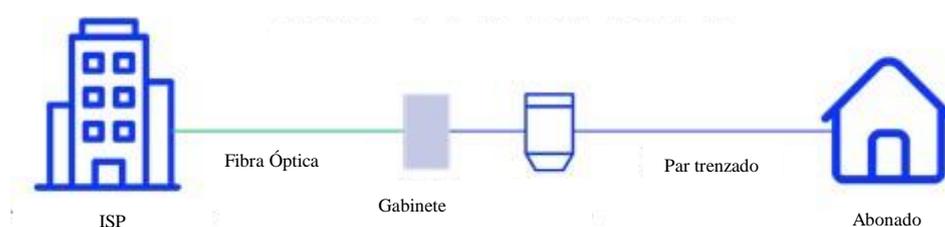
Esta arquitectura se utiliza para implementaciones de fibra al edificio o de fibra a la base como se muestra en la figura 24. En este tipo de red, el cable óptico termina directamente en el edificio. Una configuración FTTB se utiliza a menudo para conectar bloques de apartamentos u otros edificios grandes. Los proveedores de servicios llevan un cable de fibra a un nodo dentro de la sala de comunicación de un edificio. A partir de ahí, pueden aprovechar el cableado existente para proporcionar conectividad de red a cada oficina o apartamento dentro del edificio en general. Esto se parece mucho a un FTTH a pesar de que todavía presenta una arquitectura de nodo. El ancho de banda que se puede proporcionar a cada cliente o abonado es de 50Mbps a 100Mbps(Sinha, 2021).

Figura 24*Arquitectura FTTB*

Fuente: (Morellato, 2018)

2.5.5. FTTN

En esta arquitectura de red, la fibra óptica termina en un gabinete de calle como se muestra en la figura 25. La implementación de FTTN cuenta con fibra óptica que termina en un nodo. Este nodo se encuentra a pocos kilómetros del cliente. Desde el nodo, la fibra se extiende en ramas hasta el usuario final, por lo general se utiliza la infraestructura de cable coaxial o par trenzado para el servicio de última milla, de esta manera la infraestructura es menos costosa, pero con la desventaja que su ancho de banda es limitado(Sinha, 2021).

Figura 25*Arquitectura FTTN*

Fuente: (Sinha, 2021)

2.6. Redes Ópticas Pasivas (PON)

Una red óptica pasiva (PON) es un sistema comúnmente utilizado por los proveedores de redes de telecomunicaciones que lleva cableado y señales de fibra óptica

todo o la mayor parte del camino al usuario final. Dependiendo de dónde termine el PON, el sistema se puede describir como fibra a la acera, fibra al edificio o fibra a la casa. Una red óptica pasiva (PON) es una red de fibra óptica que utiliza una topología punto a multipunto y divisores ópticos para entregar datos desde un solo punto de transmisión a múltiples puntos finales de usuario. Pasivo se refiere a la condición de no alimentación de la fibra y la división / combinación de componentes. A diferencia de una red óptica activa, la energía eléctrica solo se requiere en los puntos de envío y recepción, lo que hace que un PON sea inherentemente eficiente desde el punto de vista del costo de operación. Las redes ópticas pasivas se utilizan para transmitir simultáneamente señales en las direcciones ascendente y descendente hacia y desde los puntos finales del usuario(VIAVI Solutions Inc, 2022).

2.6.1. Componentes y Dispositivos de Red Óptica Pasiva

La fibra óptica y los divisores son los bloques de construcción verdaderamente "pasivos" del PON, sin necesidad de alimentación eléctrica. Los divisores ópticos no son selectivos de longitud de onda y simplemente dividen cualquier longitud de onda óptica en la dirección descendente, por supuesto, la división de una señal óptica ocasiona una pérdida de potencia que se basa en el número de formas en que se divide una señal. Los divisores no requieren ninguno de los enfriamientos u otro mantenimiento continuo inherente a los componentes activos de la red (como los amplificadores ópticos) y pueden durar décadas si no se molestan. Además, a parte de los dispositivos pasivos se requieren dispositivos activos finales para crear completamente la red PON.

El terminal de línea óptica (OLT) es el punto de partida para la red óptica pasiva, se conecta a un conmutador central a través de conectables Ethernet. La acción principal que realiza el OLT es convertir, enmarcar y transmitir señales hacia la red PON y

también se encarga de coordinar la multiplexación del terminal de red óptica (ONT) para la transmisión ascendente compartida. También puede ver los dispositivos de usuario final denominados unidad de red óptica (ONU), esto es simplemente una diferencia de terminología entre los dos principales organismos de normalización, el UIT-T que utiliza ONT y el IEEE que utiliza ONU, los dos términos son efectivamente intercambiables, pero dependen del servicio PON y el estándar que se utiliza. El ONT y ONU son dispositivos alimentados del sistema de red óptica pasiva en el extremo opuesto (usuario) de la red e incluye puertos Ethernet para el dispositivo doméstico o la conectividad de red (VIAVI Solutions Inc, 2022).

2.6.2. Arquitectura PON

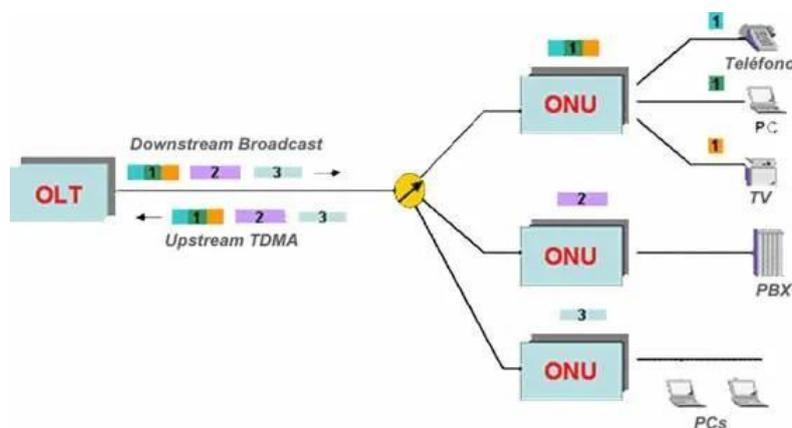
Las redes PON adoptan una arquitectura punto a multipunto (P2MP) que utiliza divisores ópticos para dividir la señal descendente de un solo OLT en múltiples rutas descendentes a los usuarios finales, los mismos divisores combinan las múltiples rutas ascendentes desde los usuarios finales hasta el OLT. El punto a multipunto fue seleccionado como la arquitectura PON más viable para redes de acceso óptico con las eficiencias inherentes del uso compartido de fibra y el bajo consumo de energía. Esta arquitectura fue estandarizada en 1998 a través de la especificación ATM-PON G.983.1. Hoy en día, la norma UIT-T G.984 para G-PON ha suplantado a la norma ATM, ya que el modo de transferencia asíncrono (ATM) ya no se utiliza (VIAVI Solutions Inc, 2022).

Una red PON comienza con el terminal de línea óptica (OLT) en la ubicación de origen del proveedor de servicios, normalmente conocida como oficina local o central, o a veces denominada intercambio o cabecera. Desde allí, el cable alimentador de fibra óptica (o fibra alimentadora) se enruta a un divisor pasivo, junto con una fibra de respaldo si se usa uno. Las fibras de distribución luego se conectan desde el divisor a un terminal de caída, que puede ubicarse en un gabinete de calle o en una carcasa robusta

montada en un pozo, en un poste de telégrafo o incluso en el costado de los edificios. Las fibras de caída proporcionan la conexión final uno a uno desde el puerto del terminal de caída a un usuario final ONT / ONU, se puede observar esta arquitectura en la figura 26. En algunos casos, se utiliza más de un divisor en serie, esto se conoce como una arquitectura de divisor en cascada(VIAVI Solutions Inc, 2022).

Figura 26

Arquitectura PON tráfico ascendente y descendente



Fuente: (*¿Qué Es Una PON, Passive Optical Network?*, n.d.)

Las señales transportadas en la fibra alimentadora se pueden dividir para proporcionar servicio hasta 256 usuarios con una ONU u ONT, que convierte las señales y proporciona a los usuarios acceso a Internet. El número de formas en que la señal OLT aguas abajo se divide o divide antes de llegar al usuario final se conoce como divisor o relación dividida (por ejemplo, 1:32 o 1:64). En configuraciones más complejas donde el video RF se transmite en paralelo al servicio de datos PON o los servicios PON adicionales coexisten en la misma red PON, se utilizan combinadores pasivos (MUX) en la oficina central / local para fusionar la longitud de onda

superpuesta de video y las longitudes de onda de servicio PON adicionales en la fibra alimentadora OLT saliente(VIAVI Solutions Inc, 2022).

2.6.3. Operación de Red Óptica Pasiva

Una innovación que es parte integral de la operación de PON es la multiplexación por división de ondas (WDM), utilizada para separar los flujos de datos en función de la longitud de onda (color) de la luz láser. Una longitud de onda se puede utilizar para transmitir datos aguas abajo, mientras que otra se utiliza para transportar datos aguas arriba. Estas longitudes de onda dedicadas varían según el estándar PON en uso y pueden estar presentes simultáneamente en la misma fibra.

El acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) es otra tecnología utilizada para asignar el ancho de banda ascendente a cada usuario final durante un período de tiempo específico, que es administrado por la OLT, evitando colisiones de longitud de onda / datos en los divisores PON u OLT debido a múltiples ONT / ONU que transmiten datos aguas arriba al mismo tiempo. Esto también se conoce como transmisión en modo ráfaga para el PON aguas arriba(VIAVI Solutions Inc, 2022).

2.6.4. Tipos de Servicio PON

Desde su introducción en la década de 1990, la tecnología PON ha seguido evolucionando y múltiples iteraciones de la topología de red PON han tomado forma. Los estándares originales de red óptica pasiva, APON y BPON, han dado paso gradualmente al ancho de banda y los beneficios generales de rendimiento de las versiones más nuevas, a continuación, se dan a conocer los estándares que se tienen:

2.6.4.1. APON (ATM Passive Optical Network). A finales de la década de 1990, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) propuso por primera vez APON, que utiliza el modo de transferencia asíncrono (ATM) para la comunicación por paquetes. APON utiliza la multiplexación centralizada y estadística de ATM, combinada con el efecto de compartir divisores pasivos en terminales de línea de fibra y óptica, de modo que el costo es 20-40% más bajo que el sistema de acceso PDH / SDH tradicional basado en conmutación de circuitos(VIAVI Solutions Inc, 2022).

2.6.4.2. BPON (Broadband Passive Optical Network). Debido al rápido desarrollo de la tecnología Ethernet, el estándar APON básicamente ya no se utiliza. En este momento, se propuso el concepto de Red Óptica Pasiva de Banda Ancha (BPON). BPON es una mejora después del estándar APON. También se llamó APON al principio, y luego se cambió a BPON para la diferenciación. BPON se basa en el protocolo ATM, con velocidades de enlace ascendente y descendente de 155 y 622 Mbps, respectivamente, además de asignación dinámica de ancho de banda, protección y otras funciones. Puede proporcionar servicios como acceso Ethernet, transmisión de video y líneas arrendadas de alta velocidad(VIAVI Solutions Inc, 2022).

2.6.4.3. G-PON (Gigabit Passive Optical Network). El PON con capacidad Gigabit, o G-PON, desarrollado por el UIT-T utiliza protocolos basados en IP y es reconocido por su excelente flexibilidad con respecto a los tipos de tráfico, incluidas las aplicaciones de "triple play" para voz, Internet y televisión. El método de encapsulación utilizado por G-PON es capaz de empaquetar Ethernet, IP, VoIP y muchos otros tipos de datos. G-PON se considera el estándar PON de facto en uso hoy en día, con redes que cubren distancias de entre 20 y 40 km, dependiendo de la relación dividida adoptada, sobre fibra monomodo. La longitud de onda descendente se configura en 1490 nm con una longitud de onda ascendente a 1310 nm, con una velocidad downstream de 2,4 Gbps y 1,2 Gbps velocidad de upstream(VIAVI Solutions Inc, 2022).

2.6.4.4. EPON (Ethernet Passive Optical Network). Un estándar de red óptica pasiva adicional del IEEE es Ethernet PON, o E-PON, que se ha desarrollado para una compatibilidad perfecta con dispositivos Ethernet. Basado en el estándar IEEE 802.3, E-PON no necesita protocolos adicionales de encapsulación o conversión para conectarse a redes basadas en Ethernet. Esto se aplica tanto a las direcciones de transferencia de datos ascendentes como descendentes. El E-PON convencional puede soportar velocidades simétricas de hasta 1,25 Gbps upstream y downstream. Al igual que G-PON, E-PON proporciona un rango de entre 20 y 40 km, nuevamente dependiendo de la relación dividida, y utiliza longitudes de onda similares de 1310 nm upstream y 1490 nm downstream, debido a que E-PON y G-PON no se pueden implementar en la misma red PON(VIAVI Solutions Inc, 2022).

2.6.4.5. 10G-EPON (10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network). El estándar 10G-EPON más avanzado aumenta las velocidades a 10 Gbps simétricos upstream y downstream, además opera en diferentes longitudes de onda a E-PON utilizando 1577nm downstream y 1270nm upstream, esto permite que el mismo PON se use tanto para E-PON como para 10G-EPON simultáneamente como un mecanismo para permitir una actualización de servicio sin problemas y aumentos de capacidad en una red PON existente(VIAVI Solutions Inc, 2022).

2.6.4.6. XG-PON (10 Gigabit Passive Optical Network). La versión 10G de G-PON se conoce como XG-PON. Este nuevo protocolo soporta velocidades de 10 Gbps de downstream y 2,5 Gbps de upstream. Aunque las convenciones de formato de datos y fibra física son idénticas a la G-PON original, las longitudes de onda han cambiado, al igual que 10G-EPON, a 1577 nm para downstream y 1270 nm para upstream. Una vez más, este ajuste permite utilizar la misma red PON para G-PON y XG-PON simultáneamente(VIAVI Solutions Inc, 2022).

2.6.4.7. NG-PON2 (Next-Generation Passive Optical Network 2). Más allá de XG(S) está NG-PON2 que utiliza WDM con múltiples longitudes de onda 10G, tanto upstream como downstream, para ofrecer un servicio simétrico de 40 Gbps. Una vez más, NG-PON2 utiliza diferentes longitudes de onda a G-PON y XG / XGS-PON para permitir la coexistencia de servicio de los tres en la misma red PON. A medida que las demandas de velocidad continúan aumentando año tras año, XG-PON, XGS-PON y NG-PON2 proporcionarán una ruta de actualización que debería resultar especialmente beneficiosa en entornos de clientes comerciales o de múltiples inquilinos y como parte de las redes inalámbricas 5G(VIAVI Solutions Inc, 2022).

2.7. XG-PON (10 Gigabit Passive Optical Network)

Después de estandarizar las redes PON que operan a 1 Gbit/s en ITU-T G.984.x serie de recomendaciones, se han realizado esfuerzos para estandarizar la capacidad de 10 Gbit/s PON (finalizados en octubre de 2009 y publicados por el UIT-T en marzo de 2010). La serie ITU-T G.987.x aborda los requisitos generales de 10 Gigabit redes ópticas pasivas de una manera que promueva la retrocompatibilidad con las ODN existente que cumple con los sistemas GPON. Además, el XG-PON el sistema utiliza multiplexación por división de longitud de onda (WDM) definida en ITU-T G.984.x

serie y proporciona una migración perfecta de Gigabit PON a XG-PON. En la tabla 2 e puede observar algunas diferencias entre GPON y XG-PON(Konstadinidis et al., n.d.).

Tabla 2

Comparación GPON vs XG-PON

Características técnicas	GPON	XG-PON
Longitud de onda	Downstream: 1480-1500 Upstream: 1290-1330 nm	Downstream: 1575-1580 Upstream: 1260-1280 nm
Longitud de onda central	Downstream: 1490 Upstream: 1310 nm	Downstream: 1577 Upstream: 1270 nm
Velocidad de línea máxima	Downstream: 2.488 Gbit/s Upstream: 1.244 Gbit/s	Downstream: 9.953 Gbit/s Upstream: 2.488 Gbit/s
Distancia máxima de transmisión física	60 kilómetros	100 kilómetros
Relación de división máxima	1:128	1:256

Fuente: (IVY HTFuture, 2019)

2.8. Metodologías para el Diseño de Proyectos Tecnológicos

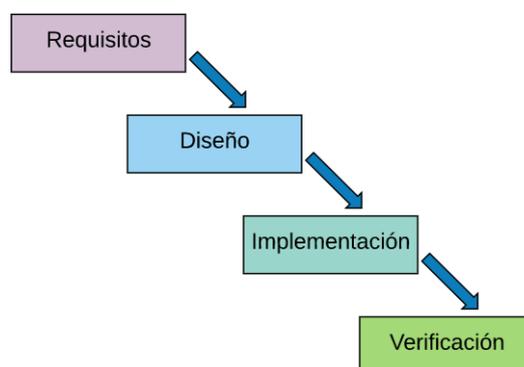
Los modelos o metodologías para proyectos tecnológicos guían el desarrollo de estos, con los cuales se puede trabajar de una manera ordenada o sistemática. Lo que diferencia a los métodos son el tiempo de ejecución de los proyectos, pero lo más importante es el éxito del proyecto. La mayoría de los proyectos funcionan de acuerdo con un modelo de desarrollo de hardware y software específico elegido por el desarrollo, pero en algunos casos se pueden utilizar algunos modelos diferentes que funcionan en paralelo. (Rahmany, 2018).

2.8.1. Modelo en Cascada

Este modelo es bastante sencillo de entender y su proceso de desarrollo se basa en cumplir los niveles de desarrollo y se pasara al siguiente nivel hasta llegar al final del proceso, cabe destacar que al finalizar cada fase se realiza una revisión para determinar si el proyecto está encaminado de manera correcta y si se debe continuar o descartar el proyecto, en la figura 27 se ilustra las fases del modelo(Rahmany, 2018).

Figura 27

Diagrama del modelo en cascada



Fuente: (Dominguez, 2020)

En la tabla 3 se puede identificar algunas ventajas y desventajas del modelo en cascada.

Tabla 3

Ventajas y desventajas modelo en cascada

Ventajas	Desventajas
El modelo de cascada funciona bien para proyectos más pequeños donde los requisitos se entienden muy bien	La desventaja crucial de este modelo es que las pruebas se entienden como una acción “única” al final del proyecto, justo antes del lanzamiento de la operación.

El tiempo invertido en las primeras etapas del ciclo de producción de software puede conducir a una mayor economía en etapas posteriores

No apto para los proyectos a largo plazo

Las etapas de desarrollo van una a una

No es recomendado para proyectos complejos

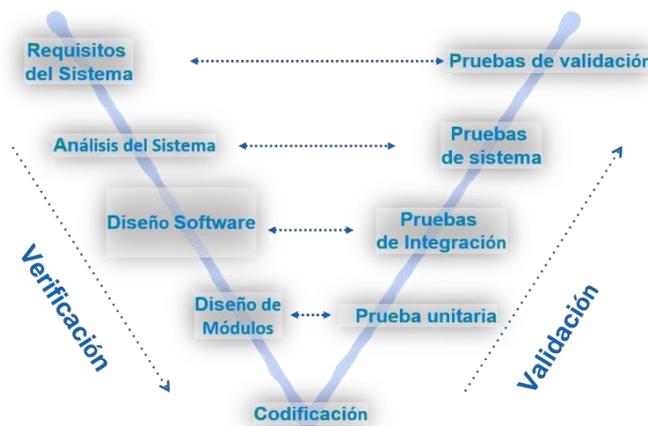
Fuente: (Rahmany, 2018)

2.8.2. Modelo en V

La idea básica del modelo V es que las tareas de desarrollo y las tareas de prueba son actividades similares, igualmente importantes, simbolizadas por los dos lados de la "V", el proceso de desarrollo va en el sentido de las agujas del reloj desde el punto superior izquierdo de la V, terminando en el punto anterior. esquina derecha como se muestra en la Figura 28. En el lado izquierdo de la rama V hacia abajo, el personal de desarrollo define los requisitos comerciales, los parámetros de diseño de la aplicación y los procesos de diseño, en el punto medio de la base de V se realiza toda la codificación relacionada rama derecha hacia arriba de V se realizan las pruebas y la depuración, primero se realizan las pruebas unitarias, seguidas de la prueba de integración inferior. La esquina superior derecha de la V representa el lanzamiento del producto y el soporte continuo(Rahmany, 2018).

Figura 28

Diagrama del Modelo en V



Fuente:(Tutorialspoint, 2021)

En la tabla 4 se puede observar algunas ventajas y desventajas del modelo en V.

Tabla 4

Ventajas y desventajas Modelo en V

Ventajas	Desventajas
Los defectos se reparan poco tiempo después de que se han detectado, es más económico repararlos.	Es muy rígido y el menos flexible, lo que significa que, si uno de los requisitos cambia, el probador debe actualizar la documentación de prueba en su totalidad.
Todos los participantes en el desarrollo de un sistema tienen la responsabilidad de garantizar la calidad y las pruebas.	Este modelo se aplica sobre todo a las grandes empresas porque el modelo necesita muchos recursos.
Las actividades de prueba, como los requisitos y el diseño de pruebas, ocurren mucho antes de la codificación.	La cantidad y la intensidad de los niveles de prueba deben adaptarse a las necesidades específicas del proyecto.

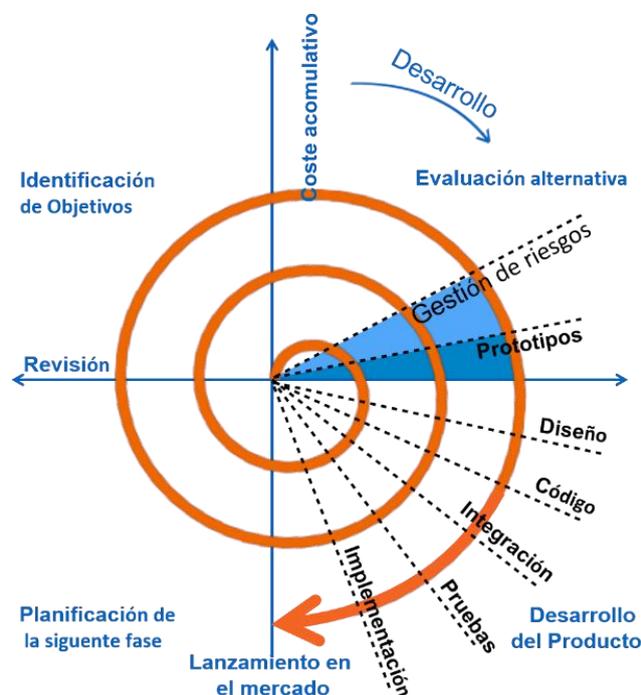
Fuente: (Rahmany, 2018)

2.8.3. Modelo Espiral

El modelo espiral es muy utilizado en grandes proyectos porque este modelo de desarrollo combina las características del modelo prototipo y la modelo cascada. El modelo en espiral es una versión evolutiva del prototipo incremental, el desarrollo incremental significa que el proyecto no se realiza por partes, sino en una serie de desarrollos y ediciones más pequeños, como se muestra en la Figura 29. Modelos Los sistemas incrementales intentan reducir el riesgo de construcción. el sistema incorrecto entregando partes útiles del sistema a tiempo y obteniendo retroalimentación de los clientes. Los requisitos de confiabilidad y funcionalidad del sistema aumentan con el tiempo desde la versión anterior solo para desarrollo o restringida por el usuario hasta la versión posterior lanzada para los usuarios finales.(Rahmany, 2018).

Figura 29

Diagrama del Modelo Espiral



Fuente: :(Tutorialspoint, 2021)

En la tabla 5 se puede apreciar algunas ventajas y desventajas del modelo en Espiral.

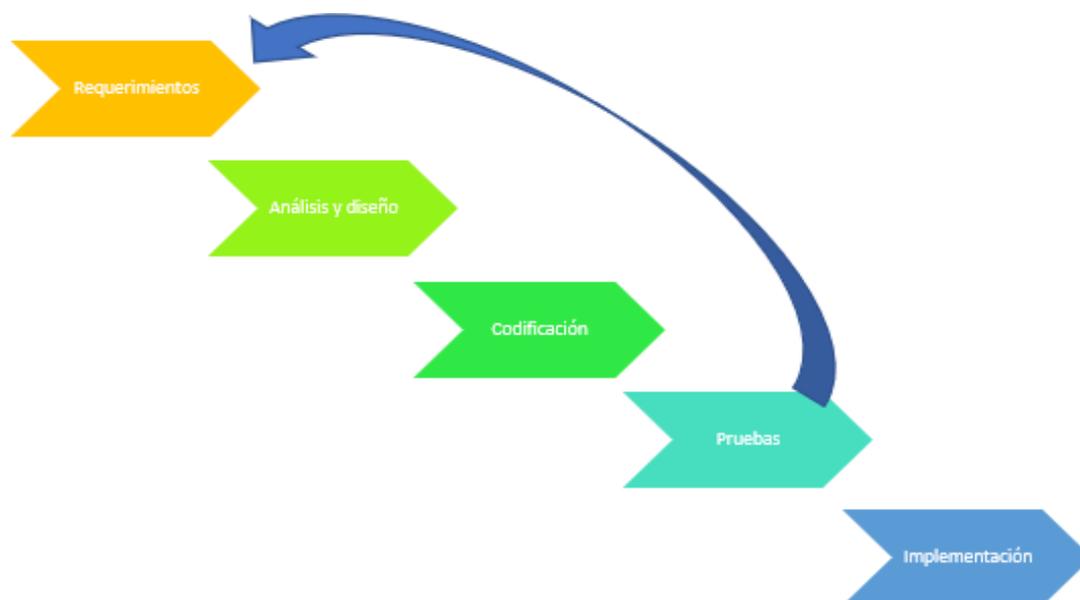
Tabla 5*Ventajas y desventajas Modelo en Espiral*

Ventajas	Desventajas
Es un modelo muy flexible. Las fases de desarrollo pueden ser determinadas por el director del proyecto, de acuerdo con la complejidad del proyecto.	No funciona bien para proyectos más pequeños.
Las estimaciones se vuelven más realistas a medida que avanza el trabajo porque los problemas importantes se descubren antes.	Evaluar los riesgos involucrados en el proyecto puede disparar el costo y puede ser más alto que el costo de construir el sistema.
Bueno para proyectos grandes y de misión crítica.	El análisis de riesgos requiere una experiencia muy específica.

Fuente: (Rahmany, 2018)

2.8.4. Modelo Iterativo

Un modelo SDLC iterativo puede iniciar un proyecto antes de que se complete la acumulación, como se muestra en la Figura 30, que contiene un diagrama de muestra. El proceso de desarrollo inicia con los requerimientos de la parte funcional, los cuales pueden ser planteados luego del inicio del proyecto, el proceso es iterativo, lo que permite producir nuevas versiones del producto con cada ciclo, finalmente es un método de ejecución secuencial. Acercarse significa un acercamiento gradual a la forma prevista del producto final (Osetsyki, 2017).

Figura 30*Diagrama del Modelo Iterativo*

Fuente: (Osetskyi, 2017)

A continuación, en la tabla 6 se puede observar algunas ventajas y desventajas del modelo iterativo

Tabla 6*Ventajas y desventajas Modelo en Espiral*

Ventajas	Desventajas
La iteración más corta es: las etapas de prueba y depuración que son las más fáciles.	Mala elección para los pequeños proyectos
Flexibilidad y preparación a los cambios en los requisitos	Es posible que los riesgos no se determinen por completo ni siquiera en la etapa final del proyecto
Los problemas y riesgos definidos dentro de una iteración se pueden prevenir en las siguientes fases.	El análisis de riesgos requiere la participación de los especialistas altamente calificados

Fuente: (Osetskyi, 2017)

2.8.5. Elección de la Metodología

Para desarrollar e implementar un proyecto es necesario llevar a cabo una serie de instrucciones y etapas que forman parte de su ciclo de vida, para lo cual se necesita una metodología que garantice el éxito de los resultados y además genere un proceso sistemático. reducción y eliminación de errores. Luego de analizar los modelos previamente estudiados, se optó por el modelo en cascada, que es un modelo con un ciclo de vida lineal, donde cada etapa debe comenzar cuando finaliza la etapa anterior, para llevarse a cabo al final de cada revisión y por lo tanto verificar si el proyecto va de manera óptima y positivamente encarrilada, de lo contrario descartar esta fase.

3. CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA

En este apartado se dará a conocer la situación actual, tanto de la geografía como del servicio de internet público y privado de la parroquia García Moreno, se realizará el análisis de los requerimientos necesarios para el diseño de la red de fibra óptica con tecnología XG-PON.

3.1. Situación Actual de la Parroquia

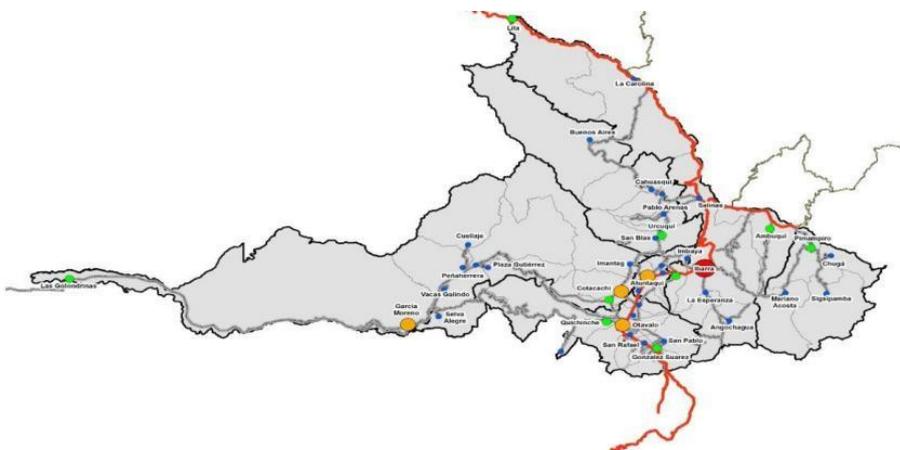
A continuación, se va a dar a conocer la ubicación de la parroquia, la población que habita en la misma, los servicios de internet públicos y privados a los que pueden acceder los habitantes y finalmente se realizara un estudio mediante encuestas, para determinar la situación actual del servicio de internet.

3.1.1. Ubicación

La parroquia García Moreno ubicada en la zona de Intag como se observa en la figura 31 en el mapa geográfico de la provincia, es parte de las 8 parroquias rurales del Cantón Cotacachi, perteneciente a la provincia de Imbabura, a una distancia de 78Km de Cotacachi con dirección vía a Apuela y a una distancia de 106 Km de la capital Provincial Ibarra.

Figura 31

Mapa geográfico de Imbabura



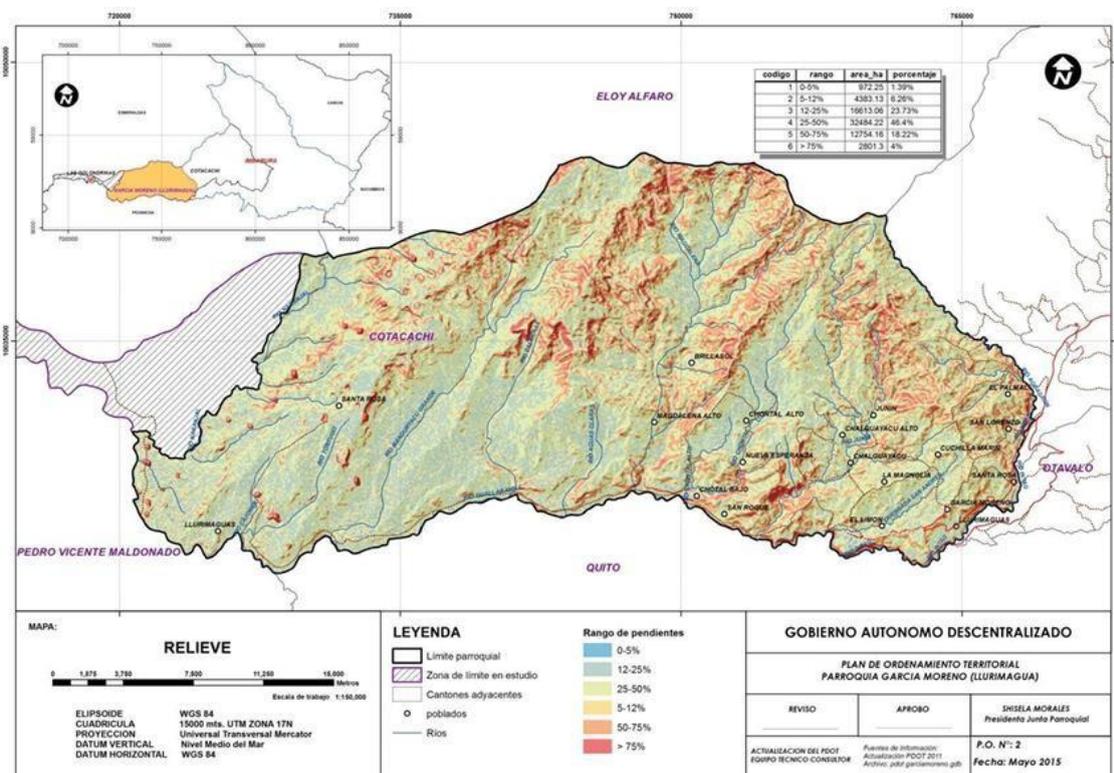
Fuente: (PREFECTURA DE IMBABURA, 2019)

García Moreno posee una topografía inclinada como se muestra en la Fig. 32 que va desde los 283 a 3200msnm. Entre el 25 a 50% es el mayor grado de pendiente representando 32.484,22 has. Los límites de la parroquia son:

- Al norte y noroeste: Provincia de esmeraldas
- Al sur y suroeste: Provincia de Pichincha.
- Al este y noreste: Parroquia Peñaherrera.

Figura 32

Mapa topográfico de la parroquia de García Moreno.



Fuente: (PREFECTURA IMBABURA, 2022)

3.1.1. Población

Tomando en consideración los datos obtenidos en el censo del año 2010, y con ayuda del crecimiento entre el año 2001 a 2010 se deduce que para el año 2020, la población de la Parroquia Rural García Moreno asciende a 5.587 habitantes (2.955

hombres y 2.632 mujeres), La densidad poblacional según esta misma fuente, con una superficie total de 825,27 Km². El crecimiento poblacional es de 1,04%, por debajo de la media nacional rural de 1,47%, como se puede apreciar en la tabla 7.

Tabla 7

Población y variación de habitantes García Moreno

Resumen demográfico	
García Moreno habitantes 2010	5.060
García Moreno habitantes año 2020 (proyección)	5.587
Porcentaje crecimiento demográfico	1.04%

Fuente: INEC, Censo de población y vivienda 2010

3.1.1. Situación Actual de Proveedores

Al hacer referencia de la situación actual en cuando a los proveedores que actualmente facilitan el servicio de internet en la parroquia García Moreno, se detalla en la tabla 8 el número de usuarios que contiene cada proveedor hasta el año 2021. Dichos datos se obtuvieron en base a información proporcionada por cada proveedor. En la zona de estudio se observa que la empresa que lidera actualmente el mercado es CNT EP, seguida de la empresa Fibra web y por último con una diferencia poco apreciable están Saitel y Redecom.

Tabla 8

Cantidad de abonados por proveedor en el año 2021

Resumen demográfico	Abonados	Porcentaje
CNT EP	39	40,21%
SAITEL	18	18,56%
REDECOM	15	15,46%
FIBRAWEB	25	25,77%
TOTAL	97	100%

Fuente: Autoría propia

3.1.2. *Proyección a Mediano Plazo*

Toda proyección es importante debido a que son indispensables con el fin de realizar planificaciones de varios ámbitos de estudio, permitiendo definir los posibles escenarios y de esta manera pronosticar acciones. (INEC, 2022)

Para este caso se utilizará el método de proyección global, el cual entrega un resultado de población total única. El método matemático será el exponencial debido a que utiliza una tasa nominal media conocida de un periodo anterior, permitiendo definir la población futura. Dicho método viene dado por la siguiente ecuación [4].

(AYUNTAMIENTO EL EJIDO, 2022)

$$P_{t+n} = P_t(1 + r)^n \quad \text{Ecuación [4]}$$

Donde:

P_{t+n} = Poblacion a futuro

P_t = Poblacion actual

r = tasa acumulativa media por periodo.

n = periodo de estudio.

Para caso de estudio actual se tiene una población total de 97 abonados del servicio de internet que sería nuestra población actual (P_t). La tasa acumulativa media (r) viene dado por el crecimiento de la población en el periodo de diez años definida por el INEC en la tabla 3, que es 1,04%, como se puede observar en la ecuación [5].

$$P_{t+10} = 97 (1 + 0,0104)^{10} \quad \text{Ecuación [5].}$$

$$P_{t+10} = 108$$

Por lo antes expuesto, la cantidad actual de los abonados del servicio de internet hasta el año 2021 es un total de 97, gracias al método matemático de proyección se puede definir que para el lapso de 10 años existirá un incremento de 11 clientes que representan el 10,15% de crecimiento.

Sin embargo, cabe recalcar que después de realizar un análisis de la situación actual de la parroquia en cuanto a sus habitantes, operadoras que actualmente operan, cantidad de abonados, y finalmente la proyección del posible incremento de abonados en los próximos 10 años, esto no es suficiente para determinar las necesidades específicamente acerca del servicio de internet.

A fin de determinar los requerimientos y opinión de los abonados del servicio de internet es necesario realizar una encuesta escrita, dicha encuesta servirá como herramienta para determinar el nivel de satisfacción con su servicio actual, así como también, se puede definir la intención de contratación de un nuevo servicio de internet que se acople a sus necesidades.

3.2. Opinión de los Abonados

Es fundamental tener en cuenta la opinión de los abonados debido a que podemos definir las necesidades que tiene la población en cuanto al servicio de internet, para de esta manera diseñar la red de acuerdo con los requerimientos de dichos usuarios.

La encuesta se enfoca principalmente en realizar un análisis de la situación actual en cuando al servicio de internet en la parroquia García Moreno, así como también, tiene como objetivo definir cuál es la demanda tanto de ancho de banda necesaria para el sector, posibles costos y planes que se podría ofertar con la implementación de dicho diseño. El modelo de la encuesta realizada se encuentra en el anexo 1.

3.2.1. *Tamaño de la Muestra*

Cuando se realiza una investigación es importante hacer referencia al tamaño de muestra, esto permite estimar la cantidad de individuos que son necesarios para el estudio. Para poder determinar la muestra se requieren parámetros definidos que incluyen el tamaño de la población, margen de error y el nivel de confianza del muestreo. (García, 2010)

3.2.1.1. Tamaño de la Población. Este parámetro es el número total de las personas que se desea estudiar, es también conocido como universo.

3.2.1.2. Margen de Error. Es un umbral que permite determinar el grado de error aceptable para el estudio, esta expresado en valores medios.

3.2.1.3. Nivel de Confianza. Es un porcentaje que predice cuanta confianza se puede tener que la población de estudio, es decir cuanta confianza existe en que la media real esté en el umbral de error.

3.2.1.4. Desviación estándar. Permite estimar la variación de las respuestas con respecto a una media, en la mayoría de los casos es recomendable optar por una desviación de 0.5, garantizando que sea suficiente el tamaño de la muestra. A nivel general los valores más utilizados para el cálculo de una muestra están dados en la tabla 9.

Tabla 9

Cantidad de abonados por proveedor en el año 2021

Nivel de confianza	Puntuacion (z)	Margen de error
80%	1.26	20%
85%	1.44	15%
90%	1.65	10%
95%	1.96	5%
99%	2.58	1%

Fuente: (Surveymonkey, 2022)

3.2.1.5. Cálculo de la Muestra. Por lo anteriormente expuestos, la porción de universo a estudiar es el tamaño de la muestra, en base a los datos obtenidos de los proveedores anteriormente, contamos con la población total que al ser un valor finito permite realizar las encuestas a una muestra en específica.

Para el cálculo de muestras existen varias fórmulas matemáticas, pero para este caso se utilizará la fórmula que se observa en la ecuación 6 para el cálculo de un universo finito. (Aguilar, 2005)

$$n = \frac{N * Z^2 * \sigma^2}{e^2 * (N-1) + Z^2 * \sigma^2} \quad \text{Ecuación [6]}$$

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño del universo

σ = Desviación estándar de la población, en caso de desconocer este dato es común utilizar un valor constante que equivale a 0,5%

Z = Valor del nivel de confianza, por lo general se tienen dos valores siendo entre 99% y 95%

e = Error de estimación máximo, generalmente va del 1% al 9%, siendo 5% (0.5) el valor estándar

Según los datos de la tabla 8 donde se define que el número total de abonados en la parroquia de García Moreno para el año 2021 es de 97 usuarios. Como anteriormente se indicó se va a utilizar un margen de error de 5% con un nivel de confianza del 95% y un valor para Z=1,96 como se puede observar en la tabla 9.

$$n = \frac{97 * 1.96^2 * 0.5^2}{0.05^2 * (96) + 1.96^2 * 0.5^2}$$

$$n = 78$$

Como se observa el número de abonadas que se deben encuestar son 78, por esta razón tanto el proceso de recolección de datos y de análisis de los mismos se los hacen a esta porción del universo. La recolección de datos y el análisis de los resultados obtenidos de la encuesta se los indican en el siguiente punto con el fin de que toda la información que se analiza brinde un mejor criterio de diseño de la red de fibra óptica acorde a las necesidades de cada abonado y la situación actual de la zona de estudio.

3.3. Análisis de la Encuesta

La encuesta propuesta fue realizada a 78 abonados que es el tamaño de la muestra calculada, dicha encuesta tiene como objetivo definir la realidad acerca del servicio de internet en la parroquia de García Moreno. Para ello es importante tabular y analizar cada una de las respuestas de la encuesta.

Con el fin de entender los datos recolectados en cada una de las respuestas de los diferentes abonados y para poder representar estos datos es necesario realizar la tabulación de dichas respuestas, dichos datos una vez tabulados pueden ser representados gráficamente para poder definir de manera porcentual para de esta manera tener una visión más amigable de las respuestas. En el anexo 2, se puede observar la tabulación de cada una de las preguntas de la encuesta.

Por lo antes expuesto, es importante tener una visión general de los datos obtenidos en las encuestas, de manera que en la tabla 10, se muestran los datos de las respuestas de la encuesta.

Tabla 10

Datos de las encuestas realizadas.

Datos de Encuesta Realizada en Barrios San Miguel y San Vicente			
Preguntas	Datos de encuesta	Datos obtenidos	% del total
Edad	15 a 20 años	5	6%

	21 a 30 años	18	23%
	31 a 40 años	37	47%
	mayor a 40 años	18	23%
Género	Masculino	31	40%
	Femenino	47	60%
	Otros	0	0%
¿Qué actividad realiza?	Estudiar	18	23%
	Trabajar	55	71%
	Otro	5	6%
¿Dispone del servicio de internet?	SI	78	100%
	NO	0	0%
¿Le gustaría contar con el servicio internet por Fibra Óptica?	SI	60	77%
	NO	18	23%
Medio por el que dispone el servicio de internet actualmente	Antena	46	59%
	Cable de cobre	27	35%
	Cable Coaxial	0	0%
	Fibra Óptica	5	6%
	Desconoce	23	29%
¿Cuál es la velocidad de su internet actual?	1Mbps	0	0%
	2Mbps	0	0%
	3Mbps	8	10%
	4Mbps	0	0%
	5Mbps	18	23%
	6Mbps	18	23%
	7Mbps	8	10%
	8Mbps	0	0%
	9Mbps	0	0%
	10Mbps	0	0%
	15Mbps	0	0%
	20Mbps	0	0%
	25Mbps	0	0%
	30Mbps	0	0%
	50Mbps	3	4%
¿Tiene cortes y/o intermitencias en el servicio?	SI	70	90%
	NO	8	10%
Actividades principales en las que utiliza el internet	Investigaciones / Consultas	49	19%
	Clases en línea	36	14%
	Llamadas por internet	45	17%
	Video llamadas por internet	45	17%
	TV por internet	23	9%
	NETFLIX	21	8%

	YOUTUBE	41	16%
¿Está de acuerdo que se implemente el servicio de servicio internet por fibra óptica?	SI	55	71%
	NO	23	29%

Fuente: Autoría Propia

Una vez recolectado los datos antes de realizar el diseño de la red XG-PON, previamente se realizará el análisis de la situación actual acerca del servicio de internet en la zona de estudio.

3.3.1. Pregunta 1

La pregunta uno hace referencia a la edad de las personas encuestadas, es importante tener estos detalles con el fin de realizar análisis confiables con respuestas más filtradas. Con referencia en la tabla 6, la mayor parte de encuestados tiene edades entre los 31 a 40 años representado el 47%, seguido por las personas con edades de 21 a 30 años y personas mayores a 40 años, en ambos casos tienen el 23%.

3.3.2. Pregunta 2

De acuerdo con los datos de la tabla 6, la mayoría de encuestados son de género femenino, representando el 60% del total, por otra parte, el resto son de género masculino con el 40% y no existen encuestados de diverso género.

3.3.3. Pregunta 3

Es importante tener claro a qué se dedica cada uno de los encuestados, esto ayudara a determinar el mercado al que se debe ofertar el servicio. Para este caso según la tabla 6, el 71% de los encuestados se dedica a trabajar, una considerable parte se dedica a estudiar que representa el 23% y el 6% restante se dedica a otro tipo de actividades.

3.3.4. Pregunta 4

Como es una encuesta de abonados, todos los abonados respondieron que actualmente si poseen el servicio de internet, esto representa la totalidad de los encuestados con el 100% indicado por medio de la tabla 6.

3.3.5. Pregunta 5

Según los datos de la tabla 6, con respecto a si los abonados estarían interesados en contratar un servicio de internet por fibra óptica debido a que en la zona la mayoría no dispone de dicha tecnología, el 77% respondió que, si está interesado en la tecnología de fibra óptica que es la mayoría, por otra parte, el 23% respondió que no está interesado en dicha tecnología.

3.3.6. Pregunta 6

Es importante conocer la tecnología por la cual los abonados en la actualidad poseen el servicio de internet. En base a la tabla 6, se determina que más de la mitad de los encuestados representados por el 59% poseen el servicio por medio de una antena inalámbrica. Un poco más de la tercera parte, es decir, el 35% tiene el servicio por medio de cable de cobre. Por otra parte, únicamente el 6% de encuestados indican que poseen internet por medio de fibra óptica. Por lo antes expuesto se puede definir que se tendrá un posible mercado favorable debido a que por las tecnologías por las que actualmente la mayoría de los abonados tienen el servicio, son tecnologías que tienen en la actualidad varios inconvenientes y que ya no satisfacen las necesidades actuales en cuando a ancho de banda y calidad de servicio.

3.3.7. Pregunta 7

En concordación con la tabla 6, las velocidades que predominan en los servicio de los abonados son en su mayoría bajas, la velocidad de 5Mbps y 6Mbps juntas suman el 46% que es casi la mitad de los encuestados, por otra parte únicamente el 4% de los abonados dispone de una velocidad de 50Mbps y el 29% de abonados desconoce la velocidad de su internet, pero basados en la pregunta anterior referente al tipo de tecnología, es posible deducir que las velocidades de las personas que desconocen son velocidades bajas similares a los del 46% de abonados, debido a que su mayoría poseen el servicio por antena o cable de cobre.

3.3.8. Pregunta 8

Un parámetro importante en cuanto a la situación actual del servicio es determinar si poseen problemas de intermitencias los abonados, para ello según los datos de la tabla 6, se puede observar que el 90% de los abonados afirman que tienen intermitencias en el servicio y únicamente el 10% que es un número bastante reducido de abonados indica que no posee intermitencias en el servicio. Pero como se indicó anteriormente esto es entendible debido al tipo de tecnología por el que la mayoría de los abonados posee el servicio de internet actualmente.

3.3.9. Pregunta 9

Por otra parte, es importante conocer de qué manera utilizan el internet los usuarios para determinar si es viable la cantidad de ancho de banda actual o si es necesario ofertar otro tipo de velocidad. En la tabla 6, se puede observar que las tres

principales actividades que sobre salen son Investigaciones y consultas con 19%, llamadas por internet 17%, Video llamadas 17%. Las actividades como utilización de YouTube con el 16% y de clases en línea con el 14%, para este caso de estudio también son importantes y sirven para determinar la capacidad de ancho de banda. Por ultimo las opciones de menos demanda son TV por internet con 8% y de la utilización de Netflix con el 9%.

Por lo anteriormente expuesto se puede determinar que la mayoría de los abonados de manera general utilizan el servicio de internet para aplicaciones multimedia en diferentes plataformas, debido a esto es evidente que el ancho de banda que se debe ofrecer debe ser al menos del ancho de banda que poseen los clientes con fibra en el sector que para este caso es de 50Mbps.

3.3.10. Pregunta 10

Finalmente, esta pregunta se realizó con el objetivo de saber si existe el interés de implementar el servicio de internet por fibra óptica, es por eso que según los datos recolectados en la tabla 6, se define que la mayoría de los abonados desean que se implemente la tecnología de fibra óptica siendo el 71%, y un 29% indica que no está de acuerdo. Pero es necesario también observar que en la pregunta 5 a la mayoría de los usuarios les gustaría contar con un internet por fibra óptica. En base a esto se puede definir que la implementación del servicio por fibra es aceptada por la mayoría.

3.4. Fase 1: Requisitos y Requerimientos

En la Fase 1, se da el conocimiento de todos los factores involucrados en el proyecto, ya que es necesario adaptar un análisis investigativo, el cual facilitará la información necesaria sobre los problemas que se tienen dentro de dicha investigación,

posterior a esto, se nombrará los requerimientos que satisfagan las necesidades de análisis, para lo cual se examinará requerimientos de usuarios, operaciones, de sistema, de arquitectura, entre otros.

3.4.1. Análisis

En este apartado se establecen los requerimientos que tiene el sistema, los parámetros del problema y situación actual, además de los requisitos de hardware y software. En la etapa de Análisis se realiza el estudio de la situación actual en que se encuentra el beneficiario y las dimensiones de la vivienda donde se va a trabajar, mediante una técnica de investigación descriptiva para recopilar datos de los usuarios llamada encuesta. Como se puede observar en el anexo 1 se ha recopilados todos estos datos.

3.4.2. Requerimientos Stakeholders

Los requerimientos de stakeholders comprenden a un individuo o grupo de personas, las cuales tienen un interés directo en el resultado obtenido por el desarrollo del proyecto, dichos requerimientos tienen como finalidad identificar los requisitos de los interesados por el diseño, en donde en específico se analizan un conjunto de requerimientos operacionales y de usuario que tienen que ver con la interacción directa de los usuarios involucrados con el diseño, en la tabla 11 se muestra los implicados o stakeholders.

Tabla 11

Lista de Stakeholders del proyecto.

Stakeholders
1. Profyber S.C.
2. Habitantes parroquia García Moreno

-
3. Sr. Santiago Recalde-Desarrollador del proyecto
 4. MsC. Jaime Michilena-Director del presente trabajo de titulación
 5. MsC. Carlos Vásquez-Asesor del presente trabajo de titulación
 6. MsC. Roberto Marcillo-Asesor del presente trabajo de titulación
-

Fuente: Autoría

En la Tabla 12 se listan los requerimientos empleados tanto requerimientos operacionales y de usuario, en donde se muestran las especificaciones indispensables por parte de los habitantes de la parroquia de García Moreno para el desarrollo del diseño del proyecto, se los ha realizado en base a la encuesta realizada

Tabla 12

Lista de Stakeholders del proyecto.

StSR					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES					
StSR1	El diseño será enfocado para la parroquia de García Moreno.	X			
StSR2	El sistema debe tener una red de transporte.	X			
StSR3	Se debe contar con un nodo principal para el sector en específico	X			
StSR4	La posteraía debe estar situada en la mayor parte de la parroquia.	X			
StSR5	Los elementos activos deben tener la capacidad de trabajar en XG-PON	X			
StSR6	Los elementos pasivos deben ser dimensionados para abastecer al menos a la demanda actual.		X		
StSR7	La red de acceso será con la tecnología XG-PON	X			

StSR8	Los terminales de los usuarios deben trabajar en la red inalámbrica en las frecuencias 2.4Ghz y 5Ghz.	X
StSR9	Se debe tener dimensionado un sistema de backup eléctrico	X
REQUERIMIENTOS DE USUARIO		
StSR10	El servicio prestado de internet debe ser por fibra óptica	X
StSR11	Las velocidades de carga y descarga debe ser altas	X
StSR12	Buena cobertura dentro del hogar	X

Fuente: Autoría

3.4.3. Requerimientos del Sistema

Para la selección de los requerimientos del sistema se apoyará el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2011, ya que dicho estándar contiene disposiciones para los procesos y productos relacionados con la ingeniería de requisitos para sistemas y productos y servicios de software a lo largo del ciclo de vida. Define la construcción de un buen requisito, proporciona atributos y características de los requisitos, y discute la aplicación iterativa y recursiva de los procesos de requisitos a lo largo del ciclo de vida, también nos informa de las restricciones, y especifica los requisitos y funciones del sistema.

A continuación, la tabla 13 muestra los acrónimos empleados para referirse de forma abreviada para cada requerimiento, facilitando la visualización de la información, la misma permitirá realizar la selección de software, hardware y los puntos específicos en el desarrollo del diseño.

Tabla 13

Términos abreviados y acrónimos usados durante el análisis de requerimientos.

Acrónimos y Abreviados	Descripción
StSR	Requerimientos Stakeholders
SySR	Requerimientos del Sistema
SRSR	Requerimientos de Hardware y Software

Fuente: Autoría

Las tablas propuestas para cada requerimiento se lo ha establecido de la siguiente manera: un número identificador del requerimiento, la siguiente columna nos describe al requerimiento, en la penúltima columna detalla la prioridad donde se establece que tan importante es el requerimiento y se lo ha dividido en tres fases: Alta, Media y Baja, en la Tabla 14 se detalla los rangos de prioridad existentes en el diseño, y por último en la última columna se detalla la relación, para así conocer si entre requerimientos depende uno del otro.

Tabla 14

Prioridad de los Requerimientos del sistema.

Prioridad	Descripción
Alta	Es un requerimiento muy importante y crítico que obligatoriamente debe encontrarse dentro del sistema, ya que si no se lo implementa afectara la funcionalidad de este.
Media	Al no incluir este requerimiento puede afectar la decisión final del sistema, sin embargo, este se lo puede omitir en condiciones de fuerza mayor.
Baja	La implementación o no de este requerimiento se espera que no posea un impacto significativo en la decisión final del sistema.

Fuente: Autoría

3.4.3.1. Requerimientos Iniciales del Sistema Los requerimientos iniciales del sistema (SySR) destacan las características y propiedades que debe tener el diseño, comprenden los requisitos de uso, las interfaces, los modos, estados y físicos; los cuales se muestran en la tabla 15

, teniendo en cuenta que de esta manera se puede identificar claramente lo que los habitantes de la parroquia García Moreno necesitan para el servicio de internet.

Tabla 15

Requerimientos Iniciales del Sistema

SySR					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS DE USO					
SySR1	Dispositivo final con conexión Wi-Fi o Ethernet	X			
SySR2	Colocación correcta de la contraseña de Wi-Fi		X		
SySR3	Ubicación adecuada de patch cord		X		
REQUERIMIENTOS RENDIMIENTO					
SySR4	Bajo consumo de energía			X	
SySR5	Equipos que soporten la temperatura del sitio		X		
SySR6	Elementos pasivos deben tener la capacidad de trabajar en la intemperie	X			
SySR7	Menor número de empalmes		X		
REQUERIMIENTOS DE INTERFAZ					
SySR8	La OLT debe poseer módulos C+ y soportar la tecnología XG-PON	X			
SySR9	Las ONUs/ONTs deben ser clae 1 C+ y trabajar XG-PON	X			
SySR10	El servidor principal debe tener la capacidad de soportar la demanda de tráfico que implica la tecnología XG-PON	X			

SySR11	Los equipos del nodo central deben estar conectados a una red eléctrica regulada	X
SySR12	El nodo central debe conectarse a una red de transporte	X

REQUERIMIENTOS DE MODOS/ESTADOS

SySR13	Modo activo del nodo central	X
---------------	------------------------------	---

REQUERIMIENTOS FISICOS

SySR14	Ubicación adecuada del nodo principal	X
SySR15	Ubicación estratégica de cajas de distribución para clientes finales	X
SySR16	Ubicación correcta de los equipos finales	X

Fuente: Autoría

3.4.4. Requerimientos de Arquitectura

En la Tabla 16, se muestra los requerimientos de arquitectura (SRSH), en los mismos se listan los requisitos de diseño, de software, de hardware y eléctricos; los cuales ayudan a futuro en la elección de los diferentes componentes de hardware y software que serán parte del diseño.

Tabla 16

Requerimientos de Arquitectura.

SRSH					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS LÓGICOS					
SRSH1	Soporte de la tecnología XG-PON entre la OLT y las ONUs/ONTs	X			
SRSH2	Conexión física y colocación de equipos pasivos entre la OLT y ONU/ONT	X			
SRSH3	Anclaje del nodo central a la salida de internet	X			
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO					

SRSH4	Equipo de borde debe situarse en la conexión de salida internacional	X
SRSH5	Soporte tecnología XG-PON por parte de los equipos del nodo principal	X
SRSH6	Los elementos pasivos deben soportar las condiciones ambientales de la zona	X
SRSH7	La estación final debe soportar XG-PON	X

REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

SRSH8	El equipo de borde debe anclarse a la red de transporte	X
SRSH9	El server de administración debe tener una interfaz conectada hacia el equipo de borde y otra interfaz hacia la OLT	X
SRSH10	La OLT debe soportar la tecnología XG-PON	X
SRSH11	La OLT debe contar con al menos con una interfaz 10GPON conectada hacia el server	X
SRSH12	Los módulos de la OLT deben ser clase C+ y deben estar conectados mediante patch cord hacia el ODF	X
SRSH13	Las ONUs/ONTs deben soportar tecnología XG-PON	X
SRSH14	La interfaz óptica de la ONU/ONT debe ser clase C+ o B+	X
SRSH15	La ONU/ONT debe contar con al menos una interfaz Gigabit Ethernet.	X

REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE

SRSH16	Para la administración y gestión de la OLT, core y equipo de borde se utilizará un software libre	X
SRSH17	Para el monitoreo de la red se utilizará un software compatible con los equipos	X

REQUERIMIENTOS ELECTRICOS

SRSH18	El nodo central debe estar conectado permanentemente a la red eléctrica regulada	X
SRSH19	El nodo central debe tener un sistema eléctrico de backup	X
SRSH20	Los equipos finales deben estar siempre conectados a la red eléctrica	X

Fuente: Autoría

3.5. Fase 2: Diseño de la Red

Una vez finalizada la etapa de análisis y situación actual de la parroquia García Moreno, y también con la ayuda de la encuesta realizada a los habitantes de esta, se pudo determinar los requerimientos técnicos y operacionales que necesita el diseño de la red de fibra óptica. Por lo que a continuación, para iniciar con la fase de diseño en donde se describe la arquitectura funcional de la red, en conjunto con el diagrama de bloques de este, posteriormente se da a conocer la elección de los componentes del hardware y software, el diseño de la red.

3.5.1. Arquitectura

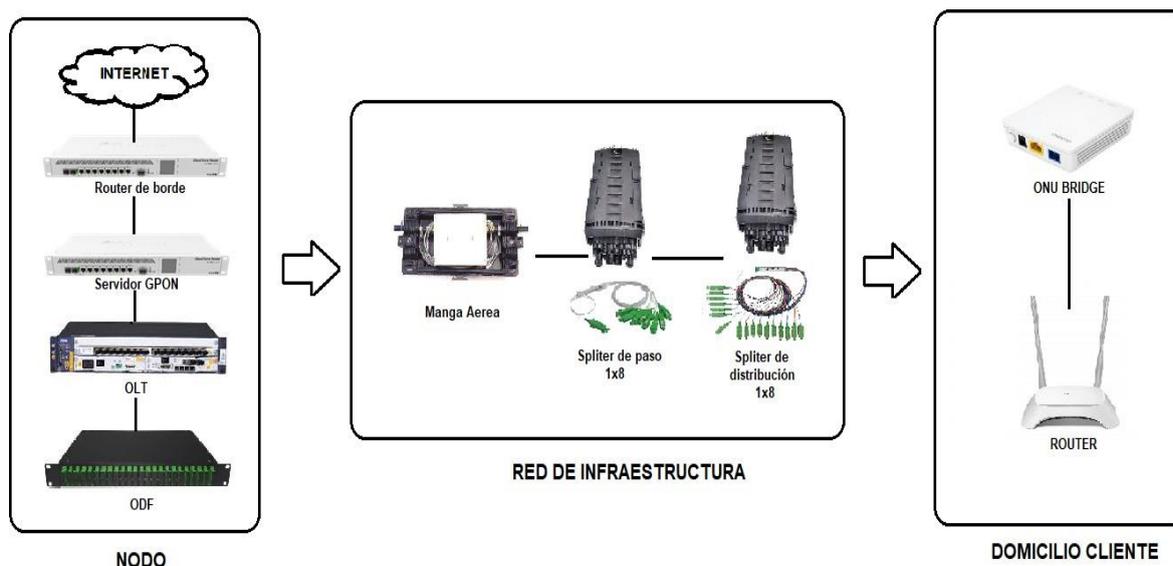
En la Figura 33 se visualiza la arquitectura del diseño de fibra óptica en la cual como primer bloque se tiene el nodo principal que es el centro de administración y gestión, aquí principalmente se va a ubicar, los equipos de borde, servidor de administración y gestión, y OLT.

En el segundo bloque tenemos en sí la red física, es decir todos los elementos que conforman la red pasiva de la red y la red de transporte en donde se incluye mangas, cajas de primer y según nivel.

Por último, el bloque en donde se ubica el domicilio del cliente, en este bloque básicamente es la estación final que para este caso se conforma de una ONU y un Router.

Figura 33

Arquitectura de la red FTTH.



Fuente: Autoría propia

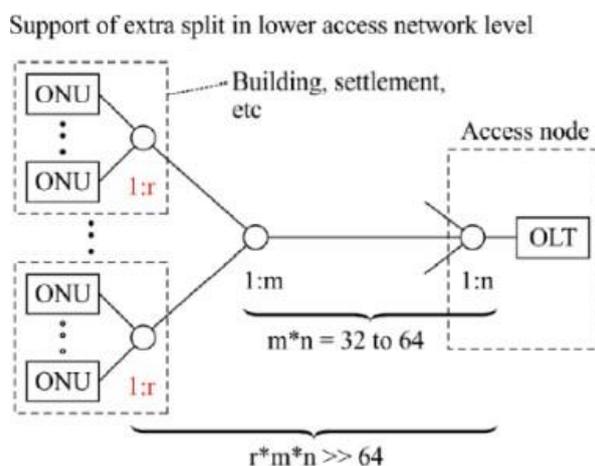
3.5.2. Topología de División Óptica a Usar

Para la elección de la topología se debe tener presente el criterio de splittero como primer punto, en donde se debe considerar el número de abonados que va a tener la red, gracias a la Unión Internacional de Telecomunicaciones en la Recomendación UIT-T G.987.1 (2020), indica que se debe tener seleccionado cuidadosamente el nivel de splittero o nivel de división óptica, para así la red tenga una rentabilidad y madurez en cada dispositivo de la red, en donde se debe tener en cuenta el máximo alcance que se va a tener y posiblemente debería aumentar el presupuesto óptico y como resultado una división superior con respecto a nivel de capa física. Para lo cual se va a hacer uso de la topología con un nivel 2 o también conocido como splitteo adicional en base al nivel para usuario final. Como se observa en la figura 34 se muestra la topología de

división óptica que se va a utilizar, en donde se define que el número total de abonados debe ser mayor a 64 en donde se tiene presente el número de hilos de fibra que se trabajaran en la OLT y que nivel de splitteo tendrá cada NAP.

Figura 34

División óptica adicional en el nivel de red de acceso inferior



Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T G.987.1, 2020)

En la recomendación UIT-T G.987.2 según lo indica la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2020), indica que al utilizar arquitecturas en estrella y por falta de niveles de división óptica provoca pérdidas de potencia menores a 5 dB, como resultado se deben colocar atenuadores tanto en las redes de distribución como en las de dispersión lo cual garantizaría una potencia mínima de canal con lo cual se evitara dañar los receptores ópticos por altas potencias.

Como se explicó anteriormente la topología va a tener 2 niveles de splitteo, en donde el primer nivel será de 1:4 y el segundo de 1:16, para lo cual cada hilo de fibra óptica que sale de la OLT abastecerá a 64 abonados que según la normativa UIT-T G.987.1 es la mínima cantidad de líneas ópticas que se pueden tener,

De este modo el primer criterio de diseño aborda los niveles de splitteo finales que se van a usar para el diseño de la red de fibra óptica, como bien indica la topología

se van a usar dos niveles de división óptica, el primer nivel con un splitteo de 1:4 y el segundo nivel con un splitteo de 1:16, es decir que por cada hilo de fibra óptica que sale de la OLT van a dar cobertura a 64 abonados que es la mínima cantidad de líneas ópticas que la normativa UIT-T G.987.1 indica. Para lo cual la ecuación [7] muestra como resultado el número total de hilos de fibra óptica que se van a utilizar en los puertos PON de la OLT. Con este análisis lo óptimo a utilizar son 4 hilos de fibra óptica en donde se considera la expansión futura de la red y una reserva de abonados, como se indica en la normativa UIT-T G.987.2. Con lo cual en la ecuación [8] se indica que se dispondrá de un total de 256 abonados.

$$\# \text{ Hilos de F. O.} = \frac{\# \text{ de abonados totales}}{\text{mínimo de líneas ópticas}} \quad \text{Ecuación [7]}$$

$$\# \text{ Hilos de F. O.} = \frac{108}{64}$$

$$\# \text{ Hilos de F. O.} = 1,68 \cong 2$$

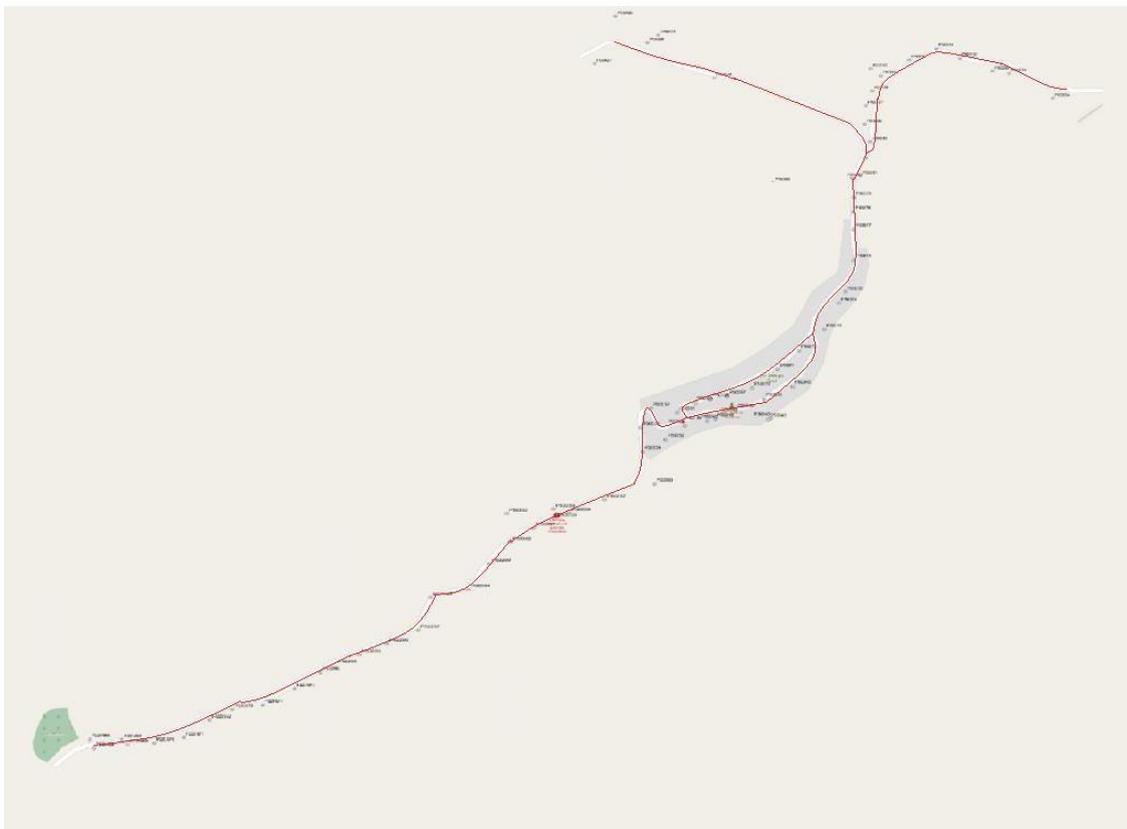
$$\# \text{ líneas ópticas} = n * m * r > 64$$

$$\# \text{ líneas ópticas} = 4 * 4 * 16$$

$$\# \text{ líneas ópticas} = 256 \quad \text{Ecuación [8]}$$

3.5.3. Criterio de ubicación de equipos de red pasivos y activos

La zona de estudio para la ubicación de todos los equipos que van a formar parte de la red de fibra óptica como anteriormente se indicó es en la parroquia Gracia Moreno por ello con ayuda del geoportal de Emelnorte se delimita de forma general el área de cobertura que se va a cubrir como se muestra en la figura 32.

Figura 35*Zona de estudio de la red.*

Fuente: (EMELNORTE, 2022)

3.5.3.1. Criterio de Selección de la Salida Internacional. Al hacer referencia al criterio de ubicación de los equipos de borde es importante analizar las posibles opciones existentes para proveer de la salida internacional al nodo principal de la parroquia de García Moreno, en la actualidad existe la posibilidad de alimentar de dos formas, la primera opción conlleva que la misma empresa cree una red de transporte interna para alimentar al nuevo nodo, por otro lado, la segunda opción es contratar una empresa externa que provea un punto de salida a internet.

En caso de que la propia empresa decida proveer la salida internacional como un nodo secundario interconectado a su propia red de transporte interna, es necesario analizar las posibles tecnologías a utilizar para su implementación. Lo adecuado para la red de transporte interna es implementar una red con fibra óptica pura, es decir un

enlace completo con fibra óptica, pero al ser un lugar rural existe lugares en donde no existe postería, y debido a esto implicaría que la inversión del proyecto sea demasiado costosa, por lo que no es viable realizar dicha red de transporte de esta forma. Por otra parte, existe la posibilidad de alimentar al nodo principal es a través de una red híbrida, para lo cual es necesario crear varios nodos inalámbricos que permitan transportar el ancho de banda necesario para el sector, para el caso del primer nodo inalámbrico su alimentación sería con fibra óptica, y para los siguientes sería inalámbricamente hasta llegar al nodo principal de la parroquia de García Moreno, al igual que la opción anteriormente expuesta esto conlleva a una inversión bastante considerable por lo que no es muy viable realizar una red interna.

No obstante, en el caso de la utilización de una empresa proveedora externa es necesario que los equipos de borde se ubiquen en una zona cercana a la red de transporte de la empresa proveedora, a fin de que sea posible instalar el punto de salida internacional externo, esta opción en la actualidad es la opción más viable debido a que los costos de instalación, operación y mantenimiento sería mínimos, lo que generaría a que el proyecto sea menos costoso y más viable.

Por lo anteriormente expuesto, para la alimentación de la salida internacional se utilizará la opción de contratar una empresa proveedora externa que provea de un punto, con esto se tiene una reducción considerable en los costos de inversión y operación del diseño que se propone para la parroquia García Moreno.

3.5.3.2. Criterio de Ubicación de la OLT. Para la ubicación de la OLT en la parroquia de García moreno se realiza tomando en consideración el punto medio de toda el área de cobertura, así como también un sitio adecuado para el montaje de una torre para recibir el enlace principal de la salida internacional, en la figura 36 se puede observar la ubicación que se ha decidido para la OLT.

Figura 36

Ubicación OLT.



Fuente: Autoría propia

3.5.3.3. Criterio de Ubicación de Armarios Ópticos de Primer Nivel. Como se establece un cable de 4 hilos que van a salir de la OLT, entonces existen 4 NAPs primarios que serán ubicados por toda la zona delimitada.

3.5.3.4. Criterio de Ubicación de Armarios Ópticos de Segundo Nivel. En base a los NAPs primarios se tiene que al ser un splitteo de 1:4 y al ser 4 hilos de fibra óptica que usa en el cable que conecta con la OLT se tiene un total de 16 NAPs secundarios que serán igualmente ubicados en toda la zona delimitada.

3.5.4. Cables de Fibra Óptica a Utilizar en el Diseño de la Red

Para la utilización de cables de fibra óptica en el diseño de la red, se debe tener presente las normativas de la UIT-T en donde especifica los cables que se deben utilizar en la arquitectura de red FTTH, en este caso se utilizan 3 diferentes tipos de cable de fibra óptica desde la OLT hasta la ONU, para lo cual se debe tener presente un buen criterio para el diseño y colocación de los cables de fibra óptica en sus diferentes niveles y con respecto a los equipos de red.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T G.987.2 (2020), informa la normativa UIT-T G.652 o similares posee los parámetros PMD de XG-PON, de la misma manera otra normativa que se adapta a las necesidades es la UIT-T G.657, las cuales son ideales para las redes FTTH.

3.5.4.1. Atributos de Fibra Óptica de UIT-T G.652D. Por lo general este tipo de cables son utilizados para en los rangos de longitud de onda que va de 1260 nm a 1625 nm, direccionados al uso en redes troncales mas no en la utilización de terminación de redes ópticas o de acometidas. En la tabla 17 se puede apreciar las diferentes especificaciones técnicas para los diferentes cables que se rigen según la normativa.

Tabla 17

Atributos de fibra óptica de UIT-T G.652.D

Atributos de la fibra				
Atributo	Detalle	Valor	Unidad	
Diámetro del campo modal	Longitud de onda Rango de valores nominales	1310 8,69,2	nm μ m	
	Tolerancia	- 0.4	μ m	
Diámetro del revestimiento	Nominal Tolerancia	125,0 - 0,7	μ m μ m	
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6	μ m	
No circularidad del revestimiento	Máximo	1.0	%	
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260	nm	
	Radio Número de vueltas	30 100	mm	
Pérdida por macroflexión	Máximo a 1625 nm	0,1	dB	
	Tensión de prueba	Mínimo	0,69	GPa
Parámetro de dispersión cromática	λ_{0min}	1300	nm nm	
	λ_{0max} S0min	1324	ps / (nm ² × km) ps	
Ajuste Sellmeier de 3 períodos (1260 nm a 1460 nm)	S0max	0.073	/ (nm ² × km)	
		0.092		
Ajuste lineal (De 1460 a 1625 nm)	Mínimo a 1550 nm	13,3	ps / (nm × km)	
	Máximo a 1550 nm	18,6	ps / (nm × km)	
	Mínimo a 1625 nm	17.2	ps / (nm × km)	
	Máximo a 1625 nm	23,7	ps / (nm × km)	
Atributos del cable				
Atributo	Detalle	Valor	Unidad	
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm	0,40	dB / km	
	Máximo a 1383 nm -3 nm después del envejecimiento con hidrógeno	0,40	dB / km	
	Máximo a 1530-1565 nm	0,30	dB / km	
Coeficiente de PMD	METRO	20	cables	
	Q	0,01	%	

PMD máximo Q 0,20 ps / km

Fuente: (Bolaños, 2022)

3.5.4.2. Atributos de Fibra Óptica de UIT-T G.657.A. Tiene los valores y atributos destinados para redes de transporte e instalaciones de redes de acceso admitiendo pérdidas por macro flexión, mientras que para otros atributos aún se los tiene en el rango de los atributos UIT-T G.652.D. En la tabla 18 se aprecian los diferentes atributos de fibra óptica de esta categoría y normativa.

Tabla 18*Atributos de fibra óptica de UIT-T G.657.A*

Atributos de fibra óptica					
Atributo	Detalle	Valor		Unidad	
Diámetro del campo nodal	Longitud de onda	1310 8.6		nm	
	Rango de valores nominales	- 9.2		µm	
Diámetro del revestimiento	Tolerancia	±0.4		µm	
	Nominal Tolerancia	125.0 ±0.7		µm	
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0.5		µm	
No circularidad del revestimiento	Máximo	1.0		%	
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260		nm	
		ITU-T			
		ITU-T			
		<u>G.657.A1</u>			
		<u>G.657.A2</u>			
Pérdida por macro flexión de fibra sin tapar	Radio Número de vueltas	15	10 15 1 10	10 1 7.5	nm
	Max a 1550 nm	10	0.25	0.75 0.03 0.1 0.5	1
	Max a 1625 nm	0.25	0.75	0.03 0.1 0.5	1
Tensión de prueba	Mínimo	1.0	1.5 0.1 0.2 1.0	0.69	GPa

Parámetro de dispersión cromática Ajuste Sellmeier de 3 términos (1260 nm a 1460 nm)	λ_{0min}	1300	nm nm
	λ_{0max} S_{0min}	1324	ps/(nm ² *km)
	S_{0max}	0.073	98 ps/(nm ² *km)
		0.092	
Ajuste lineal (1460 nm a 1625 nm)	Min a 1550 nm	13.3	ps/(nm ² *km)
	Max a 1550 nm	18.6	ps/(nm ² *km)
	Min a 1625 nm	17.2	ps/(nm ² *km)
	Max a 1625 nm	23.7	ps/(nm ² *km)
Coeficiente de atenuación	Atributos de cable		
	Máximo de 1310 nm a 1625 nm	0.40	dB/km
Coeficiente PMD	Máximo a 1383 nm \square 3 nm después del envejecimiento con hidrógeno	0.40	dB/km
	Máximo a 1530 nm a 1565 nm	0.30	dB/km
	M Q	20	Cables
	Máximo PDM _Q	0.01	%
		0.20	ps/km ^{1/2}

Fuente: (Bolaños, 2022)

Para este diseño de fibra óptica se va a utilizar las recomendaciones UIT-T G.652 y UIT-T G.657, destacando las subcategorías UIT-T G.652.D y UIT-T G.657.A2 los cuales son adecuados para los 3 diferentes tipos de tendido de fibra óptica requeridos en la arquitectura FTTH, en donde en la red Feeder se utilizará la subcategoría UIT-T G.652D y para la red de dispersión y de distribución se va a utilizarlos cables de fibra óptica con la recomendación de la subcategoría UIT-T G.657.A2.

3.5.5. Presupuesto de Potencia y Presupuesto de Pérdida Óptica

El presupuesto de potencia y la pérdida óptica son muy importantes a la hora de diseñar redes de fibra óptica, cabe destacar que son dos conceptos distintos, pero llevan una relación conceptual y matemática. En donde se debe tener presente los cálculos matemáticos y el análisis de potencias que se emiten desde la OLT hasta la ONU con el

propósito de garantizar un adecuado funcionamiento. Como primer punto se va a definir el presupuesto de potencia óptico, posteriormente se definirá la pérdida de potencia óptica y por último se realizará con el cálculo y análisis matemático.

3.5.5.1. Conceptualización del Presupuesto de Potencia Óptico. Es la diferencia entre la potencia lumínica emitida por el emisor y la potencia lumínica que puede percibir el receptor, en otras palabras, la diferencia lumínica que parte desde la OLT y la potencia lumínica percibida por la ONU. Dicha diferencia de potencia lumínica representa la máxima pérdida que puede existir.

3.5.5.2. Conceptualización de la Pérdida de Potencia Óptica. Representa la cantidad de potencia lumínica que se va perdiendo a través de toda la red óptica, partiendo desde la OLT y atravesando los diferentes equipos pasivos de la red, atenuadores, empalmes, cable de fibra óptica, entre otros, hasta llegar a la ONU, en resumen, se basa en la sumatoria de todas las atenuaciones que debe atravesar el haz lumínico hasta llegar al cliente final.

Una vez que entendidos los conceptos de presupuesto y pérdida de potencia, se procede a calcular el presupuesto de potencia óptico que va a tolerar la red a diseñar, este análisis es basado en la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T G.987.2 (2020), en donde se detalla todas las especificaciones técnicas de los equipos de OLT y ONU para un óptimo funcionamiento de toda la red óptica de fibra óptica.

3.5.6. Especificaciones de Capa Dependiente de los Medios Físicos (PMD)

En el apartado 9.2 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T G.987.2 (2020), se explica cuáles son los requisitos de la capa dependiente del medio físico que se emplean en la tecnología XG-PON, de la misma manera en el apartado 9.2.6 se indica los diferentes parámetros PMD de esta tecnología,

lo que facilita el cálculo del presupuesto de potencia óptica y las pérdidas de potencia. En este apartado se detallan dos puntos fundamentales que son: los parámetros físicos de una simple ODN y los parámetros de las interfaces ópticas de transmisor OLT y receptor ONU.

3.5.6.1. Parámetros Físicos de una ODN Simple. Se especifica los rangos de atenuación que se tienen para la pérdida de potencia normalizada, en donde se debe tener en cuenta la tecnología con la que se va a trabajar en este caso XG-PON para el diseño propuesto y los rangos de atenuación, se tiene 5 diferentes clases de pérdida de potencia óptica como se puede observar en la tabla 19, y para mejor comprensión se puede tomar el ejemplo de G-PON, en donde la clase que se utiliza es B+ con una pérdida de potencia máxima de 28 dB y una mínima de 13 dB.

Tabla 19

Rangos de atenuación por clase para G-PON

Rangos de atenuación para G-PON		
Clases	Pérdida de potencia óptica	Unidad
Clase A	5-20	dB
Clase B	10-25	dB
Clase B+	13-28	dB
Clase C	15-30	dB
Clase C+	17-32	dB

Fuente: (Huawei Technologies Co., Ltd. , 2021)

De la misma manera para la tecnología XG-PON existen 4 clases que indican los diferentes rangos de atenuación para la pérdida de potencia normalizada que son nominal1, nominal2, extendida1, extendida2, que se pueden observar en la tabla 20, los cuales se los puede encontrar detallados en la recomendación UIT-T G.987.2, en donde se explicada que cada clase hace referencia al ancho de banda que posee XG-PON, que a su vez se divide en dos: XG-PON1 la cual posee velocidades de upstream y downstream

asimétricas (nominal 1), XG-PON2 la cual posee velocidades de upstream y downstream simétricas (nominal 2), y las clases extendidas hacen hincapié a subcategorías de XG-PON, en donde se diferencian por el margen de atenuación para el diseño de redes más extensas.

Tabla 20

Rangos de atenuación para la tecnología XG-PON

Rangos de atenuación para XG-PON		
Clases	Pérdida de potencia óptica	Unidad
Clase N1	14-29	dB
Clase N2	16-31	dB
Clase E1	18-33	dB
Clase E2	20-35	dB

Fuente: (Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T G.987.2, 2020)

3.5.6.2. Parámetros de Interfaces Ópticas de OLT y ONU. Las interfaces ópticas tanto de la OLT y ONU poseen rangos de atenuación dependiendo de la clase en la que se encuentren para la tecnología XG-PON, así se puede conocer las potencias mínimas y máximas por cada equipo. Se puede observar en la tabla 21 las potencia máximas y mínimas para cada clase.

Tabla 21

Parámetros de potencias transmitidas de OLT y recibidas de ONU

Potencias transmitidas de OLT y recibidas de ONU								
Clases		N1	N2		E1	E2		Unidad
Subclases		-	N2a	N2b	-	E2a	E2b	
Transmisor OLT	Potencia mínima	+2.0	+4.0	+10.5	+6	+8	+14.5	dBm
	Potencia máxima	+6.0	+8.0	+12.5	+10	+12	+16.5	dBm
Receptor ONU	Sensibilidad mínima	-28.0	-28.0	-21.5	-28.0	-28.0	-21.5	dBm
	Sobrecarga mínima	-8.0	-8.0	-3.5	-8.0	-8.0	-3.5	dBm

Fuente: (Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T G.987.2, 2020)

Conociendo cuales son los rangos de atenuación de las diferentes clases y también los picos mínimos y máximos de OLT y ONU según la recomendación UIT-T G.987.2, se procede a realizar un análisis matemático tanto de la pérdida óptica como del presupuesto de potencia de la red.

Al momento de utilizar la subcategoría XG-PON 1 según la recomendación UIT-T G.987.2 indica que va conforme a la clase N1 de los rangos de atenuación expuestos anteriormente, en donde los umbrales máximos y mínimos de pérdida de potencia óptica van desde los 14dBm hasta los 29 dBm, y para los valores de transmisión se tiene que el emisor tendría una potencia máxima de +6 dBm y por otro lado el receptor una sensibilidad máxima de -28 dBm.

Una vez que se conocen los valores máximos y mínimos, se posee una idea clara de cuál es el presupuesto de potencia y pérdida óptica que se va a tener dentro del diseño de la red, la normativa explica que dichos rangos son los máximos de pérdidas que se puede tener y se va a tolerar dentro de la red, para lo cual se debe tener en cuenta por donde va a pasar el haz lumínico y las atenuaciones que sufre que pueden ser: conectores, empalmes, atenuadores ópticos, y otros equipos pasivos, con los cuales no se debe superar el presupuesto que se tiene de potencia óptica.

3.5.7. Cálculo del Presupuesto de Potencia Óptico

Como se ha indicado anteriormente el cálculo matemático del presupuesto de potencia se lo obtiene mediante la diferencia de potencia máxima por parte del transmisor, en este caso la OLT, y el mínimo nivel de sensibilidad por parte del receptor que es la ONU. Como se puede observar en la Ecuación [9], se encuentra el cálculo del presupuesto óptico que se comprende de la suma de la potencia máxima del transmisor y la sensibilidad del receptor, en donde nos da un valor de 34 dB.

$$PP = P_{maxTX} - S_{rx}$$

$$PP = 6 \text{ dBm} - (-28 \text{ dBm})$$

$$PP = 34 \text{ dB} \quad \text{Ecuación [9]}$$

Donde:

- PP = Presupuesto de potencia óptico
- P_{maxTX} = Potencia máxima de transmisión en el transmisor
- S_{rx} = Potencia mínima o sensibilidad del receptor

3.5.7.1. Cálculo de la Pérdida de Potencia Óptica. Para el cálculo matemático de la atenuación total de una red óptica según la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T G.652 (2016), se lo puede obtener gracias a la Ecuación [10].

$$A = a * L + a_s * x + a_c * y + a_n * z \quad \text{Ecuación [10]}$$

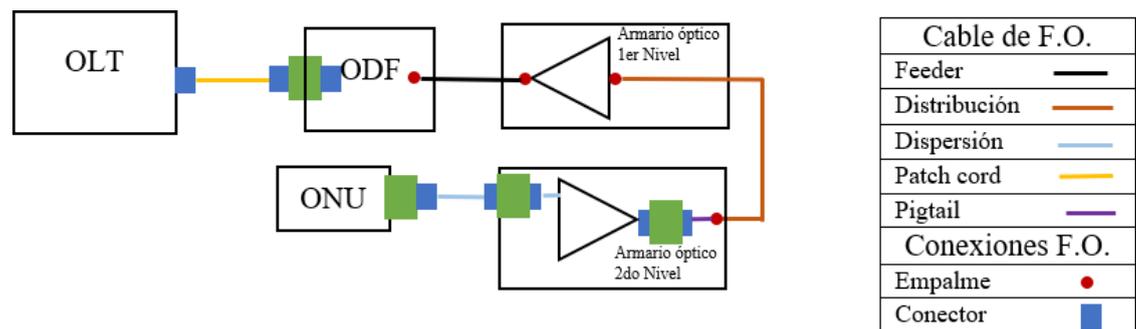
Donde:

- A = Atenuación total
- a = Coeficiente de atenuación de la fibra óptica
- L = Longitud de fibra óptica
- a_s = Pérdida por empalme
- x = Número de empalmes
- a_c = Pérdida por conector
- y = Número de conectores
- a_n = Pérdida por splitters según el nivel de división
- z = Número de splitters según el nivel de división

En concordancia al análisis matemático como consiguiente se tiene el cálculo de las atenuaciones o pérdidas de potencia que se tienen en la trayectoria del haz de luz, que va desde la OLT hasta la ONU, teniendo como referencia la figura 37, en donde se tiene la arquitectura de la red de fibra óptica.

Figura 37

Arquitectura red fibra óptica



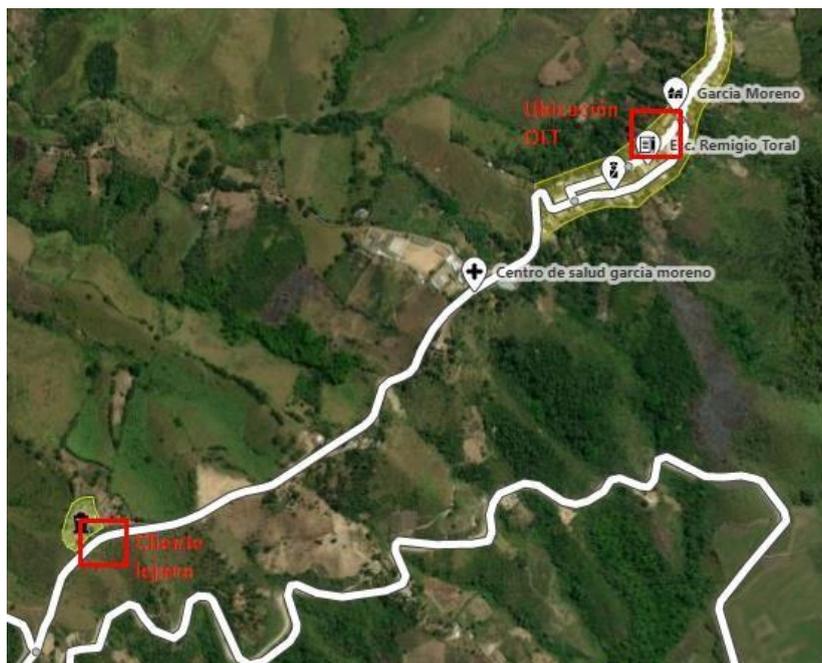
Fuente: Autoría propia

3.5.7.2. Atenuación por Longitud de la Fibra Óptica. Esta pérdida se presenta por lo general por la longitud de onda que trabaja el cable de fibra óptica, en donde se debe realizar un análisis respectivo de esta atenuación, para lo cual se debe tomar en cuenta las distancias más lejanas desde la OLT hasta la ONU.

En el apartado 3.4.3.2. se indicó la ubicación de la OLT específicamente en la figura 33. En la figura 38 se indica la distancia máxima hacia el sur de la parroquia, mientras en la figura 39 se muestra la distancia máxima hacia el norte de la parroquia con respecto a la OLT.

Figura 38

Distancia máxima hacia el sur de la parroquia García Moreno



Fuente: Autoría propia

Figura 39

Distancia máxima hacia el norte de la parroquia García Moreno



Fuente: Autoría propia

De esta manera se conoce la distancia más lejana de los abonados de la parroquia tanto al norte como al sur de esta con respecto a la ubicación de la OLT.

Concluido este proceso se tiene como distancia de 0.04 km con respecto al abonado más cercano y como distancia más lejana de 1,2 km, con dichos valores se procede a calcular la atenuación por distancia que se produce en la fibra óptica. Como se mostró anteriormente en la ecuación [10], para calcular esta atenuación resulta del producto del coeficiente de atenuación y la distancia de la fibra óptica, para el cable que se va a utilizar es el de la subcategoría G.652.D se tiene un valor de 0.47 dB/km. En la ecuación [11] se muestra la atenuación para el abonado más lejano, mientras que en la ecuación [12] se muestra la atenuación hacia el cliente más cercano.

$$Ad = a * L_{cliente\ lejano} \quad \text{Ecuación [11]}$$

$$Ad = 0.47 \frac{dB}{Km} * 1.2 Km$$

$$Ad = 0.564 dB$$

$$Ad = a * L_{cliente\ cercano} \quad \text{Ecuación [12]}$$

$$Ad = 0.47 \frac{dB}{Km} * 0.04 Km$$

$$Ad = 0.019 dB$$

3.5.7.3. Atenuación de Conexión por Empalmes. Las diferentes fusiones de los cables de fibra óptica en la red causan atenuación, indiferentemente de donde se lo realice, ya sea en patch cords, pigtailes, entre otros. Estos valores de atenuación tienen rangos medios y máximos en longitudes de onda que van desde los 1260 nm hasta los 1625 nm según la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T L.12 (2008), en la tabla 22 se puede apreciar dichos valores de atenuación, en conclusión, para tener un cálculo matemático más holgado se utiliza la atenuación máxima que nos da la recomendación que es de 0,2 dB por empalme.

Tabla 22

Rangos de atenuación de empalmes de fibra óptica

Rangos de atenuación de empalmes de fibra óptica			
Tipo de pérdida	Longitud de onda	Atenuación	Unidad
Inerción	1260 nm – 1624 nm	≤ 0.1 media ≤ 0.2 máxima	dB dB

Fuente: (Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T L.12, 2008)

En concordancia a la figura 34, se tiene un total de 4 empalmes por las fusiones realizadas en el trayecto de la red, y de la misma manera gracias a la ecuación [10] en donde se indica el cálculo de esta atenuación, que se basa en el producto de la cantidad de empalmes ópticos y la atenuación del empalme, y se obtiene el siguiente proceso de resolución, dando la atenuación de los empalmes representado por el símbolo A_e , en la ecuación [13] se tiene la atenuación total.

$$A_e = a_s * x$$

$$A_e = 0.2 \text{ dB} * 4$$

$$A_e = 0.8 \text{ dB} \qquad \textbf{Ecuación [13]}$$

3.5.7.4. Atenuación de Conexión por Conectores. Se identifica como pérdidas de inserción de elemento pasivo, según la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T L.36 (2015), a este tipo de atenuación por conectores, estas pérdidas se clasifican por grados partiendo de rangos de atenuación mínimos a máximos, considerando el grado A ideal, hasta el grado D como el peor, para el diseño se utilizara el grado C que nos indica una atenuación máxima de 0.5 dB, en la tabla 23 podemos observar los diferentes grados de atenuación por conectores.

Tabla 23

Grados de atenuación y sus rangos medios y máximos de pérdida de potencia

Grados de atenuación de conectores de fibra óptica		
Grados de atenuación	Atenuación	Unidad
Grado A	Aún no definido	dB
	≤ 0.12 media	dB
Grado B	≤ 0.25 máxima	dB
	≤ 0.25 media	dB
Grado C	≤ 0.5 máxima	dB
	≤ 0.5 media	dB
Grado D	≤ 1 máxima	dB

Fuente: (Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T L.36, 2015)

En la figura 37 se puede apreciar la utilización de 8 conexiones por conectores dentro de la red, y para el cálculo de esta atenuación se puede expresar gracias a la Ecuación [10], realizando el producto de la cantidad de conectores y del conector óptico que se tiene, en donde la Ecuación [14] nos da la atenuación total producida por los conectores.

$$A_c = a_s * x$$

$$A_c = 0.5 \text{ dB} * 8$$

$$A_c = 4 \text{ dB} \quad \text{Ecuación [14]}$$

3.5.7.5. Atenuación por Splitters. Como último se tiene la atenuación por las divisiones o ramificaciones de las líneas de fibra óptica, en donde se considera la

atenuación que posee cada hilo de fibra óptica por sus diferentes divisiones de líneas ópticas. Para lo cual cada salida debe cumplir con la condición de $X=2n$ según la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T G.671 (2019), para lo cual n es igual a un número que va desde 1 hasta 6 y la X nos indica el número de puertos de entrada, en donde n puede ser 1 o 2 y se tendría un total de puertos de salida $X = 2, 4, 8, 16, 32$ o 64 .

En la figura 31 se indicó la división óptica que va a tener la red, donde se posee dos niveles de splitteo, el primero consta de 4 splitters con una división de 1:4 y el segundo nivel consta de 16 splitters con división óptica de 16, en la tabla 24 se explica las atenuaciones que se tiene para cada ramificación óptica, y se va a trabajar con una atenuación de 7.4 dB y 14.1 dB respectivamente para cada nivel.

Tabla 24

Atenuaciones para cada nivel de división óptica

Pérdidas por inserción en divisores ópticos				
N	X	Min IL	Max IL	Unidad
1	2	2.8	3.9	dB
	4	5.4	7.4	dB
	8	8.2	10.6	dB
	16	10.8	14.1	dB
	32	13.3	17.5	dB
	64	16.1	20.9	dB
2	2	2.6	4.2	dB
	4	5.1	7.7	dB
	8	7.6	11.2	dB
	16	10.1	14.7	dB
	32	12.7	18.2	dB
	64	15.2	21.7	dB

Fuente:(Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T G.671, 2019)

Cuando ya se conoce la atenuación con la que se va a trabajar para cada nivel de splitteo, se continua a realizar el cálculo matemático para conocer el total de atenuación que se va a tener con relación a la utilización de los elementos pasivos, la Ecuación [10] nos informa que la atenuación total por splitters es el producto de la

cantidad de splitters y el nivel del divisor óptico que parte desde la OLT hacia la ONU. En la Ecuación [15] que nos indica el total de atenuación por el splitteo realizado.

$$A_S = a_n * z$$

$$A_S = a_{1:4} * 1 + a_{1:16} * 1$$

$$A_S = 7.4 \text{ dB} + 14.1 \text{ dB}$$

$$A_S = 21.5 \text{ dB} \quad \text{Ecuación [15]}$$

3.5.7.6. El Margen de Atenuación o Margen de Guarda. Se debe tener un margen de guarda que proteja el deterioro o malgaste de la red óptica por el paso de tiempo o a su vez por las condiciones ambientales, este valor es de 3 dB que se lo resta y con ello se obtendrá el presupuesto total de pérdida óptica para el enlace de fibra óptica, el cual debería ser capaz para tener un presupuesto de potencia óptica.

3.5.7.7. Relación y Cálculo del Presupuesto de Pérdida Óptica + Margen de Atenuación. Como lo ha explicado la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T G.652 (2016), para la obtención de el margen de atenuación se utiliza la Ecuación [10], en donde se debe tener presente todas las pérdidas de potencia óptica que se ha tenido en el trascurso de la red, las cuales son: atenuaciones por empalmes, atenuaciones de la fibra óptica, atenuaciones de splitters y atenuaciones por conectores ópticos.

Por lo tanto, se puede calcular la atenuación total que se va a tener en la red, tanto para el abonado más cercano como el abonado más lejano. En donde se lo va a calcular gracias a la sumatoria de todas las atenuaciones que se han calculado anteriormente y la misma debe ser menor a 29 dB, ya que es la atenuación máxima permitida en una red con tecnología XG-PON1.

$$At = Ad + Ae + Ac + As \leq 29 \text{ dB}$$

- At = Atenuación total
- Ad = Atenuación de fibra óptica
- Ae = Atenuación de empalme
- Ac = Atenuación de conectores
- As = Atenuación de splitters

En la Ecuación [11] se indica la atenuación total calculada para el cliente más lejano

$$At_{cli \text{ lejano}} = Ad + Ae + Ac + As \leq 29 \text{ dB}$$

$$At_{cli \text{ lejano}} = 0.56 \text{ dB} + 0.8 \text{ dB} + 4 \text{ dB} + 21.5 \text{ dB} \leq 29 \text{ dB}$$

$$At_{cli \text{ lejano}} = 26.86 \text{ dB} \leq 29 \text{ dB} \quad \textbf{Ecuación [16]}$$

En la Ecuación [12] se indica la atenuación total calculada para el cliente más cercano

$$At_{cli \text{ cercano}} = Ad + Ae + Ac + As \leq 29 \text{ dB}$$

$$At_{cli \text{ lejano}} = 0.02 \text{ dB} + 0.8 \text{ dB} + 4 \text{ dB} + 21.5 \text{ dB} \leq 29 \text{ dB}$$

$$At_{cli \text{ lejano}} = 26.32 \text{ dB} \leq 29 \text{ dB} \quad \textbf{Ecuación [17]}$$

Una vez ya se ha calculado los valores de atenuación tanto para el cliente más lejano como más cercano sumando todos los componentes de la red óptica y dichos valores sean menores a ≤ 29 dB que es el valor máximo permitido para dicha tecnología (XG-PON1), se procede a sumar el margen de pérdida o también conocido como atenuación de guarda.

En la Ecuación [18] se posee la atenuación total que se ha calculado para el cliente más lejano la cual debe ser inferior al presupuesto óptico que se lo ha calculado en el apartado 3.4.8 que es de máximo 34 dB.

$$At_{cli\ lejano+margen} = 26.86\ dB + 3\ dB \leq 34$$

$$At_{cli\ lejano+margen} = 29.86\ dB \leq 34 \quad \text{Ecuación [18]}$$

De la misma manera en la Ecuación [19] se posee la atenuación total que se ha calculado para el cliente más cercano y similar al cliente lejano este debe ser inferior al presupuesto óptico que se lo ha calculado en el apartado 3.4.8 que es de máximo 34 dB.

$$At_{cli\ lejano+margen} = 26.32\ dB + 3\ dB \leq 34$$

$$At_{cli\ lejano+margen} = 29.32\ dB \leq 34 \quad \text{Ecuación [19]}$$

3.5.7.8. Potencia Recibida en el Receptor Óptico. La ONU debe trabajar con una potencia aceptable para su correcto funcionamiento, para lo cual se debe analizar y calcular la potencia que llega a la misma desde la OLT, esto se lo debe realizar para el cliente más lejano como para el cliente más cercano, en donde la normativa UIT-T G.987.2 nos dice que se debe tomar en cuenta que el presupuesto de potencia óptica es igual a la diferencia de potencia máxima emitida en la OLT y la potencia mínima recibida en la ONU.

Así en la Ecuación [20] se aprecia la potencia más lejana de recepción de la ONU, realizando una igualdad con la Ecuación [18].

$$\text{Cálculo cliente má lejano} \rightarrow 29.86\ dB = 34\ dB$$

$$29.86 \text{ dB} = PP$$

$$29.86 \text{ dB} = P_{maxTX} - S_{RX}$$

$$S_{RX} = P_{maxTX} - 29.86 \text{ dB}$$

$$S_{RX} = 6 \text{ dBm} - 29.86 \text{ dB}$$

$$S_{RX} = -23.86 \text{ dBm} \quad \textbf{Ecuación [20]}$$

De la misma manera para el cliente más cercano se toma la Ecuación [21] se aprecia la potencia más cercana de recepción de la ONU, realizando una igualdad con la Ecuación [19].

$$\text{Cálculo cliente má cercano} \rightarrow 29.32 \text{ dB} = 34 \text{ dB}$$

$$29.32 \text{ dB} = PP$$

$$29.32 \text{ dB} = P_{maxTX} - S_{RX}$$

$$S_{RX} = P_{maxTX} - 29.32 \text{ dB}$$

$$S_{RX} = 6 \text{ dBm} - 29.32 \text{ dB}$$

$$S_{RX} = -23.32 \text{ dBm} \quad \textbf{Ecuación [21]}$$

De esta manera se concluye que tanto la Ecuación [20] y la Ecuación [21], la potencia que percibe el receptor está en el rango aceptable para que exista una comunicación entre la OLT y la ONU, ya que el rango se encuentra en los umbrales desde -8 dBm hasta -28 dBm.

3.5.8. Redes de Acceso de Fibra Óptica para Arquitectura FTTH

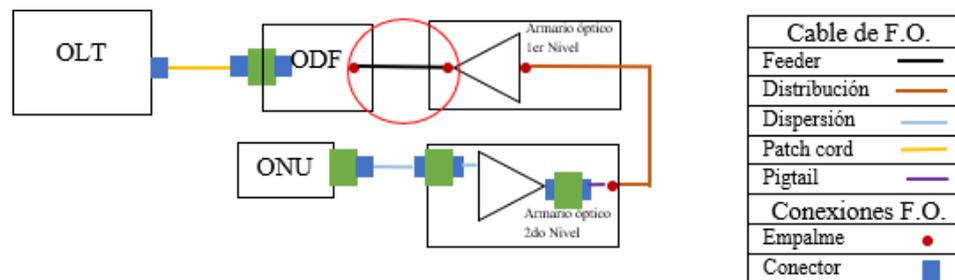
Dentro del diseño de la red de fibra óptica se lo ha dividido en 3 partes (red troncal, red de distribución y red de dispersión) como se lo indica en la figura 37, en

donde se indica la arquitectura de la red, donde se puede apreciar que existen 2 niveles de división óptica.

3.5.8.1. Red Feeder o Troncal. Es la red más importante del diseño ya que conecta los hilos de fibra óptica desde la OLT hacia los armarios de primer nivel, con lo cual se logrará dividir las diferentes líneas de fibra óptica con los NAPs de segundo nivel. En la figura 40 se observa el camino recorrido por la red Feeder que se tiene para la arquitectura FTTH.

Figura 40

Camino recorrido por la red Troncal

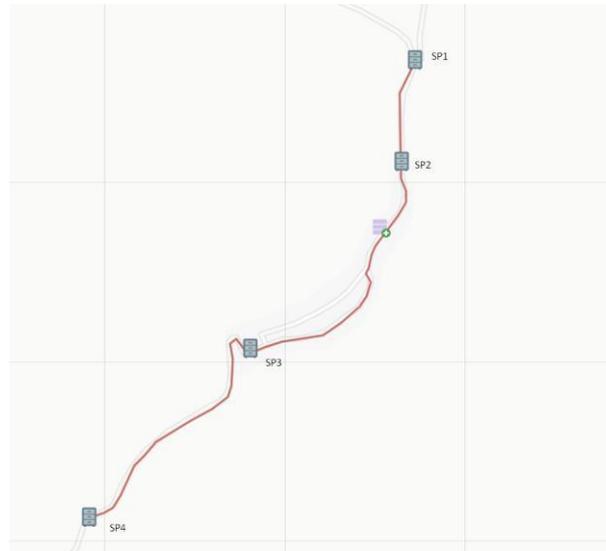


Fuente: Autoría propia

Una vez definido el recorrido de la red troncal se procede a calcular cual es la distancia máxima que se va a utilizar el cable de fibra óptica, que parte desde la OLT hacia el ultimo splitter de primer nivel. Para el cálculo de la distancia máxima se va a utilizar el software RedFTTH, el cual nos ayudara a definir el total de reserva que se va a tener para esta red, en donde se utilizara la normativa de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones - CNT (2012), en donde se explica que se debe tomar como porcentaje el 15% del total de la red troncal. Como se aprecia en la figura 41, visualizamos el total de la distancia de la red troncal.

Figura 41

Camino recorrido por la red Troncal



Fuente: Autoria propia

Con la ayuda de la Ecuación 22, procedemos a tener el total del cable de fibra óptica que se va a utilizar, incluyendo la reserva que es del 15% adicional de cable, con esto se tiene que, se debe tener un total de 30 metros adicional de fibra óptica, el cual se lo va a dividir en 2, 15 metros de reserva antes del splitter de primer nivel y 15 metros de reserva después del splitter de primer nivel.

$$dF = dm + 15\%dm$$

dF: distancia de la red Feeder

dm: es la distancia medida

$$dF = 1.123 \text{ km} + 0.168 \text{ km}$$

$$dF = 1.291 \text{ km}$$

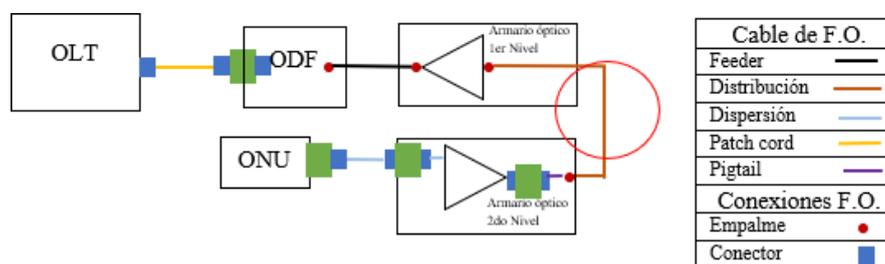
Ecuación [22]

Por lo general, se debe adquirir una longitud mayor al cable de fibra óptica calculado, por cualquier percance que se pueda tener, o también por fallos que se pueden presentar debido a la simulación en el software, en donde se va a adquirir una bobina de 4 km de cable de fibra óptica para la red troncal.

3.5.8.2. Red Distribución. Esta red es la encargada de distribuir la potencia óptica desde los splitters de primer nivel hacia los armarios de segundo nivel, con lo cual los splitters de segundo nivel se colocaron de manera estratégica para cubrir toda la zona de la parroquia de García Moreno, en la figura 42 se puede apreciar cómo se encuentra la red de distribución y las conexiones que se tienen realizadas.

Figura 42

Camino recorrido por la red de distribución

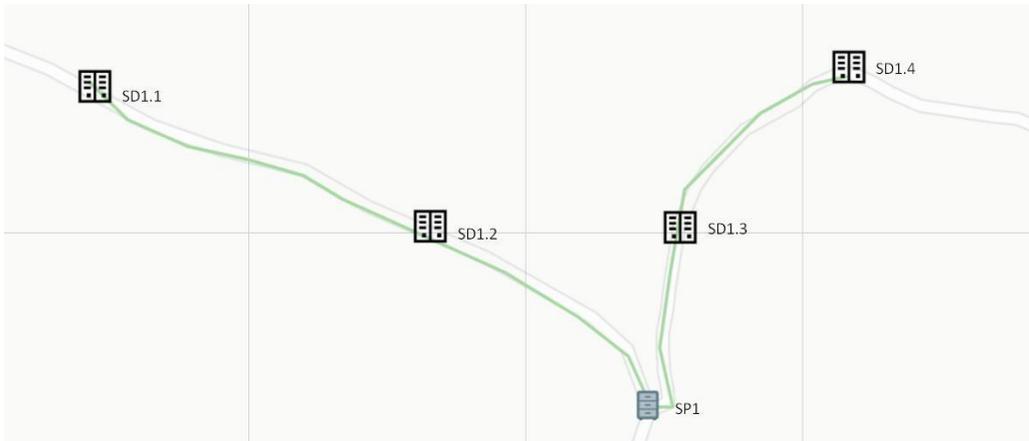


Fuente: Autoría propia

Similar a la red troncal se procede a calcular la distancia, pero ahora se calculará la distancia desde los splitters de primer nivel a los diferentes splitters de segundo nivel, de la misma manera de que se realizó en la red troncal se debe tener una reserva de fibra óptica para cada splitter de segundo nivel, en donde se toma en cuenta a la recomendación de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones - CNT (2012), la cual nos dice que se debe dejar un 5% de reserva de fibra óptica de la distancia total de la red de distribución y la misma se aplica a cada splitter de segundo nivel y no para el total de la red como se hizo anteriormente. En la figura 43 se indica el trayecto máximo recorrido para la red de distribución SP1, en la figura 44 se muestra el trayecto de SP2, de la misma manera en la figura 45 se muestra el recorrido de SP3 y finalmente la figura 46 muestra el trayecto recorrido por SP4.

Figura 43

Camino recorrido por la red de distribución SP1 0.616Km



Fuente: Autoria propia

Figura 44

Camino recorrido por la red de distribución SP2 0.380Km



Fuente: Autoria propia

Figura 45

Camino recorrido por la red de distribución SP3 0.447Km



Fuente: Autoria propia

Figura 46

Camino recorrido por la red de distribución SP4 0.638Km



Fuente: Autoria propia

Como siguiente, se procede a calcular la distancia de cable de fibra óptica que se va a utilizar en cada red de distribución que son SP1, SP2, SP3 y SP4, la ecuación 23 va a ayudar a realizar dicho calculo.

$$dD = dm + 5\%dm * 4 \quad \text{Ecuación [23]}$$

dD = distancia total incluida reserva de armario de primer nivel

dm = distancia total

En la ecuación 24 se muestra la distancia máxima calculada gracias al software RedFTTH para la red de distribución SP1.

$$dD_{SP1} = dm + 5\%dm * 4 \quad \text{Ecuación [24]}$$

$$dD_{SP1} = 0.616 \text{ km} + 0.132$$

$$dD_{SP1} = 0.2552 \text{ km}$$

En la ecuación 25 se muestra la distancia máxima calculada gracias al software RedFTTH para la red de distribución SP2.

$$dD_{SP2} = dm + 5\%dm * 4 \quad \text{Ecuación [25]}$$

$$dD_{SP2} = 0.380 \text{ km} + 0.076 \text{ km}$$

$$dD_{SP2} = 0.456 \text{ km}$$

En la ecuación 26 se muestra la distancia máxima calculada gracias al software RedFTTH para la red de distribución SP3.

$$dD_{SP3} = dm + 5\%dm * 4 \quad \text{Ecuación [26]}$$

$$dD_{SP3} = 0.447 \text{ km} + 0.0894 \text{ km}$$

$$dD_{SP3} = 0.5334$$

En la ecuación 27 se muestra la distancia máxima calculada gracias al software RedFTTH para la red de distribución SP4.

$$dD_{SP4} = dm + 5\%dm * 4 \quad \text{Ecuación [27]}$$

$$dD_{SP4} = 0.638 \text{ km} + 0.1276$$

$$dD_{SP4} = 0.7656 \text{ km}$$

Una vez calcula la distancia total en los 4 diferentes trayectos de las redes de distribución se proceden a realizar la sumatoria total de las 4 distancias, con el fin de conocer cuánto cable de fibra óptica se va a adquirir para esta red. En la ecuación 28 se puede observar la distancia requerida de cable de fibra óptica que es de 2.0102 Km.

$$dD = dD_{SP1} + dD_{SP2} + dD_{SP3} + dD_{SP4} \quad \text{Ecuación [28]}$$

$$dD = 0.2552 \text{ km} + 0.456 \text{ km} + 0.5334 \text{ km} + 0.7656 \text{ km}$$

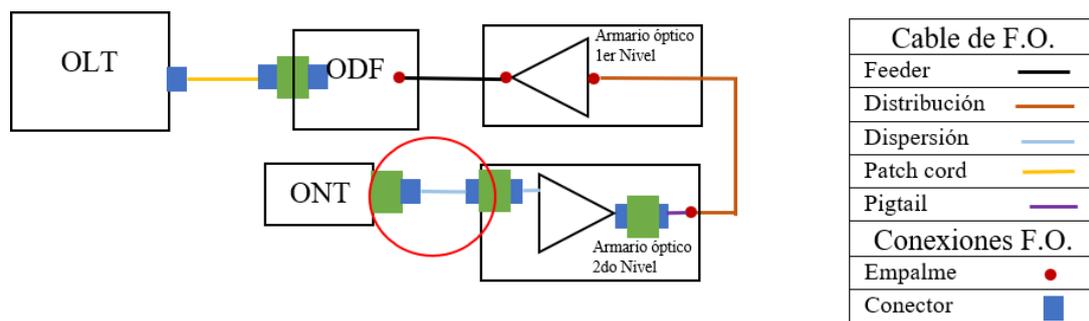
$$dD = 2.0102 \text{ km}$$

De la misma manera que la red troncal se procede a adquirir una distancia superior a la calculada, por cualquier percance o falla suscitada dentro del software utilizado se planea adquirir 3 km de cable de fibra óptica para dicha red.

3.8.5.3. Red Dispersión. Por último, se tiene la red de dispersión la cual se basa en la conexión entre el splitter de segundo nivel y la ONT en el domicilio del cliente, en la figura 47 se observa el tramo de esta red.

Figura 47

Camino recorrido por la red de dispersión



Fuente: Autoría propia

Similar a las redes troncales y de distribución se necesita conocer la distancia que se tiene entre los splitters de segundo nivel y los abonados para lo cual se indica que se va a tener una distancia máxima de 200 metros entre los 2 elementos, y de la misma manera la red fue diseñada para 256 posibles clientes, y se hará la proyección del total de kilómetros de cable de fibra óptica que se necesita, la ecuación 29 nos ayuda con el cálculo de cable que se necesita en donde se realiza el producto entre el número de abonados y la distancia máxima que se tiene.

$$dDis = \#abonados * 0.2 \text{ km} \quad \text{Ecuación [29]}$$

$$dDis = 256 * 0.2 \text{ km}$$

$$dDis = 51.2 \text{ km}$$

Similar a la red de distribución se procede a adquirir una distancia superior a la calculada, por cualquier percance o falla suscitada dentro del software utilizado se planea adquirir 52 km de cable de fibra óptica para dicha red.

3.8.5.4. Caracterización de Elementos de la red de Fibra Óptica. Una vez definidas las 3 redes del diseño y sus respectivas distancias se proceden a detallar tanto los splitters, rutas y reservas dentro de la red que se explicaran seguidamente.

3.8.5.4.1. Caracterización splitters de la red. En la tabla 25 se indica los splitters de primer y segundo nivel con sus respectivos identificativos y también detallando el hilo de fibra óptica que se va a utilizar para dicho splitter.

Tabla 25

Caracterización splitters de la red

Caracterización de Armarios ópticos de primer y segundo nivel		
Elemento	Identificativo	Descripción
Armarios ópticos de primer nivel		
NAP #1	SP1	Ubicación de Armarios ópticos de primer nivel: SP1 que va a usar el hilo de fibra azul
NAP #2	SP2	Ubicación de Armarios ópticos de primer nivel: SP2 que va a usar el hilo de fibra naranja
NAP #3	SP3	Ubicación de Armarios ópticos de primer nivel: SP3 que va a usar el hilo de fibra verde
NAP #4	SP4	Ubicación de Armarios ópticos de primer nivel: SP4 que va a usar el hilo de fibra café
Armarios ópticos de segundo nivel		
NAP #1	SD1.1	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD1.1 que va a usar el hilo de fibra azul
NAP #2	SD1.2	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD1.2 que va a usar el hilo de fibra naranja
NAP #3	SD1.3	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD1.3 que va a usar el hilo de fibra verde
NAP #4	SD1.4	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD1.4 que va a usar el hilo de fibra café

NAP #5	SD2.1	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD2.1 que va a usar el hilo de fibra azul
NAP #6	SD2.2	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD2.2 que va a usar el hilo de fibra naranja
NAP #7	SD2.3	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD2.3 que va a usar el hilo de fibra verde
NAP #8	SD2.4	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD2.4 que va a usar el hilo de fibra café
NAP #9	SD3.1	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD3.1 que va a usar el hilo de fibra azul
NAP #10	SD3.2	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD3.2 que va a usar el hilo de fibra naranja
NAP #11	SD3.3	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD3.3 que va a usar el hilo de fibra verde
NAP #12	SD3.4	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD3.4 que va a usar el hilo de fibra café
NAP #13	SD4.1	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD4.1 que va a usar el hilo de fibra azul
NAP #14	SD4.2	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD4.2 que va a usar el hilo de fibra naranja
NAP #15	SD4.3	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD4.3 que va a usar el hilo de fibra verde
NAP #16	SD4.4	Ubicación de Armarios ópticos de segundo nivel: SD4.4 que va a usar el hilo de fibra café

Fuente: Autoría propia

3.8.5.4.2. Caracterización rutas de la red. De la misma manera que la caracterización de los splitters se realiza la caracterización de la ruta indicando la ruta, identificativo y descripción que se puede observar en la tabla 26.

Tabla 26

Caracterización rutas de la red

Caracterización de Armarios ópticos de primer y segundo nivel		
Elemento	Identificativo	Descripción
Armarios ópticos de primer nivel		
Ruta #1	Red Feeder: SP1	Trayectoria de red Feeder: SP1 usando el hilo azul desde la OLT
Ruta #2	Red Feeder: SP2	Trayectoria de red Feeder: SP2 usando el hilo azul desde la OLT
Ruta #3	Red Feeder: SP3	Trayectoria de red Feeder: SP3 usando el hilo azul desde la OLT
Ruta #4	Red Feeder: SP4	Trayectoria de red Feeder: SP4 usando el hilo azul desde la OLT
Armarios ópticos de segundo nivel		
Ruta #1	Red Distribución: SD1.1	Trayectoria de red Distribución: SD1.1 usando el hilo azul desde el SP1

Ruta #2	Red Distribución: SD1.2	Trayectoria de red Distribución: SD1.2 usando el hilo azul desde el SP1
Ruta #3	Red Distribución: SD1.3	Trayectoria de red Distribución: SD1.3 usando el hilo azul desde el SP1
Ruta #4	Red Distribución: SD1.4	Trayectoria de red Distribución: SD1.4 usando el hilo azul desde el SP1
Ruta #5	Red Distribución: SD2.1	Trayectoria de red Distribución: SD2.1 usando el hilo azul desde el SP2
Ruta #6	Red Distribución: SD2.2	Trayectoria de red Distribución: SD2.2 usando el hilo azul desde el SP2
Ruta #7	Red Distribución: SD2.3	Trayectoria de red Distribución: SD2.3 usando el hilo azul desde el SP2
Ruta #8	Red Distribución: SD2.4	Trayectoria de red Distribución: SD2.4 usando el hilo azul desde el SP2
Ruta #9	Red Distribución: SD3.1	Trayectoria de red Distribución: SD3.1 usando el hilo azul desde el SP3
Ruta #10	Red Distribución: SD3.2	Trayectoria de red Distribución: SD3.2 usando el hilo azul desde el SP3
Ruta #11	Red Distribución: SD3.3	Trayectoria de red Distribución: SD3.3 usando el hilo azul desde el SP3
Ruta #12	Red Distribución: SD3.4	Trayectoria de red Distribución: SD3.4 usando el hilo azul desde el SP3
Ruta #13	Red Distribución: SD4.1	Trayectoria de red Distribución: SD4.1 usando el hilo azul desde el SP4
Ruta #14	Red Distribución: SD4.2	Trayectoria de red Distribución: SD4.2 usando el hilo azul desde el SP4
Ruta #15	Red Distribución: SD4.3	Trayectoria de red Distribución: SD4.3 usando el hilo azul desde el SP4
Ruta #16	Red Distribución: SD4.4	Trayectoria de red Distribución: SD4.4 usando el hilo azul desde el SP4

Fuente: Autoría propia

3.8.5.4.3. Caracterización reservas de la red.

Finalmente se indica la caracterización de las reservas que se encuentran en toda la red visualizadas en la tabla

27,

Tabla 27

Caracterización reservas de la red

Caracterización de Armarios ópticos de primer y segundo nivel		
Elemento	Identificativo	Descripción
Armarios ópticos de primer nivel		
Reserva #1	Reserva Feeder: SP1	Reserva de 30 metros en Armarios ópticos de primer nivel: SP1. 15 metros antes y 15 metros después del empalme
Reserva #2	Reserva Feeder: SP2	Reserva de 30 metros en Armarios ópticos de primer nivel: SP2. 15 metros antes y 15 metros después del empalme
Reserva #3	Reserva Feeder: SP3	Reserva de 30 metros en Armarios ópticos de primer nivel: SP3. 15 metros antes y 15 metros después del empalme

Reserva #4	Reserva Feeder: SP4	Reserva de 30 metros en Armarios ópticos de primer nivel: SP4. 15 metros antes y 15 metros después del empalme
Armarios ópticos de segundo nivel		
Reserva #1	Reserva Distribución: SD1.1	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD1.1. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #2	Reserva Distribución: SD1.2	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD1.2. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #3	Reserva Distribución: SD1.3	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD1.3. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #4	Reserva Distribución: SD1.4	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD1.4. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #5	Reserva Distribución: SD2.1	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD2.1. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #6	Reserva Distribución: SD2.2	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD2.2. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #7	Reserva Distribución: SD2.3	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD2.3. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #8	Reserva Distribución: SD2.4	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD2.4. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #9	Reserva Distribución: SD3.1	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD3.1. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #10	Reserva Distribución: SD3.2	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD3.2. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #11	Reserva Distribución: SD3.3	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD3.3. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #12	Reserva Distribución: SD3.4	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD3.4. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #13	Reserva Distribución: SD4.1	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD4.1. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #14	Reserva Distribución: SD4.2	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD4.2. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #15	Reserva Distribución: SD4.3	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD4.3. Colocar la reserva en ambos lados del empalme
Reserva #16	Reserva Distribución: SD4.4	Reserva de aproximadamente 30 metros en Armarios ópticos de segundo nivel: SD4.4. Colocar la reserva en ambos lados del

Fuente: Autoria propia

3.5.9. Diagrama de Bloques

En la Figura 48 se muestra el diagrama de bloques en donde se puede apreciar la integración entre el hardware y software, cada una de las etapas previamente se ha detallado acorde al diseño deseado en este proyecto, cada bloque se observa las características independientes que se deben realizar.

Figura 48

Diagrama de bloques



Fuente: Autoria propia

3.6. Elección de Hardware y Software para el Sistema

Para la elección del hardware y software se realiza una tabla comparativa de especificaciones para la selección de los componentes de hardware y software dependiendo de los atributos de los requerimientos de Stakeholders, Arquitectura y de Sistemas, se califican y evalúan los componentes mediante dicha tabla, en la cual se da una valoración a cada atributo correspondiente (StSR, SySR, SRSH) y dependiendo de la puntuación final se escoge el componente. La puntuación se basa en un valor de "1" si se cumple con el requerimiento y una puntuación de "0" si no cumple el requerimiento.

3.6.1. Selección Equipos de Borde y Servidor

De acuerdo con los requerimientos de Arquitectura que se ha especificado en la Tabla 11 acerca de los requisitos implícitos de los equipos de borde y servidor que se comunicaran con el nodo central se muestra la comparación con los diferentes modelos en la Tabla 28.

Tabla 28

Selección Equipos de Borde y Servidor

Hardware	Requerimientos			Valoración Total
	SRSH5	SRSH9	SRSH20	
CCR1009-7G-1C-1S+	1	1	1	3
CCR1036-8G-2S+	1	1	1	3

1 Cumple
0 No cumple

Elección: En la elección del equipo de borde y servidor se ha escogido el CCR1009-7G-1C-1S+, debido a su disponibilidad en el mercado y su precio que es inferior a la del CCR1036-8G-2S+.

Fuente: Autoría propia

A continuación, en la Tabla 29 se muestran las características técnicas principales del equipo de borde y servidor.

Tabla 29

Características del equipo de borde y servidor

Especificaciones	Propiedades
CPU, Frecuencia	TILE-Gx9, 9 cores, 1.2 GHz
RAM	2 GB

Almacenamiento	128 MB
10/100/1000 puertos Ethernet	7
Puertos USB	1
Puertos Jack	2

Fuente: Autoría propia

3.6.2. Selección OLT

De acuerdo con los requerimientos de Arquitectura que se ha especificado en la Tabla 11 acerca de los requisitos implícitos de la OLT que se comunicaran con los abonados, se muestra la comparación con los diferentes modelos en la Tabla 30.

Tabla 30

Elección OLT

Hardware	Requerimientos					Valoración Total
	SRSH1	SRSH10	SRSH11	SRSH12	SRSH20	
OLT Huawei MA5608T – 16P	1	1	1	1	1	5
OLT ZTE C320 – 16P	1	1	1	1	1	5
ZTE ZXA10 C320	1	1	1	1	1	5

1 Cumple
0 No cumple

Elección: En la elección de la OLT se ha escogido la OLT Huawei MA5608T – 16P, debido a su disponibilidad en el mercado y su precio que es inferior a la de las demás.

Fuente: Autoría propia

A continuación, en la Tabla 31 se muestran las características técnicas principales de la OLT

Tabla 31

Características OLT

Especificaciones	Propiedades
Alimentación	DC: -38.4VDC to -72VDC; AC: 100V to 240V
Puertos XG-PON	4 puertos por slot
Temperatura Operativa	-40° F to +149° F
Dimensiones	3.47in x 17.4in x 9.63in

Fuente: Autoría propia

3.6.3. Selección ONTs

De acuerdo con los requerimientos de Arquitectura que se ha especificado en la Tabla 11 acerca de los requisitos implícitos de las ONTs que se encontraran en los domicilios de los abonados, se muestra la comparación con los diferentes modelos en la Tabla 32.

Tabla 32

Elección ONT

Hardware	Requerimientos				Valoración Total
	SRSH13	SRSH14	SRSH15	SRSH20	
ONT Huawei	1	1	1	1	4
GPON HG8546M					
Huawei EG8145V5	1	1	1	1	4
41 Cumple					
0 No cumple					

Elección: En la elección de la ONT se ha escogido la ONT Huawei GPON HG8546M, debido a su disponibilidad en el mercado y su precio que es inferior al de la ONT Huawei EG8145V5.

Fuente: Autoría propia

A continuación, en la Tabla 33 se muestran las características técnicas principales de la ONT

Tabla 33 *Elección ONT*

Especificaciones	Propiedades
Alimentación	DC: -38.4VDC to -72VDC; AC: 100V to 240V
Puertos XG-PON	4 puertos por slot
Temperatura Operativa	-40° F to +149° F
Dimensiones	3.47in x 17.4in x 9.63in

Fuente: Autoría propia

3.6.4. Elección de Software

El software por escoger debe tener relación en base a los aspectos definidos en la etapa de requerimientos, de esta forma se garantiza un desempeño óptimo. De igual manera, como se realizó la elección del hardware.

3.6.4.1. Selección Software Control Servidor y OLT. Para la selección del software de control para los equipos del nodo central se ha tomado 3 opciones, las mismas se adaptan a los requerimientos del proyecto. La Tabla 34 muestra la valoración de cada requerimiento para la elección del software.

Tabla 34

Elección software de gestión

Software	Requerimientos	Valoración Total
-----------------	-----------------------	-------------------------

	SRSH16	SRSH17	
Winbox	1	1	2
ZOC	1	0	1
PuTTY	1	0	1

1 Cumple
0 No cumple

Elección: En la elección del software de administración y gestión de los equipos del nodo central se va a utilizar el software WinBox el cual cumple con todos los requerimientos para el diseño del proyecto.

Fuente: Autoría propia

3.7. Diseño de la red de Fibra Óptica Pasiva

Una vez establecidos los requerimientos básicos, criterio, presupuestos de potencia y pérdida para el diseño anteriormente expuestos, es posible generar el diseño final de la red óptica, para ellos se realizará con la ayuda de un software enfocado en diseño de redes ópticas.

3.7.1. Software para Diseño de Red

En el mercado existe varias plataformas para el diseño de redes, para este caso en específico se utilizará la plataforma RedFTTH, dicho software tiene la ventaja de que su alojamiento es completamente en la nube, por lo que no es necesario realizar instalaciones o descargas adicionales. Permite el diseño de redes ópticas pasivas de forma rápida y sencilla con una interfaz amigable con el usuario. RedFTTH es una plataforma con suscripción por lo que se adquirió la versión estándar con un valor de 6,97 USD por mes, en la figura 49 se puede observar los planes que ofrece el software. (RedFTTH, 2022)

Figura 49

Paquetes ofertados por RedFTTH

Standard	Premium <small>POPULAR</small>	ILIMITED
\$ 6⁹⁷ usd Mensual	\$ 9⁹⁷ usd Mensual	\$ 12⁹⁷ usd Mensual
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agregar Rutas ✓ Agregar Marcadores ✓ Agregar NAPs ✓ Agregar Mangas ✓ Agregar Reservas ✓ Hasta 100 NAPs, Rutas, Marcadores ✓ Soporte ONLINE 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agregar Rutas ✓ Agregar Marcadores ✓ Agregar NAPs ✓ Agregar Mangas ✓ Agregar Reservas ✓ Hasta 500 NAPs, Rutas, Marcadores ✓ Soporte ONLINE 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agregar Rutas ✓ Agregar Marcadores ✓ Agregar NAPs ✓ Agregar Mangas ✓ Agregar Reservas ✓ ILIMITED NAPs, Rutas, Marcadores ✓ Soporte ONLINE
REGISTRAR AHORA!	REGISTRAR AHORA!	REGISTRAR AHORA!

Fuente: (RedFTTH, 2022)

Es importante resaltar las características que ofrece el software de diseño de redes FHHT, permite agregar tanto marcadores como rutas, colocar cajas de distintos niveles, así como también, mangas, entre otros que se necesitan para el diseño de red, en la figura 50, se puede apreciar dichas características.

Figura 50 Principales características de RedFHHT.

 <p>Administración Amigable</p> <p>Podrás acceder de inmediato a tener el control total de tu red FTTH desde tu PC o Móvil.</p>	 <p>Agregar Rutas</p> <p>Podrás agregar las Rutas exactamente por donde tu deseas ir con la fibra óptica y sabrás cuantos metros o mks. necesitas para tu proyecto.</p>	 <p>Agregar Marcadores</p> <p>En cada uno de las NAPs, Rutas, Mangas, reservas podrás poner marcadores y editar con tus propios datos.</p>
 <p>Agregar NAPs</p> <p>Podrás Nombrar las NAPs con el Número hilos y color, Número Buffer y color y Números de Puertos.</p>	 <p>Agregar MANGAS</p> <p>Podrás saber exactamente dónde dejaste las mangas y cantidad de ellas que tienes en tu proyecto.</p>	 <p>Agregar Reservas Fibra</p> <p>Para resolver los daños ocasionados por roturas de fibra esto te va decir donde esta una reserva que dejaste.</p>

Fuente: (RedFTTH, 2022)

3.7.2 Redes de Acceso para FTTH

Para empezar con el diseño de la red óptica de arquitectura FTTH, se debe señalar los tres tipos de redes de acceso que posee esta arquitectura según como lo indica la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Recomendación UIT-T G.987.1 (2020), en donde la topología que se va a usar es la de dos niveles de división óptica, con el nivel más bajo de la red de acceso el segundo nivel de división óptica. Esta misma normativa indica que existen tres redes de acceso las cuales se conocen como red Feeder o red Troncal, red de Distribución y red de Dispersión.

3.7.2.1. Redes de acceso para FTTH. *Para empezar con el primer nivel, esta red es la más importante de diseñar debido que a partir de esta red óptica se podrá dividir las líneas ópticas para los demás niveles de splitteo. En la Figura 57 se indica la trayectoria de la red Feeder para la arquitectura FTTH.*

3.7.3.2. Ubicación y descripción de OLT. *La ubicación de la OLT se encuentra en la parte norte del centro de la parroquia García Moreno, en la figura 51 se puede observar una breve descripción de la ubicación.*

Figura 51

Descripción y ubicación de la OLT

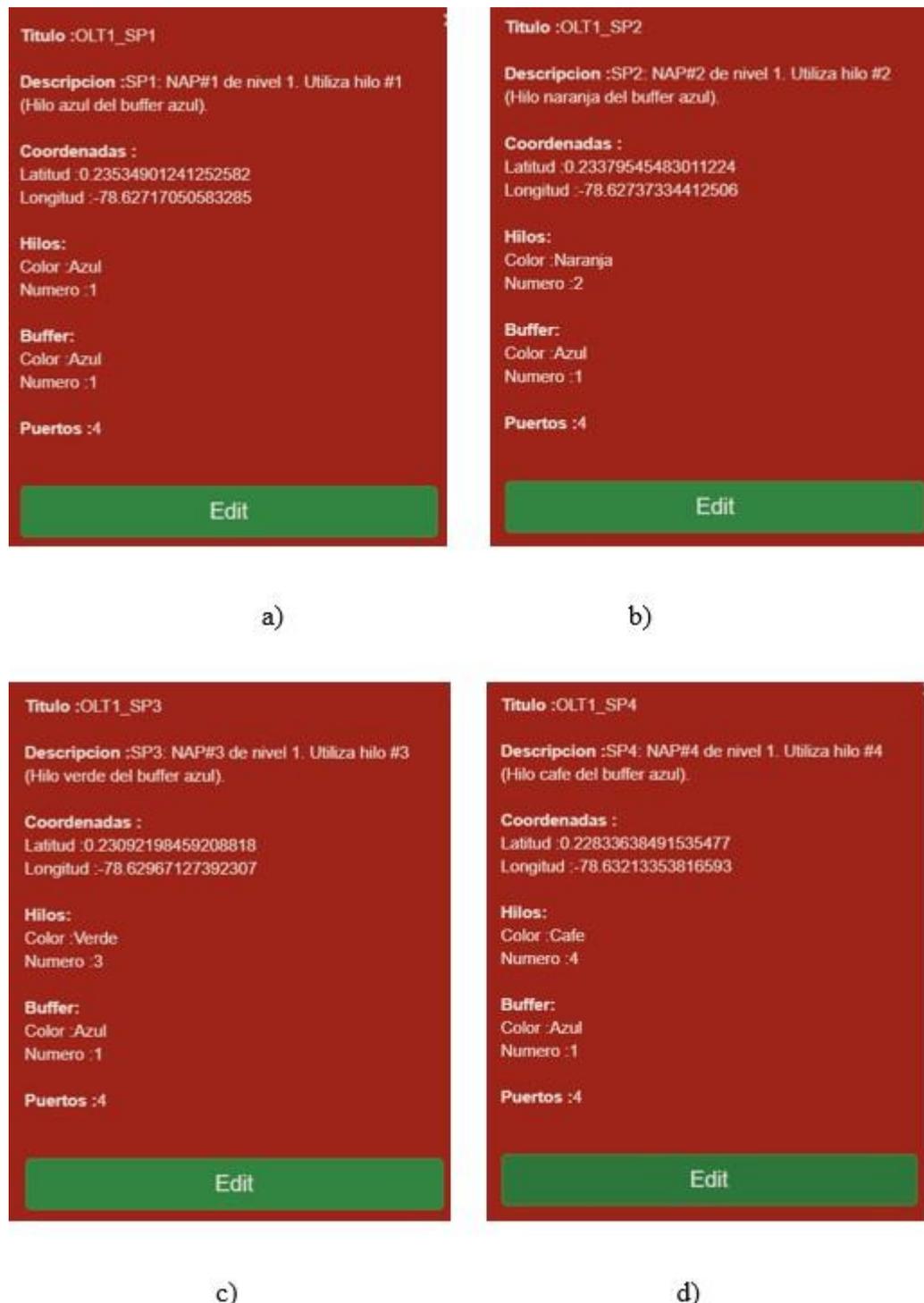


Fuente: (RedFTTH, 2022)

3.7.3.3. Descripción y Ubicación de NAPs de Primer Nivel. *Se describen los detalles de las NAPs de nivel 1 y se muestran sus ubicaciones exactas. En la figura 52 se muestra todas las NAP de nivel 1. La ubicación de la NAP #1 de primer nivel, con identificador SP1 se muestra los detalles en la figura 52a. La ubicación de la NAP #2 de primer nivel, con identificador SP2 se muestra los detalles en la figura 52b. La ubicación de la NAP #3 de primer nivel, con identificador SP3 se muestra los detalles en la figura 52c. La ubicación de la NAP #4 de primer nivel, con identificador SP4 se muestra los detalles en la figura 52d.*

Figura 52

Descripción y ubicación de armarios ópticos de primer nivel.



Fuente: (RedFTTH, 2022)

3.7.3.4. Descripción y Ubicación de NAPs de Nivel 2 del SP1. *Se describen los detalles de las NAPs de nivel 2 del armario óptico de SP1, se muestran sus ubicaciones exactas y su descripción. En la figura 53 se muestra todas las NAP de nivel 2 del SP1. La ubicación de la NAP #1 de segundo nivel, con identificador SD1.1 se muestra los detalles en la figura 53a. La ubicación de la NAP #2 de segundo nivel del SP1, con identificador SD1.2 se muestra los detalles en la figura 53b. La ubicación de la NAP #3 de segundo nivel del SP1, con identificador SD1.3 se muestra los detalles en la figura 53c. La ubicación de la NAP #4 de segundo nivel del SP1, con identificador SD1.4 se muestra los detalles en la figura 53d.*

Figura 53

Descripción y ubicación de armarios ópticos de segundo nivel del SP1.



Fuente: (RedFTTH, 2022)

3.7.3.5. Descripción y Ubicación de NAPs de Nivel 2 del SP2. *Se describen los detalles de las NAPs de nivel 2 del armario óptico de SP2, se muestran sus ubicaciones exactas y su descripción. En la figura 54 se muestra todas las NAP de nivel 2 del SP2. La ubicación de la NAP #1 de segundo nivel, con identificador SD2.1 se muestra los detalles en la figura 54a. La ubicación de la NAP #2 de segundo nivel del SP2, con identificador SD2.2 se muestra los detalles en la figura 54b. La ubicación de la NAP #3 de segundo nivel del SP2, con identificador SD2.3 se muestra los detalles en la figura 54c. La ubicación de la NAP #4 de segundo nivel del SP2, con identificador SD2.4 se muestra los detalles en la figura 54d.*

Figura 54

Descripción y ubicación de armarios ópticos de segundo nivel del SP2.



Fuente: (RedFTTH, 2022)

3.7.3.6. Descripción y Ubicación de NAPs de Nivel 2 del SP3. *Se describen los detalles de las NAPs de nivel 2 del armario óptico de SP3, se muestran sus ubicaciones exactas y su descripción. En la figura 55 se muestra todas las NAP de nivel 2 del SP3. La ubicación de la NAP #1 de segundo nivel, con identificador SD3.1 se muestra los detalles en la figura 55a. La ubicación de la NAP #2 de segundo nivel del SP3, con identificador SD3.2 se muestra los detalles en la figura 55b. La ubicación de la NAP #3 de segundo nivel del SP3, con identificador SD3.3 se muestra los detalles en la figura 55c. La ubicación de la NAP #4 de segundo nivel del SP3, con identificador SD3.4 se muestra los detalles en la figura 55d.*

Figura 55

Descripción y ubicación de armarios ópticos de segundo nivel del SP3.



Fuente: (RedFTTH, 2022)

3.7.3.7. Descripción y Ubicación de NAPs de Nivel 2 del SP4. *Se describen los detalles de las NAPs de nivel 2 del armario óptico de SP4, se muestran sus ubicaciones exactas y su descripción. En la figura 56 se muestra todas las NAP de nivel 2 del SP4. La ubicación de la NAP #1 de segundo nivel, con identificador SD4.1 se muestra los detalles en la figura 56a. La ubicación de la NAP #2 de segundo nivel del SP4, con identificador SD4.2 se muestra los detalles en la figura 56b. La ubicación de la NAP #3 de segundo nivel del SP4, con identificador SD4.3 se muestra los detalles en la figura 56c. La ubicación de la NAP #4 de segundo nivel del SP4, con identificador SD4.4 se muestra los detalles en la figura 56d.*

Figura 56

Descripción y ubicación de armarios ópticos de segundo nivel del SP4.



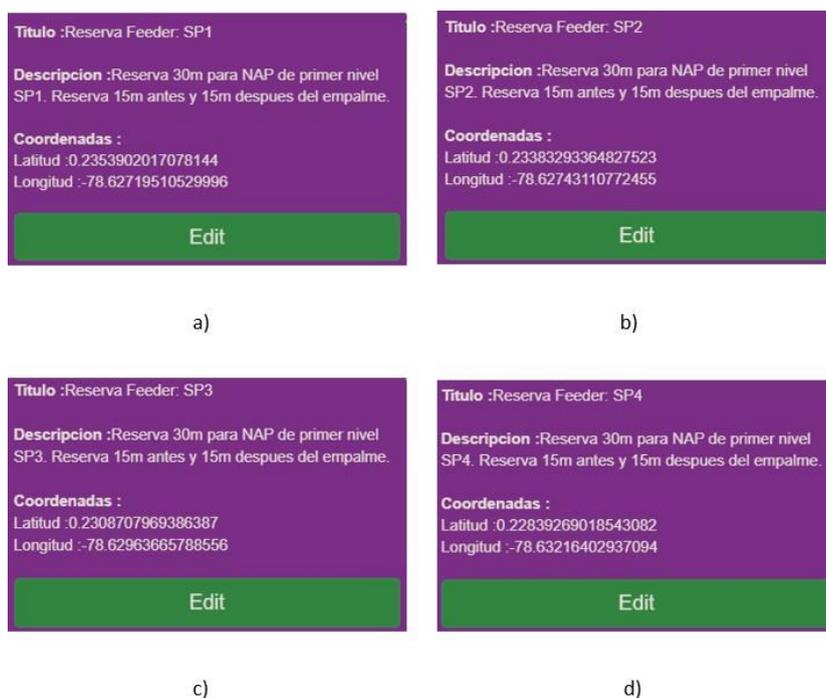
Fuente: (RedFTTH, 2022)

3.7.3.8. Descripción y Ubicación de Reservas. Las reservas de fibra óptica se colocan generalmente en el sitio en que se va a realizar empalmes. Las reservas son esenciales para daños, futuros crecimientos de red, o cualquier imprevisto. Es por ello para el diseño de nuestra red, se colocará una reserva en el lugar en donde van las cajas de primer y segundo nivel.

3.7.3.9. Descripción y Ubicación de Reservas del Feeder Troncal. *Se describe los detalles de las reservas a colocar dentro a lo largo del trayecto del Feeder, detalles que incluyen su ubicación y breve descripción. La figura 57 se muestran las reservas existentes en el Feeder Troncal. En la figura 57a se muestra la reserve perteneciente a la NAP de nivel primario del SP1. En la figura 57b se muestra la reserve perteneciente a la NAP de nivel primario del SP2. En la figura 57c se muestra la reserve perteneciente a la NAP de nivel primario del SP3. En la figura 57d se muestra la reserve perteneciente a la NAP de nivel primario del SP4.*

Figura 57

Descripción y ubicación de reservas en el Feeder Troncal.

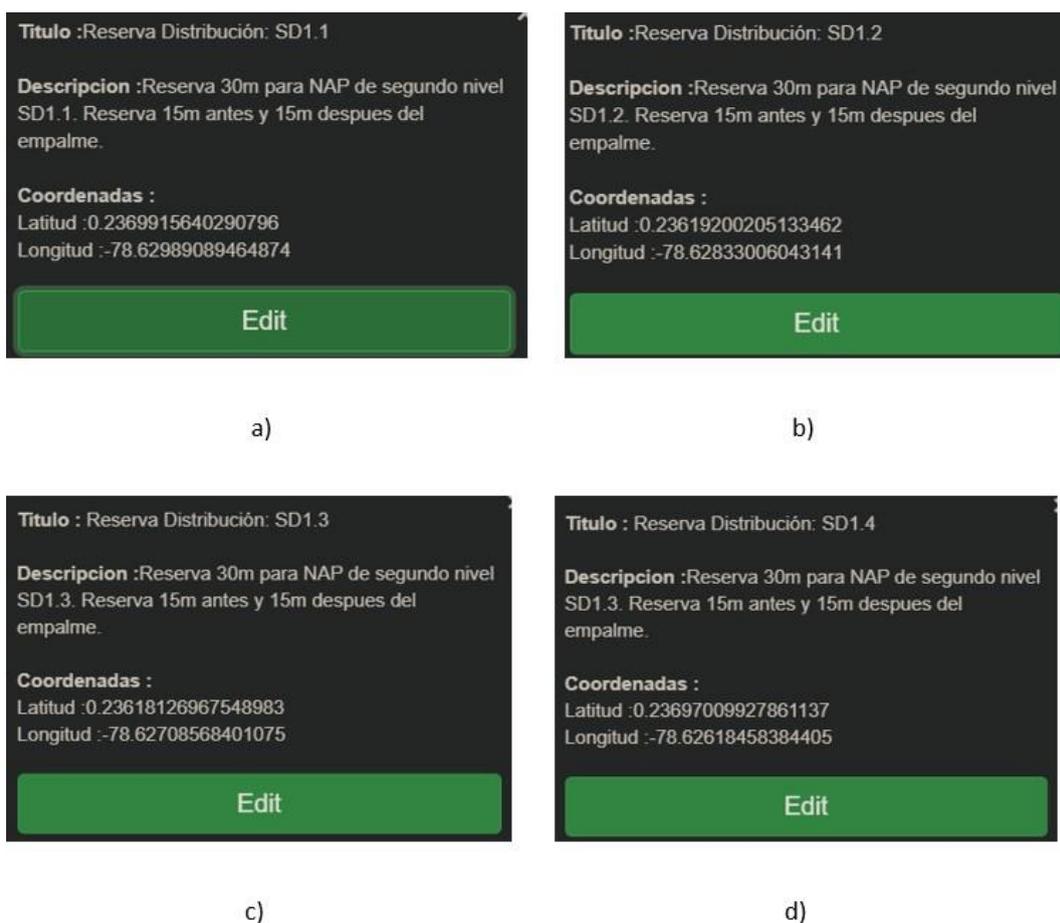


Fuente: (RedFTTH, 2022)

3.7.3.10. Descripción y Ubicación de Reservas Red de Distribución de SP1. Se describe los detalles de las reservas a colocar a lo largo del trayecto de la red distribución, datos que incluyen su ubicación y breve descripción. La figura 58 se muestran las reservas existentes en la red de distribución de SP1. En la figura 58a se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD1.1. En la figura 58b se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD1.2. En la figura 58c se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD1.3. En la figura 58d se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD1.4.

Figura 58

Descripción y ubicación de reservas en el Feeder de distribución SP1.



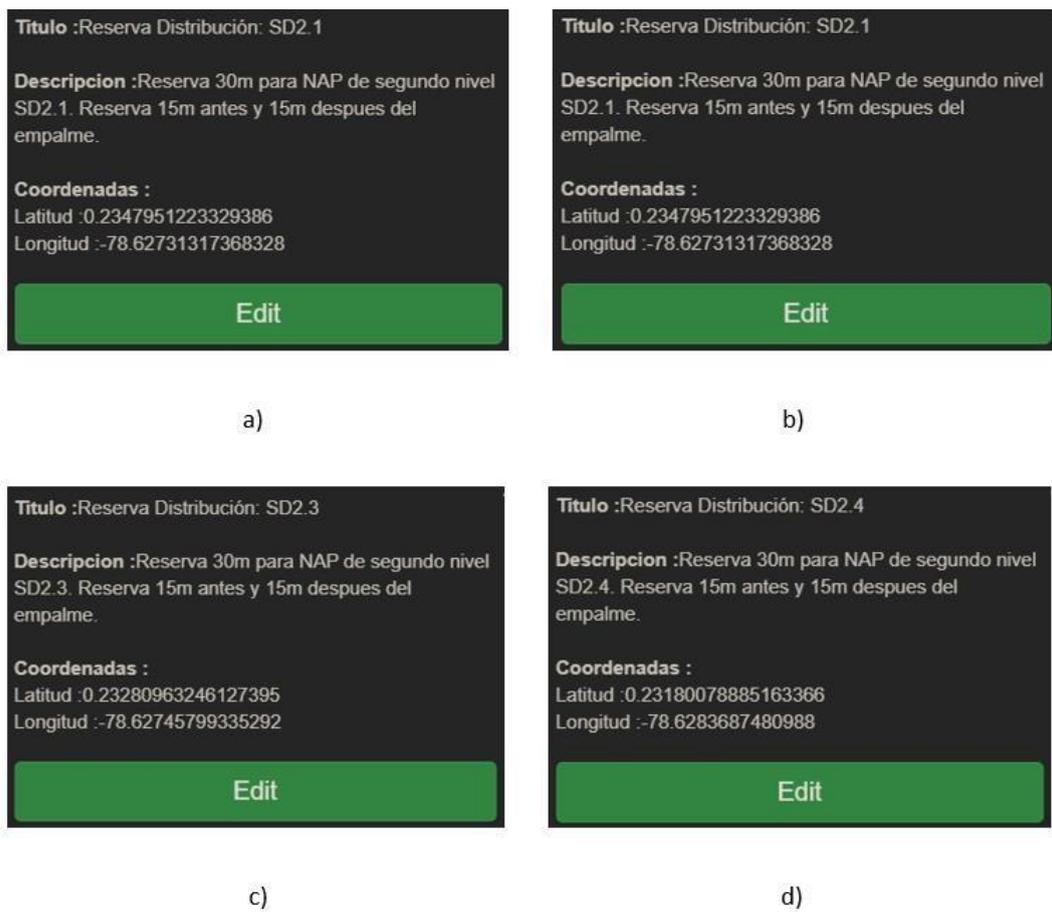
Fuente: (RedFTTH, 2022)

3.7.3.11. Descripción y Ubicación de Reservas de la Red de Distribución de

SP2. Se describe los detalles de las reservas a colocar a lo largo del trayecto de la red de distribución, datos que incluyen su ubicación y breve descripción. La figura 59 se muestran las reservas existentes en la red de distribución de SP2. En la figura 59a se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD2.1. En la figura 59b se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD2.2. En la figura 59c se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD2.3. En la figura 59d se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD2.4.

Figura 59

Descripción y ubicación de reservas en el Feeder de distribución SP2.



Fuente: (RedFTTH, 2022)

3.7.3.12. Descripción y Ubicación de Reservas de Feeder de Distribución SP3.

Se describe los detalles de las reservas a colocar a lo largo del trayecto de la red de distribución, datos que incluyen su ubicación y breve descripción. La figura 60 se muestran las reservas en la red de distribución de SP3. En la figura 60a se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD3.1. En la figura 60b se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD3.2. En la figura 60c se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD3.3. En la figura 60d se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD3.4.

Figura 60

Descripción y ubicación de reservas en el Feeder de distribución SP3.

Título :Reserva Distribución: SD3.1

Descripción :Reserva 30m para NAP de segundo nivel SD3.1. Reserva 15m antes y 15m despues del empalme.

Coordenadas :

Latitud :0.23147250874495445

Longitud :-78.62809740171404

Edit

a)

Título :Reserva Distribución: SD3.2

Descripción :Reserva 30m para NAP de segundo nivel SD3.2. Reserva 15m antes y 15m despues del empalme.

Coordenadas :

Latitud :0.2311720021169661

Longitud :-78.62875177207319

Edit

b)

Título :Reserva Distribución: SD3.3

Descripción :Reserva 30m para NAP de segundo nivel SD3.3. Reserva 15m antes y 15m despues del empalme.

Coordenadas :

Latitud :0.23135445257043438

Longitud :-78.62917550369919

Edit

c)

Título :Reserva Distribución: SD3.4

Descripción :Reserva 30m para NAP de segundo nivel SD3.4. Reserva 15m antes y 15m despues del empalme.

Coordenadas :

Latitud :0.23088222786251977

Longitud :-78.62985669251569

Edit

d)

Fuente: (RedFTTH, 2022)

3.7.3.13. Descripción y ubicación de reservas de Feeder de distribución SP4. Se describe los detalles de las reservas a colocar a lo largo del trayecto de la red de distribución, datos que incluyen su ubicación y breve descripción. La figura 61 se muestran las reservas existentes en la red de distribución de SP4. En la figura 61a se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD4.1. En la figura 61b se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD4.2. En la figura 61c se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD4.3. En la figura 61d se muestra la reserva perteneciente a la NAP de nivel primario del SD4.4.

Figura 61

Descripción y ubicación de reservas en el Feeder de distribución SP4.

Título :Reserva Distribución: SD4.1

Descripción :Reserva 30m para NAP de segundo nivel SD4.1. Reserva 15m antes y 15m despues del empalme

Coordenadas :
 Latitud :0.22994653829511558
 Longitud :-78.63060997078934

Edit

a)

Título :Reserva Distribución: SD4.2

Descripción :Reserva 30m para NAP de segundo nivel SD4.2. Reserva 15m antes y 15m despues del empalme

Coordenadas :
 Latitud :0.22898809492692854
 Longitud :-78.63164069394833

Edit

b)

Título :Reserva Distribución: SD4.3

Descripción :Reserva 30m para NAP de segundo nivel SD4.3. Reserva 15m antes y 15m despues del empalme.

Coordenadas :
 Latitud :0.22748556146254473
 Longitud :-78.63307816326184

Edit

c)

Título :Reserva Distribución: SD4.4

Descripción :Reserva 30m para NAP de segundo nivel SD4.4. Reserva 15m antes y 15m despues del empalme.

Coordenadas :
 Latitud :0.2265518441593758
 Longitud :-78.6349018183611

Edit

b)

3.7.3.13. Simbología de los elementos del diseño. *Para entender de manera clara el diseño final de la red, es necesario realizar un cuadro de simbología que se observa a continuación en la tabla 35. Dicha simbología es utilizada por el software de diseño RedFTTH, el cual es utilizado para el diseño final.*

Tabla 35

Simbología

Simbología de la red óptica	
Elemento	Símbolo
OLT	
NAP nivel 1	
NAP nivel 2	
Reserva	
Feeder Troncal	
Feeder de distribución SP1	
Feeder de distribución SP2	
Feeder de distribución SP3	
Feeder de distribución SP4	

Fuente: Autoría propia

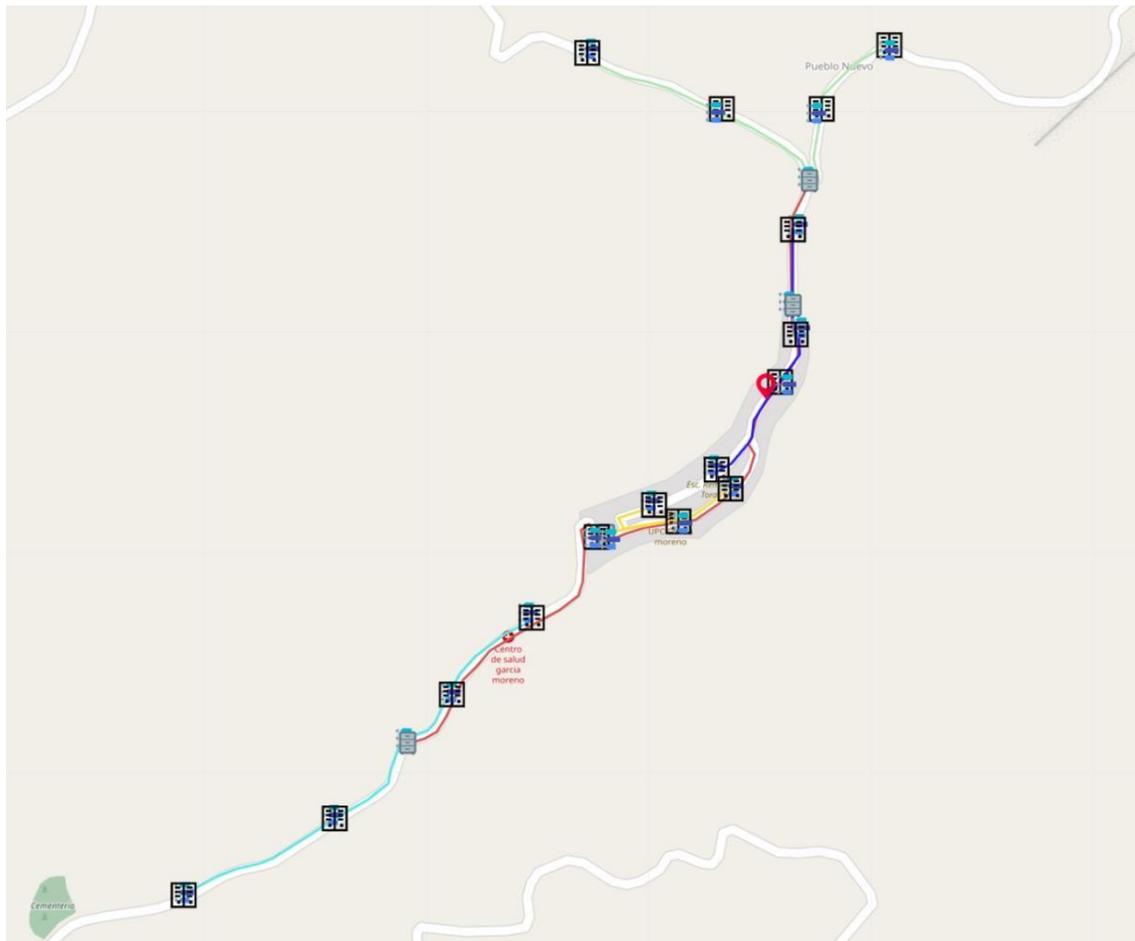
3.7.3.14. Diseño Final de la Red. *RedFTTH es el software de diseño utilizado para el presente trabajo, dicho software permite presentar en tres tipos de mapas geográficos distintos el diseño realizado. Para el caso específico de este trabajo no está disponible la vista por satélite de manera clara debido a que la zona es un sector rural muy lejano, por lo que se podrá apreciar el diseño de mejor manera en el mapa base y en el mapa de calle abierta (Open Street) y mapa modo limpio (Clean Mode).*

En la figura 62, se muestra el diseño de la red de fibra óptica en el mapa de calle abierta o mapa base. Dicho mapa tiene como finalidad mostrar de manera exacta las calles, edificaciones importantes, locales, iglesias y demás. Para el caso específico de la

zona de García Moreno se tiene lugares que incluyen Escuela, UPC, Iglesia, Centro de Salud, Cementerio, entre otros. A fin de tener una visión poco saturada y con facilidad para apreciar de mejor manera el diseño.

Figura 62

Red de Fibra Óptica de García Moreno – Mapa Base

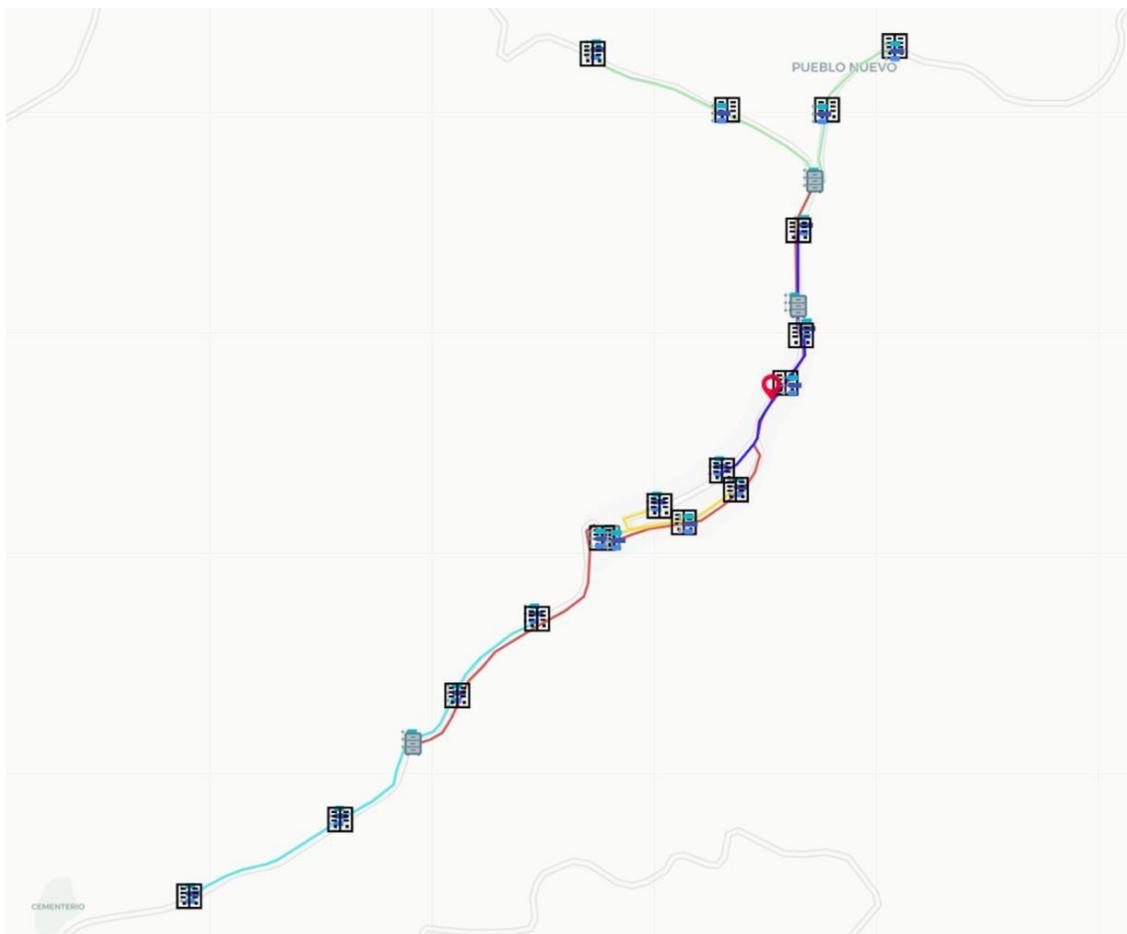


Fuente: (RedFTTH, 2022)

En la figura 63, se muestra el diseño de la red de fibra óptica en el mapa modo limpio. Dicho mapa tiene como finalidad mostrar las únicamente las rutas. Dicho mapa tiene la finalidad de apreciar de mejor manera las calles por donde será implementada la red de fibra.

Figura 63

Red de Fibra Óptica de García Moreno – Mapa modo limpio



Fuente: (RedFTTH, 2022)

En la figura 64, se muestra el diseño de la red de fibra óptica en el mapa de satélite. Dicho mapa tiene como finalidad mostrar los relieves, construcciones y mostrar una imagen imágenes del sector. Sin embargo, para el caso de García Moreno debido que es una zona en medio de montañas, no se tiene imágenes claras del sector por lo que nos es posible apreciar de la mejor manera la zona de estudio.

Figura 64

Red de Fibra Óptica de García Moreno – Mapa Satelital



Fuente: Autoría propia

4. CAPITULO IV: ANALISIS FINANCIERO

En este apartado se efectuará el análisis costo-beneficio del proyecto para demostrar rentabilidad a la empresa y habitantes, con los indicadores de rentabilidad, así como los rubros para la empresa ante posibles expansiones de servicio en otros sectores.

4.1. Flujo de Caja

El flujo de caja se trata de los gastos e ingresos que se ha realizado dentro de un periodo, en este caso se va a realizar un flujo de caja del diseño de fibra de óptica, de tal manera se debe conocer cuáles son los ingresos y egresos que debe realizar la empresa para realizar la implementación de este.

4.1.1. Egresos del Proyecto

Los egresos que se tienen dentro del proyecto son: Gastos operativos del personal, gastos de equipos pasivos y activos, mantenimiento de la red y movilización, con los cuales se debe realizar la sumatoria de los mismos y conocer la inversión total de los gastos para el proyecto.

4.1.1.1. Egresos Totales de Equipos Activos. Para conocer los egresos del proyecto se debe sumar el costo de los diferentes equipos activos, los cuales se encuentran reflejados en la tabla 36

Tabla 36

Egreso total de equipos activos

Egresos totales de equipos activos		
Elemento	Costos	Total
Servidor	\$800.00	
OLT	\$4800.00	\$14560.00
ONT	\$8960.00	

Fuente: Autoría propia

4.1.1.2. Egresos Totales de Equipos Pasivos. De la misma manera que los egresos activos, se realiza para los elementos pasivos, en donde se suma todos los equipos que intervienen dentro del proyecto, como se observa en la tabla 37.

Tabla 37

Egreso total de equipos pasivos

Egresos totales de equipos pasivos		
Elemento	Costos	Total
ODF	\$47.00	
Spliter primer nivel	\$40.00	
Spliter segundo nivel	\$48.00	
Conectores mecanicos	\$425.00	
Red troncal	\$2250.00	
Red de distribución	\$1470.00	\$12858.00
Red de dispersión	\$8480.00	
Pigtail	\$30.00	
Patchcords	\$10.00	
Tubillos de fusión	\$58.00	

Fuente: Autoría propia

4.1.1.3. Egresos Totales del Personal Operativo. Para calcular el egreso total del personal operativo de la empresa se debe tomar en cuenta los trabajadores de esta, para lo cual se indica que existen 2 técnicos que trabajan en la misma con un salario de \$425.00, en la tabla 38 se observa el egreso total proyecta a un año de trabajo.

Tabla 38*Egreso total del personal operativo*

Egresos totales del personal operativo			
Trabajador	Costos	Global	Total
Técnico 1	\$425.00		
Técnico 1	\$425.00	\$850.00	\$10200.00

Fuente: Autoría propia

4.1.1.3. Egresos Totales de Movilización. La empresa tiene un egreso de \$50 semanales en cuanto al ámbito de movilización, en la tabla 39 se observa la proyección del egreso a un año.

Tabla 39 *Egreso total de movilización*

Egresos totales de movilización			
Ítem	Costos	Costo mensual	Total
Movilización	\$50.00	\$200.00	\$2400.00

Fuente: Autoría propia

4.1.1.4. Egresos Totales de Mantenimiento. Estos egresos se tratan de los gastos que se van a tener dentro de la red óptica, para lo cual se debe considerar un 5% del monto de inversión del proyecto, con lo cual el total de la inversión corresponde a \$27418.00 para lo cual el egreso es igual a \$1370.9 para un tiempo de 5 años. En la tabla 40 se puede observar el costo de egreso anual por mantenimiento de la red.

Tabla 40*Egreso total de operación y mantenimiento*

Egresos totales de mantenimiento			
Ítem	Costo anual	Periodo	Total
Mantenimiento	\$274.18	5 años	\$1370.90

Fuente: Autoría propia

4.1.2. Ingresos del Proyecto

Los ingresos del proyecto se calculan a partir de los activos que generan ganancias en un tiempo de 5 años, como se conoce la situación actual en la parroquia de García Moreno no se dispone de servicio de internet por parte de la empresa, para lo cual para dicho cálculo se tomara en cuenta el plan básico de 70 Mbps que tiene un valor de \$25, determinado gracias a las encuestas realizadas.

4.1.2.1. Ingresos Totales por Prestación de Servicio. Una vez definido el plan de internet a ofertar que es el de 70 Mbps con un costo de \$25, se debe tomar en cuenta un posible aumento del plan. Según el análisis de la encuesta el 71% está de acuerdo con la implementación del nuevo servicio y dicha implementación por lo que se lo proyecta a un total de 69 abonados en la actualidad. Por otra parte, según la tabla 7, se tiene que el crecimiento poblacional es de 1,04% anual. Gracias al porcentaje de crecimiento se puede definir que en cinco años existirá un crecimiento de 4 abonados, dando como total 73 abonados. Dichos abonados dividido en partes iguales en los próximos cinco años, en la tabla 41 se explica los ingresos totales y la división de cada año.

Tabla 41

Ingresos totales por prestación del servicio

Ingresos por prestación del servicio						
Año	# de clientes nuevos	# de clientes totales	Costo del plan	Ingreso mensual	Ingreso por cada año	Ingreso cada año acumulado
1er año	15	15		\$375	\$4.500	\$4500
2do año	15	30		\$750	\$9000	\$13500
3ero año	15	45	\$25	\$1125	\$13500	\$27000
4to año	15	60		\$1500	\$18000	\$45000
5to año	13	73		\$1825	\$21900	\$66900
Al final de los cinco años						\$66900

Fuente: Autoría propia

4.1.2.2. Ingresos Totales por Instalación. Finalizado el cálculo de ingresos por la prestación del servicio se procede a calcular los ingresos por instalación del servicio, la cual tiene un precio de \$75 en la empresa, en la tabla 42 se puede apreciar los ingresos por cada año.

Tabla 42

Ingresos totales por instalación del servicio.

Ingresos por instalación del servicio			
Año	# Clientes	Costo del plan	Ingreso cada 2 años
1er y 2do año	15		\$1125.00
3ero y 4to año	15		\$1125.00
5to y 6to año	15	\$75.00	\$1125.00
7mo y 8vo año	15		\$1125.00
9no y 10mo año	13		\$975.00

Total**\$5475.00**

Fuente: Autoría propia

4.1.3. Egresos e Ingresos Totales

Una vez calculados los egresos e ingresos totales del proyecto, se procede a determinar el flujo de caja que se tiene, para determinar las ganancias que se podrían tener con el diseño. A continuación, en la tabla 43 se visualiza todo los egreso e ingresos acumulados por un total de 5 años.

Se explica las siguientes abreviaturas que van en la tabla 43, para su mejor entendimiento y comprensión.

- EI = Egreso de inversión
- ES = Egreso de salario
- EM = Egreso de movilización
- ET = Egreso de mantenimiento
- IS = Ingreso de prestación del servicio
- II = Ingreso de instalación

Tabla 43

Tabla de flujo de caja neto por año.

Años	Egresos totales				Ingresos totales			Flujo de caja	
	EI	ES	EM	ET	Total	IS	II		Total
0	\$27418.00	\$10200.00	\$2400.00	\$0.00	\$40018.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$-40018.00
1	0	\$10200.00	\$2400.00	\$274.18	\$12875.18	\$4500	\$1125.00	\$5625.00	\$-7250.18
2	0	\$10200.00	\$2400.00	\$274.18	\$12875.18	\$13500	\$1125.00	\$14625.00	\$1749.82
3	0	\$10200.00	\$2400.00	\$274.18	\$12875.18	\$27000	\$1125.00	\$28125.00	\$15249.82

4	0	\$10200.00	\$2400.00	\$274.18	\$12875.18	\$45000	\$1125.00	\$46125.00	\$33249.82
5	0	\$10200.00	\$2400.00	50.18	\$12875.18	\$66900	\$975.00	\$67875.00	\$54999.82

Fuente: Autoría propia

4.2. Valor Presente Neto

Gracias al Valor Presente Neto (VPN) se puede determinar si un proyecto es viable o no, el cual ayudara a una empresa a decidir si se invertiría o no un proyecto, para lo cual se tiene 3 campos, el primero es cuando el VPN es positivo que nos señala que el proyecto va a tener rentabilidad y ganancias, el segundo es cuando el VPN es igual a 0 lo que nos quiere decir que el proyecto no generara ganancias y por ultimo campo es cuando el VPN es negativo y nos señala que el proyecto va a tener pérdidas y no será viable. En la ecuación 30 se la fórmula del valor presente neto. (María Granel, 2022)

$$VPN = \sum_{t=i}^n \frac{FNE}{(1+i)^t} - b \quad \text{Ecuación [30]}$$

En donde:

- VPN= Valor Presente Neto
- t = Periodo
- FNE= Flujo Neto de Efectivo
- Io = Inversión inicial

Dentro del proyecto se va a utilizar el interés del 7.39% anual a enero del 2022 y probablemente este valor pueda variar según lo indica el Banco Central del Ecuador. El periodo t comprende un total de 10 años con incrementos cada 2 años. De esta manera en la ecuación 31 se observa el VPN resultante.

$$VPN = \frac{-7250.18}{(1 + 7.39\%)^1} + \frac{1749.18}{(1 + 7.39\%)^2} + \frac{15249.82}{(1 + 7.39\%)^3} + \frac{33248.82}{(1 + 7.39\%)^4}$$

$$+ \frac{54999.82}{(1 + 7.39\%)^5} - 40018.00$$

$$VPN = \frac{-7250.18}{1.07} + \frac{1749.18}{1.15} + \frac{15249.82}{1.23} + \frac{33248.82}{1.33} + \frac{54999.82}{1.42}$$

$$- 40018.00$$

$$VPN = -6775.87 + 1521.02 + 12398.23 + 24999.11 + 38732.27 - 40018.00$$

$$VPN = 30697.76$$

Ecuación [31]

Para este caso de estudio en específico se obtiene un valor del VPN mayor a cero, esto hace referencia en que el proyecto es viable. El proyecto genera ganancias a mediano plazo.

4.3. Periodo de Recuperación de la Inversión

El periodo de recuperación de inversión PRI (denominado por sus siglas), es el tiempo en el que se espera la recuperación económica de la inversión. Dicho periodo de recuperación se espera que entre más corto sea el tiempo de recuperación de la inversión menos riesgoso es el proyecto.

El cálculo del PRI se obtiene con la suma de los flujos de caja por cada año a la inversión, hasta obtener un valor PRI positivo. En la Ecuación [32], se puede apreciar el proceso del PRI.

$$\text{valor (+) o (-) del PRI} = -40018.00 + (-7250.18)$$

$$\text{valor (+) o (-) del PRI} = -47268.18 + 1749.82$$

$$\text{valor (+) o (-) del PRI} = -45518.36 + 15249.82$$

$$\text{valor (+) o (-) del PRI} = -30268.54 + 33249.82$$

$$\text{valor (+) o (-) del PRI} = 2981.28 \quad \text{Ecuación [32]}$$

Como se observa el último valor negativo es en el periodo de 4 años, por lo que para calcular el PRI se hace uso de la Ecuación [33], donde;

- a = Periodo del último flujo negativo
- b = Valor absoluto del último flujo negativo
- c = Valor del flujo de cada del siguiente periodo

$$PRI = a + \frac{|b|}{c}$$

$$PRI = 4 + \frac{|-30268.54|}{33249.82}$$

$$PRI = 4,91 \text{ años} \quad \text{Ecuación [33]}$$

Ahora es necesario realizar la conversión a días, meses y años, esto para tener una mejor apreciación del tiempo exacto, como se muestra en la Ecuación [34] y Ecuación [35].

$$\text{meses} = 0.91 \text{ años} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ años}}$$

$$\text{meses} = 10.92 \quad \text{Ecuación [34]}$$

$$\text{dias} = 0.92 \text{ meses} * \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}}$$

$$\text{meses} = 27.6 \sim 28 \text{ dias} \quad \text{Ecuación [35]}$$

Por lo antes expuesto, se puede determinar que el tiempo de recuperación de la inversión inicial sería en 4 años con 10 meses y 28 días.

4.4. Resumen de Análisis del VPN y PRI

Por lo antes expuesto, se observa que el VPN y el PRI son herramientas muy útiles para poder definir si un proyecto es viable haciendo referencia específicamente a la parte económica, debido a ello es importante realizar un análisis de los resultados antes obtenidos.

Anteriormente se definió que el VPN con un valor positivo mayor a cero. Esto hace que invertir en el proyecto es rentable en un mediano plazo, por lo que en mediano tiempo se empieza a percibir ganancias y se define que el proyecto es viable.

Al hacer referencia en específico a la herramienta PRI, da como resultado que el periodo de recuperación de la inversión para este proyecto es aproximadamente en 4 años con 10 meses y 28 días, es decir, que después de haber culminado este periodo, se tiene recuperada la inversión en su totalidad, y se empieza a generar ganancias.

De manera general se puede afirmar que el proyecto generará las ganancias esperadas a mediano plazo y que este proyecto se dimensiona a la cantidad mínima posible de abonados, por otra parte, se debe tener en cuenta que estas cifras de tiempo pueden variar, pero no lo harán de manera significativa.

El análisis económico del proyecto se lo realiza únicamente a mediano plazo, sin embargo, está dimensionado para operar al menos quince años, que es el tiempo que genera el permiso la ARCOTEL. Es por esto que se puede concluir que el proyecto

generará más ganancias a mayor plazo sin necesidad de tener gastos significativos como el de la inversión inicial, y únicamente en ámbitos como operación y mantenimiento.

CONCLUSIONES

Analizando la situación actual de la parroquia García Moreno, se diseñó una red de fibra sobre la arquitectura FTTH mediante la tecnología XG-PON cumpliendo con los requisitos de calidad y satisfaciendo las necesidades de los habitantes de esta, donde se proyecta un plan de 70Mbps de ancho de banda con un costo de \$25,

El dimensionamiento realizado para la red de fibra óptica de arquitectura FTTH con tecnología XG-PON es para un periodo de 10 años, debido al crecimiento anual que se tiene de abonados en la parroquia de García Moreno, la cual no es alta y en dicho periodo se podrá brindar cobertura del servicio de Internet a los 76 potenciales abonados, considerando un total de 256 usuarios para el cual se ha realizado el diseño de la red óptica.

Para la elección de equipos activos y pasivos se ha realizado un análisis minucioso con el fin que tenga una correcta operación para un periodo mínimo de 10 años, es por ello que se analizó las diferentes opciones que se tiene en el mercado y eligiendo a la marca Huawei, la que satisface los requisitos y requerimientos que conlleva el diseño de la red de fibra óptica con la tecnología XG-PON, los cuales brindarán un funcionamiento óptimo dentro de la arquitectura FTTH.

Gracias al análisis financiero que se realiza al finalizar el diseño, se puede determinar que el proyecto de fibra óptica para la parroquia de García Moreno es rentable, ya que el periodo de retorno de la inversión es de 4 años con 10 meses y 28 días, iniciando con una inversión de \$40018.00 y con un VPN de \$30697.76 que es superior a cero, ratificando la viabilidad del proyecto.

RECOMENDACIONES

Realizar una encuesta minuciosa que ayude a conocer la situación actual de la parroquia y poder satisfacer todas las necesidades de los habitantes y futuros usuarios del servicio de internet.

Es importante conocer la disponibilidad en el mercado tanto de los equipos activos como los equipos pasivos que se podrían utilizar en el diseño de la red para una futura implementación, facilitando la adquisición de estos.

Se recomienda seleccionar con cuidado la ubicación del nodo central y los diferentes equipos pasivos de la red, para su fácil acceso y eficiencia a la hora de manipularlos.

En cuanto a los cálculos del presupuesto de potencia y pérdidas ópticas es necesario trabajar con respecto a la normativa de la tecnología que se va a utilizar en el diseño de fibra óptica, para que los usuarios finales no se vean afectados en cuanto a la utilización del servicio.

Bibliografía

¿*Qué es una PON, passive optical network?* (n.d.). Retrieved March 15, 2022, from

<https://lafibraopticaperu.com/que-es-una-pon-passive-optical-network/>

Alibaba. (2022). *Mini Receptor Óptico Fttth Para Interiores/node Óptico Or16* .

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/Indoor-Mini-FTTH-Optical-Receiver-Optical-60295967915.html>

Anritsu. (2022). *Various Optical Amplifiers (EDFA, FRA, and SOA)* .

https://www.anritsu.com/en-au/sensing-devices/guide/optical-amplifier?fbclid=IwAR19JDM6w2ssjBcBmO6xiF_54TvK0bZFOF5FSDxreHn2ueB5Q2Kp1Lda_0

ARCOTEL. (2021). *Derechos y obligaciones de los abonados, clientes y usuarios –*

Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

<https://www.arcotel.gob.ec/derechos-de-los-abonados-clientes-y-usuarios/>

Azami, N. (2021, March 1). *FTTX access networks* . [https://ltemagazine.com/fttx-](https://ltemagazine.com/fttx-access-networks?fbclid=IwAR2xQ3wtWxwq-eKTe-Cc9e3vluCEVjSTZNxJZGVyKtKfURGIcBb3e_lvt3g)

[access-networks?fbclid=IwAR2xQ3wtWxwq-eKTe-Cc9e3vluCEVjSTZNxJZGVyKtKfURGIcBb3e_lvt3g](https://ltemagazine.com/fttx-access-networks?fbclid=IwAR2xQ3wtWxwq-eKTe-Cc9e3vluCEVjSTZNxJZGVyKtKfURGIcBb3e_lvt3g)

Barbosa, V., Metz, M., & Fernandes, G. (2018, June 4). *Redes Ópticas Passivas (PON)*

o Futuro das Redes. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia/futuro-das-redes>

Britannica. (n.d.). *Luz*. Retrieved March 1, 2022, from

<https://www.britannica.com/science/light/Total-internal-reflection>

Coach Electronics. (2022). *Diferencia entre fibra óptica monomodo y multimodo*

Electronics Coach. <https://electronicscoach.com/difference-between-single-mode->

and-multimode-optical-fiber.html

conectronica. (2016, December 2). *Cajas de distribución* .

<https://www.conectronica.com/fibra-optica/cajas-de-distribucion?start=20>

Derek. (2021, December 20). *Fiber Connector Types - LC vs SC vs FC vs ST vs MTP vs*

MPO. <https://www.qsfptek.com/article/fiber-connector-types-lc-sc-fc-st-mtp-mpo>

Dominguez, P. (2020, June 2). *En qué consiste el modelo en cascada*.

<https://openclassrooms.com/en/courses/4309151-gestiona-tu-proyecto-de-desarrollo/4538221-en-que-consiste-el-modelo-en-cascada>

El Heraldo. (2020, July 1). *Internet para García Moreno*.

<https://www.elheraldo.com.ec/internet-para-garcia-moreno/>

Fast-Track. (2022). *Fibre Optic Broadband (FTTC)*. [https://www.fast-](https://www.fast-tracktelecom.co.uk/services/internet-access/fibre-optic-broadband/)

[tracktelecom.co.uk/services/internet-access/fibre-optic-broadband/](https://www.fast-tracktelecom.co.uk/services/internet-access/fibre-optic-broadband/)

Fiber Savvy. (2021). *Paneles de conexión de fibra de montaje en pared*.

<https://www.fibersavvy.com/blogs/news/wall-mount-patch-panels>

FOSCO. (2022). *Basic Concepts of Optical Receivers* .

<https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/wave-optics/basic-concepts-of-optical-receivers>

Fosco Connect. (2022). *Pérdida y atenuación de fibra óptica* .

<https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95048006-optical-fiber-loss-and-attenuation>

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia García Moreno 2014 – 2019*.

<https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes->

programas/PDOT/Parroquial/PDOT GARCIA MORENO.pdf

Grazzini, H. O. (2020). *Fibras ópticas: conceptos teóricos y aplicaciones prácticas*.

230. <https://elibro.net/es/lc/uteq/titulos/175155>

Groves, M. (2019, October 4). *¿Cómo funcionan realmente los cables de fibra óptica?* –

Dwarvin Enterprises, Ltd. <https://www.dwarvin.com/blogs/stories/how-do-fiber-optic-cables-work>

Guzman, A. (2018). *DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO EN UN*

SECTOR RESIDENCIAL PARA PROVEER SERVICIOS TRIPLE

PLAY UTILIZANDO TECNOLOGÍA DE RED GPON (GIGABIT ETHERNET

PASSIVE OPTICAL NETWORK) PARA LA EMPRESA TELCONET S.A.

<https://docplayer.es/94763280-La-version-digital-de-esta-tesis-esta-protegida-por-la-ley-de-derechos-de-autor-del-ecuador.html>

ITU-T. (2012). 10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems:

Definitions, abbreviations and acronyms. *ITU-T Recommendation G.987*, 1–19.

ITU-T. (2019). *ITU-T Rec. G.984.2 (08/2019) Gigabit-capable passive optical networks*

(GPON): Physical media dependent (PMD) layer specification.

<http://handle.itu.int/11.1002/1000/11>

IVY HTFuture. (2019). *What are the differences between GPON, XG-PON and XGS-*

PON? | by IVY HTFuture | Medium. <https://medium.com/@ivyhtfuture/what-are-the-differences-between-gpon-xg-pon-and-xgs-pon-eddbd6576b7d>

John. (2021, December 6). *¿Qué es un divisor de fibra óptica?* .

<https://community.fs.com/blog/what-is-a-fiber-optic-splitter-2.html>

Johnson, L. (2019, May 1). *La evolución de las ventanas de transmisión de la fibra*

óptica . <https://isemag.com/2019/05/fiber-optic-transmission-windows/>

Juniper Networks. (2022, January 7). *Pérdida, atenuación y dispersión de señales de cable de fibra óptica* .

<https://www.juniper.net/documentation/us/en/hardware/mx960/acx1000/topics/concept/fiber-optic-cable-signal-loss-attenuation-dispersion-understanding.html>

JUNPU. (2021). *El 100km popular 2 externo Mdoulation del transmisor óptico 8dbm de los puertos 1550nm*. <https://spanish.fiberopticdistributionbox.com/sale-11518805-popular-100km-2-ports-1550nm-optical-transmitter-8dbm-external-mdoulation.html>

Konstadinidis, C., Sarigiannidis, P., Chatzimisios, P., Raptis, P., & Lagkas, T. D. (n.d.). *A Multilayer Comparative Study of XG-PON and 10G-EPON Standards*.

La Fibra Óptica. (n.d.). Retrieved February 28, 2022, from

<https://docs.google.com/document/d/1hiALFZuO9LhPUgJrM0K9EevBi48CjRyLP5iFAywCP0Y/edit#>

Llumiquinga, D., & Mullo, C. (2008). *ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA REDUNDANTE DE FIBRA ÓPTICA QUITO-GUAYAQUIL PARA LA RED DE TELCONET S.A.* [EPN]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/993/1/CD-1295.pdf>

Lopez, C. (2017, October 29). *Cuatro tipos comunes de conectores de fibra óptica* . <https://medium.com/@clopez.stark/cuatro-tipos-comunes-de-conectores-de-fibra-óptica-4ada21a95541>

Meneses, S. (2016). *DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA OPTICA FTTH EN LA PARROQUIA DE SAN ANTONIO DE IBARRA PARA CNT-EP*.

[http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5614/1/04 RED 117 TRABAJO DE GRADO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5614/1/04_RED_117_TRABAJO_DE_GRADO.pdf)

MINTEL. (2017). *ACUERDO MINISTERIAL No. 018-2017*.

<https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/Auerdo-018-2017.pdf>

Mirakhur, V. (2021, December 30). *Descubramos la fibra hasta el hogar (FTTH)*.

<https://www.stl.tech/blog/ftth/>

Morellato, F. (2018, December 27). *FTTx, FTTH! Afinal, quem são esses caras?* .

<https://www.blog.ipv7.com.br/tecnica/fttx-ftth-afinal-quem-sao-esses-caras/>

Nave, O. (n.d.). *Blue Sky and Rayleigh Scattering*. Retrieved March 8, 2022, from

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/atmos/blusky.html>

Paschotta, R. (n.d.). *Refracción*. <https://doi.org/10.1103/PHYSREVB.58.R10096>

Peñate, L. (2019). *Fuente óptica rápida para la distribución de claves cuánticas basada*

en amplificadores ópticos semiconductores. <https://wpo->

[alarttechnology.com/es/fast-optical-source-for-quantum-key-distribution-based-on-semiconductor-optical-amplifiers/](https://wpo-
alarttechnology.com/es/fast-optical-source-for-quantum-key-distribution-based-on-semiconductor-optical-amplifiers/)

Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida. (n.d.). Retrieved January 13,

2022, from www.planificacion.gob.ec

PREFECTURA DE IMBABURA. (2019). *PLAN DE DESARROLLO Y*

ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE IMBABURA

GEOPARQUE MUNDIAL DE LA UNESCO. 1–20.

<https://www.imbabura.gob.ec/sil/actualizacion->

[pdot/diagnostico/ficha_territorial_imbabura_04032020.pdf](https://www.imbabura.gob.ec/sil/actualizacion-
pdot/diagnostico/ficha_territorial_imbabura_04032020.pdf)

- Rahmany, N. (2018, June 20). *Metodología de prueba de software V-Model, Agile, Waterfall, Spiral*. <https://productivehut.com/v-model-agile-waterfall-spiral/>
- Rio, E. (2015, August 28). *Equipos utilizados en las instalaciones FTTH de Movistar (7ª parte): Radio de curvatura en los cables de fibras*. <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/2015/08/28/equipos-utilizados-en-las-instalaciones-ftth-de-movistar-7a-parte-radios-de-curvatura-de-los-cables/>
- Ruiz, M. (2019). *DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA FTTH PARA BRINDAR EL SERVICIO DE INTERNET A LOS USUARIOS DE LA EMPRESA REDECOM EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE OTAVALO*. Universidad Técnica del Norte.
- Sinha, S. (2021, May 28). *FTTx & FTTh: Desglose de los expertos en el reino | STL Blog*. <https://www.stl.tech/blog/fttx-ftth-an-encyclopedic-breakdown-from-the-experts-in-the-realm/>
- VIAVI Solutions Inc. (2022). *Passive Optical Network (PON)*. <https://www.viavisolutions.com/en-us/passive-optical-network-pon?fbclid=IwAR1BD8w4SxXDI5fLizD4dvPUUFA8V1bjnkho3dTJSjJXAB2a0TUjcrZzUnc>
- Watson, D. (2022, January 10). *¿Cuál es la diferencia entre FTTC y FTTP, y por qué debería importarle?* <https://es.vsolcn.com/blogs-detail/whats-the-difference-between-fttc-and-fttp-and-why-should-you-care-20>

ANEXOS

ANEXO 1: Encuesta

ENCUESTA ACERCA DEL SERVICIO DE INTERNET EN LA PARROQUIA DE GARCIA MORENO

Estimado encuestado por favor lea cada pregunta detenidamente y conteste con sinceridad, esta encuesta tiene como objetivo definir la situación actual acerca del servicio de internet en la parroquia García Moreno.

1. ¿Qué edad tiene? _____
2. Género: Masculino _____ Femenino _____ Otros _____ (_____)
3. ¿A qué se dedica? Estudia Trabaja _____ Otros _____ (_____)
4. ¿En qué sector vive? _____
5. ¿Dispone en su domicilio de servicio de internet?
SI _____ NO _____
De ser afirmativa su respuesta continúe a la pregunta número 7.
6. ¿Le gustaría contar con el servicio internet por Fibra Óptica?
SI _____ NO _____
7. Su proveedor de internet actual le entrega el servicio a través de:
Antena _____
Cable de cobre (Teléfono convencional) _____
Cable Coaxial (Cable de TV) _____
Fibra Óptica _____
8. ¿Cuál es la velocidad de su internet actual?

1Mbps		6Mbps		15Mbps	
2Mbps		7Mbps		20Mbps	
3Mbps		8 Mbps		25Mbps	
4Mbps		9 Mbps		30Mbps	
5Mbps		10 Mbps		50Mbps	

9. ¿Tiene cortes y/o intermitencias en el servicio?
SI _____ NO _____

10. Selecciones 3 actividades principales para lo que utiliza el internet.

Investigaciones / Consultas	
Clases en línea	
Llamadas por internet	
Video llamadas por internet	
TV por internet	

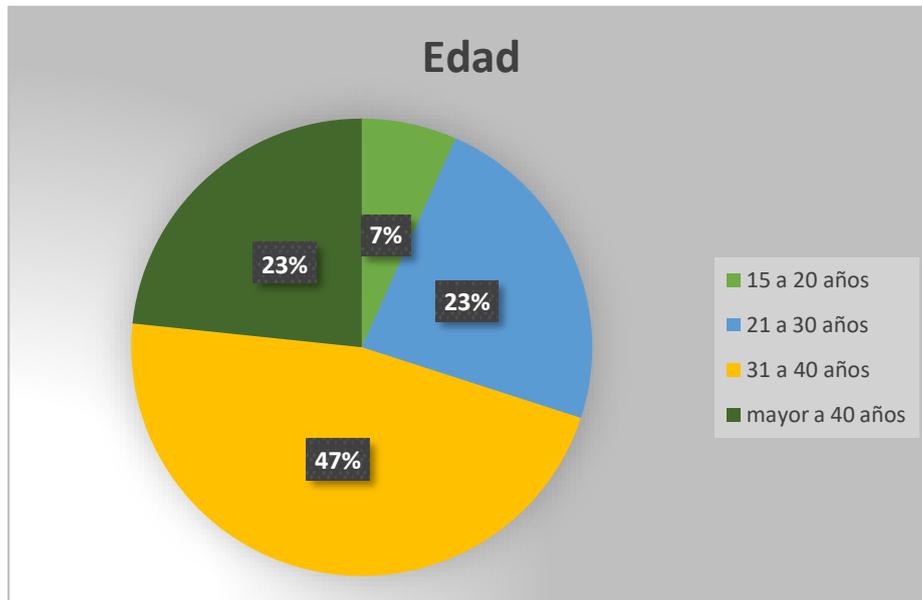
NETFLIX	
YOUTUBE	

11. ¿Está de acuerdo que se implemente el servicio de servicio internet por fibra óptica?

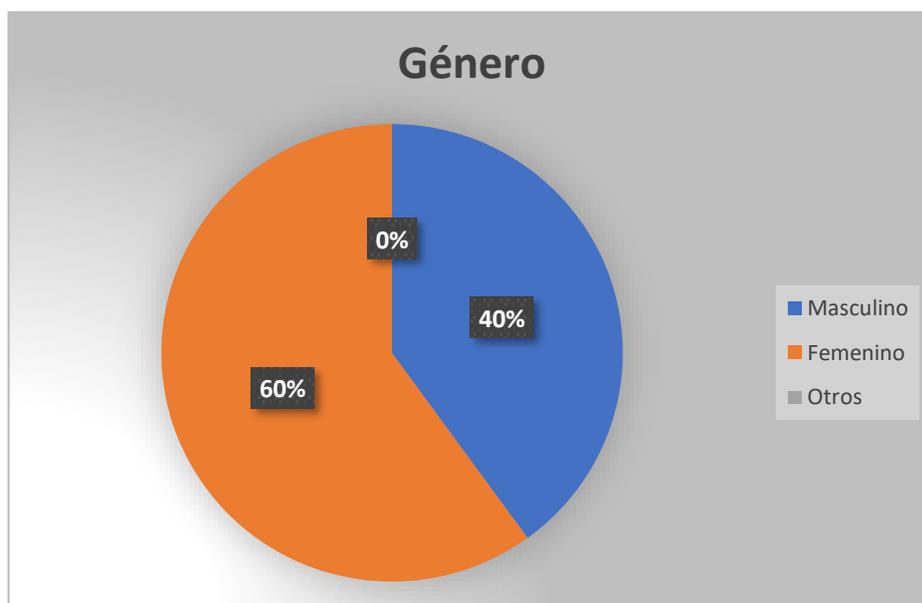
SI ___ NO ___

Anexo 2: Tabulación datos obtenidos

Tabulación pregunta 1:



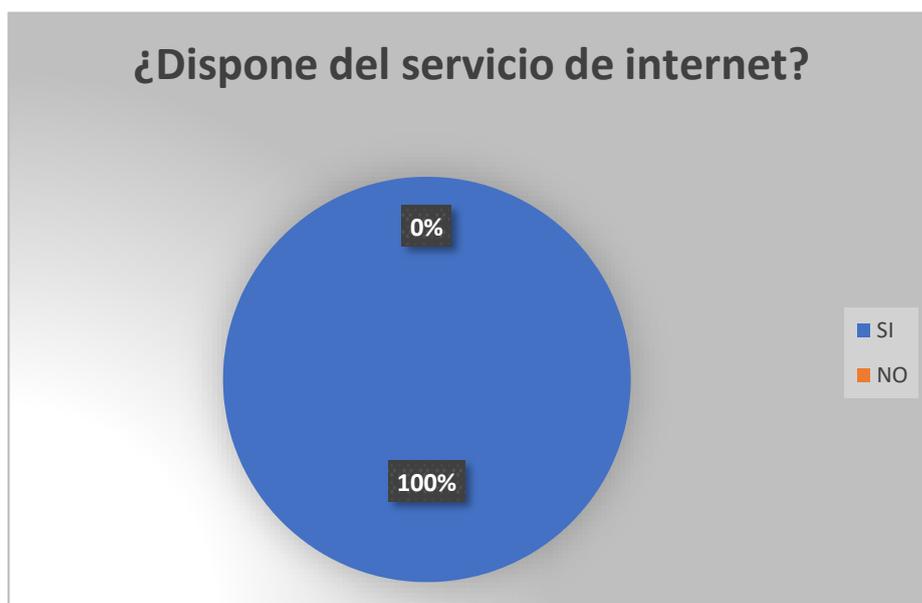
Tabulación pregunta 2:



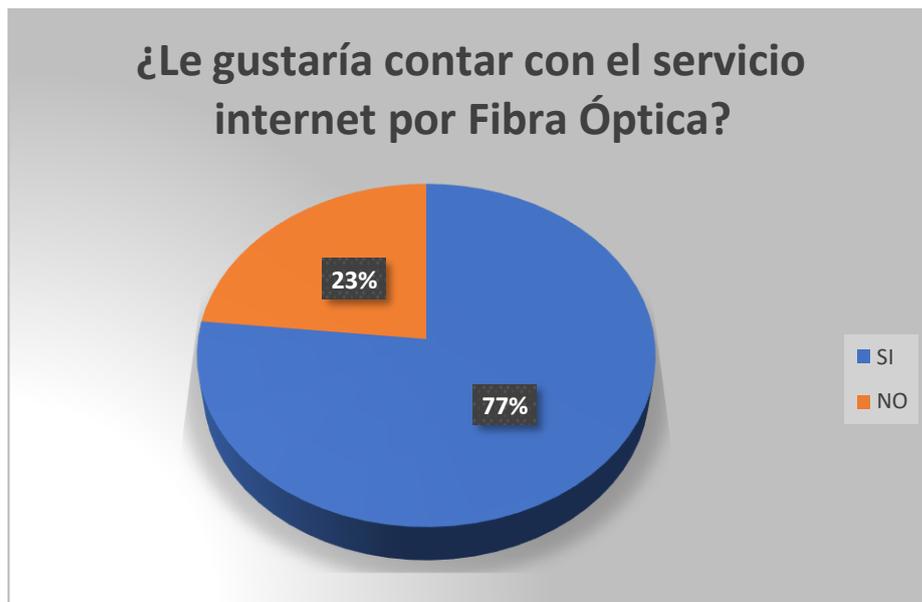
Tabulación pregunta 3:



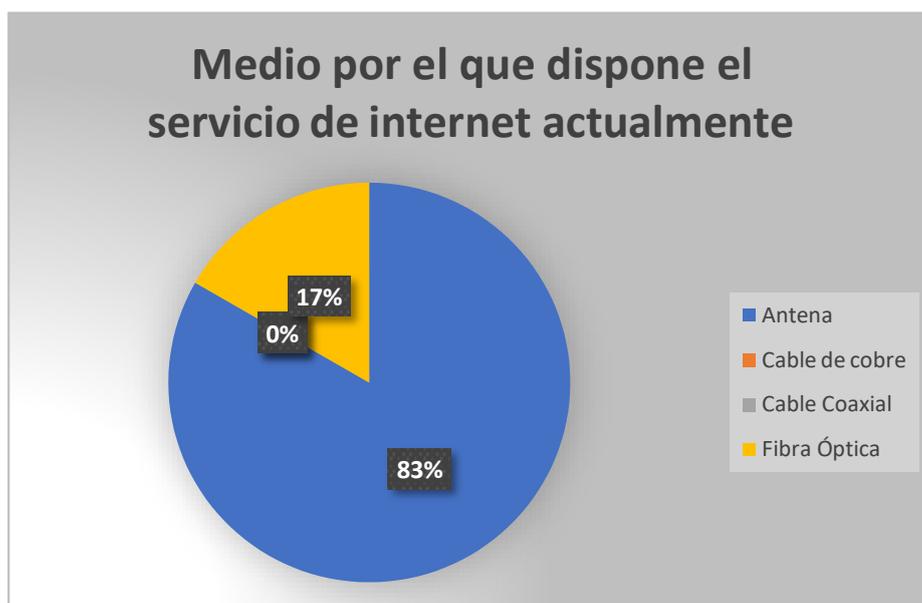
Tabulación pregunta 4:



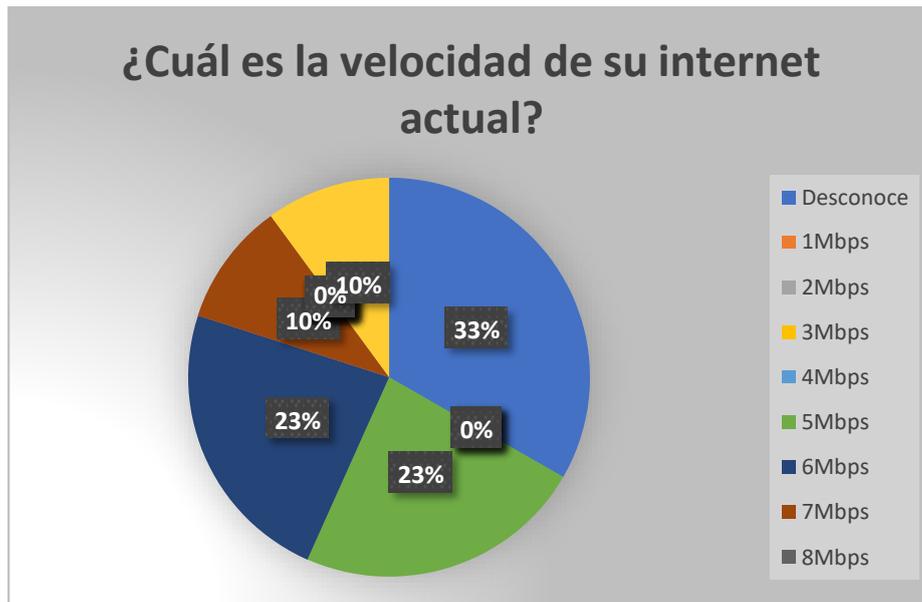
Tabulación pregunta 5:



Tabulación pregunta 6:



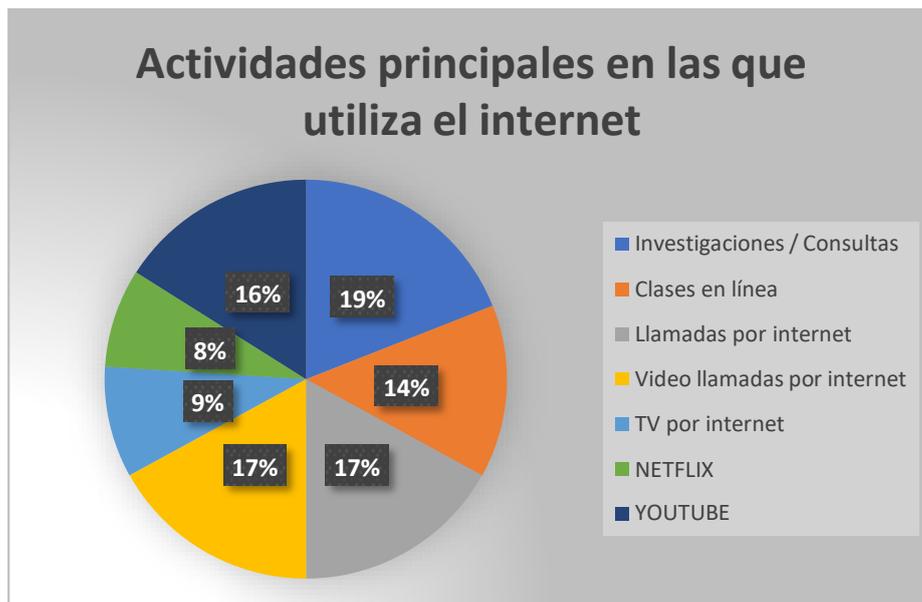
Tabulación pregunta 7:



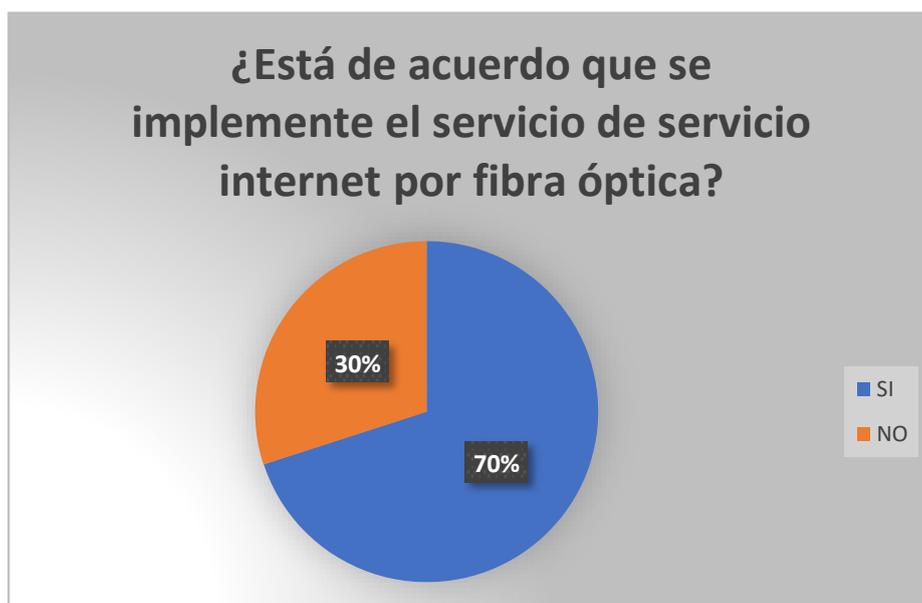
Tabulación pregunta 8:



Tabulación pregunta 9:



Tabulación pregunta 10:



Anexo 3. Datasheet OLT

Huawei MA5608T - Mini OLT (Optical Line Terminal)

Compact design supporting flexible deployment of xPON, VDSL2+POTS Combo, and Ethernet for residential or business service applications.

Product Highlights

Compact and modular design: 2 RU, 19" rack mounting, 12" depth.

I/O Slots: 2 slots for service cards, 2 slots for switch and control cards, 1 slot for redundant power input.

Switch and control card with uplink ports: 60 Gbps switch card with integrated 2 port 10GbE and 2 port 1GbE WAN uplinks.

Service cards: 8 or 16 port GPON, 4 port XG-PON1, 48 port VDSL2+POTS Combo.

All service cards are interchangeable with other MA5600 Series OLTs.

Large capacity in Small Size –

- 200 Gbps backplane
- 20 Gbps/slot capacity
- 120 Gbps load sharing switching capacity
- 2x10 Gbps uplink capacity

Advanced Layer 2 Functions –

- QoS with traffic classification and L2 forwarding policy
- Standard VLAN, QinQ VLAN, VLAN stacking
- Flexible QinQ VLAN tagging
- DHCP Option 82 in L2 mode
- MEF-9 & MEF-14 certification

L3 Functions for maximum deployment flexibility –

- ARP, ARP proxy
- DHCP relay, DHCP proxy
- Static routing
- Dynamic routing: RIP, OSPF, ECMP
- Multicast: IGMP v2/v3, IGMP proxy, IGMP snooping

High Reliability –

- WAN uplink redundancy: BFD, MSTP, LACP, RSTP, RRRP
- Fiber redundancy with 50ms switchover
- Carrier Class Availability: Dual switch and control card, dual power input, PON port redundancy



The MA5608T Mini OLT is designed to address Fiber to the premise (FTTP) or deep fiber deployment scenarios where a large OLT chassis may not be the best fit for a variety of reasons. Huawei's mini OLT MA5608T is designed to be the perfect complement to the other MA5600 series larger OLTs and offers the same carrier grade features and performance.

MA5608T's compact and front access design make it an ideal solution for deployments in locations such as space-constrained huts, outdoor cabinets or building basements. It has AC and DC powering options, extended temperature range, and offers easy installation.

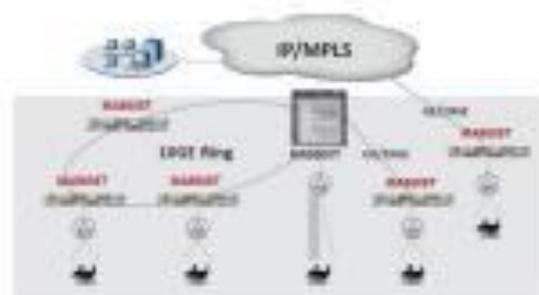
Designed to support ever-increasing bandwidth demand, MA5608T has 200 Gbps backplane. The combination of the high-capacity and line interfaces with best-in-class performance allows the operators to deliver a range of services for maximum revenue at highly competitive cost points.

The MA5608T shares the same product architecture with the MA5600 series OLTs to allow seamless network growth. It features:

- Shared services cards including GPON, XG-PON1 and VDSL2+POTS Combo. Any card, any slot in any combination.
- Dual switching and control cards for redundancy and loadsharing with GE and 10GE uplinks.
- Same software features and functions as other MA5600 series OLTs and interoperability with a large suite of ONTs, DSL CPEs, and Softswitches for voice service.

Product Features

GPON	<ul style="list-style-type: none"> • 16 ports per card or 8 ports per card • Robust Compliance to G.984 Series standards with 2.5/1.2 Gbps downstream and 1.2Gbps line speed performance • Support for B+ or C+ optical modules (SFPs) with max 40km differential distance • Up to 1:128 split ratio per GPON port • Optical Power Monitoring, Real Time Rogue OLT detection/isolation
XG-PON1	<ul style="list-style-type: none"> • 4 ports per card • Fully compatible with GPON - compliance G.987 Series standards with 10/2.5 Gbps line speed performance • Supports XFP optical modules
VDSL2+POTS Combo	<ul style="list-style-type: none"> • 48 VDSL2 and POTS integrated ports with up to 17a profile • Two-pair bonding for maximum speed • G.INP (G.998.4) support for re-transmission at the physical layer • Built-in support for SBLT, DELL, and MELT • POTS line Loop-Start Operation • Ringing Mode - Balanced ringing with -15VDC offset on "Ring" • Multiple CODECs - G.711 (µ-Law and A-Law), G.729, G.723, G.726



MAS608T can be deployed in many different scenarios including:

- Direct interface to IP/MPLS networks
- Sub-tended via an aggregation node, e.g. MAS600T
- In a ring topology with MAS600T serving as the master node

Product Specifications

Powering Options	DC: -38.4VDC to -72VDC; AC: 100V to 240V
Dimensions (Height x Width x Depth)	3.47in x 17.4in x 9.63in
Operating Temperature	-40° F to +140° F
Storage Temperature	-40° F to +158° F
Cooling	Two multispeed fans, providing left to right forced air flow
Weight	7.8 lbs (3.55 kg) empty
Operating Humidity	5% to 85%, non-condensing, Altitude: 197 ft (60 m) below sea level to 13,123 ft (4,000 m) above sea level
Regulatory and Safety	UL listed, FCC, NEBS Level 3



Huawei Technologies (USA)
5700 Tennyson Pkwy., Ste 500
Plano, TX 75024
Main: 214-919-6000
Email: usasales@huawei.com

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2014.
All rights reserved. The information contained in this document is for reference purpose only and is subject to change or withdrawal according to specific customer requirements and conditions.

Huawei is a leading global provider of communication telecom networks and is currently serving 45 of the world's top 50 telecom operators to support the communications of one-third of the world's population. The company is committed to providing innovative and customized products, services and solutions to create long-term value and growth potential for its customers.

For more information, please visit www.huawei.com/us.

Anexo 4. Datasheet ONT

ONT Huawei GPON HG8546M



Foto 1: ONT Huawei GPON HG8546M

1. Datos Generales

Hg8546m es una terminal de red óptica (ONT), un puente casero de alta gama en solución FTTH. Al utilizar la tecnología GPON, el acceso ultra-banda ancha se proporciona para los usuarios de hogar y empresarial.

Cuenta con capacidades de reenvío de alto rendimiento para garantizar una excelente experiencia con servicios de vídeo VoIP, Internet y HD. Por lo tanto, El hg8546m proporciona una solución de terminal perfecta y una capacidad de apoyo al servicio orientado al futuro para el despliegue FTTH.

2. Configuración

Modelo	Configuración					Dimensiones / piezas
	LAN	Teléfono	Wifi	PPPOE	Firmware	
HG8546M	1GE + 3FE	1 puntos	sí	sí	Inglés	250 * 185 * 35 mm 10.44kgs
Observaciones	Antena externa					

3. Aplicación y Ventaja

1. Completamente compatible con ITU-T G.984.
2. Soporte de limitación de velocidad basada en puertos y control de ancho de banda
3. Función de configuración remota y mantenimiento OMCI integrada.
4. Soporte de encriptación de datos, difusión de grupo, separación Vlan de puerto, RSTP, etc.
5. Admite la asignación dinámica de ancho de banda (DBA)
6. Apoyar el auto descubrimiento de ONT / detección de enlace / actualización remota del software;
7. Apoye la división de VLAN y la separación del usuario para evitar la tormenta de la difusión;
8. Apoyar la función de alarma de apagado, fácil para la detección de problemas de enlace
9. Apoyar la función de resistencia de tormenta de difusión
10. Compatibilidad con el aislamiento del puerto entre diferentes puertos
11. Soporta ACL y SNMP para configurar el filtro de paquetes de datos de manera flexible
12. Diseño especializado para la prevención de desglose del sistema para mantener un sistema estable
13. Software de soporte de actualización en línea
14. Gestión de la red EMS basada en SNMP, conveniente para el mantenimiento

4. Especificaciones

It.	Parámetro
Interfaz PON	1 * Interfaz GPON, SC monomodo / fibra única, enlace ascendente 1.25Gbps, enlace descendente 2.5Gbps
Usuario Interfaz Ethernet	4 * FE / GE interfaces de adaptación automática de Ethernet, conectores RJ45, 1 * WIFI
Interfaz de energía	Fuente de alimentación de CC 12V Un adaptador de alimentación externo de 12V 1A CA / CC
PON Óptico Parámetro	Longitud de onda: Tx 1310nm, Rx1490nm Potencia óptica de Tx: -1 ~ 4dBm Sensibilidad Rx: -28dBm Potencia óptica de saturación: -3dBm Tipo de conector: SC Fibra óptica: fibra monomodo 9 / 125um
Datos Parámetro de transmisión	Rendimiento de PON: aguas abajo 950Mbps; Upstream 930Mbps Ethernet: 4 * 100Mbps Proporción de pérdida de paquetes: <1 *="*> latencia: <=
Administración de redes	Monitor de estado, gestión de configuración, gestión de alarmas, gestión de registros