



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

***“DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO POR FIBRA ÓPTICA BASADA EN
TECNOLOGÍA XG-PON PARA CUMPLIR CON OBJETIVOS DE EXPANSIÓN DE LA
EMPRESA PROFYBER S.C. EN LA PARROQUIA SAN BLAS DE URCUQUÍ”***

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

AUTOR: IBETH ALEXANDRA TARAPUES MENA

DIRECTOR: MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

ASESOR: MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA

Ibarra-Ecuador

2023



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 IDENTIDAD	040168771-0		
APELLIDOS Y NOMBRES	Tarapues Mena Ibeth Alexandra		
DIRECCIÓN	Paraguay 6-49 y Uruguay		
E-MAIL	iatarapuesm@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	-	TELÉFONO MÓVIL	0982804796

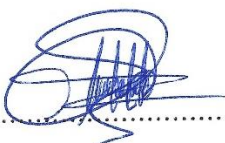
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	“Diseño de una red de acceso por fibra óptica basada en tecnología XG-PON para cumplir con objetivos de expansión de la empresa Profyber S.C. en la parroquia san Blas de Urcuquí”
AUTOR	Tarapues Mena Ibeth Alexandra
FECHA	20 de abril de 2023
PROGRAMA	Pregrado
TÍTULO	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación

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 20 días del mes de abril de 2023

EL AUTOR



.....

Ibeth Alexandra Tarapues Mena

CI: 040168771-0



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 ACCESO POR FIBRA ÓPTICA BASADA EN TECNOLOGÍA XG-PON PARA CUMPLIR CON OBJETIVOS DE EXPANSIÓN DE LA EMPRESA PROFYBER S.C. EN LA PARROQUIA SAN BLAS DE URCUQUÍ" Ha sido desarrollado por la señorita Ibeth Alexandra Tarapues Mena 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 mis padres Carlos y Eldy que han sido el pilar fundamental para hacerme la persona fuerte que ahora soy, que con su amor y ejemplo han sabido conducirme por el camino correcto, han estado para ser mi hombro en mis peores momentos y han sido mis mejores cómplices para compartir mis alegrías. Han sido la fuerza para no rendirme jamás y siguen siendo mi motivación para alcanzar mis sueños sin importar el precio.

A mis hermanos Fernando y Juan Carlos que son mi complemento perfecto para esos ratos de alegrías y diversión, porque siempre han estado ahí para animarme a arriesgarme a cumplir mis metas, porque siempre están dando una mano de apoyo cuando los necesito y un abrazo de aliento cuando estoy triste.

A mis abuelitos Carmela, Luz y Luis por ser mis protectores, quienes desde niña me inculcaron amor y respeto por los demás, porque siempre han sido una guía de rectitud y ejemplo de amor sincero, sin ellos en mi vida no habría sido tan feliz.

Ibeth Tarapues Mena

AGRADECIMIENTO

Un valor primordial en el ser humano es la gratitud con lo bueno y malo que la vida nos presenta, pues son las cosas que nos han construido cómo las personas que somos, por eso a través de estas palabras quiero agradecer profundamente a mi mami Eldy, mi papi Carlos, mis hermanos Fernando y Juan Carlos, por ser el motor que me da la fuerza para enfrentar cualquier obstáculo en la vida, porque sus palabras de aliento y cariño me han llevado a caminar hasta esta meta.

Quiero también agradecer a todos mis maestros que a lo largo de todos estos años universitarios han sido el aliento que he necesitado más de una vez para no rendirme, que con paciencia me han transmitido sus conocimientos y me han enseñado a ser una buena profesional. Muchas gracias ing. Carlos Vásquez porque siempre ha estado para tenderme una mano de apoyo, regañarme por mis errores y elogiar mis logros; y de forma especial al ing. Jaime Michilena por ser ese maestro y sobre todo amigo que ha estado para apoyarme en mis peores momentos y no permitirme rendirme, gracias por sus conocimientos y su amistad, porque es de esas personas que dejan una huella bonita en la vida de las personas que tienen la fortuna de conocerlo.

ÍNDICE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	I
CONSTANCIAS	¡Error! Marcador no definido.
CERTIFICACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT	XIX
1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES.....	1
1.1. Tema	1
1.2. Problema	1
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Alcance	3
1.5. Justificación	5
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Fibra Óptica.....	7
2.2. Principios Físicos de la Fibra Óptica.....	9
2.2.1. Índice de Refracción.....	9
2.2.2. Reflexión	10
2.2.3. Refracción.....	10
2.2.4. Reflexión Interna Total.....	12
2.2.5. Ángulo de Aceptación y Apertura Numérica	13

2.3. Tipos de Fibra Ópticas.....	14
2.3.1. Fibra Óptica Multimodo	14
2.3.2. Fibra Óptica Monomodo	15
2.4. Tipos de Pérdidas en la Fibra Óptica	17
2.4.1. Atenuación.....	17
2.4.2. Pérdidas por Absorción de Material	18
2.4.2.1. Absorción Intrínseca.	18
2.4.2.2. Absorción Extrínseca.	19
2.4.3. Pérdidas por Dispersión Lineal	20
2.4.3.1. Dispersión de Rayleigh.	21
2.4.3.2. Dispersión de Mie.	22
2.4.4. Pérdidas por Dispersión No Lineal.....	22
2.4.4.1. Dispersión Estimulada de Brillouin.	23
2.4.4.2. Dispersión Estimulada de Raman.	23
2.4.5. Pérdidas por Curvaturas	24
2.4.5.1. Macro curvaturas.....	24
2.4.5.2. Micro curvaturas.	25
2.4.6. Ventanas de Transmisión de la Fibra Óptica.....	25
2.5. Dispersión en la Fibra Óptica	28
2.5.1. Dispersión Modal	29
2.5.2. Dispersión Cromática	29
2.5.2.1. Dispersión Cromática de Material.	30
2.5.2.2. Dispersión Cromática de guía de onda.	30
2.5.3. Dispersión de modo de polarización	31
2.6. Componentes Básicos de los Sistemas de Comunicación Ópticos.....	32
2.6.1. Transmisores Ópticos	32
2.6.1.1. Emisor LED.	32

2.6.1.2. Emisor Laser.....	33
2.6.2. Receptores Ópticos.....	33
2.6.2.1. Detector PIN.....	33
2.6.2.2. Detector APD.....	34
2.6.3. Cables de Fibra Óptica.....	34
2.6.3.1. Cables de Estructura Holgada.....	35
2.6.3.2. Cables de Estructura Ajustada.....	36
2.6.3.3. Cables Aéreos.....	37
2.6.4. Conectores.....	38
2.6.4.1. Conector SC.....	38
2.6.4.2. Conector FC.....	39
2.6.4.3. Conector ST.....	40
2.6.4.4. Conector LC.....	40
2.6.5. Divisores Ópticos.....	41
2.6.6. ODF.....	42
2.7. Redes de Acceso Óptico FFTX.....	43
2.7.1. FTTN.....	44
2.7.2. FTTC.....	45
2.7.3. FTTB.....	46
2.7.4. FTTH.....	46
2.8. Redes Ópticas Pasivas.....	47
2.8.1. Arquitectura PON Fundamental.....	48
2.8.2. Componentes de Red PON.....	49
2.8.3. Flujos de Tráfico en una red PON.....	50
2.8.4. Tipos de redes PON.....	51
2.8.4.1. APON.....	51
2.8.4.2. BPON.....	51

2.8.4.3. EPON.	51
2.8.4.4. 10G-EPON.	52
2.8.4.5. G-PON.	52
2.8.4.6. XG-PON.	53
2.8.4.7. NG-PON2.	53
2.9. Redes XG-PON.....	53
2.9.1. Arquitectura de XG-PON	54
2.9.2. Requisitos de la capa física de XG-PON.....	55
2.9.2.1. Características de la Fibra.	55
2.9.2.2. Longitudes de Onda Ópticas.	56
2.9.2.3. Velocidades de Transmisión.	56
2.9.2.4. Presupuesto de Potencia.....	56
2.9.2.5. Relación de División.....	56
2.9.2.6. Distancia de la Fibra.	56
2.9.3. Requisitos a Nivel de Sistema	57
2.9.3.1. Ahorro de energía y eficiencia energética.....	57
2.9.3.2. Autenticación, identificación y cifrado.....	57
2.9.3.3. Asignación dinámica de ancho de banda.	58
2.9.3.4. Seguridad ocular.	58
3. CAPÍTULO III: SITUACIÓN ACTUAL.....	59
3.1. Situación Actual de la Parroquia.....	59
3.1.1. Ubicación.....	59
3.1.2. Territorio.....	60
3.1.3. Población	61
3.1.4. Proyección de Población	63
3.1.5. Acceso al Servicio de Internet.....	65
3.2. Situación Actual de la Empresa	65

3.3. Opinión de los Pobladores	66
3.3.1. Tamaño de la Muestra	67
3.3.1.1. Tamaño de la Población.....	68
3.3.1.2. Margen de Error.....	68
3.3.1.3. Nivel de Confianza.....	68
3.3.1.4. Desviación Estándar.....	68
3.3.1.5. Cálculo de la Muestra.....	68
3.4. Análisis de la Encuesta.....	70
3.4.1. Pregunta 1	71
3.4.2. Pregunta 2.....	71
3.4.3. Pregunta 3.....	71
3.4.4. Pregunta 4.....	72
3.4.5. Pregunta 5.....	72
3.4.6. Pregunta 6.....	72
4. CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA	73
4.1. Parámetros y Criterios de Diseño de la Red	73
4.1.1 Delimitación de la Ubicación de la Red	73
4.1.2 Proyección de Abonados	74
4.1.3 Especificaciones de las Redes XG-PON	75
4.1.4 Arquitectura de acceso	76
4.1.5 Topología de División Óptica	77
4.1.6 Salida Internacional	79
4.1.7 Criterio de Ubicación de los Equipos de Red.....	81
4.1.7.1. Criterio de Ubicación de la OLT.....	81
4.1.7.2. Criterio de Ubicación de los Armarios Ópticos de Primer Nivel.	83
4.1.7.3. Criterio de Ubicación de los Armarios Ópticos de Segundo Nivel.	83
4.1.8 Tipo de Fibra Óptica.....	83

4.1.8.1. Fibra Óptica UIT-T G.652D.	84
4.1.8.2. Fibra Óptica UIT-T G.657A.	85
4.2 Selección de Equipos y Materiales para la Red	87
4.2.1 OLT	88
4.2.2 ODF	93
4.2.3 NAP de primer orden.....	94
4.2.4 NAP de segundo orden.....	97
4.2.5 Cable para la Red Troncal	100
4.2.6 Cable para la Red de Distribución.....	102
4.2.7 Cable para la Red de Dispersión	104
4.2.8 Roseta	106
4.2.9 ONT.....	108
4.3 Diseño de la Red XG-PON.....	110
4.3.1 Software de Diseño RedFTTH	110
4.3.2 Simbología.....	112
4.3.3 Red Troncal	113
4.3.3.1. Ubicación y Descripción de la OLT.	114
4.3.3.2. Ruta de la Red Troncal.....	115
4.3.3.3. Ubicación y Descripción de las NAP de primer nivel.	117
4.3.3.4. Ubicación y Descripción de las reservas de la Red Troncal.....	120
4.3.4. Red de Distribución.....	125
4.3.4.1. Rutas de las Redes de Distribución.....	125
4.3.4.2. Ubicación y Descripción de las NAP de segundo nivel.....	131
4.3.4.3. Ubicación y Descripción de las Reservas en la Red de Distribución.	144
4.3.5 Red de Dispersión.....	151
4.3.5 Diseño Final de la Red.	153
4.4. Presupuesto de Potencia y Presupuesto de Pérdidas Óptica.....	156

4.4.1. Parámetros de transmisión de OLT y ONT	157
4.4.2. Cálculo del Presupuesto de Potencia y Perdidas para Caso más Cercano.....	159
4.4.2.1. Presupuesto de Potencia Mínimo.....	160
4.4.2.2. Presupuesto de Atenuación.....	160
4.4.3. Cálculo del Presupuesto de Potencia y Perdidas para Caso más Lejano.....	165
4.4.3.1. Presupuesto de Potencia Máximo.....	166
4.4.3.2. Presupuesto de Pérdidas.....	166
5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS FINANCIERO.....	170
5.1. Estimación de Egresos	170
5.1.1. Egresos de equipos activos.....	170
5.1.2. Egresos de equipos pasivos	170
5.1.3. Egresos de personal operativo	172
5.1.4. Egresos de movilización.....	172
5.1.5. Egresos de mantenimiento.....	173
5.2. Estimación de Ingresos	173
5.2.1. Ingresos por prestación de servicios.....	173
5.2.2. Ingresos por instalación.....	174
5.3. Flujo de Caja.....	175
5.4. Indicadores de Rentabilidad	176
5.4.1. Valor Actual Neto.....	176
5.4.2. Periodo de Recuperación de la Inversión	178
5.4.3. Análisis de VPN y PRI	179
6. CONCLUSIONES.....	181
7. RECOMENDACIONES.....	183
8. REFERENCIAS.....	185
9. ANEXOS.....	195
Anexo 1. Encuestas.....	195

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Estructura Fibra Óptica</i>	8
Figura 2 <i>Reflexión luz en la interface de dos medios</i>	10
Figura 3 <i>Refracción de la luz en la interfaz de dos medios</i>	11
Figura 4 <i>Reflexión interna total en una fibra óptica</i>	13
Figura 5 <i>Comparación entre la fibra monomodo y multimodo</i>	16
Figura 6 <i>Espectro de atenuación de mecanismos de pérdida intrínseca en el vidrio puro</i>	19
Figura 7 <i>Espectro de absorción del grupo hidroxilo (OH) en el vidrio de sílice</i>	20
Figura 8 <i>Ilustración esquemática de la pérdida por dispersión en fibra óptica</i>	21
Figura 9 <i>Ilustración de la dispersión de Mie</i>	22
Figura 10 <i>Ilustración de la pérdida de radiación en una macro curva de fibra</i>	24
Figura 11 <i>Ilustración de la pérdida de radiación en una micro curva de fibra</i>	25
Figura 12 <i>Ventanas de transmisión de la fibra óptica</i>	27
Figura 13 <i>Ilustración del ensanchamiento de los pulsos ópticos cuando que se transmiten en una fibra</i>	28
Figura 14 <i>Ilustración de la dispersión modal en una fibra multimodo</i>	29
Figura 15 <i>Ilustración de la dispersión cromática de material en una fibra monomodo</i>	30
Figura 16 <i>Ilustración de la dispersión de modo de polarización en una fibra óptica</i>	31
Figura 17 <i>Ilustración de la disposición de un cable de estructura holgada</i>	35
Figura 18 <i>Ilustración de la disposición de un cable de estructura ajustada</i>	36
Figura 19 <i>Ilustración de la estructura de los cables aéreos</i>	38
Figura 20 <i>Conector óptico SC</i>	39
Figura 21 <i>Ilustración de conector óptico FC</i>	39
Figura 22 <i>Conector óptico ST</i>	40
Figura 23 <i>Conector óptico LC</i>	41
Figura 24 <i>Divisor óptico 1:4</i>	41
Figura 25 <i>ODF de 12 puertos</i>	42
Figura 26 <i>Diferentes arquitecturas de red de acceso FTTX</i>	44
Figura 27 <i>Estructura de una red FTTN</i>	45
Figura 28 <i>Estructura de una red FTTC</i>	45
Figura 29 <i>Estructura de una red FTTB</i>	46
Figura 30 <i>Estructura de una red FTTH</i>	47

Figura 31 <i>Arquitectura Básica de una red PON</i>	48
Figura 32 <i>Arquitectura Básica de una red XG-PON</i>	55
Figura 33 <i>Mapa de la parroquia San Blas de Urcuquí</i>	60
Figura 34 <i>Mapa de las comunas de San Blas</i>	61
Figura 35 <i>Población de San Blas según sexo de 2010 y 2020</i>	62
Figura 36 <i>Modelo de la encuesta realizada en San Blas</i>	67
Figura 37 <i>Delimitación de la zona de San Blas para el diseño de la red PON</i>	74
Figura 38 <i>Arquitectura FTTH para XG-PON con sus respectivos elementos</i>	77
Figura 39 <i>Opciones de arquitectura de divisores XG-PON</i>	78
Figura 40 <i>Ubicación del punto de salida de la red de transporte para San Blas</i>	81
Figura 41 <i>Ubicación de la OLT en San Blas</i>	82
Figura 42 <i>OLT Huawei modelo MA5800-X2</i>	88
Figura 43 <i>Tarjeta óptica Huawei modelo H901XGHD</i>	91
Figura 44 <i>Distribuidor de Fibra Óptica DFOP1-6/12</i>	93
Figura 45 <i>Caja NAP IP68 8 puertos</i>	95
Figura 46 <i>Divisor óptico 1 a 4 con conector SC/APC</i>	96
Figura 47 <i>Caja NAP IP65 16 puertos</i>	98
Figura 48 <i>Divisor óptico 1 a 16 con conector SC/APC</i>	99
Figura 49 <i>Cable de fibra óptica ADSS de 6 hilos</i>	101
Figura 50 <i>Cable de fibra óptica Mini ADSS de 6 hilos</i>	103
Figura 51 <i>Cable de fibra óptica DROP 2 hilos</i>	105
Figura 52 <i>Roseta óptica CFO-5602</i>	107
Figura 53 <i>ONT Huawei HN8546Q FTTH a) vista posterior, b) vista lateral, c) vista superior</i>	108
Figura 54 <i>Características de RedFTTH para el diseño de redes FTTH</i>	111
Figura 55 <i>Planes que ofrece la plataforma RedFTTH</i>	112
Figura 56 <i>Red troncal en la arquitectura FTTH</i>	114
Figura 57 <i>Ubicación de la OLT</i>	114
Figura 58 <i>Ruta de la Red Troncal</i>	115
Figura 59 <i>Red Troncal con las 4 NAP principales</i>	117
Figura 60 <i>Ubicación y descripción de la NAP_1</i>	118
Figura 61 <i>Ubicación y descripción de la NAP_2</i>	118
Figura 62 <i>Ubicación y descripción de la NAP_3</i>	119
Figura 63 <i>Ubicación y descripción de la NAP_4</i>	119

Figura 64 <i>Red Troncal con reservas de fibra</i>	121
Figura 65 <i>Ubicación y descripción de las reservas troncales 1 y 2.</i>	121
Figura 66 <i>Ubicación y descripción de las reservas troncales 3 y 4.</i>	122
Figura 67 <i>Ubicación y descripción de las reservas troncales 5 y 6.</i>	122
Figura 68 <i>Ubicación y descripción de las reservas troncales 7 y 8.</i>	123
Figura 69 <i>Ubicación y descripción de las reservas troncales 9.</i>	123
Figura 70 <i>Red de distribución en la arquitectura FTTH</i>	125
Figura 71 <i>Ruta de la Red de Distribución 1</i>	126
Figura 72 <i>Ruta de la Red de Distribución 2</i>	127
Figura 73 <i>Ruta de la Red de Distribución 3</i>	128
Figura 74 <i>Ruta de la Red de Distribución 4</i>	129
Figura 75 <i>Red de Distribución 1 con sus 4 NAP secundarias.</i>	131
Figura 76 <i>Ubicación y descripción de la NAP_1_1</i>	132
Figura 77 <i>Ubicación y descripción de la NAP_1_2</i>	132
Figura 78 <i>Ubicación y descripción de la NAP_1_3</i>	133
Figura 79 <i>Ubicación y descripción de la NAP_1_4</i>	133
Figura 80 <i>Red de Distribución 2 con sus 4 NAP secundarias</i>	134
Figura 81 <i>Ubicación y descripción de la NAP_2_1</i>	135
Figura 82 <i>Ubicación y descripción de la NAP_2_2</i>	135
Figura 83 <i>Ubicación y descripción de la NAP_2_3</i>	136
Figura 84 <i>Ubicación y descripción de la NAP_2_4</i>	136
Figura 85 <i>Red de Distribución 3 con sus 4 NAP secundarias</i>	137
Figura 86 <i>Ubicación y descripción de la NAP_3_1</i>	138
Figura 87 <i>Ubicación y descripción de la NAP_3_2</i>	138
Figura 88 <i>Ubicación y descripción de la NAP_3_3</i>	139
Figura 89 <i>Ubicación y descripción de la NAP_3_4</i>	139
Figura 90 <i>Red de Distribución 4 con sus 4 NAP secundarias</i>	140
Figura 91 <i>Ubicación y descripción de la NAP_4_1</i>	141
Figura 92 <i>Ubicación y descripción de la NAP_4_2</i>	141
Figura 93 <i>Ubicación y descripción de la NAP_4_3</i>	142
Figura 94 <i>Ubicación y descripción de la NAP_4_4</i>	142
Figura 95 <i>Red de distribución 1 con sus reservas.</i>	145
Figura 96 <i>Ubicación y descripción de las 4 reservas de la red de distribución 1.</i>	145
Figura 97 <i>Red de distribución 2 con sus reservas.</i>	146

Figura 98 <i>Ubicación y descripción de las 4 reservas de la red de distribución 2.</i>	147
Figura 99 <i>Red de distribución 3 con sus reservas.</i>	147
Figura 100 <i>Ubicación y descripción de las 4 reservas de la red de distribución 3.</i>	148
Figura 101 <i>Red de distribución 4 con sus reservas.</i>	149
Figura 102 <i>Ubicación y descripción de las 4 reservas de la red de distribución 4.</i>	149
Figura 103 <i>Red de dispersión en la arquitectura FTTH.</i>	152
Figura 104 <i>Diseño final de la red FTTH acoplado a un mapa modo limpio de San Blas.</i> ...	154
Figura 105 <i>Diseño final de la red FTTH acoplado un mapa satelital de San Blas.</i>	155
Figura 106 <i>Diagrama de la arquitectura red FTTH.</i>	157
Figura 107 <i>Ubicación de la ONT más cerca.</i>	159
Figura 108 <i>Ubicación de la ONT más lejana.</i>	166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Índice de refracción en diferentes materiales.</i>	9
Tabla 2 <i>Bandas de Transmisión Óptica</i>	27
Tabla 3 <i>Población según división política de San Blas</i>	62
Tabla 4 <i>Estructura demográfica de San Blas por rango de edad y sexo.</i>	63
Tabla 5 <i>Proyección de la población de San Blas hasta 2030</i>	64
Tabla 6 <i>Porcentaje de Familias de San Blas que poseen y no poseen internet.</i>	65
Tabla 7 <i>Planes de Internet que oferta Profyber.</i>	66
Tabla 8 <i>Nivel de Confianza y Puntuación.</i>	68
Tabla 9 <i>Datos de las encuestas realizadas en San Blas</i>	70
Tabla 10 <i>Proyección de la demanda en San Blas hasta 2032</i>	75
Tabla 11 <i>Requisitos de la capa física para XG-PON</i>	75
Tabla 12 <i>Atributos de la fibra UIT-T G.652D</i>	84
Tabla 13 <i>Atributos de la fibra UIT-T G.657A.</i>	85
Tabla 14 <i>Especificaciones de la OLT MA5800-X2</i>	89
Tabla 15 <i>Especificaciones de la Tarjeta óptica H901XGHD</i>	91
Tabla 16 <i>Especificaciones del Distribuidor de Fibra Óptica DFOP1-6/12.</i>	94
Tabla 17 <i>Especificaciones de la Caja NAP IP68 8 puertos.</i>	95
Tabla 18 <i>Especificaciones de divisor óptico 1 a 4.</i>	97
Tabla 19 <i>Especificaciones de la Caja NAP IP65 16 puertos.</i>	98
Tabla 20 <i>Especificaciones de divisor óptico 1 a 16.</i>	100

Tabla 21 <i>Especificaciones de cable de fibra óptica ADSS de 6 hilos</i>	101
Tabla 22 <i>Especificaciones de cable de fibra óptica Mini ADSS de 6 hilos</i>	103
Tabla 23 <i>Especificaciones de cable de fibra óptica DROP 2 hilos</i>	105
Tabla 24 <i>Especificaciones de roseta óptica CFO-5602</i>	107
Tabla 25 <i>Especificaciones de la ONT HN8546Q</i>	109
Tabla 26 <i>Simbología para la red FTTH</i>	112
Tabla 27 <i>Resumen de la ubicación y descripción de las NAP de primer nivel</i>	120
Tabla 28 <i>Resumen de la ubicación y descripción de las reservas de la red troncal</i>	124
Tabla 29 <i>Resumen de la ubicación y descripción de las NAP de segundo nivel</i>	143
Tabla 30 <i>Resumen de la ubicación y descripción de las reservas de la red de distribución</i>	150
Tabla 31 <i>Parámetros de interfaces ópticos en sentido descendente</i>	158
Tabla 32 <i>Parámetros de interfaces ópticos en sentido ascendente</i>	158
Tabla 33 <i>Rangos de atenuación por empalme de fibra óptica</i>	162
Tabla 34 <i>Grados de atenuación de conectores de fibra óptica</i>	163
Tabla 35 <i>Pérdidas por inserción de los divisores ópticos</i>	164
Tabla 36 <i>Egresos por equipos activos</i>	170
Tabla 37 <i>Egresos por equipos y materiales pasivos</i>	171
Tabla 38 <i>Egreso anual del personal operativo</i>	172
Tabla 39 <i>Egreso anual de movilización</i>	172
Tabla 40 <i>Egreso anual de mantenimiento</i>	173
Tabla 41 <i>Ingresos por prestación del servicio</i>	174
Tabla 42 <i>Ingresos por instalación del servicio</i>	174
Tabla 43 <i>Egresos totales anuales</i>	175
Tabla 44 <i>Ingresos totales anuales</i>	175
Tabla 45 <i>Flujo de caja total anual</i>	176

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño de una red de fibra óptica basada en la arquitectura FTTH y la tecnología XG-PON, para la empresa Profyber, la cual proporcionará el acceso al servicio de internet de alta velocidad a los pobladores de la parroquia rural de San Blas del cantón Urcuquí perteneciente a la provincia de Imbabura. Es así como, en primer lugar, se lleva a cabo una investigación de los fundamentos teóricos relacionados al funcionamiento de la fibra óptica, la arquitectura FTTH y la tecnología XG-PON.

Para el diseño de la red se hace un análisis de la situación actual de la parroquia y una encuesta dirigida a los pobladores, con esta información se determinan los criterios básicos del diseño en los que se incluyen la delimitación de la zona de cobertura, la proyección de la demanda y los elementos activos y pasivos que tendrá la red. Luego se procede con el diseño físico de la red mediante la plataforma de diseño Red FTTH, donde se elige la ubicación de los equipos principales como la OLT y las NAP de primer y segundo orden, y se determinan las rutas que seguirá la fibra óptica a lo largo de la parroquia. De la misma forma, se hace una comprobación matemática del adecuado funcionamiento de la red para todos los posibles clientes, por medio del cálculo del presupuesto de potencia y pérdidas para los casos críticos del sistema.

En cuanto a la parte económica se determina la factibilidad del desarrollo de este proyecto con la realización de un análisis financiero basado en los indicadores de rentabilidad VAN (Valor Actual Neto) y PRI (Periodo de Recuperación de Inversión). Dando como resultado que para una inversión inicial de \$38539.65, el valor actual neto correspondiente a los siguientes 5 años alcanza los \$1812.39, monto que al ser mayor a cero demuestra una rentabilidad del proyecto. Por otra parte, el periodo de retorno de inversión es de 4 años, 1 mes y 14 días, momento a partir del cual se debe empezar a tener ganancias provenientes del proyecto.

ABSTRACT

This work presents the design of a fiber optic network based on FTTH architecture and XG-PON technology, for the company Profyber, which will provide high-speed internet access to the residents of the rural parish of San Blas in the Urcuqui canton of the province of Imbabura. First, an investigation of the theoretical foundations related to the operation of fiber optics, FTTH architecture, and XG-PON technology is carried out.

For the design of the network, an analysis of the current situation of the parish and a survey directed at the residents are conducted. With this information, the basic design criteria are determined, which include the delimitation of the coverage area, demand projections, and the active and passive elements that the network will have. Then, the physical design of the network is carried out using the Red FTTH design platform, where the location of the main equipment such as the OLT and first and second-order NAPs is chosen, and the routes that the fiber optic will follow throughout the parish are determined. Likewise, a mathematical check of the proper functioning of the network is made for all possible clients by calculating the power budget and losses for critical system cases.

Regarding the economic aspect, the feasibility of the development of this project is determined through a financial analysis based on the profitability indicators VAN (Net Present Value) and PRI (Investment Recovery Period). The result shows that for an initial investment of \$38539.65, the net present value corresponding to the next 5 years reaches \$1812.39, which is greater than zero and demonstrates the profitability of the project. On the other hand, the investment recovery period is 4 years, 1 month, and 14 days, after which profits from the project should begin.

1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

En este capítulo se presentan los antecedentes del proyecto como lo es el problema que se ha encontrado, los objetivos que se busca cumplir con el proyecto, el alcance que tendrá y la justificación para la realización del proyecto.

1.1. Tema

Diseño de una red de acceso por fibra óptica basada en tecnología XG-PON para cumplir con objetivos de expansión de la empresa Profyber S.C. en la parroquia San Blas de Urcuquí.

1.2. Problema

Con el rápido crecimiento de la población mundial a la par de los desarrollos tecnológicos, se ha ido haciendo cada vez más evidente lo fundamental que se ha vuelto el uso del internet en la vida de la mayoría de las familias a nivel mundial, ya sea para el ámbito educativo, profesional o de entretenimiento. Según el informe Digital 2022 realizado por Hootsuite y We Are Social (2022), se indica que el número de usuarios de internet en el mundo ha alcanzado los 4 950 millones de personas, que representan el 62.5% de la población mundial y esto se traduce en un incremento del 4% en el último año; con estos datos podemos entender la importancia que ha tomado el internet en la cotidianidad de todos en los últimos tiempos.

Luego de que en 2019 se propagara el covid-19 a nivel mundial y se empezara el confinamiento para minimizar la propagación del virus, se vio la necesidad de digitalizar muchas de las actividades cotidianas como la educación, el trabajo y el comercio, pero con ello se evidenciaron algunos inconvenientes, por ejemplo, que una parte significativa de la población no tiene acceso a internet y los que sí lo tienen, presentan problemas con la calidad y el costo de este. Al menos 77 millones de personas que viven en territorios rurales de

América Latina y el Caribe carecen de conectividad con estándares mínimos de calidad (IICA, 2020). El 71 % de la población urbana cuenta con servicios de internet en el hogar mientras que, en poblaciones rurales, el porcentaje baja a 36,8% (IICA, 2020). Teniendo en cuenta que no solo es importante tener conectividad, sino que esta también tenga una calidad suficiente como para poder prestar servicios de educación, medicina o cualquier otra actividad que se pueda desarrollar en línea; con esto se entiende, que es tan importante tener cobertura en un lugar como que el servicio sea de calidad.

En el Ecuador según el instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC, 2021) solo el 34.7% de la población que vive en zonas rurales tiene acceso a internet en el hogar, mientras que en el área urbana el 61.7% de la población cuenta con acceso a internet. Aun así a pesar de que la cobertura en zonas rurales existe esta sigue siendo deficiente y con menores velocidades de navegación en comparación con las zonas urbanas, esto representa un gran problema porque el acceder a la educación que es el principal uso que se le da al servicio en estos sectores, se vuelve un dolor de cabeza para los padres pues se dificulta llegar a término una clase con fluidez; generando en que los jóvenes una falta de interés en seguir estudiando y con esto haciendo que crezca aún más la brecha digital ya existente.

Según datos de la página oficial del GAD parroquial de San Blas (2019) perteneciente al cantón Urucuquí este se encuentra aproximadamente a 32 km de la ciudad de Ibarra y a 4 km de Urucuquí, es una zona rural con una población de 3015 habitantes según el censo de población y vivienda 2010; con este referente se comprende que la cantidad de habitantes que aún no tienen acceso a un servicio de internet por medio de fibra óptica en esta parroquia es bastante considerable y aunque hay varias empresas que brindan servicio de internet en el sector, la mayoría lo hace con radio enlace que no permite el paso de velocidades que se puedan semejar a las que se puede alcanzar con el servicio de fibra óptica.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar una red de acceso por fibra óptica basada en tecnología XG-PON para expansión del servicio de la empresa Profyber S.C. en el sector de San Blas de Urcuquí.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Establecer el Marco Teórico con los términos y parámetros más relevantes sobre redes de acceso, fibra óptica y tecnología XG-PON.
- Describir la situación actual del servicio de internet que brinda la empresa y la situación geográfica del sector al cual se va a expandir la red.
- Elaborar el diseño de una red de acceso por fibra óptica para cubrir las necesidades tecnológicas del sector de San Blas de Urcuquí.
- Realizar un análisis costo beneficio de la implementación del presente proyecto por parte de la empresa.

1.4. Alcance

En el presente trabajo se propone la realización del diseño de una red de acceso FTTH (*Fiber To The Home*) en base a la tecnología XG-PON para la expansión de cobertura de la empresa Profyber hacia el sector de San Blas en el cantón Urcuquí; con el fin de permitir el acceso a su población a un servicio de internet de banda ancha que permita cubrir las necesidades tecnológicas actuales, ya sea en el ámbito de educación, trabajo o entretenimiento.

Para dar inicio a este proyecto es necesario disponer de una base bibliográfica sobre los temas a fin a la fibra óptica y su funcionamiento, así como a la arquitectura de red de acceso FTTH, la recomendación de la ITU G.987 y las similitudes y diferencias entre la normativa del IEEE 802.3av con esta y a todos los temas afines que permitan definir un punto

de partida hacia el diseño a realizar; además de dejar claro los parámetros tanto lógicos como de infraestructura necesarios para el despliegue de una red de acceso.

A continuación, se deberá realizar un análisis de la distribución geográfica y la situación poblacional del sector, para definir la factibilidad de realizar la expansión de la red de acceso por parte de la empresa Profyber. Además, en este punto también se describirá la infraestructura levantada por parte de la empresa, es decir nodos principales, secundarios, distribución de cajas NAP etc., todo con el fin de especificar los puntos más cercanos desde donde se puede continuar la expansión de la red. Esta información tanto del sector como de la empresa será de vital importancia para definir la cantidad de recursos tanto tecnológicos como económicos que deberá invertir la empresa para su despliegue.

Con la información necesaria ya recopilada se puede dar pie al inicio del diseño de la red de acceso con la tecnología XG-PON en base a la recomendación de la ITU-T G.987, diseño donde se describirá desde la tecnología a usar, los parámetros lógicos y físicos para su funcionamiento, la cantidad de material para llegar al sector, hasta la disponibilidad de infraestructura como los postes y el acceso vial que se requiere para su implementación; todos estos pasos se encontrarán ordenados con la ayuda de un método científico que se definirá luego del levantamiento de la información y que más se ajuste a las necesidades del diseño y que permita su comprensión fácil y ordenada principalmente para la empresa que es la beneficiaria.

Para finalizar se realizará un análisis costo-beneficio de la implementación del diseño realizado, por parte de la empresa Profyber en el sector de San Blas del cantón Urcuquí, donde se podrá evidenciar que tan factible es su aplicación en el sentido económico y el tiempo de recuperación de la inversión que se realizaría.

1.5. Justificación

Con la aparición de nuevas necesidades tecnológicas también han ido desarrollándose nuevas tecnologías que permiten la mejora de la conectividad y por ende una mejor experiencia navegando a través del internet; tal es el caso de la arquitectura de red de acceso FTTH que presenta varias ventajas frente a ADSL, por ejemplo, es posible proporcionar velocidades de transmisión bidireccionales más altas ya que la fibra tiene una capacidad prácticamente ilimitada. Además de que se logra reducir costos de los componentes y equipos para su instalación y no es propenso a que su calidad disminuya por interferencias electromagnéticas (Unifet, 2021).

Con el incremento del uso de internet en la población también ha crecido la demanda de mayor ancho de banda por eso las empresas proveedoras se han visto en la necesidad de usar nuevas herramientas que les permitan satisfacer las necesidades tecnológicas de sus clientes, tal es el caso de la tecnología de acceso a la red XG-PON que se estandarizó en el año 2010 (Recomendación ITU-T G.987) como evolución de la GPON, la que ahora ofrece una tasa de bits de 10 Gbps en el sentido descendente y un alcance de entre 2.5 – 10 Gbps en el sentido ascendente (Landa Llerena, 2022).

Según lo que describe la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL, 2022), los abonados, clientes y usuarios de servicios de Telecomunicaciones tienen derecho a “disponer y recibir los servicios de telecomunicaciones contratados de forma continua, regular, eficiente, con calidad y eficacia” y es lo que se intenta cumplir con el diseño de esta red para el sector de San Blas de Urcuquí que cuenta con una población de 3015 habitantes según el censo de población y vivienda 2010. Esta es una zona rural que aún se encuentra con problemas para el acceso a internet por fibra óptica; aunque algunos de sus familias cuentan con el servicio estos son por radio enlace, mismos que presentan algunas deficiencias en comparación al uso de redes GPON, es el caso de la

disponibilidad que con radio enlaces depende de factores climáticos, la distancia, la cantidad de elementos activos que intervienen en la comunicación como son la antena, el cable, el modem, etc., haciendo que la conexión no sea la adecuada y el cliente experimente intermitencias y dificultades al momento de desarrollar sus actividades (Martínez, 2013).

La empresa Profyber S.C. acorde a sus objetivos, busca brindar a sus clientes un servicio de calidad que cubra a cabalidad sus necesidades tecnológicas con la distribución de equipos óptimos que garanticen su derecho a una conexión estable y confiable, por este motivo se encuentra importante la realización del diseño de una red de acceso para la parroquia San Blas perteneciente al cantón Urcuquí, con el uso de tecnologías como XG-PON que le permitirá a sus clientes agilizar las actividades que deban desarrollar a través del internet ya que presenta mejoras frente a tecnologías anteriores, principalmente en el paso de velocidades mucho mayores a las usadas actualmente.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende dar acceso a la población de San Blas a un servicio de internet con mayores ventajas frente a los actuales servicios por radio enlaces que ya se brindan, siendo el incremento de la velocidad y la estabilidad del servicio las principales. Además de que con esto se puede dar al cliente una mejora en sus actividades diarias como son el acceso a cursos educativos, teletrabajo, comunicación o entretenimiento. Con esto también se pretende permitir a la empresa proveedora tener un conocimiento claro de la inversión económica que representa la expansión al sector y los beneficios económicos que este representaría luego de la recuperación de su inversión; siendo la implementación de este diseño un beneficio tanto para los habitantes del sector que tendrán una mejor conectividad como para la empresa que tendrá un ingreso económico mayor al actual.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se recopila la información pertinente a los conceptos básicos sobre los sistemas de fibra óptica, necesarios para este proyecto. Para ello, en primer lugar, se presenta la información referente a la fibra óptica, como son sus características, tipos y fenómenos físicos asociados a su funcionamiento y limitaciones. A continuación, se describe de forma rápida los principales elementos involucrados en un sistema de comunicación por fibra óptica. Finalmente, se analizan las diferentes arquitecturas de redes de acceso FTTX, así como la estructura y funcionamientos de las redes PON, principalmente las redes XG-PON.

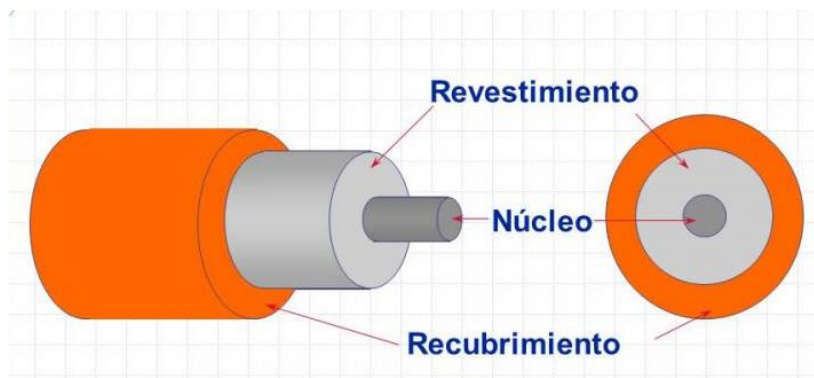
2.1. Fibra Óptica

De acuerdo con Personick (1983), una fibra óptica es un filamento cilíndrico, fabricado con vidrio o plástico y con un diámetro aproximadamente igual al de un cabello humano, que actúa como una guía de onda, en la cual los haces de luz que ingresan pueden propagarse reflejándose sucesivamente en el interior de esta.

Cada fibra se compone de un núcleo vidrio (o plástico) de alto índice de refracción, y un recubrimiento comúnmente de vidrio con un índice de refracción menor, llamado manto o cubierta, que proporciona protección al núcleo. La diferencia entre el índice de refracción del núcleo y del manto permite que los rayos de luz queden atrapados en el interior del núcleo de la fibra y puedan viajar por él. Adicionalmente, las fibras tienen un revestimiento externo, generalmente, de polietileno que brinda protección mecánica y aislamiento a la fibra (Senior y Jamro, 2009). Esta estructura se puede apreciar de mejor forma en la figura 1.

Figura 1

Estructura Fibra Óptica



Fuente: (Solis, 2009)

A partir de la década de los setenta, con el desarrollo de los LED y los fotodetectores, los sistemas de comunicación por fibra óptica se convirtieron en una realidad de la ingeniería y una completa revolución para la industria de las telecomunicaciones (Arumugam, 2001). Esto debido a que la fibra óptica posee muchas ventajas con respecto a los medios de transmisión tradicionales, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- Enorme potencial de ancho de banda
- Tamaño y peso reducidos
- Aislamiento eléctrico
- Inmunidad a las interferencias y a la diafonía
- Seguridad de la señal
- Baja pérdida de transmisión
- Robustez y flexibilidad

Por otra parte, las desventajas que presenta la fibra óptica son reducidas y se pueden resumir en las siguientes:

- Equipos terminales relativamente costosos
- La conversión electroóptica limita la velocidad
- Requiere mano de obra muy cualificada
- Requiere equipo especializado

2.2. Principios Físicos de la Fibra Óptica

Los principios básicos de funcionamiento de la fibra óptica, que permite la propagación de la luz a través de esta, se justifican a través de ciertos fenómenos físicos de la óptica geométrica y otros efectos ópticos, los cuales son detallados a continuación.

2.2.1. Índice de Refracción

La luz, como cualquier otra onda electromagnética, alcanza su máxima velocidad cuando viaja por el vacío, este valor es una constante universal y equivale a 299792 km/s. En cualquier otro medio la velocidad de la luz siempre es menor que este valor. De esta forma, el índice de refracción de un medio se define como la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en dicho medio (Torres Aranda y Gascón López, 2014). Un rayo de luz viaja más despacio en un medio ópticamente denso que en uno menos denso, y el índice de refracción da una medida de este efecto. A continuación, en la tabla 1, se muestra la velocidad de la luz y el índice de refracción de algunos materiales comunes.

Tabla 1

Índice de refracción en diferentes materiales

Material	Velocidad (km/s)	Índice de Refracción
Vacío	299792	1
Aire	299700	1.0003
Agua	225400	1.33
Vidrio	205000	1.46
Diamante	123800	2.42

Fuente: (VaxaSoftware, 2010)

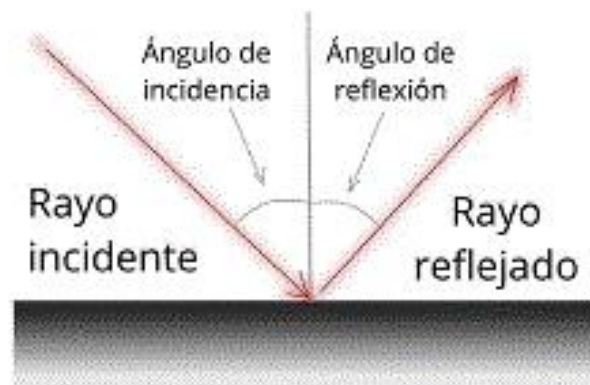
2.2.2. Reflexión

Según Varela Muñoz et al. (2022) la reflexión es el cambio de dirección de un rayo de luz que se produce cuando este incide sobre la superficie de separación de dos medios con distinto índice de refracción, como se puede apreciar en la figura 2. Si la superficie de incidencia del rayo de luz es rugosa, se obtendrá como resultado un conjunto de rayos reflejados en el espacio, lo que se conoce como reflexión difusa. Por otra parte, la reflexión especular se da cuando un rayo de luz incide en una superficie, cuyas irregularidades son muy pequeñas comparadas con la longitud de onda del rayo. En este caso se obtiene un solo rayo reflejado el que se encuentran en el mismo plano que el rayo incidente y la línea normal a la superficie reflejante. Además, se cumple que los ángulos que forman el rayo incidente y el reflejado con respecto a la normal tienen la misma magnitud, lo que equivale a:

$$\theta_{\text{incidencia}} = \theta_{\text{reflexión}} \quad \text{Ecuación [1]}$$

Figura 2

Reflexión luz en la interface de dos medios



Fuente: (Torres Aranda y Gascón López, 2014)

2.2.3. Refracción

La refracción es un fenómeno óptico que se produce cuando un rayo de luz que viaja en un medio transparente, homogéneo y con un determinado índice de refracción (n_1),

atraviesa a otro medio igualmente transparente, pero con diferente índice de refracción (n_2), causando que el rayo de luz cambie de dirección (Varela Muñoz et al., 2022). En la figura 3, se puede observar una representación gráfica de la refracción.

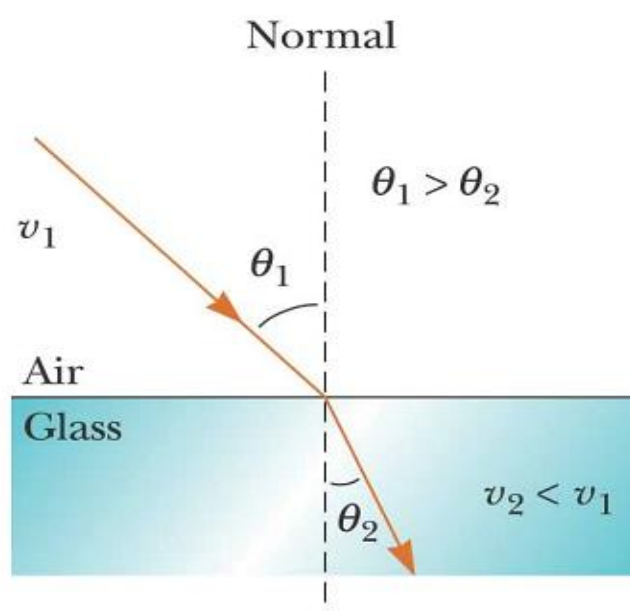
Esta desviación está regida por las leyes de refracción. La primera de estas leyes establece que el rayo refractado se encuentra en el plano de incidencia, el cual contiene la dirección del rayo incidente y la línea normal a la superficie. La segunda ley asociada a este fenómeno, también llamada ley de Snell por su descubridor Willebrord Snell, afirma que la relación entre los índices de refracción de los medios está en razón inversa a la relación de los senos de los ángulos de los respectivos rayos de luz, con respecto a la normal. Lo que puede traducirse a la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{sen}(\theta_1)}{\text{sen}(\theta_2)} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{Ecuación [2]}$$

Donde θ_1 representa el ángulo de incidencia y θ_2 es el ángulo de refracción.

Figura 3

Refracción de la luz en la interfaz de dos medios



Fuente: (Cid, 2011)

2.2.4. Reflexión Interna Total

Partiendo de la ley de Snell se puede llegar a concluir que, si el medio incidente tiene un índice de refracción menor con respecto al índice de refracción del medio transmitido ($n_1 < n_2$), el ángulo del rayo refractado será menor al ángulo del rayo incidente, es decir el rayo refractado se acerca a la normal. Por otra parte, cuando $n_1 > n_2$ el rayo en el segundo medio siempre tendrá un ángulo mayor que en el primer medio y por ende el rayo se aleja de la normal a la superficie (Senior y Jamro, 2009).

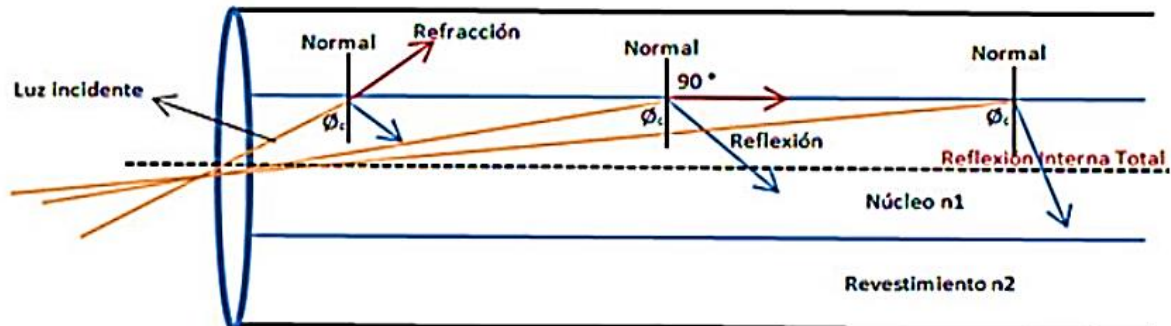
Para este último caso, cuando el ángulo de refracción alcanza los 90° , es decir, el rayo refractado sale paralelo a la interfaz entre los medios, el ángulo de incidencia tomará un valor específico (menor a 90°) el cual se conoce como ángulo crítico (θ_c). Para calcular el valor de este ángulo, se puede usar la siguiente ecuación:

$$\theta_c = \arcsen\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad \text{Ecuación [3]}$$

Cuando el ángulo de incidencia de un rayo de luz es superior al ángulo crítico, este rayo se refleja en su totalidad al medio de origen del rayo. Este fenómeno se conoce como reflexión interna total o TIR por sus siglas en inglés (*Total Internal Reflection*). Este es el mecanismo por el cual la luz, con un ángulo suficientemente bajo, se puede propagar por una fibra óptica con bajas pérdidas (Senior y Jamro, 2009). En la figura 4 se ilustra la transmisión de un rayo de luz a través de una fibra óptica por medio de una serie de reflexiones internas totales en la interfaz entre el núcleo y el revestimiento de índice de refracción ligeramente inferior.

Figura 4

Reflexión interna total en una fibra óptica



Fuente: (Pereda , 2004)

2.2.5. Ángulo de Aceptación y Apertura Numérica

Tomando en cuenta que sólo los rayos con un ángulo de incidencia en la interfaz núcleo-revestimiento mayor al ángulo crítico, se transmiten por reflexión interna total, resulta notorio que no todos los rayos que entran en el núcleo de la fibra seguirán propagándose a lo largo de esta. Por lo tanto, solo los rayos que incidan desde el exterior en la interfaz aire-núcleo con un ángulo menor o igual que el ángulo de aceptación (θ_0) son capturados por la fibra. El valor de este ángulo se define mediante la siguiente ecuación:

$$\theta_0 = \arcsen\left(\sqrt{n_1^2 - n_2^2}\right) \quad \text{Ecuación [4]}$$

Por otra parte, la apertura numérica o AN es un parámetro, que basada en el ángulo de apertura, permite determinar la cantidad de luz que en promedio puede aceptar una fibra y, por ende, la cantidad de energía que puede transportar, lo que no está, necesariamente relacionado, con la calidad de la información correspondiente (Cabezas y Pinto García, 2014). El cálculo de la apertura numérica viene dado por la ecuación que se presenta a continuación:

$$AN = \text{sen}(\theta_0) \quad \text{Ecuación [5]}$$

Que a su vez puede simplificarse para obtener la siguiente ecuación:

$$AN = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \text{Ecuación [6]}$$

2.3. Tipos de Fibra Ópticas

Uno de los criterios más relevantes a la hora de clasificar a la fibra óptica es el modo de propagación de los rayos de luz a través de su núcleo, lo cual está estrechamente relacionado con las dimensiones de la fibra. Otra característica muy importante que permite diferenciar a las fibras es la variación del índice de refracción con respecto a su eje radial. Con base en estos dos criterios, a continuación, se describe los tipos de fibra más importantes en el ámbito de las telecomunicaciones.

2.3.1. Fibra Óptica Multimodo

Una fibra se considera multimodo si permite que varios haces de luz ingresen y viajen a través de esta. Cada rayo de luz que entra al núcleo de la fibra lo hace con un ángulo distinto, de manera que cada uno de estos seguirá su propia trayectoria o modo de propagación. Dado que todos los rayos de luz viajan a la misma velocidad dentro del núcleo, pero recorren diferentes distancias, llegarán al otro extremo de la fibra en tiempos distintos. Como consecuencia de esto, un pulso de luz que ha viajado a través de una fibra multimodo se ensancha en el tiempo o se dispersa. Este fenómeno se conoce como dispersión modal, la cual es acumulativa con la distancia y provoca que una considerable disminución del ancho de banda de la fibra óptica (Addanki et al., 2018).

Como indica Vargas (2014) las fibras multimodo suelen tener un diámetro de núcleo que varía entre 50 y 200 micrómetros, y pueden ser de índice escalonado o de índice gradual.

Las fibras de índice escalonado se caracterizan por que el índice de refracción del núcleo y el índice de refracción del manto son uniformes pero diferentes entre sí. Estas fibras suelen ser estar limitadas a aplicaciones de corta distancia y baja velocidad, debido a la presencia de la dispersión modal.

Por otra parte, en las fibras multimodo de índice gradual, el índice de refracción del núcleo varia de forma parabólica de manera que el valor máximo del índice de refracción se encuentra en el centro del núcleo. Entonces, los diferentes rayos de luz que ingresan a la fibra viajan a diferente velocidad de propagación, dependiendo de su ángulo de reflexión. Así pues, los rayos que viajan más cerca del manto (tienen un ángulo de reflexión bajo) recorren una trayectoria más larga, pero a mayor velocidad de propagación, con lo que llegarán al otro extremo de la fibra aproximadamente al mismo tiempo que los rayos que viajan más cerca del eje y a menor velocidad. Esto se traduce en una importante disminución de la dispersión modal y por tanto un aumento en el ancho de banda y la distancia máxima que alcanza la fibra.

2.3.2. Fibra Óptica Monomodo

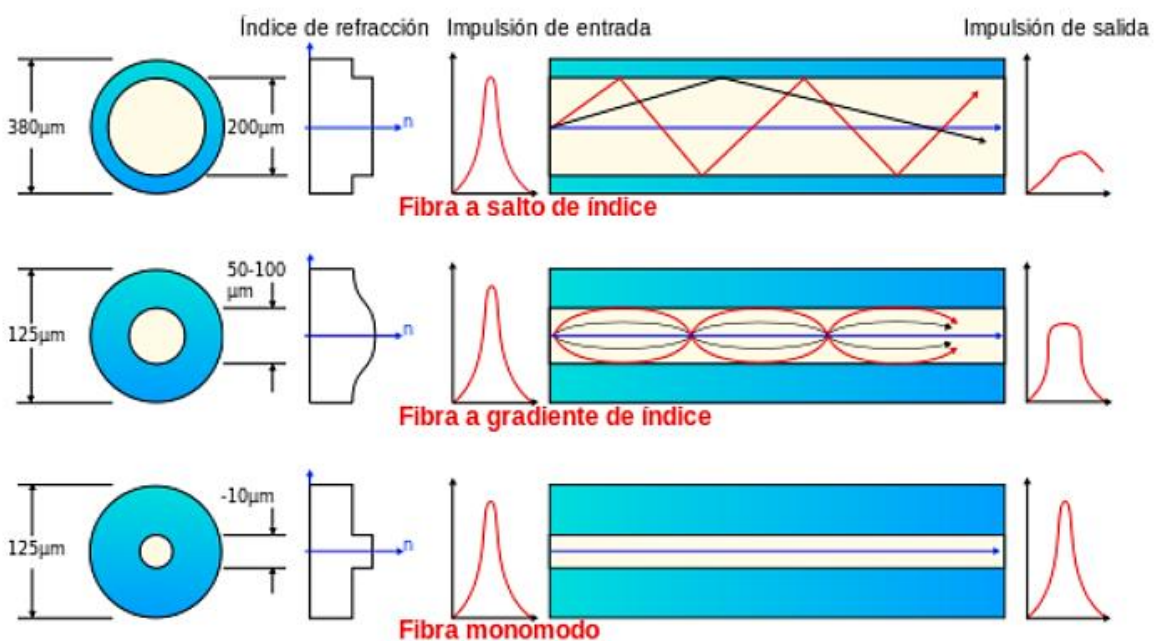
Las fibras monomodo se caracterizan por tener un núcleo bastante reducido con respecto a las fibras multimodo, llegando a ser de entre 4 y 10 micrómetros, además que la diferencia entre los índices de refracción del núcleo y del revestimiento es muy pequeña. De esta manera se consigue que sólo un rayo de luz puede propagarse en línea recta a través de la fibra y se elimina completamente la dispersión modal. Por ende, las fibras monomodo tienen un ancho de banda considerablemente mayor que las fibras multimodo y son usadas en aplicaciones de larga distancia (Addanki et al., 2018).

Una de las desventajas que tiene este tipo de fibra, es que debido al reducido tamaño del núcleo es bastante complicado acoplar la luz a la fibra, por lo que resulta indispensable el uso de fuentes de luz laser, que generalmente son más costosas. De la misma manera, el tamaño del núcleo crea dificultades a la hora de manipular la fibra, puesto que al realizar conexiones y empalmes se requieren componentes y herramientas de mayor precisión, que resultan nuevamente en un aumento del costo de la red.

En la figura 5, se resumen algunas de las principales diferencias entre la fibra monomodo y las fibras multimodo (de índice gradual y escalonado), expuestas en este apartado.

Figura 5

Comparación entre la fibra monomodo y multimodo



Fuente: (Cabezas y Pinto García, 2014)

2.4. Tipos de Pérdidas en la Fibra Óptica

En este apartado se detallan los factores que pueden afectar al rendimiento de la fibra óptica como medio de transmisión. Estas características de transmisión son de suma importancia para entender las limitaciones de distancia y de ancho de banda que tiene la fibra óptica en el campo de la comunicación.

2.4.1. Atenuación

La atenuación o pérdida de transmisión de la fibra óptica puede definirse, para una determinada longitud de onda óptica, como la relación entre la potencia óptica de entrada (P_i) en una fibra y la potencia óptica recibida (P_o) en el otro extremo de esa fibra (Grazzini, 2020). En las comunicaciones ópticas, la atenuación suele expresarse en decibelios por unidad de longitud (dB/km) de la siguiente forma:

$$\alpha = \frac{10}{L} \times \log_{10} \frac{P_i}{P_o} \quad \text{Ecuación [7]}$$

Donde α es valor de la atenuación y L es longitud de la fibra óptica.

Dado que la atenuación del canal determina en gran medida la distancia máxima de transmisión antes de la restauración de la señal. La baja atenuación de la fibra óptica comparada con los conductores metálicos competidores ha demostrado ser uno de los factores más importantes para lograr su amplia aceptación en el campo de las telecomunicaciones.

Existen diversos mecanismos que son responsables de la atenuación de la señal óptica dentro de la fibra, los cuales están condicionados por características como la composición del material, la técnica de preparación y purificación y la estructura de la fibra. Estos mecanismos pueden clasificar en algunas áreas principales que incluyen la absorción del material, la dispersión del material (dispersión lineal y no lineal), las pérdidas por curvatura y micro curvatura, entre otros (Senior y Jamro, 2009).

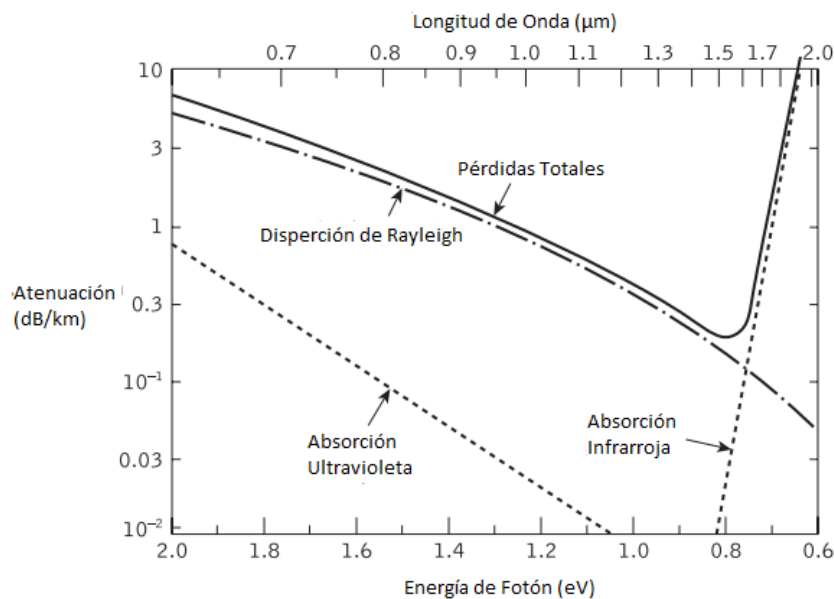
2.4.2. Pérdidas por Absorción de Material

La absorción de material es un mecanismo de pérdida que se relaciona directamente con la composición del material (vidrio o plástico) y el proceso de fabricación de la fibra, que provoca que una parte de la potencia óptica transmitida se disipe en forma de calor. La absorción de material de la luz puede ser de dos tipos: intrínseca y extrínseca, los cuales son analizados de mejor manera en las siguientes secciones.

2.4.2.1. Absorción Intrínseca. Cuando los rayos de luz atraviesan un material transparente, como el vidrio, los fotones interactúan con las moléculas de este material. En este proceso parte de la energía de los fotones es cedida a las moléculas y transformada en calor (Grazzini, 2020). La cantidad de energía que se pierde en este proceso depende de la frecuencia de resonancia molecular del material y la longitud de onda de la luz empleada. Para el caso de las fibras de vidrio de silicato puro, existen dos mecanismos de absorción intrínseca. La absorción ultravioleta que decrece exponencialmente con la longitud de onda de la luz, llegando a ser casi despreciable a partir de los 1000 nm. Y, por otra parte, está la absorción infrarroja que crece exponencialmente a medida que aumenta la longitud de onda, pero su efecto no es apreciable hasta los 1400 nm. Permitiendo así, la existencia de una ventana donde la absorción intrínseca es baja, en el rango de longitudes de onda de 800 a 1700 nm, como se puede apreciar en la figura 6.

Figura 6

Espectro de atenuación de mecanismos de pérdida intrínseca en el vidrio puro



Fuente: (Senior y Jamro, 2009)

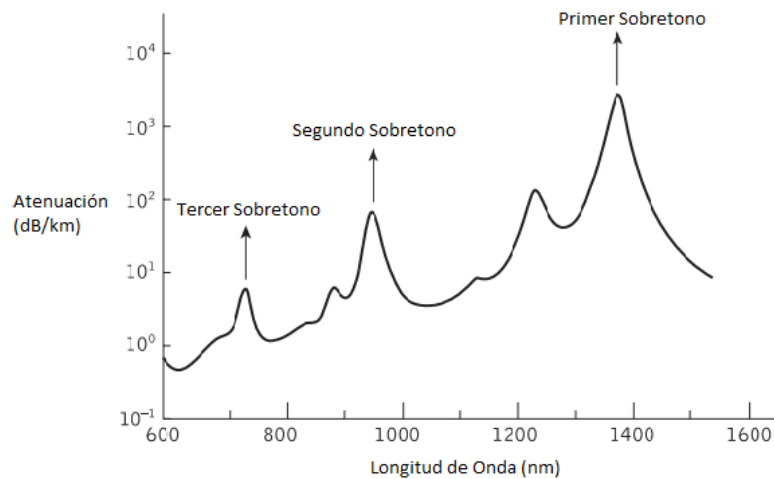
2.4.2.2. Absorción Extrínseca. También llamada absorción por resonancia de iones es un mecanismo de pérdida causado por la presencia de impurezas en el material de las fibras preparadas mediante técnicas de fusión convencionales. De acuerdo con Senior y Jamro (2009) en las fibras de vidrio existen dos tipos de contaminantes que ocasionan la absorción extrínseca. El primer tipo de impurezas son ciertos elementos metálicos de transición como el cromo, el cobre, el hierro, entre otros. La contaminación por elementos de transición puede reducirse a niveles aceptables mediante técnicas de refinado del vidrio como la oxidación en fase de vapor, que elimina en gran medida los efectos de estas impurezas metálicas.

El otro tipo de impurezas son los grupos de iones hidroxilo (HO^-), causados por la presencia de moléculas de vapor de agua atrapadas en la fabricación de la fibra. Estos grupos de moléculas de agua se encuentran unidos a la estructura del vidrio y presentan vibraciones de estiramiento fundamentales que se producen a longitudes de onda comprendidas entre

2700 y 4200 nm. Las vibraciones fundamentales dan lugar a picos de absorción o sobretonos que aparecen casi armónicamente a 720, 950 y 13800 nm, como se puede apreciar en la figura 7. Sin embargo, a través de procesos de fabricación modernos se ha conseguido crear fibras ópticas LWPF (*Low-Water-Peak Fiber*) o ZWPF (*Zero-Water-Peak Fiber*), con un muy reducido contenido de iones hidroxilo, disminuyendo permanentemente el pico de agua de 1383 nm hasta lograr que sea prácticamente despreciable su efecto (Senior y Jamro, 2009).

Figura 7

Espectro de absorción del grupo hidroxilo (OH) en el vidrio de sílice



Fuente: (Senior y Jamro, 2009)

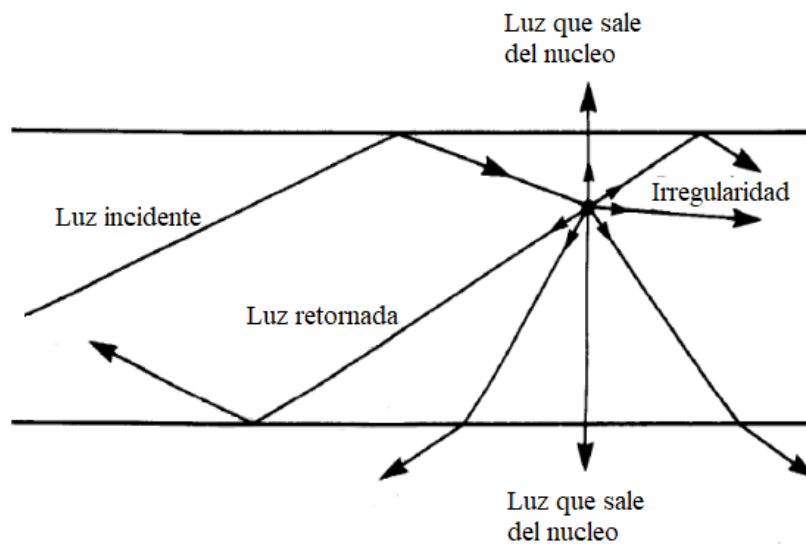
2.4.3. Pérdidas por Dispersión Lineal

Los mecanismos de dispersión lineal provocan que una parte o toda la potencia óptica contenida en un modo de propagación se transfiera (proporcionalmente a la potencia del modo) a uno o varios modos diferentes, con la misma longitud de onda. Muchas veces, estos nuevos modos no son capaces de propagarse dentro del núcleo de la fibra y terminan en el manto, donde su energía se disipa, lo que conlleva a la reducción de la potencia de la luz transmitida, como se muestra en la figura 8.

Como lo hace notar Cabezas y Pinto García (2014), la dispersión lineal puede clasificarse en dos tipos principales: dispersión de Rayleigh y dispersión de Mie. Ambas son el resultado de las anomalías físicas presentes en la fibra, que usualmente son el resultado de las técnicas de fabricación imperfectas. En las siguientes secciones se precisa de mejor manera las características de cada una de estas dispersiones.

Figura 8

Ilustración esquemática de la pérdida por dispersión en fibra óptica



Fuente: (Kaur y Parmar, 2016)

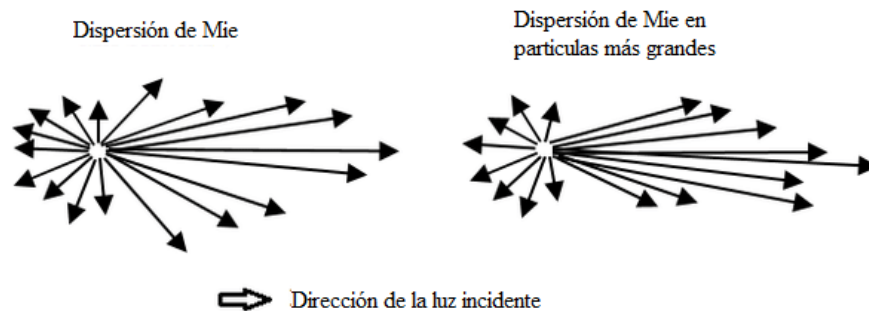
2.4.3.1. Dispersión de Rayleigh. La dispersión Rayleigh es un mecanismo de pérdida intrínseco resultante de las imperfecciones de naturaleza aleatoria, cuyo tamaño es muy pequeño en comparación con la longitud de onda de la luz. Estas anomalías se manifiestan como fluctuaciones del índice de refracción y surgen de variaciones de densidad y composición que se congelan en la red de vidrio al enfriarse. Las variaciones de composición pueden reducirse optimizando el método de fabricación, pero las alteraciones del índice ocasionadas por las irregularidades de densidad son inevitables y produce una atenuación proporcional a $1/\lambda^4$ (Arumugam, 2001). Es decir, que la atenuación decrece

exponencialmente con el aumento de la longitud de onda y por tanto se puede evitar su efecto usando longitudes de onda más altas.

2.4.3.2. Dispersión de Mie. La dispersión lineal también puede producirse en irregularidades de tamaño comparable a la longitud de onda de luz guiada y se denomina dispersión de Mie. Estas alteraciones pueden estar causadas por imperfecciones de la fibra, como irregularidades en la interfaz núcleo-manto, diferencias en el índice de refracción del núcleo o el manto a lo largo de la fibra, fluctuaciones de diámetro, deformaciones y burbujas. La dispersión creada por tales irregularidades se produce principalmente en la dirección de avance de la luz, como se muestra en la figura 9. Actualmente existen técnicas de fabricación que logran reducir las pérdidas por la dispersión Mie a niveles insignificantes (Cabezas y Pinto García, 2014).

Figura 9

Ilustración de la dispersión de Mie



Fuente: (Alkholidi y Altowij, 2014)

2.4.4. Pérdidas por Dispersión No Lineal

Las fibras ópticas no siempre se comportan como canales completamente lineales produciendo así varios efectos no lineales que, en el caso de la dispersión, causan una atenuación desproporcionada. La dispersión no lineal hace que la potencia óptica de un modo se transfiera a otros modos, a una frecuencia diferente y con diferentes direcciones. Este

tipo de dispersión depende mucho de la densidad de potencia óptica dentro de la fibra y, por tanto, sólo es significativa por encima de un determinado umbral de potencia (Senior y Jamro, 2009).

Los tipos más importantes de dispersión no lineal dentro de los sistemas de comunicación por fibra óptica son la dispersión estimulada Brillouin y la dispersión estimulada de Raman, que regularmente sólo se observan en fibras monomodo largas y a altas potencias.

2.4.4.1. Dispersión Estimulada de Brillouin. La dispersión Brillouin puede considerarse como la modulación de la luz a través de las vibraciones moleculares térmicas dentro de la fibra. Como consecuencia de esto, la luz dispersada aparece en bandas ópticas laterales superiores e inferiores, separadas de la luz incidente por la frecuencia de modulación (alrededor de 10 GHz). En este proceso de dispersión, el fotón incidente produce un fonón (una onda elástica cuantizada) de frecuencia acústica, así como un fotón disperso con una frecuencia óptica que varía con el ángulo de dispersión. Es decir que el desplazamiento de frecuencia es máximo en la dirección de retroceso y es prácticamente cero en la dirección de avance (Kaur y Parmar, 2016).

2.4.4.2. Dispersión Estimulada de Raman. La dispersión estimulada de Raman es similar a la dispersión estimulada de Brillouin, con la diferencia que en el proceso de dispersión se genera un fonón óptico de alta frecuencia en lugar de un fonón acústico, con lo que el desplazamiento de frecuencia óptica alcanza el orden de las decenas de terahercios (THz). Además, la dispersión de Raman puede producirse tanto hacia delante como hacia atrás en una fibra, y puede llegar a tener un umbral de potencia óptica hasta tres veces mayor al umbral de la dispersión de Brillouin para una fibra determinada (Senior y Jamro, 2009).

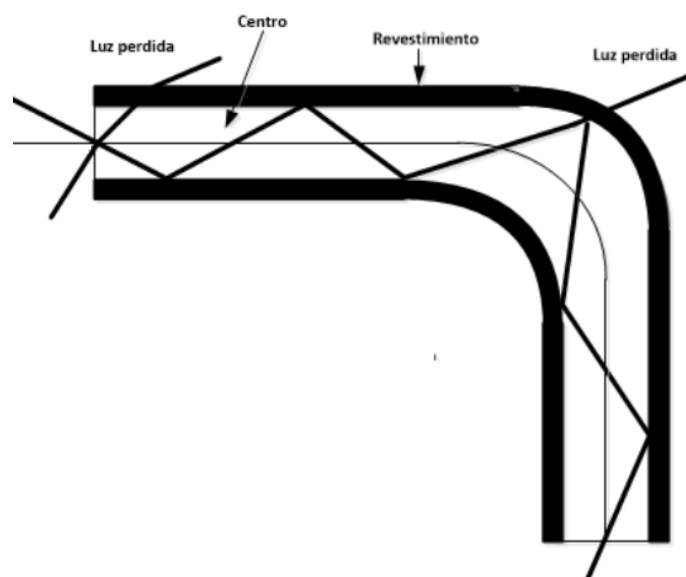
2.4.5. Pérdidas por Curvaturas

Durante los procesos que requieren la manipulación directa de los cables de fibra óptica pueden llegar a suceder ciertas alteraciones en la trayectoria de la fibra óptica, que ocasionen pérdidas adicionales. Estas pueden clasificarse en macro curvaturas y micro curvaturas dependiendo de la magnitud de la deformación.

2.4.5.1. Macro curvaturas. Cuan una fibra óptica es sometida a un doblamiento o curvatura, se produce un cambio en el ángulo de incidencia en la interfaz núcleo-manto, con lo cual se viola el principio de reflexión interna total y, en consecuencia, una parte de la energía luminosa se irradia fuera de la fibra, como se observa en la figura 10. Esta atenuación varía de forma exponencial con el radio de curvatura, por lo que estas pérdidas son despreciables hasta que la curvatura sobrepase el radio mínimo de curvatura de la fibra. Es por eso, que las fibras ópticas multimodo suelen ser más susceptibles a las pérdidas por macro curvaturas que las fibras monomodo (Grazzini, 2020).

Figura 10

Ilustración de la pérdida de radiación en una macro curva de fibra

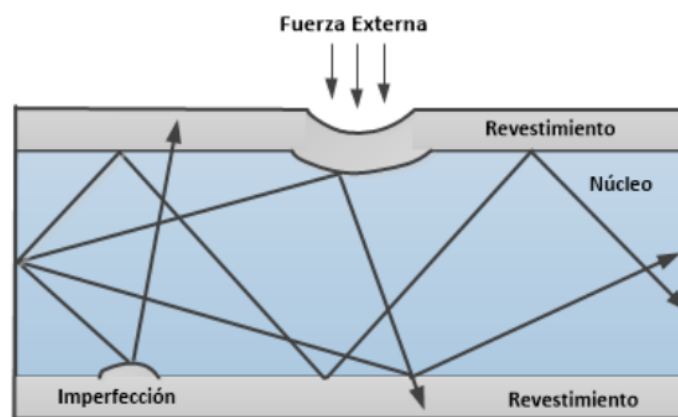


Fuente: (López Catalá y Zuaznabar Mazorra, 2009)

2.4.5.2. Micro curvaturas. Las micro curvaturas son pequeñas deformaciones en la estructura de los hilos de fibra provocando que la luz no se propague adecuadamente, como se muestra en la figura 11. Estas micro curvaturas se suelen deber principalmente a errores de fabricación como la presencia de irregularidades entre el núcleo y el manto de la fibra, variaciones en el diámetro de la fibra (error de elipticidad) y errores de concentricidad. Sin embargo, también pueden ocasionarse durante la manipulación de la fibra, si se somete a la fibra a tensiones mecánicas capaces de deformar su geometría (Grazzini, 2020).

Figura 11

Ilustración de la pérdida de radiación en una micro curva de fibra



Fuente: (Panchi Herrera, 2016)

2.4.6. Ventanas de Transmisión de la Fibra Óptica

Considerando la sumatoria de todos los tipos de pérdidas antes mencionados con respecto a la longitud de onda de la luz, se puede conseguir diferenciar algunas zonas importantes. En la primera zona, para longitudes de onda por debajo de los 800 nm, la atenuación fundamental de la fibra de sílice está dominada por la dispersión de Rayleigh y la absorción intrínseca ultravioleta, por lo cual no resulta conveniente su uso en las telecomunicaciones. Por otra parte, la zona con longitud de onda superior a los 1650 nm presenta un alto nivel de atenuación debido principalmente a la presencia de la absorción

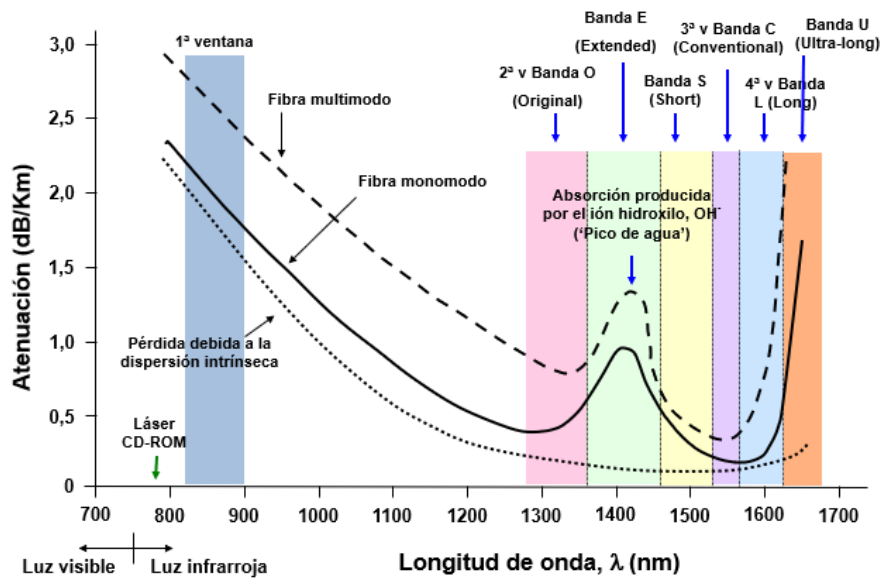
infrarroja y sumado a las limitaciones tecnológicas de las fuentes ópticas, esta zona no está habilitada para su uso (Senior y Jamro, 2009).

Entre estas dos zonas de alta atenuación del espectro óptico se han determinado algunas zonas óptimas para la transmisión de información por medio de la fibra óptica. Estas son mejor conocidas como ventanas de transmisión y aunque originalmente eran tres, posteriormente se agregaron dos ventanas más, como se observa en la figura 12. Las cinco ventanas de transmisión se describen a continuación:

- **Primera Ventana:** Se encuentra entre los 830 y 880 nm y fue la primera ventana utilizada para la comunicación óptica en los años setenta y principios de los ochenta, debido a la posibilidad de usar fuentes ópticas y detectores de bajo coste.
- **Segunda Ventana:** Tiene una longitud de onda central de 1310 nm y se empezó a utilizarse a mediados de los años ochenta, ya que su atenuación es mucho menor que en la primera ventana, pero las fuentes y detectores necesarios resultan más costosos.
- **Tercera Ventana:** Su longitud de onda central es de 1550 nm, se caracteriza por tener una atenuación menor que en la segunda ventana, pero requiere fuentes ópticas más sofisticadas que pueden llegar a ser muy costosas.
- **Cuarta Ventana:** Esta en el rango de 1565-1625 nm, tiene una atenuación superior, pero representan un amplio espectro óptico no saturado para la implementación de cierto tipo de redes.
- **Quinta Ventana:** Trabaja en la longitud de onda central en 1470 nm, la cual ha tomado relevancia con el desarrollo de las fibras ZWPF, que eliminan el pico de atenuación por iones hidroxilo de esta longitud de onda.

Figura 12

Ventanas de transmisión de la fibra óptica



Fuente: (Pereda , 2004)

En mayo del 2002, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) desarrollo estándares que definen seis bandas de transmisión para los sistemas de comunicación por fibra óptica, las cuales se indican a continuación mediante la tabla 2.

Tabla 2

Bandas de Transmisión Óptica

Banda de frecuencia	Ventana	Rango de longitud de onda (nm)
-	1	850 (800-900)
Banda O (original)	2	1260-1360
Banda E (extendida)	5	1360-1460
Banda S (corta)	-	1460-1530
Banda C (convencional)	3	1530-1565
Banda L (larga)	4	1565-1625
Banda U (ultra larga)	-	1625-1675

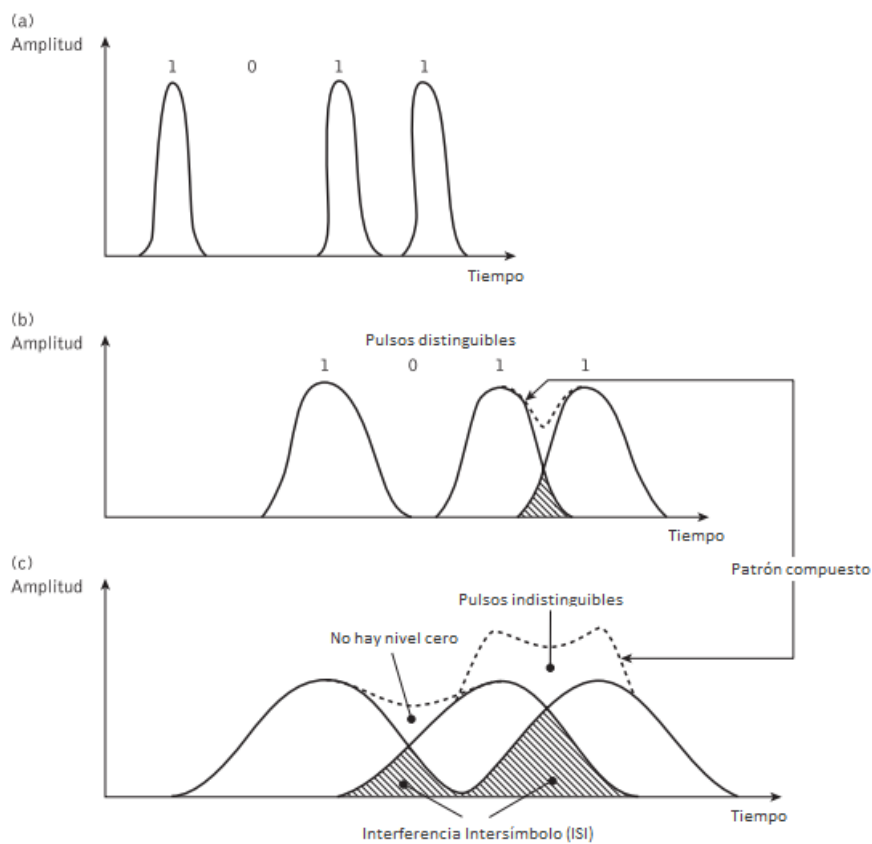
Fuente: (FS Community, 2019)

2.5. Dispersión en la Fibra Óptica

Como señala Senior y Jamro (2009), otro de los factores que limitan la distancia y velocidad máxima que se puede alcanzar con un sistema de comunicación por fibra óptica es la dispersión. La dispersión es un fenómeno físico que causa el ensanchamiento de los pulsos de luz transmitidos a medida que viajan a lo largo de la fibra óptica. En una comunicación óptica digital, los datos se representan de forma binaria con la presencia o ausencia de un pulso de luz (unos y ceros) que son fácilmente identificables. Sin embargo, a medida que estos pulsos viajan por la fibra se ensanchan, pudiendo, llegar a tal punto en que se solapen entre sí y sean indistinguibles en la entrada del receptor, como se ejemplifica en la figura 13.

Figura 13

Ilustración del ensanchamiento de los pulsos ópticos cuando se transmiten en una fibra



Nota: (a) entrada de fibra; (b) salida de fibra a una distancia L_1 ; (c) salida de fibra a una distancia $L_2 > L_1$.

Fuente: (Senior y Jamro, 2009)

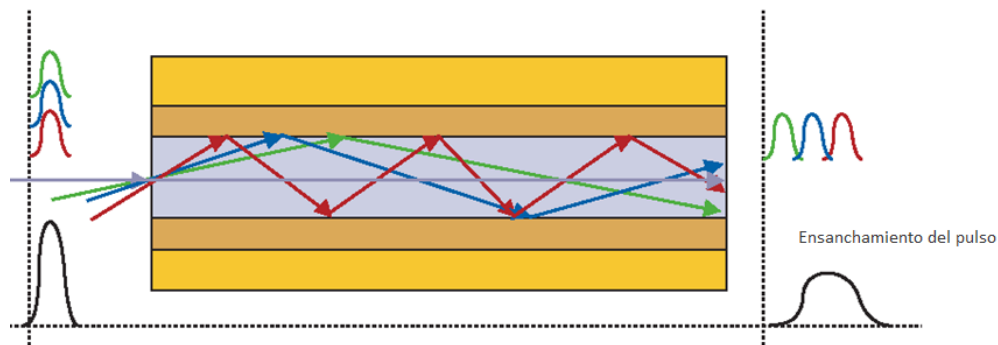
La dispersión de una fibra es el resultado de la suma de tres tipos principales de dispersión causadas por diferentes factores propios de la fibra que son: la dispersión modal, la dispersión cromática y la dispersión de modo de polarización. En las secciones consecutivas, se detallan de mejor forma estas formas de dispersión.

2.5.1. Dispersión Modal

Se presenta únicamente en las fibras multimodo y sucede porque los distintos modos de propagación que ingresan en la fibra óptica recorren diferentes trayectorias dependiendo de su ángulo de incidencia. Lo que provoca que estos modos no lleguen al mismo tiempo al otro extremo de la fibra y por tanto los pulsos de luz se ensanchen, como se ilustra en la figura 14. Este efecto es más notorio en las fibras multimodo de índice escalonado que en las fibras multimodo de índice gradual (Grazzini, 2020).

Figura 14

Ilustración de la dispersión modal en una fibra multimodo



Fuente: (Fiber Cabling Solution, 2016)

2.5.2. Dispersión Cromática

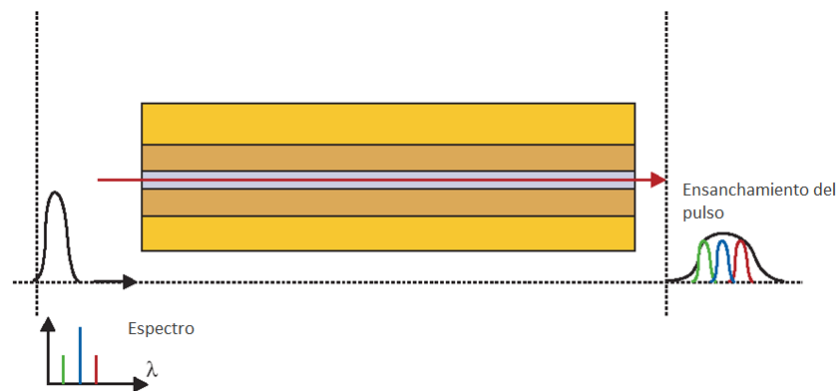
La dispersión cromática o intramodal puede producirse en todos los tipos de fibra óptica y es el resultado del ancho de línea espectral finito de las fuentes ópticas. Las diferencias de retardo de un pulso en la fibra pueden deberse a las propiedades dispersivas del

material de la guía de ondas (dispersión de material) y también a efectos de guiado dentro de la estructura de la fibra (dispersión de la guía de ondas) (Senior y Jamro, 2009).

2.5.2.1. Dispersión Cromática de Material. Como las fuentes ópticas no emiten una sola frecuencia, sino una banda de frecuencias, mejor conocida como anchura espectral, entonces puede haber diferencias de retardo de propagación entre los distintos componentes espectrales de la señal transmitida, como se demuestra en la figura 15. Dando como resultado en este caso igualmente un ensanchamiento del pulso de luz. Esta forma de dispersión puede ser reducida usando fuentes ópticas con anchura espectral muy baja, siendo las fuentes laser las que tienen un valor de anchura especial entre 1 y 5 nm, mientras que para las fuentes led es probable que tenga valor entre 20 y 150 nm dependiendo de la calidad de este (Grazzini, 2020).

Figura 15

Ilustración de la dispersión cromática de material en una fibra monomodo



Fuente: (Fiber Cabling Solution, 2016)

2.5.2.2. Dispersión Cromática de guía de onda. Este tipo de dispersión ocurre principalmente en las fibras monomodo y sobre todo cuando el radio del núcleo es tan pequeño que llega a ser comparable con la longitud de onda de la luz. Bajo estas circunstancias, se conoce que aproximadamente el 80% de la energía óptica se propaga

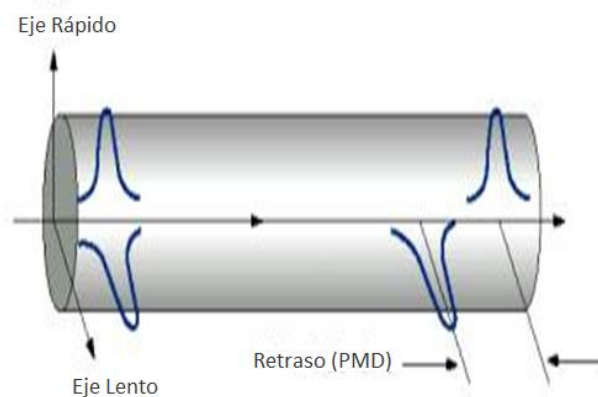
contenida en el núcleo de la fibra, mientras que el resto se desborda hacia el manto y viaja por ahí. Debido a que el manto tiene un índice de refracción ligeramente menor que el núcleo, la porción de energía que se propaga por el manto lo hace a una velocidad mayor, causa un efecto de dispersión. Este tipo de dispersión puede ser usada para contrarrestar la dispersión cromática de material, ya que los coeficientes de dispersión son de signos opuestos y pueden cancelarse entre sí (Grazzini, 2020).

2.5.3. *Dispersión de modo de polarización*

Esta forma de dispersión está presente únicamente en las fibras monomodo y es de relevancia exclusivamente en sistemas de muy alta velocidad de transmisión (mayor a 10 Gbps) y largas distancias, donde el problema de la dispersión cromática se ha reducido significativamente. Este fenómeno ocurre cuando las dos componentes ortogonales de polarización de un modo se desplazan con diferente velocidad en la fibra (ver figura 16), lo cual es el resultado de las asimetrías de índice de refracción y de diámetro dentro del núcleo, en las dos direcciones perpendiculares que toma cada componente del modo (Cadena Paredes y Jiménez Jiménez, 2019).

Figura 16

Ilustración de la dispersión de modo de polarización en una fibra óptica



Fuente: (Cadena Paredes y Jiménez Jiménez, 2019)

2.6. Componentes Básicos de los Sistemas de Comunicación Ópticos

Un sistema básico de comunicación por fibra óptica se compone por tres elementos indispensables, el transmisor que genera la señal óptica, el medio de transmisión que para este caso es la fibra óptica contenida en algún tipo de cable y el receptor que se encarga de detectar la señal óptica. Por otra, en los sistemas ópticos más complejos o de mayor tamaño se requiere el uso de otros elementos, como por ejemplo conectores, divisores y equipos de montaje. A continuación, se detallan las características de estos elementos ópticos.

2.6.1. Transmisores Ópticos

El transmisor óptico es un dispositivo que se encarga principalmente de transformar una señal de datos eléctrica a una señal óptica, la cual puedes ser acoplada a una fibra óptica. Dependiendo de las características del sistema óptico, como por ejemplo su capacidad y distancia, los transmisores pueden llegar a ser muy complejos, sin embargo, en cualquier transmisor un elemento indispensable es la fuente o emisor de luz. Existen dos tipos primordiales de fuente luz que son los emisores LED y los emisores laser (Grazzini, 2020).

2.6.1.1. Emisor LED. Como afirma Grazzini (2020), un diodo emisor de luz o LED por sus siglas en inglés, es un dispositivo electrónico que se compone por una juntura semiconductor p-n, capaz de emitir luz por el mecanismo de emisión espontanea, cuando se le aplica un voltaje en polarización directa. Debido que la emisión de luz en los LED es aleatoria, las ondas de luz no se encuentran en fase entre sí, lo que provoca que la potencia de salida de estos sea baja (típicamente 5 mW) y que su anchura espectral sea mayor (entre 15 y 60 nm) con respecto a los laser. Es por esto por lo que mayoritariamente son usados en sistemas con fibras multimodo y de corta distancia. Otra desventaja importante de los LED es que su tiempo de respuesta es muy alto, lo que limita considerablemente la velocidad del sistema. Por otra parte, la longitud de onda que emiten los LED puede ir entre los 750 nm a

1600 nm dependiendo del tipo de dopado que tenga la juntura, pudiendo ser usado en cualquier ventana de transmisión. Además, este tipo de fuente de luz tienen un bajo costo y una vida útil bastante extensa.

2.6.1.2. Emisor Laser. Un LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) al igual que un LED es un dispositivo formado por una unión semiconductor, pero a diferencia de los LED, los laser cuentan con una cavidad óptica resonante (cavidad Fabry Perot), que actúa como un elemento selectivo de longitud de onda y logra que la luz sea generada principalmente por emisión estimulada. Esto se traduce en rayos de luz muy directivos, de gran potencia (alrededor de 100 mW), baja anchura espectral (entre 0.5 y 5 nm) y tiempos de respuesta muy pequeños. Lo que lo hace un candidato perfecto para sistemas de larga distancia y altas velocidades, que usan fibra monomodo. Sin embargo, presenta algunas desventajas, como por ejemplo que requiere corrientes de estimulación mayores que los LED y por tanto su vida útil suele ser menor. Además, su costo es bastante mayor que el de una fuente LED (Grazzini, 2020).

2.6.2. Receptores Ópticos

Las señales ópticas de datos, después de ser transmitidas por la fibra óptica, deben ser transformadas nuevamente a señales eléctricas para recuperar la información que contiene. El elemento más importante que compone un receptor es el detector de luz o mejor conocido como fotodetector, que son básicamente diodos que reaccionan a los estímulos luminosos. Los dos tipos de fotodetectores más usados en las comunicaciones ópticas son los fotodiodos PIN y los fotodiodos APD (Grazzini, 2020) que se describen a continuación.

2.6.2.1. Detector PIN. Este es un tipo de diodo que se compone de tres capas semiconductoras de las cuales se deriva su nombre: la capa P, la capa de material intrínseco y

la capa N. Con esta estructura se consigue aumentar la eficiencia del fotodetector al aumentar la absorción de fotones y por tanto también su sensibilidad (relación entre la fotocorriente generada y la potencia óptica recibida), alcanzando valores de 1 A/W. Por otra parte, el tiempo de respuesta de los detectores PIN es de aproximadamente de 1 ns, lo cual lo convierte en un fotodetector muy conveniente para la mayoría de los sistemas de comunicación por fibra óptica, inclusive aquellos de alta capacidad (Arumugam, 2001).

2.6.2.2. Detector APD. Los detectores APD (*Avalanche Photo Diode*) son fotodiodos que tiene una estructura más sofisticada que el fotodiodo PIN con el objetivo de crear altas corrientes eléctricas por medio del efecto de multiplicación avalancha. Su estructura es muy similar a la de los detectores PIN, pero se reemplaza la capa intrínseca por una capa π , que se diseña cuidadosamente para generar un campo eléctrico muy fuerte pero uniforme, usando un voltaje de polarización inverso muy alto también. Así se consigue que cuando un fotón incidente crea un electrón, este es acelerado por el campo eléctrico para luego chocar con los electrones de la capa π , liberándolos, los cuales vuelven a ser acelerados para liberar aún más electrones. Como resultado, este tipo de fotodiodos tiene una sensibilidad muy alta, alcanzando los 100 A/W, de igual manera, su tiempo de respuesta es bastante bajo (entre 0.1 y 1 ns). Sin embargo, su principal desventaja es su costo, ya que muchas veces requiere de circuitos adicionales que provean los altos voltajes de polarización que requiere y que controlen su temperatura (Senior y Jamro, 2009).

2.6.3. Cables de Fibra Óptica

De acuerdo con Cabezas y Pinto García (2014), las fibras ópticas por si solas no tienen las características de tracción y resistencia adecuadas para su uso directo, por lo que los cables que contienen a la fibra óptica también poseen una serie de elementos que buscan salvaguardar las propiedades de la fibra. Existen una amplia gama de tipos de cable, cuya

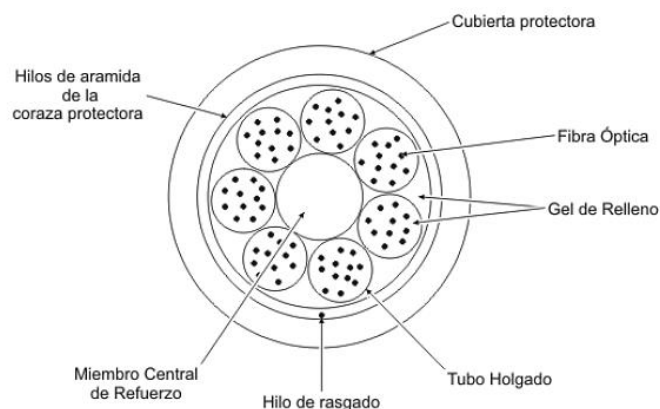
estructura depende del fabricante, de las condiciones ambientales que deba soportar y de las aplicaciones. Pero todos estos cables deben cumplir las siguientes funciones básicas:

- Facilitar la manipulación e instalación
- Proteger la fibra de daños físicos
- Proveer alta resistencia a la tensión y minimizar las pérdidas
- Proteger la fibra de la temperatura, la humedad y elementos corrosivos.

2.6.3.1. Cables de Estructura Holgada. Como dice Vargas (2014), en este tipo de cables, un grupo de fibras (usualmente 12) son puestas dentro de un tubo plástico llamado *buffer* o recubrimiento secundario, de forma que las fibras descansan holgadamente en él. Los tubos son muy resistentes a la deformación, lo que permiten aislar las fibras de las fuerzas mecánicas exteriores, además que la mayoría de las veces estos tubos contienen un gel resistente al agua para evitar que ésta llegue a las fibras. Así mismo, varios de estos tubos son colocados alrededor de un elemento central de refuerzo de acero o kevlar, para luego ser envueltos por una o varias cubiertas protectoras de polietileno, acero o hilos de aramida. Esta estructura se puede apreciar de mejor manera en la figura 17.

Figura 17

Ilustración de la disposición de un cable de estructura holgada



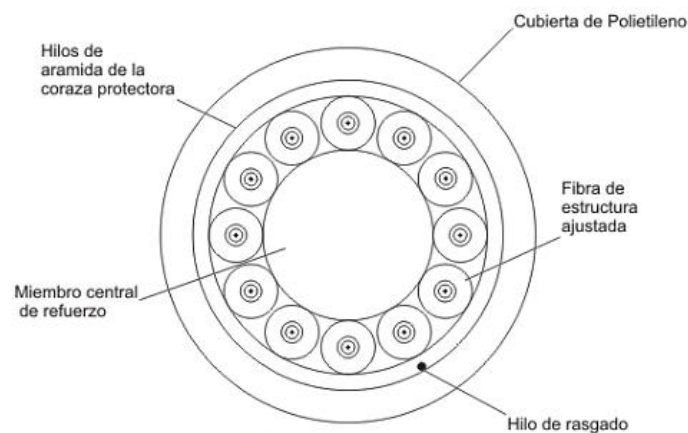
Fuente: (Cabezas y Pinto García, 2014)

Los cables de estructura holgada son usados principalmente para aplicaciones de exterior, como para tendidos aéreos, subterráneos por conductos o directamente enterrados. Mientras que, para instalaciones interiores verticales, su uso es poco recomendado ya que puede causar que el gel interior fluya y mueva fibras.

2.6.3.2. Cables de Estructura Ajustada. Este tipo de cables se caracteriza por que cada hilo de fibra se encuentra cubierto por una protección secundaria de plástico y de nylon (o tefzel) de aproximadamente 1 mm, consiguiendo así una protección adicional frente a las condiciones ambientales y un soporte físico. Varias de estas fibras se colocan alrededor de un miembro central de tracción y luego son recubiertas por una capa de protección exterior, esta estructura se puede apreciar de mejor forma en la figura 18. Este tipo de cable es más flexible y soporta de mejor forma los golpes y presiones, pero es más sensible a la tracción y las pérdidas por micro curvaturas. Su uso principal es para instalaciones interiores, como edificios, ya que es ideal para cableados verticales (Vargas, 2014).

Figura 18

Ilustración de la disposición de un cable de estructura ajustada



Fuente: (Cabezas y Pinto García, 2014)

2.6.3.3. Cables Aéreos. Para las aplicaciones que requieran el tendido aéreo de la fibra óptica, existen cables de estructura holgada especializados que contienen miembros de refuerzo que soporta la tensión del tendido. Siendo los más importantes, los siguientes:

- **Cable ADDS:** También conocido como cable auto soportado completamente dieléctrico, este tipo de cable de estructura holgada se caracteriza por no contener ningún material metálico. Se componen de un elemento central de refuerzo de FRP (plástico reforzado con fibras), alrededor del cual se ubican los tubos con fibras, para luego ser recubiertos por hilos de aramida y una capa de polietileno de alta durabilidad, como se observa en la figura 19 (parte c). Así se logra un cable suficientemente fuerte para soportar el tendido aéreo y las condiciones climáticas como lluvia, luz solar y cambios bruscos de temperatura (Cabezas y Pinto García, 2014).
- **Cable OPGW:** Cable de tierra óptico u OPGW por sus siglas en inglés, es un tipo cable que tiene un tubo central de aluminio, el cual contiene los *buffers* con fibras, esta estructura se encuentra completamente rodeada por pesados cables de aluminio o acero inoxidable que actúan como cables de tierra (ver figura 19 parte b). Los cables OPGW son usados primordialmente por las compañías eléctricas para transmitir información a través de las rutas que siguen las líneas eléctricas de alta tensión (Vargas, 2014).
- **Cable Figura en 8:** También conocido como cable autoportante, es un cable de estructura holgada diseñado específicamente para tendidos aéreos. Se caracteriza por tener un mensajero de acero inoxidable u otro material, sujeto al cable de fibra mediante la cubierta externa, como se aprecia en la figura 19 en la sección a. Este

mensajero aguanta alta tracción y soporta la tensión mecánica del tenido aéreo (Vargas, 2014).

Figura 19

Ilustración de la estructura de los cables aéreos



Nota: a) Cable Figura en 8, b) Cable OPGW y c) Cable ADSS. Fuente: (ZMS Cable, 2019)

2.6.4. Conectores

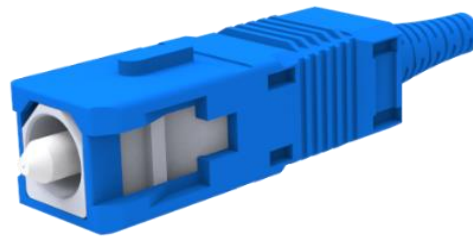
Un conector es un dispositivo óptico pasivo que permite realizar un tipo de conexión no fija entre dos fibras, que son usados principalmente para unir los cables de fibra con otros elementos y equipos del sistema cuyas configuraciones son susceptibles a cambios, como pueden ser los equipos transmisores y receptores. Existen una gran cantidad de tipos de conectores disponibles en el mercado, sin embargo, a continuación, se presentan los más relevantes.

2.6.4.1. Conector SC. Según Massa (2000), el conector estándar o mejor conocido SC por sus iniciales en inglés, es un tipo de conector de inserción *push-pull* que se caracteriza por tener una carcasa cuadrada hecha completamente de plástico y una férula de zirconio de aproximadamente 2.5 mm, como se muestra en la figura 20. Se usa tanto para fibra multimodo como monomodo y presenta pérdidas de inserción inferiores a 0.4 dB en ambos

casos. Viene en tres diferentes colores: azul para fibra monomodo, beige para fibra multimodo y verde para sistemas de larga distancia. Además, este conector tiene un bajo costo y una buena resistencia a esfuerzos y compresiones.

Figura 20

Conector óptico SC



Fuente: (Senko, 2020)

2.6.4.2. Conector FC. También conocido como conector de férula, es un conector de carcasa de metal niquelado y con inserción a rosca, como indica la figura 21. Mientras que su férula de 2.5 mm es generalmente de dióxido de zirconio. Presenta pérdidas de inserción menores a los 0.5 dB tanto para fibra monomodo como multimodo. Estos han sido ampliamente usados en sistemas de televisión, láseres monomodo y equipos de medición, aunque poco a poco van siendo reemplazados por los conectores SC (Massa, 2000).

Figura 21

Ilustración de conector óptico FC



Fuente: (Senko, 2020)

2.6.4.3. Conector ST. El conector de punta recta o *Straight Tip*, se usa principalmente en conexiones con fibras monomodo, teniendo pérdidas promedio menores que 0.5 dB. El cuerpo es de metal y tiene un sistema de encastramiento con medio giro y resorte muy similar a los conectores de cable coaxial, que es muy bueno para entornos con vibraciones, como se puede observar en la figura 22. Se usaban habitualmente redes de área local de alta velocidad como redes de datos dentro de edificios y red de seguridad, aunque actualmente también han sido reemplazados por los conectores SC y LC (Singal, 2017).

Figura 22

Conector óptico ST



Fuente: (Silex Fiber, 2014)

2.6.4.4. Conector LC. También conocido como conector mini-SC, debido a que se puede considerar como versión reducida a la mitad del tamaño de un conector SC. El cuerpo de este conector es de plástico que cuenta con un pestillo que sujeta al conector en su lugar independientemente de la posición, como se ve en la figura 23. Su férula es de cerámica y tiene un diámetro de solo 1.25 mm, llegando a obtener pérdidas típicas de 0.2 dB. Su principal ventaja con respecto al conector SC es que su reducido tamaño permite aumentar la densidad de conectores en los equipos de fibra óptica (Tuolima, 2016).

Figura 23

Conector óptico LC



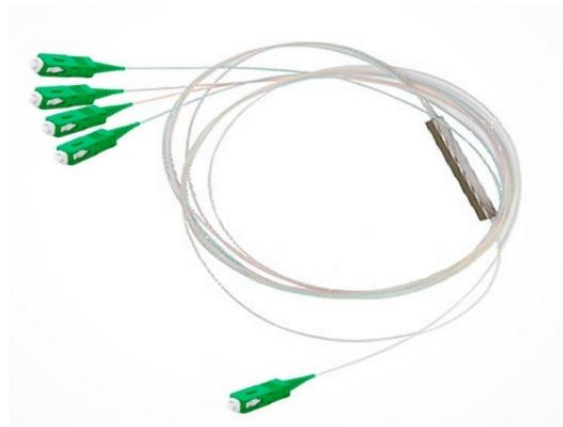
Fuente: (Tuolima, 2016)

2.6.5. Divisores Ópticos

Los divisores ópticos son un elemento básico de muchos sistemas de comunicación por fibra óptica ya que permiten dividir una señal de alta potencia recibida en dos o más señales iguales de salida con menor potencia. Los divisores son dispositivos de distribución óptica bidireccional, lo quiere decir que también pueden ser usados para combinar o multiplexar señales ópticas. En el mercado, actualmente, se pueden encontrar divisores con diferentes configuraciones como son: 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, entre otros (Furukawa Electric, 2021). En la figura 24 se enseña un divisor óptico 1 a 4.

Figura 24

Divisor óptico 1:4



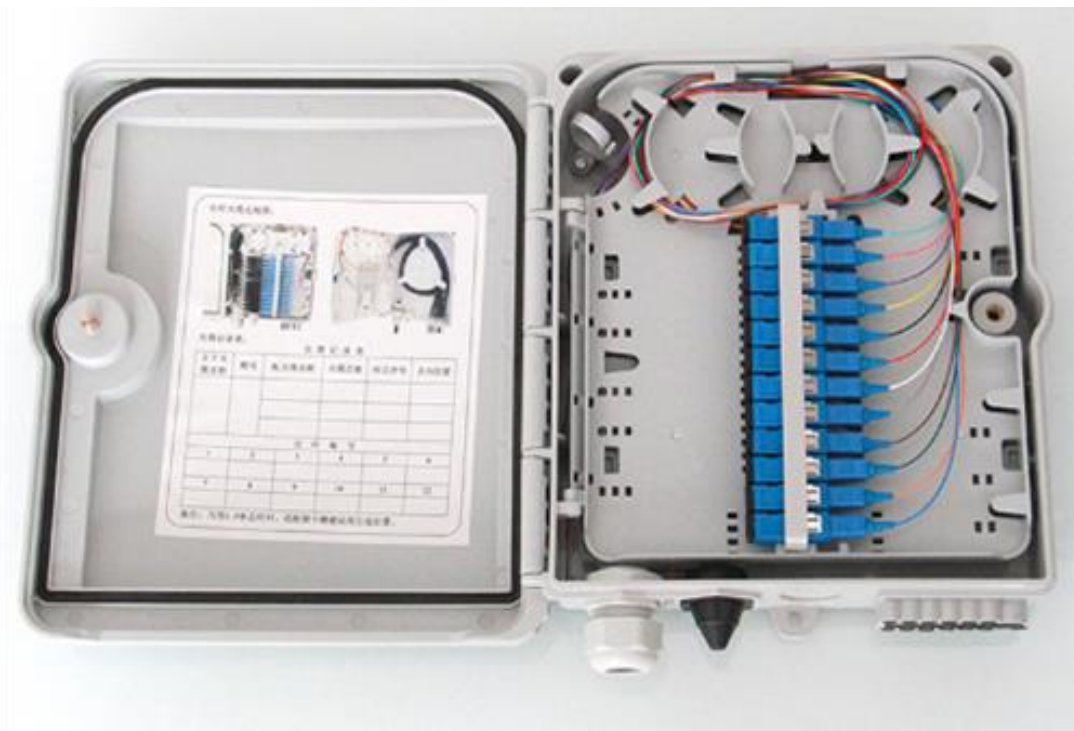
Fuente: (Furukawa Electric, 2021)

2.6.6. ODF

Como señalan Cabezas y Pinto García (2014), la estructura de distribución óptica o también llamada caja de administración y empalmes es un dispositivo de montaje capaz de fijarse a una pared o un poste, el cual sirve como punto de interconexión entre los equipos activos de un nodo de comunicación y los cables de acceso de los clientes. Internamente se componen de una entrada para los cables del nodo, una bandeja de empalmes cuyo tamaño depende del número de puertos requeridos y una salida para los cables de los clientes, como se observa en la figura 25. Por otra parte, un ODF también se puede considerar como dispositivo de protección que protege las conexiones ópticas de posibles daños.

Figura 25

ODF de 12 puertos



Fuente: (Xingcheng, 2018)

2.7. Redes de Acceso Óptico FTTX

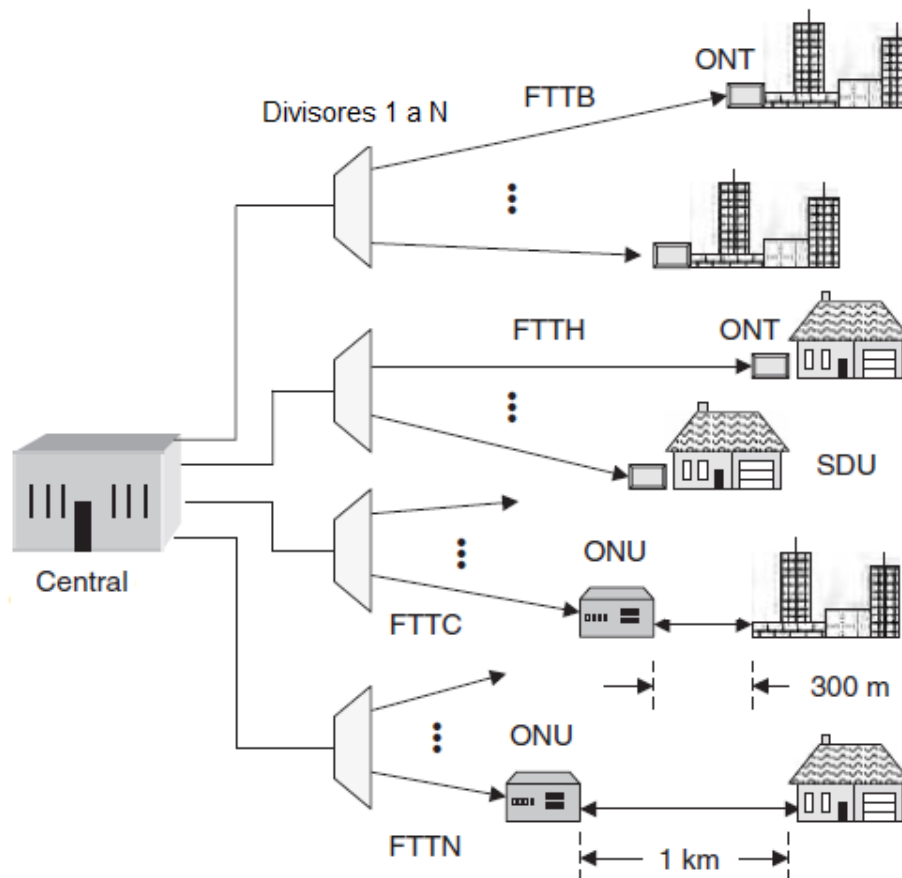
Como expresa Ramaswami et al. (2009), una red de acceso es el último tramo de la red de telecomunicaciones que va desde las instalaciones del proveedor de servicios hasta el hogar o la empresa. Históricamente, los proveedores de telecomunicaciones han utilizado sistemas de distribución híbridos de fibra y tecnologías coaxiales (HFC, *Hybrid Coaxial Fiber*), donde la fibra óptica se utiliza en la red troncal de la red y el cable coaxial conecta la red troncal con los usuarios individuales.

Más recientemente, se ha comenzado a sustituir el cable coaxial por fibra óptica para obtener las ventajas de una mayor calidad, flexibilidad y eficiencia de esta tecnología. Estas circunstancias han propiciado la aparición de las tecnologías FTTX (*Fiber To The X*), en las que la fibra óptica lleva directamente los servicios de banda ancha más cerca del usuario, como se muestra en la figura 26. Donde X indica lo cerca que está el punto final de la fibra del usuario real, como puede ser el hogar, la acera, el edificio, entre otros (García et al., 2004). Entre las tecnologías FTTX más mencionadas en la literatura técnica y comercial figuran las siguientes:

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

Figura 26

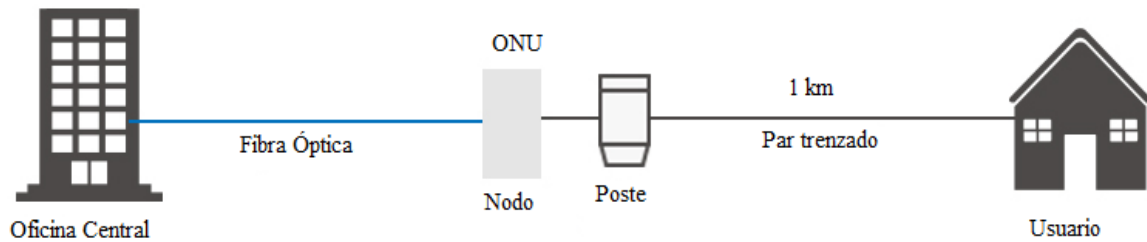
Diferentes arquitecturas de red de acceso FTTX



Fuente: (Keiser, 2006)

2.7.1. FTTN

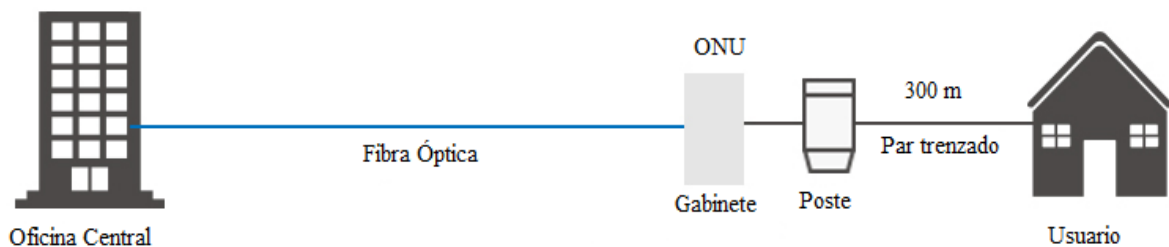
En esta arquitectura los cables de fibra óptica llegan a un nodo o gabinete del vecindario, que se encuentra a aproximadamente 1 km de los hogares y empresas a los que da servicio la red, como se observa en la figura 27. En este nodo están los equipos encargados de transformar las señales ópticas provenientes del proveedor en señales eléctricas que se dirigen a los usuarios por medio de cables coaxiales o de par trenzado. De esta forma se consigue reducir el costo de la infraestructura de acceso, pero limitando la velocidad de datos máxima que pueden tener los usuarios (Woodward, 2014).

Figura 27*Estructura de una red FTTN*

Fuente: (FS Community, 2020)

2.7.2. FTTC

Como expresa Keiser (2006), la arquitectura de fibra hasta la acera describe el tendido de cables de fibra óptica desde los equipos de la oficina central hasta un conmutador de comunicaciones situado a menos de 300 m de una vivienda o empresa, donde se da la transformación opto-eléctrica de la señal. A partir de este punto se utiliza cable coaxial, cables de cobre de par trenzado o algún otro medio de transmisión aéreo para conectar el equipo de la acera a los clientes finales, como se distingue en la figura 28. Este tipo de conexión puede brindar a los usuarios velocidades de hasta 100 Mbps.

Figura 28*Estructura de una red FTTC*

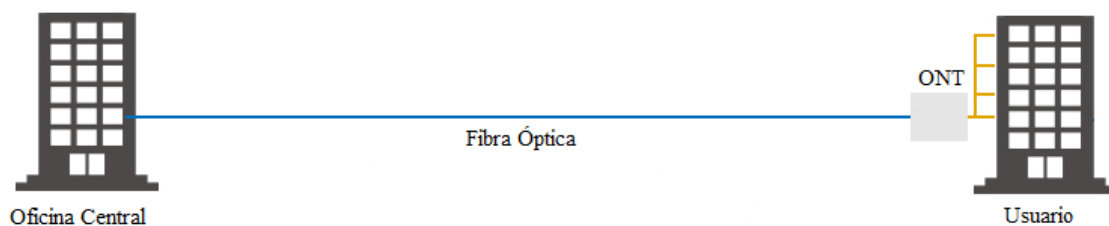
Fuente: (FS Community, 2020)

2.7.3. FTTB

De acuerdo con Woodward (2014), en este tipo de implementación, el despliegue de la fibra óptica desde una central llega directamente hasta el cuarto de telecomunicaciones de un edificio, como se aprecia en la figura 29. En este cuarto se disponen los equipos que convierte las señales ópticas en eléctricas, que posteriormente serán distribuidas a las oficinas o departamentos por medio del cableo estructurado (generalmente de par trenzado) propio del edificio. Con esta estructura se consigue alcanzar velocidades de hasta 100 Mbps, pero esto dependerá de la calidad del cableo estructurado.

Figura 29

Estructura de una red FTTB



Fuente: (FS Community, 2020)

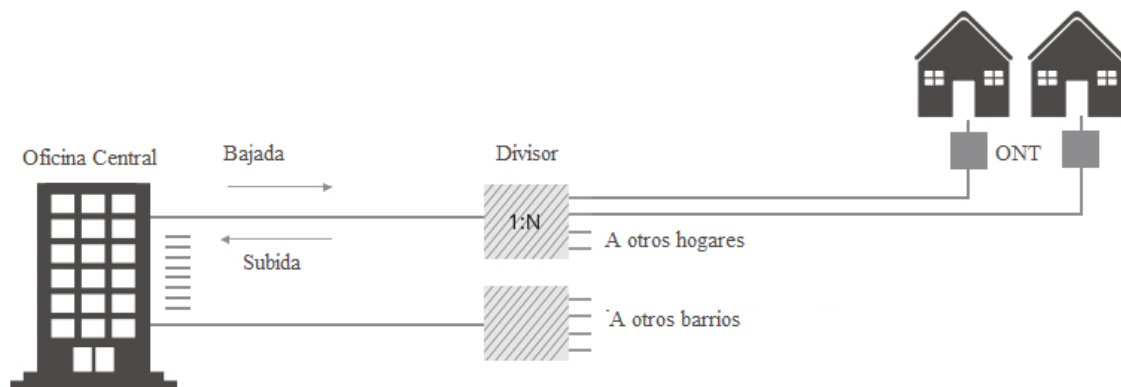
2.7.4. FTTH

FTTH se refiere al despliegue de fibra óptica desde un conmutador de oficina central del proveedor directamente a un hogar (ver figura 30), en el cual se instala un equipo terminal que recupera la información transmitida por la señal óptica y la distribuye a los diferentes equipos de usuario mediante cables de red o por medio de una WLAN. Actualmente, con el gran desarrollo de los servicios de internet, la arquitectura FTTH se ha convertido en la red de acceso por excelencia de los proveedores de servicio de internet, debido principalmente a que permite transportar altas velocidad de datos de manera confiable. Permitiendo de esta forma acceder a aplicaciones que requieren el manejo de grandes cantidades de información, como

los servicios de video en HD, las teleconferencias, los servicios de seguridad inteligente y el internet de las cosas (Keiser, 2006).

Figura 30

Estructura de una red FTTH



Fuente: (FS Community, 2020)

2.8. Redes Ópticas Pasivas

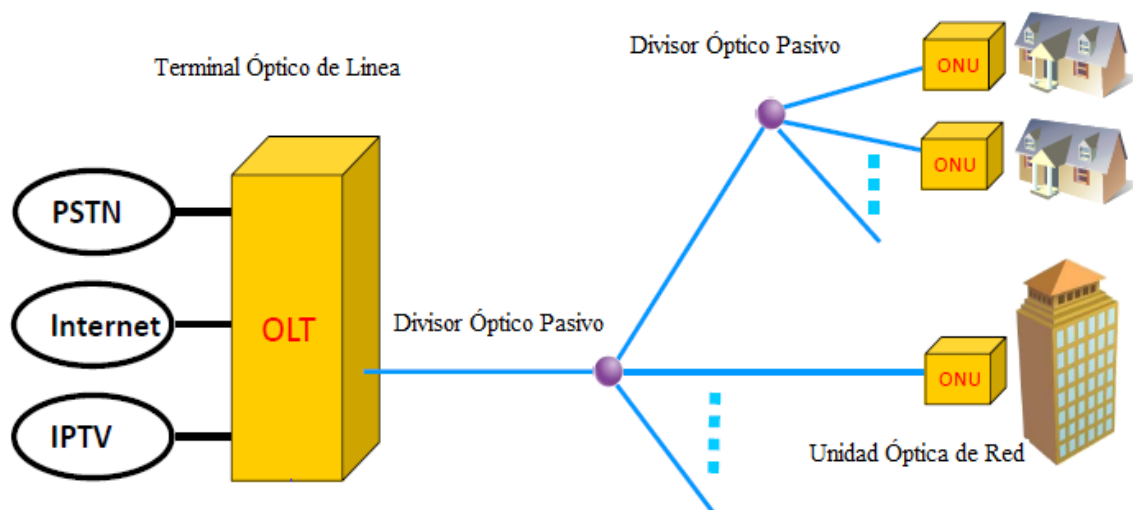
Según Woodward (2014), puesto que los proveedores de servicios de telecomunicación buscaban reducir sus costos operativos, nace el concepto de utilizar una red óptica pasiva (PON) como una opción atractiva para este mercado. En una red PON no hay componentes activos entre la oficina central del proveedor y las instalaciones del cliente. En su lugar, sólo se colocan componentes ópticos pasivos en la ruta de transmisión de la red para guiar las señales de datos contenidas en longitudes de onda específicas hasta los puntos finales de los usuarios y de vuelta a la oficina central. Esto supone un ahorro de costes para el proveedor de servicios, al eliminar la necesidad de alimentar y gestionar componentes activos en el sistema de cableado de la red de acceso. Por otra parte, como los dispositivos pasivos no requieren alimentación eléctrica ni procesamiento de señales, su tiempo medio entre fallos es prácticamente ilimitado. Lo que reduce significativamente los costos generales de mantenimiento para el proveedor de servicios.

2.8.1. Arquitectura PON Fundamental

En la figura 31 se muestra la arquitectura básica de una red PON típica, en la que una red de fibra óptica permite conectar equipos de conmutación del proveedor que se encuentran en su oficina central con una serie de usuarios suscritos al servicio. Para ello, se parte desde la OLT (*Optical Line Terminal*) que está en la oficina central, con un hilo de fibra óptica monomodo que llega hasta un divisor de potencia óptica situado cerca de un complejo de viviendas, un gran edificio de apartamentos u oficinas, un parque empresarial o un barrio de una ciudad. En este elemento pasivo se divide la potencia óptica en varias señales individuales que son transmitidas mediante fibras monomodo individuales que se dirigen a cada edificio o casa, donde se encuentra la terminal de red óptica (ONT) o la unidad de red óptica (ONU), que transforman la señal óptica en una señal eléctrica para que pueda ser usada por los equipos del usuario (Keiser, 2006).

Figura 31

Arquitectura Básica de una red PON



Fuente: (Upcom Optical, 2012)

2.8.2. Componentes de Red PON

Como se expuso en la sección anterior, una red PON se compone esencialmente de 3 elementos básicos que se conectan entre sí por los cables de fibra ópticos. Estos elementos son los siguientes:

- OLT (*Optical Line Terminal*) o también conocido como terminal óptico de línea, es un dispositivo activo que se encuentra en la oficina central del proveedor y controla el flujo bidireccional de información a través de la red PON. En sentido descendente, la función de una OLT es recibir el tráfico datos de una red de WAN y difundirlo a todos los módulos ONT de la red. En sentido inverso, una OLT acepta y distribuye múltiples tipos de tráfico de datos de los usuarios de la red. Una OLT típica está diseñada para controlar más de una PON, puede así llegar a distribuir información a cientos de ONT (Keiser, 2006).
- Dependiendo de hasta dónde llega la conexión con fibra óptica, se puede tener dos diferentes equipos de terminales de usuario. Cuando la fibra llega directamente hasta el hogar u oficina se usa una ONT (*Optical Network Terminal*), que es un equipo óptico activo que se encuentra directamente en las instalaciones del cliente. Su finalidad es proporcionar una conexión óptica a la PON en el lado ascendente y servir de interfaz eléctrica con el equipo del cliente en el otro lado. Por otra parte, cuando la línea de fibra termina en algún tipo de armario de telecomunicaciones situado cerca de un grupo de hogares o empresas, se debe usar una ONU (*Optical Network Unit*), la cual debe ser resistente a las variaciones de temperatura, al agua, el viento y al vandalismo. La conexión desde la ONU hasta las instalaciones del usuario puede realizarse mediante medios como cables de par trenzado o cable coaxial (Keiser, 2006).

- ODN (*Optical Distribution Network*), mejor conocida como red de distribución óptica hace referencia al conjunto de fibras, divisores o acopladores ópticos y otros elementos pasivos que se encuentran entre la OLT y las distintas ONT/ONU. Esta parte, puede llegar a extenderse por hasta decenas de kilómetros y representa la parte más importante a considerar en el diseño de una red PON (Panchi Herrera, 2016).

2.8.3. *Flujos de Tráfico en una red PON*

La OLT cuenta con dos funciones de red esenciales, que son controlar el tráfico de usuario y asignar ancho de banda dinámicamente a los módulos ONT. Dado que varias ONT utilizan la misma longitud de onda y comparten una línea de transmisión de fibra óptica común, debe utilizarse algún tipo de sincronización de la transmisión para evitar colisiones entre el tráfico procedente de diferentes ONT. El método más sencillo es utilizar el acceso múltiple por división de tiempo o TDMA (*Time-Division Multiple Access*), en el que cada usuario transmite información dentro de un intervalo de tiempo específico asignado a una velocidad de datos preestablecida. Sin embargo, esto no hace un uso eficiente del ancho de banda disponible, ya que muchos *slots* de tiempo estarán vacíos cuando varios usuarios de la red no tengan información que enviar de vuelta a la oficina central.

Por otra parte, las OLT utilizan la multiplexación por división en el tiempo (TDM) para combinar los flujos de datos entrantes destinados a los usuarios de la red PON. La señal de bajada multiplexada se difunde a todas las ONT. Cada ONT descarta o acepta los paquetes de información entrantes, dependiendo del direccionamiento de la cabecera del paquete. El cifrado puede ser necesario para mantener la privacidad, ya que la señal de bajada se difunde y cada ONT recibe toda la información destinada a cada terminal final (Keiser, 2006).

2.8.4. Tipos de redes PON

Existen varios esquemas alternativos de implementación de redes PON que siguen la arquitectura PON básica antes mencionada, pero se diferencian entre ellas por los protocolos de transmisión que se emplean. A continuación, se detallan algunos de los esquemas PON más relevantes en la industria de las telecomunicaciones a lo largo de la historia.

2.8.4.1. APON. También conocida como ATM-PON fue iniciada en 1995 por la FSAN (Full Services Access Network) y normalizada en la recomendación UIT-T G.983. APON fue la primera tecnología basada en PON desarrollada para el despliegue de FTTH, ya que la mayor parte de la infraestructura de red heredada estaba basada en ATM. Los flujos de datos de este tipo de red alcanzan los 155 Mbps que se reparten entre los máximos 32 usuarios por puerto de la OLT (Kim, 2003).

2.8.4.2. BPON. Mejor conocida como red óptica pasiva de banda ancha, se puede considerar una evolución de las redes APON, ya que su estándar se basa en la serie G.983 de recomendaciones de la UIT-T, que especifican el modo de transferencia asíncrono (ATM) como protocolo de transporte y señalización. Su principal ventaja con respecto a APON es que proporciona una tercera longitud de onda para servicios de vídeo. BPON está definida por las recomendaciones de la UIT-T G.983.1 a G.983.8 donde se definen velocidades de datos máximas de bajada de hasta 1244.16 Mbps y de subida de hasta 622.08 Mbps (Keiser, 2006).

2.8.4.3. EPON. Según Vukovic et al. (2007), los fabricantes de equipos Ethernet crearon la Alianza de Ethernet en la Primera Milla (EFMA) para trabajar en una arquitectura de FTTH, ya que Ethernet es el protocolo dominante en las redes de área local. La FTTH basada en EPON fue adoptada por la norma IEEE 802.3ah del IEEE en septiembre de 2004. EPON es, en gran medida, una norma impulsada por los proveedores y es fundamentalmente

similar a APON, pero transporta tramas o paquetes Ethernet en lugar de celdas ATM. El estándar IEEE 802.3ah especifica condiciones operativas para una distancia de transmisión máxima de 20 a 40 km entre la OLT y una ONT. También define velocidades simétricas de hasta 1.25 Gbps utilizando una longitud de onda de 1490 nm para el flujo descendente y de 1310 nm para el ascendente, con 1550 nm reservada para futuras ampliaciones o servicios adicionales, como la difusión de vídeo.

2.8.4.4. 10G-EPON. En 2009 se completó el desarrollo de la especificación IEEE 802.3av que define a 10G-EPON como un sucesor de EPON, ampliando el funcionamiento de EPON a velocidades de datos diez veces superiores. 10G-EPON admite velocidades de datos simétricas de 10 Gbps en sentido descendente y ascendente, y asimétricas de 10 Gbps en sentido descendente y 1 Gbps en sentido ascendente. La longitud de onda descendente de 10G-EPON se asignó en ventanas entre 1575 y 1580 nm. Por el contrario, la longitud de onda ascendente se asignó en ventanas entre 1260 y 1280 nm, que se solapa completamente con la banda de longitud de onda ascendente de EPON (Tanaka et al., 2010).

2.8.4.5. G-PON. La PON apta para gigabits (G-PON) se especifica en la serie de recomendaciones G.984 de la UIT-T. La arquitectura de red G-PON admite un esquema WDM de dos longitudes de onda para los flujos de bajada y subida. Además, se asigna otra longitud de onda de bajada para la distribución del servicio de vídeo analógico. La red logra un alcance de hasta 60 km y admite una relación de división de hasta 128. En la práctica, los despliegues suelen tener un alcance y una relación de división menores, limitados por el presupuesto óptico. Este tipo de redes tiene una velocidad asimétrica de 2.488 Gbps en sentido descendente y 1.244 Gbps en sentido ascendente (Effenberger et al., 2007).

2.8.4.6. XG-PON. Según Batagelj et al. (2012), la red óptica pasiva con capacidad para 10 Gigabits (XG-PON) se define en la serie de recomendaciones UIT-T G.987 creadas por el grupo FSAN que mejora las redes G-PON. XG-PON no sólo mejora la velocidad de datos de G-PON, sino que también aumenta el alcance físico y el número máximo de usuarios por fibra óptica, abriendo el camino a muchas aplicaciones intensivas en ancho de banda como IPTV, vídeo bajo demanda, videoconferencia, entre otras. Existen dos tipos de XG-PON en función de la velocidad de la línea ascendente: XG-PON1, con una velocidad de transmisión ascendente de 2.5 Gbps, y XG-PON2, con una de 10 Gbps. La velocidad de datos descendente es de 10 Gb/s en ambos casos.

2.8.4.7. NG-PON2. La serie de recomendaciones UIT-T G.989 especifican a NG-PON2 (*Next-Generation Passive Optical Network 2*) como un sucesor de los estándares GPON y XG-PON. Por primera vez se ha incluido una capacidad de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) en una PON en combinación con la tradicional multiplexación por división de tiempo (TDM). La norma exige el uso de al menos 4 longitudes de onda ópticas utilizando un rango de 5 nm, tanto para el canal de subida como para el de bajada. Cada longitud de onda utiliza el mismo protocolo de señal que XG-PON, es decir, cada longitud de onda lleva una señal de 10 Gbps que da una capacidad total de hasta 40 Gbps para el flujo de subida y de bajada (Acosta O. et al., 2018).

2.9. Redes XG-PON

XG-PON es una mejora de GPON, ya que este tiene muchas similitudes con GPON, como su esquema TDMA utilizado para compartir el medio, el mecanismo para proporcionar QoS y el esquema DBA utilizado para la longitud de onda ascendente. Sin embargo, presenta varias ventajas como, por ejemplo, el alcance físico aumenta de 20 km a 60 km, el ancho de

banda de bajada pasa de 2.5 Gbps a 10 Gbps y el número máximo de usuarios por longitud de onda aumenta de 64 a 256 (Wu et al., 2013).

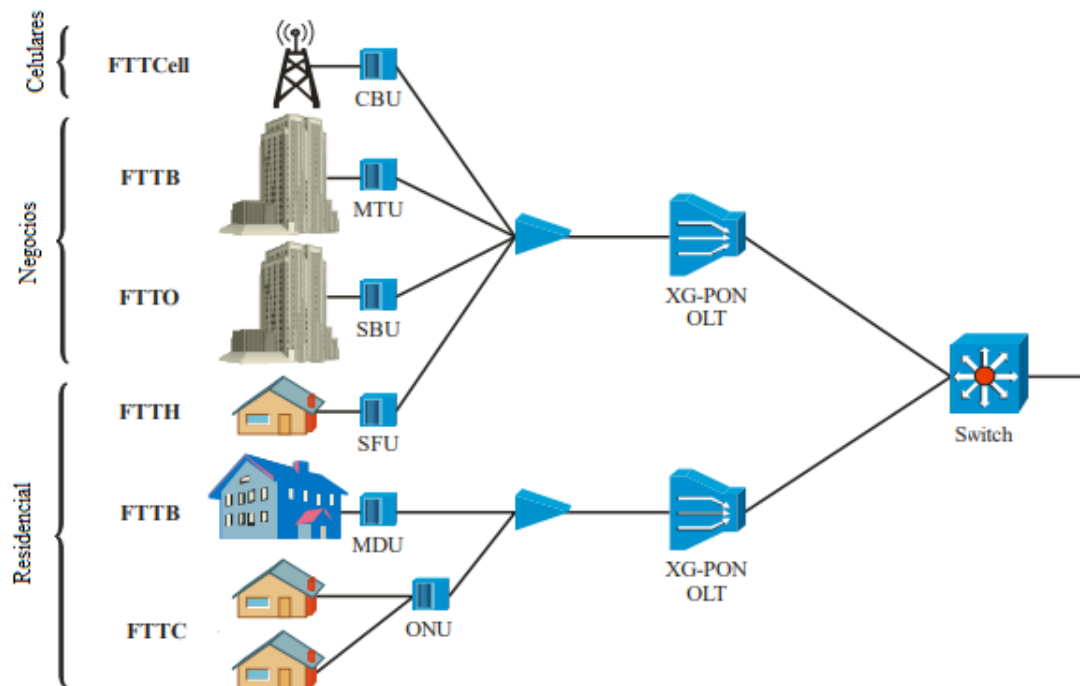
La serie de recomendaciones UIT-T G.987 explica varios conceptos importantes de XG-PON, por ejemplo, la UIT-T G.987.1 presenta los requisitos generales de XG-PON, como arquitectura de red, migración y coexistencia con GPON, servicios que deben soportarse, especificaciones de hardware, pila de protocolos, etc. Por otra parte, UIT-T G.987.2 se centra en cuestiones de la capa dependiente del medio físico (PMD), como la longitud de onda utilizada y las velocidades de datos soportadas. UIT-T G.987.3 presenta los detalles de la capa de convergencia de transmisión, que describe la gestión de la calidad de servicio y la asignación dinámica de ancho de banda (DBA, *Dynamic Bandwidth Assignment*) para la longitud de onda ascendente, además de los protocolos para la comunicación de datos. Otra recomendación relacionada es UIT-T G.988, que especifica la interfaz de gestión y control de la ONU (OMCI, *ONU Management and Control Interface*) tanto para GPON como para XG-PON.

2.9.1. Arquitectura de XG-PON

De acuerdo con Nettet (2017), XG-PON se ha propuesto para varios escenarios de despliegue con el fin de dar servicio a diferentes clientes, como residencias (FTTH), empresas (FTTB), bases celulares (FTTcell), ente otros, como muestra en la figura 32. Para atender a estos clientes, el estándar de XG-PON enumera los distintos servicios soportados como telefonía, acceso a internet de alta velocidad, *backhaul* móvil, etc. Así como las distintas ubicaciones, funciones e interfaces de las ONU.

Figura 32

Arquitectura Básica de una red XG-PON



Fuente: (ITU-T Rec. G.987.1, 2016)

2.9.2. Requisitos de la capa física de XG-PON

La capa física de la arquitectura de XG-PON tiene un enorme impacto en las características visibles para el operador, como la compatibilidad con otros sistemas. A continuación, se presentan algunos aspectos básicos asociados al medio de transmisión.

2.9.2.1. Características de la Fibra. En la Recomendación UIT-T G.987.1, se especifica que en el despliegue de estas redes se utiliza cualquier tipo de fibra monomodo estándar, descritos en la serie de recomendaciones UIT-T G.652. Las cuales también son ampliamente usadas para las redes G-PON. Otros tipos de fibra con características de radio de curvatura bajo definidos en la recomendación UIT-T G.657, también son compatibles con los despliegues de las redes XG-PON.

2.9.2.2. Longitudes de Onda Ópticas. Las longitudes de onda que se ocupan en este tipo de redes son los siguientes:

- Para el flujo ascendente se usa la banda O, que va de 1260 a 1280 nm
- Para el flujo descendente, se usa una longitud central de 1577 nm, esta banda va de 1575 a 1580 nm

2.9.2.3. Velocidades de Transmisión. En XG-PON se identifica dos variantes, las cuales tienen velocidades de transmisión diferentes (ITU-T Rec. G.987.1, 2016).

- XG-PON1 tiene nominalmente una velocidad de baja de 10 Gbps, mientras que para la subida se alcanza 2.5 Gbps.
- XG-PON2, cuya velocidad nominal es de 10 Gbps para el flujo de bajada y 10 Gbit/s para el flujo de subida.

2.9.2.4. Presupuesto de Potencia. En este tipo de redes se definen dos clases de presupuestos de potencia nominales. Las cuales son, Nominal1 de 29 dB y Nominal2 de 31 dB para lograr un BER de $1E^{-12}$.

2.9.2.5. Relación de División. XG-PON tiene como requisito mínimo una relación de división 1:64, para poder mantener la contabilidad en infraestructura ODN que tienen una división de 1:32 a 1:64 propias de las redes G-PON. Por otra parte, la relación de división máxima es de 1:256, para mejorar la economía global de XG-PON en comparación con G-PON.

2.9.2.6. Distancia de la Fibra. Las recomendaciones UIT-T G.987 definen que XG-PON1 debe soportar una distancia de fibra de al menos 20 km y una distancia máxima de

fibra de 60 km. Por otra parte, también debe admitir una distancia máxima de hasta 40 km entre la ONU más cercana y la más lejana de la red PON (ITU-T Rec. G.987.1, 2016).

2.9.3. Requisitos a Nivel de Sistema

Existen cuatro requisitos fundamentales a nivel de sistema que deben cumplir las redes XG-PON, a continuación, se detallan estos requerimientos.

2.9.3.1. Ahorro de energía y eficiencia energética. Según ITU-T Rec. G.987.1 (2016), los mecanismos de conservación de energía en los sistemas de comunicaciones es un tema cada vez más importante, ya que permite reducir los costos operativos del proveedor, a la vez que disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero. Para esto, las redes XG-PON cuentan con tres modos de funcionamiento que pueden ofrecer diferentes niveles de ahorro de energía sin sacrificar la calidad del servicio ni la experiencia del usuario, los cuales son: el modo de servicio completo, el modo de dormitado y el modo de reposo.

2.9.3.2. Autenticación, identificación y cifrado. Debido a que en las redes PON tiene un medio compartido en el que todas las ONU reciben los datos completos, se deben tomar medidas de seguridad para evitar la suplantación de identidad y el espionaje. Para proteger a los usuarios de la suplantación de identidad se definen ciertos mecanismos de autenticación e identificación opcionales que usan, un identificador de registro de la ONU y al menos un mecanismo de autenticación fuerte. Mientras que, para proteger las ONU del espionaje en, toda la información en sentido descendente se cifra con un algoritmo de codificación sólido como AES. En el sentido ascendente, la función de cifrado será opcional y se implementará o no en función de las necesidades de cada operador (ITU-T Rec. G.987.1, 2016).

2.9.3.3. Asignación dinámica de ancho de banda. La OLT de XG-PON debe soportar el algoritmo DBA para lograr un reparto eficiente del ancho de banda ascendente entre las ONU conectadas. El algoritmo DBA toma decisiones basándose en los informes de ocupación de colas, los parámetros de QoS (*Quality of Service*) y el historial de servicio de estas ONU contendientes. Con lo que se determina las ONU contendientes que serán servidas, los tiempos y los anchos de banda asignados a cada una (Wu et al., 2013).

2.9.3.4. Seguridad ocular. En vista de que los sistemas de las redes XG-PON permiten un uso de potencias ópticas mayores en las OLT, deben preverse todos los mecanismos necesarios para garantizar que no se produzcan daños oculares a los usuarios finales que no sean conscientes de los riesgos, especialmente si la fibra termina dentro del hogar. Es así como las OLT deben ajustarse las especificaciones de la clase 1M definida en el estándar IEC 60825-2. Por otra parte, las ONU deben cumplir con los límites de la clase 1 del mismo estándar (ITU-T Rec. G.987.1, 2016).

3. CAPÍTULO III: SITUACIÓN ACTUAL

A lo largo del presente capítulo se analizan la situación actual de la parroquia de San Blas y de la empresa Profyber, con el objetivo de reconocer los factores que pueden intervenir en el desarrollo del diseño de la red fibra óptica. Así mismo, se presenta un estudio mediante encuestas para conocer la opinión de los pobladores con respecto a la realización de este proyecto.

3.1. Situación Actual de la Parroquia

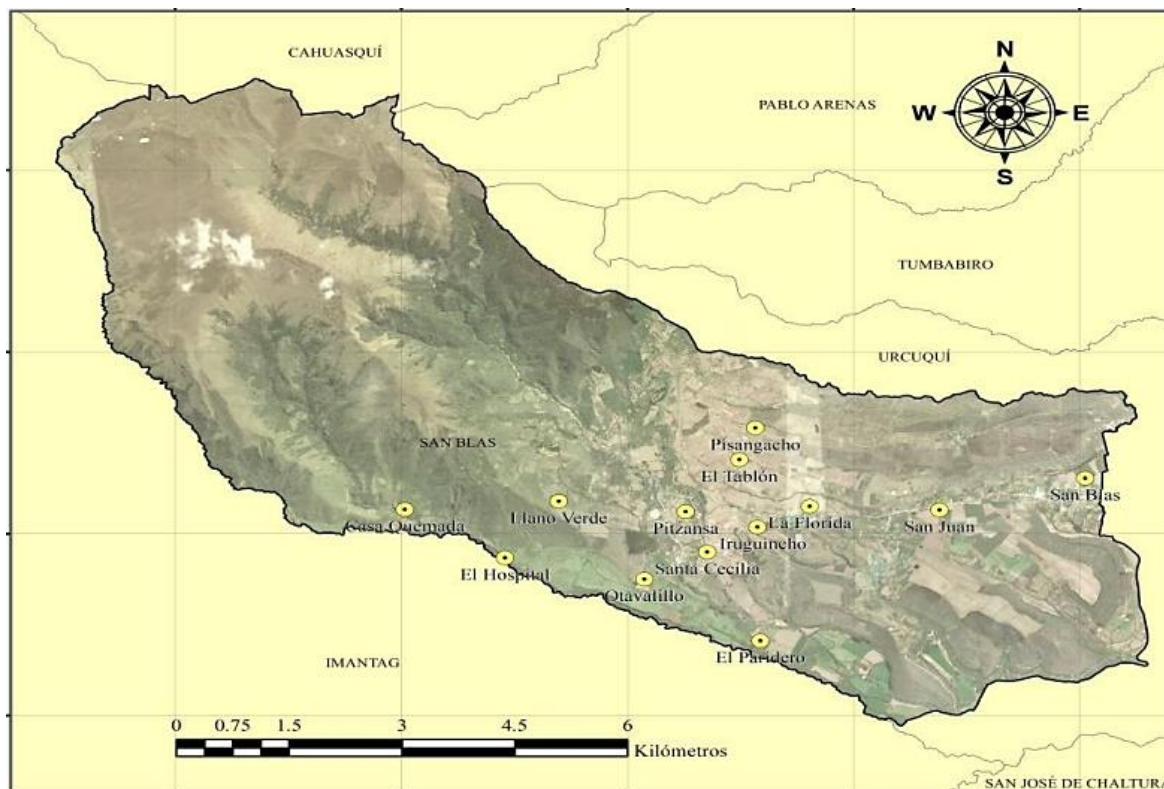
En el presente apartado se describen las características más importantes que conforman la situación actual de la parroquia San Blas de Urcuquí, como lo es su ubicación, su territorio, el número de habitantes y el nivel de acceso a servicios de internet en la zona.

3.1.1. Ubicación

De acuerdo con el Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2015-2019 del GAD Parroquial de San Blas (2016), San Blas es una de las cinco parroquias rurales del cantón San Miguel de Urcuquí de la provincia de Imbabura, se encuentra al noroccidente de la ciudad de Ibarra a una distancia de aproximadamente 20 km, en tanto que su distancia con respecto a la cabecera cantonal Urcuquí es de solo 3.3 km. Como se puede observar en la figura 33, la parroquia de San Blas limita al norte con las parroquias rurales de Cahuasquí, Pablo Arenas, Tumbabiro y con la parroquia urbana de Urcuquí, con la cual limita también por el oriente. Mientras que, al sur y al occidente San Blas colinda con la parroquia rural de Imantag perteneciente al cantón Cotacachi.

Figura 33

Mapa de la parroquia San Blas de Urcuquí



Fuente: (GAD Parroquial de San Blas, 2016)

3.1.2. Territorio

La parroquia San Blas tiene una extensión de 73.93 km² que equivale al 9.3% de la superficie territorial del cantón San Miguel de Urcuquí, llegando a tener un rango altitudinal que va desde los 2200 a los 4100 m s. n. m. De esta superficie, el 52.35% corresponde a zonas de protección de cobertura vegetal y el restante territorio es principalmente usado para actividades agrícolas, agropecuarias y pecuarias (GAD Cantonal de San Miguel de Urcuquí, 2014).

Por otra parte, el territorio de San Blas se encuentra dividido en las comunas San Juan de Dios, San Alfonso de Iruguincho, Santa Teresita de Pisangacho, Santa Clara del Tablón, Santa Cecilia de Jijón y la Cabecera Parroquial San Blas, como se muestra en la figura 34.

Figura 34*Mapa de las comunas de San Blas*

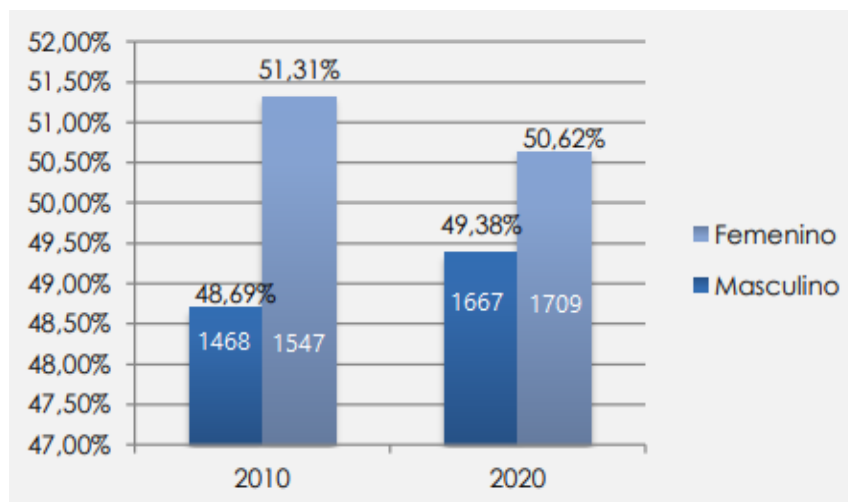
Fuente: (GAD Parroquial de San Blas, 2020)

3.1.3. Población

Según el Censo de Población y Vivienda 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (2010), la parroquia San Blas en ese año tenía 3015 habitantes de los cuales 1468 eran hombres que correspondía al 48.69 % y el restante 51.31% de la población correspondía a 1547 mujeres. Con lo cual, San Blas se posicionaba como la parroquia rural más poblada del cantón San Miguel de Urququí. En el 2020, el gobierno autónomo descentralizado parroquial de San Blas realizó un nuevo censo de población y vivienda, mediante el cual se evidenció un incremento poblacional de más del 11% con respecto a 2010 (GAD Parroquial de San Blas, 2020). Alcanzando un total de 3376 habitantes, de los cuales 1709 son mujeres y 1667 hombres, como se puede apreciar en la figura 35.

Figura 35

Población de San Blas según sexo de 2010 y 2020



Fuente: (GAD Parroquial de San Blas, 2020)

Como señala el GAD San Miguel de Urququí (2020), la mayoría de la población de San Blas habita en la comuna de Iruguincho, alcanzando el 28.94% de la población total, seguido por la comuna de San Juan con el 25.47% y la Cabecera Parroquial con el 22.19%, mientras que el resto de las comunas tiene un porcentaje inferior al 10%, como se puede apreciar en la tabla 3.

Tabla 3

Población según división política de San Blas

División Política	Número de Habitantes	Porcentaje (%)	Número de Familias
Cabecera Parroquial	749	22.19	223
San Juan de Dios	860	25.47	236
San Alfonso de Iruguincho	977	28.94	285
Santa Clara del Tablón	209	6.19	63
Santa Teresita de Pisangacho	321	9.51	92
Santa Cecilia de Jijón	260	7.7	69
Total	3376	100	968

Fuente: (GAD Parroquial de San Blas, 2020)

Por otra parte, partiendo de los datos obtenidos en el censo de población organizado por el GAD parroquial de San Blas, se obtiene también la estructura demográfica de la parroquia, dividiendo a la población en rangos de edades como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Estructura demográfica de San Blas por rango de edad y sexo

Rangos de edad	Hombres	Mujeres	Total	Porcentaje (%)
De 0 a 2 años	61	57	118	3.50
De 3 a 5 años	82	94	176	5.21
De 6 a 12 años	235	198	433	12.83
De 13 a 15 años	113	106	219	6.49
De 16 a 18 años	128	110	238	7.05
De 19 a 24 años	157	177	334	9.89
De 25 a 34 años	226	212	438	12.97
De 35 a 44 años	190	225	415	12.29
De 45 a 55 años	168	198	366	10.84
De 56 a 64 años	115	97	212	6.28
De 65 años en adelante	192	235	427	12.65
Total	1667	1709	3376	100.00

Fuente: (GAD Parroquial de San Blas, 2020)

A través de esta información se puede concluir que la población de San Blas es de cierta forma joven, ya que cerca del 45% de los habitantes tienen menos de 25 años y alrededor del 58% tienen una edad menor a los 35 años.

3.1.4. Proyección de Población

Partiendo de los datos del Censo de Población del 2020 realizado por el GAD parroquial de San Blas (2020) y los datos recogidos en el Censo Nacional de Población y Vivienda del 2010, se puede determinar que la tasa de crecimiento anual promedio de la población de San Blas fue de 1.14%, siendo mayor para los hombres con un promedio de

1.29%, mientras que para las mujeres el crecimiento anual fue de tan solo 1.0%. Lo que se reflejó en un incremento total del 13,56% para los hombres y del 10,47% para las mujeres, que en promedio representa un crecimiento total de la población del 12,02% en los 10 años transcurridos desde el censo nacional de 2010.

Con este valor de crecimiento anual de la población y aplicando la ecuación [8], se puede hacer una proyección anual del número de habitantes por sexo, que se espera tener en la parroquia de San Blas, hasta el año 2030. En la tabla 5, se muestra de forma detallada los valores de poblaciones calculados año a año.

$$P_t = P_0(1 + r)^t \quad \text{Ecuación [8]}$$

Donde:

P_t es la población total en el año t.

P_0 es la población total en el año 0.

r es la tasa de crecimiento anual.

t es el tiempo en años.

Tabla 5

Proyección de la población de San Blas hasta 2030

Sexo	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Masculino	1689	1711	1733	1755	1778	1801	1825	1848	1872	1896
Femenino	1726	1743	1761	1779	1797	1815	1833	1851	1870	1890
Total	3415	3454	3494	3534	3575	3616	3658	3699	3742	3786

Fuente: Autoría Propia

Teniendo en cuenta los datos de esta proyección, se puede asumir que la población actual de toda la parroquia de San Blas alcanzaría aproximadamente los 3454 habitantes, que es el valor obtenido para el año 2022.

3.1.5. Acceso al Servicio de Internet

El acceso a servicios de internet en la parroquia de San Blas es bajo, teniendo en cuenta que apenas el 34.4% de las familias residentes en la parroquia tienen contratado algún plan de internet domiciliario o móvil. Siendo la comuna de San Juan, el lugar donde los pobladores tienen más acceso a estos servicios alcanzado el 43.64% de las familias, seguido muy de cerca por la Cabecera Parroquial que presenta una cobertura del 41.70% y la comuna de Iruguincho donde el 34,04% de las familias tienen internet (GAD Cantonal de San Miguel de Urucuí, 2020). En la tabla 6, se detallan el número de familias por comuna, que poseen y no poseen servicios de internet.

Tabla 6

Porcentaje de Familias de San Blas que poseen y no poseen internet.

Comuna/ Barrio	Familias que poseen internet	Porcentaje de familias que poseen internet	Familias que no poseen internet	Porcentaje de familias que no poseen internet
Cabecera Parroquial	93	41.70%	130	58.30%
San Juan	103	43.64%	133	56.36%
Iruguincho	97	34.04%	188	65.96%
El Tablón	8	12.70%	55	87.30%
Pisangacho	11	11.96%	81	88.04%
Santa Cecilia	21	30.43%	48	69.57%
Total	333	34.40%	635	65.60%

Fuente: (GAD Parroquial de San Blas, 2020)

3.2. Situación Actual de la Empresa

ProFyber es una empresa que se dedica a brindar diversos servicios tecnológicos, siendo la prestación del servicio de internet por fibra óptica su principal actividad.

Actualmente, dicho servicio está disponible en gran parte de la ciudad de Ibarra, con la visión de extender su cobertura a las diferentes ciudades y parroquias de los cantones aledaños a

Ibarra. Según la página web de la empresa, Profyber ofrece al público 5 planes de internet residenciales, cuyo costo y velocidad se detallan en la tabla 7.

Tabla 7

Planes de Internet que oferta Profyber

Nombre del Plan	Velocidad (Mbps)	Costo (\$)
Plan Hogar	15	12.00
Plan Estándar	70	20.00
Plan Navega	100	25.00
Plan Conéctate	150	30.00
Plan Pro	200	35.00

Fuente: Autoría Propia

3.3. Opinión de los Pobladores

Es importante tomar en cuenta la opinión de los abonados pues son para quienes está dirigido el presente trabajo, para lo cual se hará el empleo de una encuesta por medio de la cual será posible definir las necesidades de la población sobre el servicio de internet que reciben o que les gustaría recibir; estos datos serán la base para realizar el diseño de la red y todos los componentes que la van a formar para cumplir con los requerimientos de los usuarios.

La encuesta se encuentra enfocada principalmente en conocer el tipo de servicio de internet con el que cuentan actualmente los pobladores de la parroquia y los problemas que necesitan sean solventados en caso de que hubiere con el crecimiento de una nueva red de acceso a internet basada en una tecnología capaz de brindar mayores beneficios que los ya conocidos. Esta encuesta también servirá para realizar una proyección de la posible demanda de ancho de banda requerida para el sector, con ello se puede también definir los costos aproximados de uso de equipos y los posibles planes más adecuados para la población analizada. El modelo de la encuesta realizada se encuentra en la figura 36.

Figura 36

Modelo de la encuesta realizada en San Blas

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

1. ¿Cuál es su edad? _____
2. ¿Qué actividad realiza diariamente?
Estudia _____ Trabaja _____ Otros _____
3. ¿Cuenta con servicio de internet en su domicilio?
SI _____ NO _____
4. ¿A través de que medio recibe su servicio de internet?:
Antena _____
Teléfono fijo _____
Cable Coaxial (cable de TV) _____
Fibra Óptica _____
5. ¿Tiene problemas en el funcionamiento de su servicio?
SI _____ NO _____
Especifique _____
6. ¿Qué actividades realiza principalmente en su servicio de internet?

Redes Sociales	
Clases en línea	
Videollamadas	
Tv por internet	
Netflix	
7. ¿Le gustaría que se implemente el servicio de internet a través de fibra óptica?
SI _____ NO _____

Fuente: Autoría Propia

3.3.1. Tamaño de la Muestra

Cuando se realiza una investigación en un grupo poblacional numeroso es importante obtener que se obtenga una muestra referencial para no tener que encuestar a todo el grupo

poblacional pues se convertiría en un trabajo extenuante y casi imposible de tabular. Para determinar el tamaño de la muestra se requieren de algunos parámetros definidos que incluyen el tamaño de la población, margen de error y el nivel de confianza del muestreo.

3.3.1.1. Tamaño de la Población. Este parámetro refiere al número total de las personas que se va a estudiar, también se conoce como universo.

3.3.1.2. Margen de Error. Es un umbral que permite determinar el grado de error aceptable para el estudio.

3.3.1.3. Nivel de Confianza. Es la probabilidad a priori de que el intervalo de confianza a calcular contenga al verdadero valor del parámetro, se mide en porcentajes.

3.3.1.4. Desviación Estándar. Permite estimar la variación de las respuestas con respecto a una media, a menudo se recomienda tomar una desviación de 0.5%. A nivel general los valores que más se utiliza para el cálculo de una muestra están dados en la tabla 8.

Tabla 8

Nivel de Confianza y Puntuación.

Nivel de confianza	Puntuación (z)
80%	1.26
85%	1.44
90%	1.65
95%	1.96
99%	2.58

Fuente: (SurveyMonkey, 2022)

3.3.1.5. Cálculo de la Muestra. Basado en los parámetros calculados con anterioridad se procede a hacer el cálculo de la muestra, para lo cual existen varias fórmulas matemáticas, pero para el caso se utilizará la ecuación [9] para el caso de un universo finito.

$$n = \frac{N * Z^2 * \sigma^2}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * \sigma^2} \quad \text{Ecuación [9]}$$

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño del universo

σ = Desviación estándar de la población a estudiar, en caso de desconocer esta información 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%, para este caso será 95%.

e = Error de estimación máximo, generalmente es de entre 1% y 9%, siendo 5% (0.05) el valor estándar.

De acuerdo con los datos de la tabla 6 se define que el número de abonados en el sector de San Juan de la parroquia de San Blas para el año 2022 es de 103. Como se explicó con anterioridad se usará 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 7.

$$n = \frac{103 * 1.96^2 * 0.5^2}{0.05^2 * (103) + 1.96^2 * 0.5^2}$$

$$n = 81$$

Acorde a los cálculos realizados se obtiene un valor de 81 habitantes a encuestar, datos que luego de obtenerse al finalizar las encuestas se deberá tabular y con los valores obtenidos por cada pregunta se podrá visualizar cuales son las necesidades de la parroquia en lo que ha servicio de internet refiere y como intentar solventarlas con el diseño que se va a realizar.

3.4. Análisis de la Encuesta

La encuesta que se encuentra detalló previamente, se realizó a 81 habitantes de la parroquia de San Blas conforme al tamaño de la muestra que se hizo en cálculos anteriores, una fracción de las encuestas realizadas se hallan en el Anexo 1. Ahora se procede a tabular las respuestas obtenidas y se lo presenta en la tabla 9, a continuación, de una forma detalla para crear un panorama claro de la información que se buscaba obtener por medio de las encuestas.

Tabla 9

Datos de las encuestas realizadas en San Blas

Preguntas	Datos de encuesta	Datos obtenidos	Porcentaje
Edad	18 a 23 años	27	33%
	24 a 34 años	28	35%
	35 a 45 años	13	16%
	mayor a 45 años	13	16%
¿Qué actividad realiza diariamente?	Estudia	38	47%
	Trabaja	33	41%
	Otro	10	12%
¿A través de que medio recibe su servicio de internet?	Antena	28	35%
	Teléfono fijo	15	18%
	Cable Coaxial	8	10%
	Fibra Óptica	20	25%
	Desconoce	10	12%
¿Tiene problemas en el funcionamiento de su servicio?	SI	67	83%
	NO	14	17%
	Redes sociales	32	40%
	Clases en línea	18	22%

¿Qué actividades realiza principalmente en su servicio de internet?	Videollamadas	11	13%
	TV por internet	8	10%
	NETFLIX	12	15%
¿Le gustaría que se implemente el servicio de internet a través de fibra óptica?	SI	69	85%
	NO	12	15%

Fuente: Autoría Propia

Luego de recolectar la información a través de las encuestas para iniciar con el diseño se realizará un análisis previo de la situación actual del servicio de internet en la parroquia San Blas.

3.4.1. Pregunta 1

La pregunta uno es sobre la edad de los encuestados, dato importante para conocer las principales actividades que se pueden realizar con el servicio de internet de acuerdo con la edad de la población; para este caso se tiene que el 33% de la población encuestada está entre los 18 y 23 años; el 35% está para edades entre los 24 y 34 años; mientras que el 32% restantes se divide a partes iguales entre población entre los 35 a 45 años y mayores de 45 años.

3.4.2. Pregunta 2

Acorde con los datos de la tabla 8 en la segunda pregunta que hace referencia a las actividades diarias de los encuestados, se tiene que el 47% estudia, mientras que el 41% se dedica a trabajar y un 12% realiza actividades diarias diferentes.

3.4.3. Pregunta 3

Con respecto a la pregunta 3 que se refiere al medio por que el los encuestados reciben el servicio de internet hasta sus hogares se tiene que el 35% de los encuestados reciben el servicio por antena, seguido por el 25% a través de fibra óptica; un 18% recibe por

medio de teléfono fijo, un 10% por medio de cable coaxial es decir también cuentan con servicio de cable y el 12% desconoce por que medio recibe su servicio de internet.

3.4.4. Pregunta 4

En la tabla 8 se puede observar que en base a la pregunta 4 que hace referencia a que, si el encuestado tiene algún problema con el servicio contratado en su hogar, se tiene que el 83% de los encuestados presentan algún tipo de inconveniente con el servicio, mientras que el 17% dice estar de conforme con el servicio que recibe.

3.4.5. Pregunta 5

En la pregunta 5 se pide al encuestado que coloque las principales actividades que realiza con su servicio de internet, lo que se tiene que en un 40% el servicio se usa para redes sociales y entretenimiento, en un 22% para clases en línea, en un 15% para uso de aplicaciones de *streaming* como Netflix, en 13% para hacer videollamadas a familiares y en un 10% para ver televisión por internet.

3.4.6. Pregunta 6

Finalmente, en la última pregunta que trata sobre si al encuestado le gustaría que se implemente el servicio por fibra óptica, se tiene que en un 85% los encuestados si estaría de acuerdo con la fibra óptica, frente al 15% que no está de acuerdo.

4. CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA

En este capítulo se realiza el diseño de la red XG-PON en la parroquia de San Blas de Urcuquí para lo cual, en primer lugar, se analizan los requerimientos y criterios del diseño como son: la proyección de abonados, la zona de cobertura, la arquitectura, la topología de división óptica, entre otros. A continuación, se hace la selección de los principales elementos activos y pasivos que componen la red como son los cables de fibra óptica, la ONT y las OLT. Luego se realiza el diseño de la red, donde se describen las características y la ubicación de los diferentes elementos de red, el recorrido de la fibra óptica y sus respectivas reservas. Finalmente se realiza un análisis del presupuesto de potencia óptica para los casos críticos del proyecto.

4.1. Parámetros y Criterios de Diseño de la Red

En esta sección se describen los principales parámetros y criterios que se deben tomar en cuenta para el diseño de la red, entre ellos tenemos: la delimitación de la zona del diseño, el número de abonados proyectados para la red, la tecnología, arquitectura y topología que se va a usar en el diseño de la red, entre otros.

4.1.1 Delimitación de la Ubicación de la Red

Después de analizar la distribución de la población y territorio en la parroquia de San Blas, se ha decidido delimitar el diseño de la red de fibra óptica a los tres sectores más poblados de la parroquia, como son la cabecera parroquial San Blas y las comunas de San Juan de Dios y San Alfonso de Irugincho. Es así como, mediante la herramienta de Google Earth se ha delimitado de forma general la zona de cobertura que tendría el diseño de la red XG-PON, el cual se puede observar en la figura 37.

Figura 37

Delimitación de la zona de San Blas para el diseño de la red PON



Fuente: (Google Earth, 2023)

4.1.2 Proyección de Abonados

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (2022) en sus Indicadores de Tecnologías de la información y comunicación, para el año 2022 el porcentaje de hogares con acceso a internet alcanzó el 60.4% a nivel nacional, con una tasa de crecimiento anual mínima de 4%.

Por otra parte, considerando que el número aproximado de hogares en la zona de estudio de este proyecto es de 744, al menos 450 de esos hogares deberían tener acceso a servicios de internet para igualar la media nacional del 60.4% antes mencionado. Sin embargo, actualmente apenas 293 de esos hogares tiene acceso a internet ya sea por planes de internet domiciliario o planes móviles. Con lo cual existe un mercado objetivo de al menos 150 hogares para este proyecto.

Mediante la ecuación 8 se puede hacer una proyección del crecimiento de la demanda del servicio de internet en los próximos 10 años, como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10

Proyección de la demanda en San Blas hasta 2032

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Demanda	157	163	170	177	184	191	199	207	214	223	233

Fuente: Autoría Propia

4.1.3 Especificaciones de las Redes XG-PON

Como ya se mencionó anteriormente (Capítulo 2), la recomendación UIT-T G.987.1 aborda los requisitos generales de los sistemas de redes ópticas pasivas con capacidad para 10 Gbps (XG-PON). Entre los requisitos más relevantes al momento de realizar el diseño de la red, están los de la capa física como son la longitud de onda, la velocidad de transmisión, la distancia de la fibra, entre otros. En la tabla 11, se resumen los principales requisitos de las redes XG-PON.

Tabla 11

Requisitos de la capa física para XG-PON

Características	XG-PON
Tipo de Fibra	ITU-T G.652 / ITU-T G.657
Longitud de Onda Central	Subida: 1577nm Bajada: 1270nm
Longitud de Onda	Subida: 1575 – 1580 nm Bajada: 1260 – 1280 nm
Velocidad de Transmisión	Subida: 2.5 Gbps Bajada: 10 Gbps
Nivel de División Máximo	1:256
Distancia Máxima de Fibra	60 km
Distancia Diferencial Máxima de Fibra	20 – 40 km

Fuente: Autoría Propia

4.1.4 Arquitectura de acceso

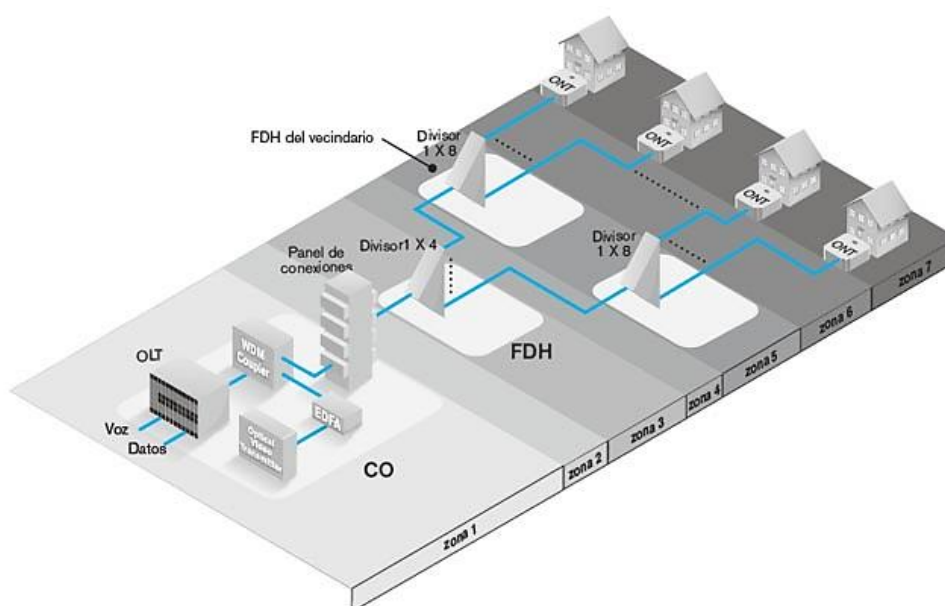
La arquitectura de acceso para el diseño de la red XG-PON en la parroquia de San Blas es FTTH, es decir que la fibra óptica llega hasta las instalaciones del cliente como se muestra en la figura 38. La primera zona que se muestra en la imagen corresponde a la oficina central o nodo principal que actuará como centro de gestión y administración. Aquí se encuentran los equipos de borde, el servidor de gestión, la OLT y el ODF.

Por otra parte, en la zona 2 hasta la zona 6, se representan la composición de la red óptica física o mejor conocida como ODN, que se compone únicamente de elementos pasivos. Esta red se puede dividir en tres tramos principales, siendo la primera de ellas la red de Feeder o red troncal (representada en el gráfico como la zona 2) que conecta los hilos de fibra que salen de la OLT hasta los armarios ópticos de primer nivel, también conocidos como cajas de distribución óptica de fibra, punto de acceso a la red o NAP (Network Access Point).

El siguiente tramo (zona 4) es conocido como red de distribución y conecta cada NAP de primer orden con los armarios ópticos de segundo orden o armarios de vecindario. Finalmente, el tramo que se recorre desde los NAP de segundo orden hasta las instalaciones del cliente donde finaliza la red óptica con una ONU/ONT y un router al cual se conectan los dispositivos del cliente para acceder al servicio de internet, es conocida como red de dispersión.

Figura 38

Arquitectura FTTH para XG-PON con sus respectivos elementos.



Fuente: (Instaladores de Telecom, 2013)

4.1.5 Topología de División Óptica

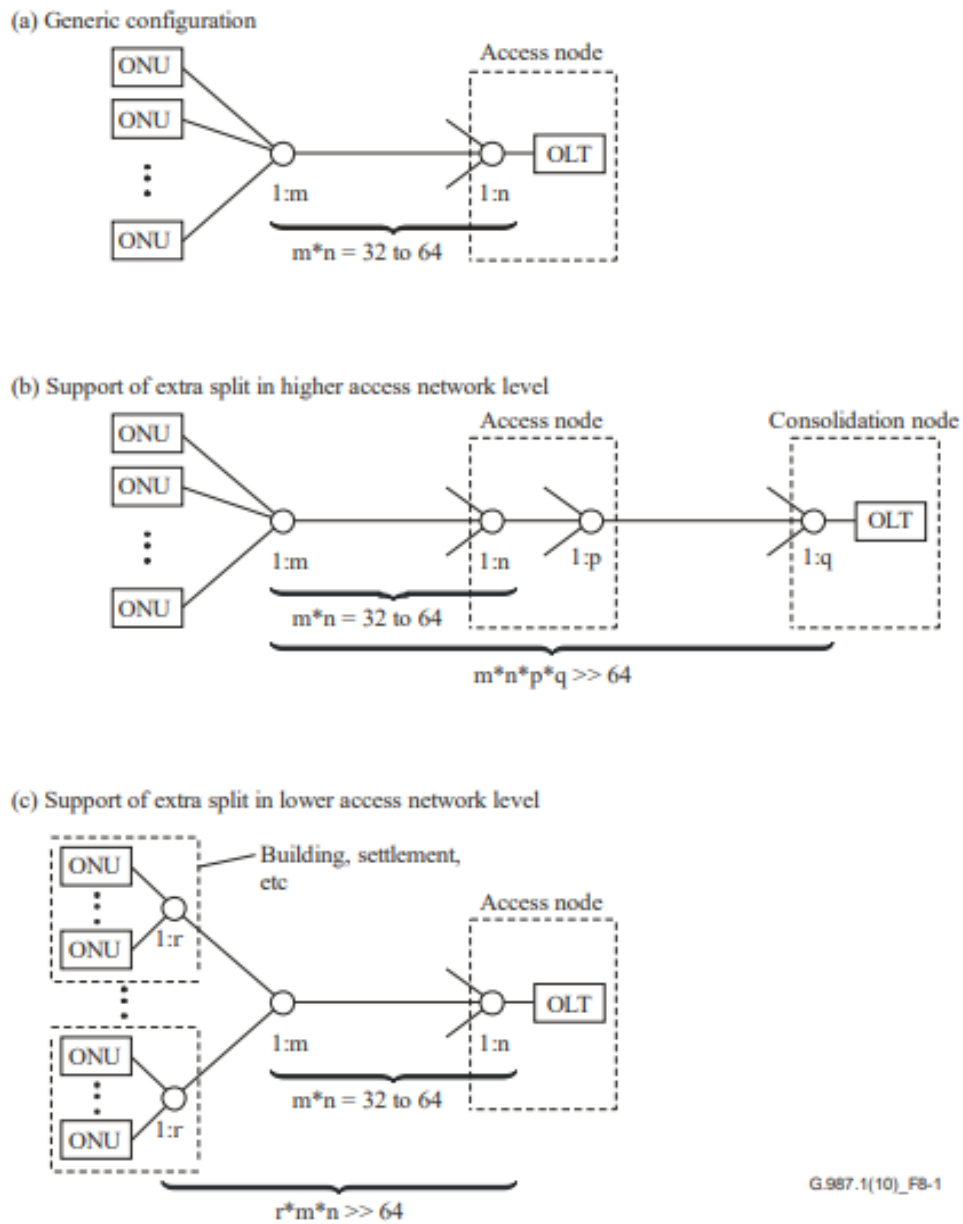
Para determinar la topología de la red, primero se debe establecer el nivel de división óptica o splitteo, el cual tiene una relación directa con el número de abonados que se espera tener en la red. Así pues, de acuerdo con la recomendación UIT-T G.987.1 (2016), el nivel de división óptica debe seleccionarse cuidadosamente considerando la madurez y rentabilidad de los dispositivos ópticos que se tiene a disposición. Además, se debe tener en cuenta que el nivel de división tiene una clara relación con el balance de pérdidas y por tanto con el alcance máximo que se puede lograr en la red.

Por otra parte, en la recomendación UIT-T G.987.1 (2016) se establece que el nivel de splitteo mínimo es de 1:64, para permitir una coexistencia con tecnologías anteriores como G-PON, mientras que el nivel máximo es de 1:256 para mejorar la economía general de XG-PON en comparación con G-PON. Para alcanzar estos niveles de división, se establecen tres tipos de topologías de división, los cuales se pueden apreciar en la figura 39. En la primera

opción que se muestra en la parte (a), se establece un despliegue genérico muy usado en tecnologías anteriores como G-PON permitiendo una máxima división 1:64, mientras que para las dos siguientes opciones se busca ampliar la PON en la sección de *backhaul* o hacia los usuarios.

Figura 39

Opciones de arquitectura de divisores XG-PON



Fuente: (ITU-T Rec. G.987.1, 2016)

Es así como para el diseño de la red XG-PON de la parroquia San Blas, se ha decidido tener un nivel de splitteo total de 1:64, el cual se conseguirá mediante una división extra en el nivel inferior de la red de acceso. Es decir que, cada hilo de fibra que sale de la OLT llegará a un primer divisor óptico que divide la potencia de la señal con una relación 1:4, luego, cada una de estas señales de salida alcanza un segundo splitter que divide su potencia con un nivel de 1:16, y que posteriormente llegaran a las ONU en los domicilios de los clientes.

Por otra parte, conociendo que por cada hilo que se utilice en la OLT se puede dar cobertura a 64 clientes, mediante la ecuación [10] se puede llegar a conocer el número de hilos de fibra que se requieren para abastecer la cantidad de abonados proyectados para la red.

$$\text{Hilos de F. O.} = \frac{\text{Abonados}}{\text{Nivel de División}} \quad \text{Ecuación [10]}$$

Es así como para un número de abonados de 199 proyectados para los próximos 5 años, el resultado es que se deben usar 3.125 hilo de fibra, lo cual se debe aproximar a 4 hilos. Con este número de hilos y la ecuación [11] se puede determinar que la cantidad máxima de hogares a los que se puede brindar el servicio de internet en la parroquia de San Blas es de 256.

$$\text{Abonados} = (\text{Hilos de F. O.}) * (\text{Nivel de División}) \quad \text{Ecuación [11]}$$

Conociendo esta estructura básica que tendrá la red XG-PON, se puede determinar que se usarán 4 divisores ópticos de primer nivel con división de 1:4, y por tanto se requerirán de 16 divisores de segundo nivel con una división de 1:16.

4.1.6 Salida Internacional

Otro parámetro que se debe tener en cuenta para el desarrollo del diseño de la red es determinar el tipo de salida internacional que se tendrá en el nodo principal de la parroquia de

San Blas. Actualmente, se cuenta con dos formas principales de hacer esto cuyo uso depende de las condiciones propias de cada diseño.

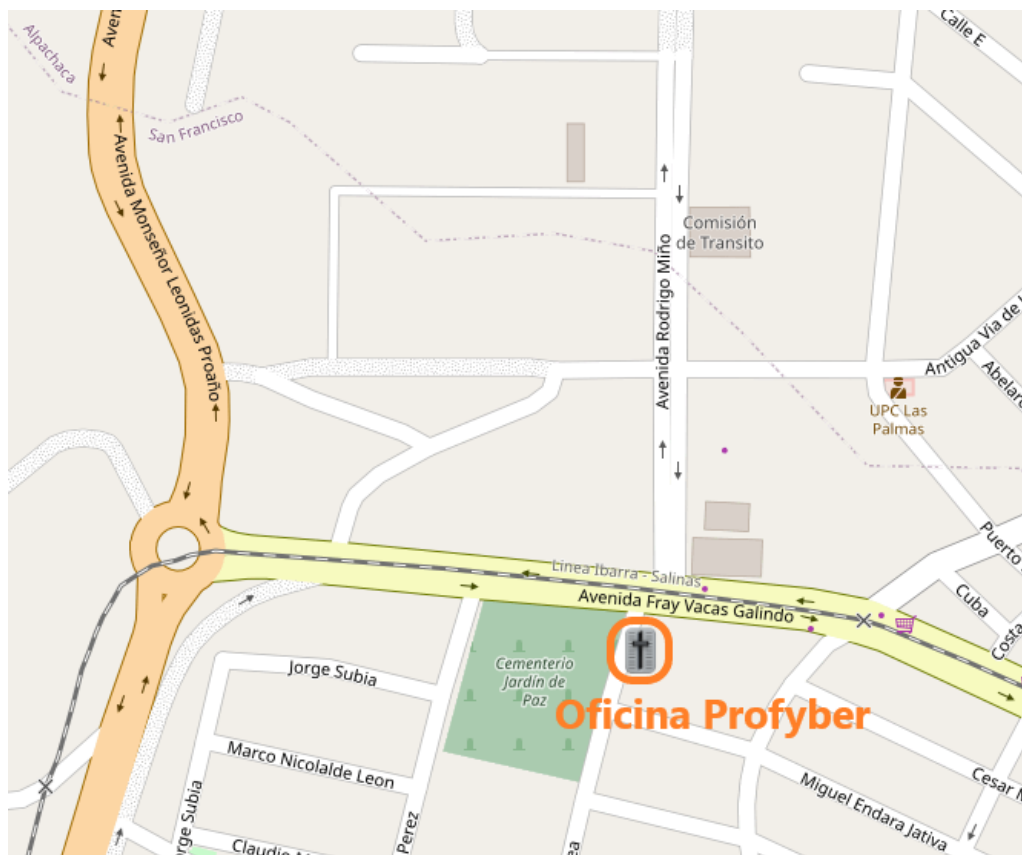
La primera forma consiste en que la propia empresa despliegue una red de transporte que interconecte al nodo con el resto de la red interna de la empresa. Esta red de transporte preferentemente debe estar compuesta por un enlace de fibra óptica pura, es decir, que durante todo el recorrido se debe usar cables de fibra óptica. Sin embargo, muchas veces por las condiciones propias de la ubicación de la red, como por ejemplo la carencia de postería en ciertas partes de la ruta, principalmente en las zonas rurales, la implementación de la red con fibra óptica se vuelve sumamente costosa, por la instalación de los postes faltantes. En dichos casos también se podría optar por una red de transporte híbrida, para la cual, en las zonas que no son aptas para el tendido de los cables de fibra óptica, se puede transmitir los datos a través de un enlace de radioenlace, pero esto también puede conllevar altos costos para el diseño.

Por otra parte, la segunda opción para la salida internacional es la contratación de una empresa externa que provea este servicio en la zona de cobertura de la red XG-PON, ya sea por fibra óptica o por radioenlace. Esta opción suele ser muy viable en caso de que la red XG-PON esté en una zona muy alejada de la red principal de la empresa ya que de esta forma se reducen los costos de instalación y mantenimiento.

Es por esto por lo que, para el presente proyecto se ha decidido optar por la opción de que la empresa despliegue la red de transporte desde Ibarra hasta la parroquia de San Blas ya que la distancia no supera los 20 km. De la misma forma, en todo el trayecto que debe seguir la fibra óptica hay la postería adecuada para su tendido, con lo cual esta es la opción más viable para el proyecto. En la figura 40, se muestra la oficina de la empresa Profyber en Ibarra, que será el punto de inicio de la red de transporte que llegará a San Blas.

Figura 40

Ubicación del punto de salida de la red de transporte para San Blas



Fuente: Autoría Propia

4.1.7 Criterio de Ubicación de los Equipos de Red

Conociendo la estructura básica que debe tener la red XG-PON de la parroquia San Blas, así como el tipo de salida internacional a implementarse para la misma, es importante determinar la ubicación de los principales elementos de la red, como son la OLT y los armarios ópticos de primer y segundo nivel que contendrán los divisores ópticos que forman la red.

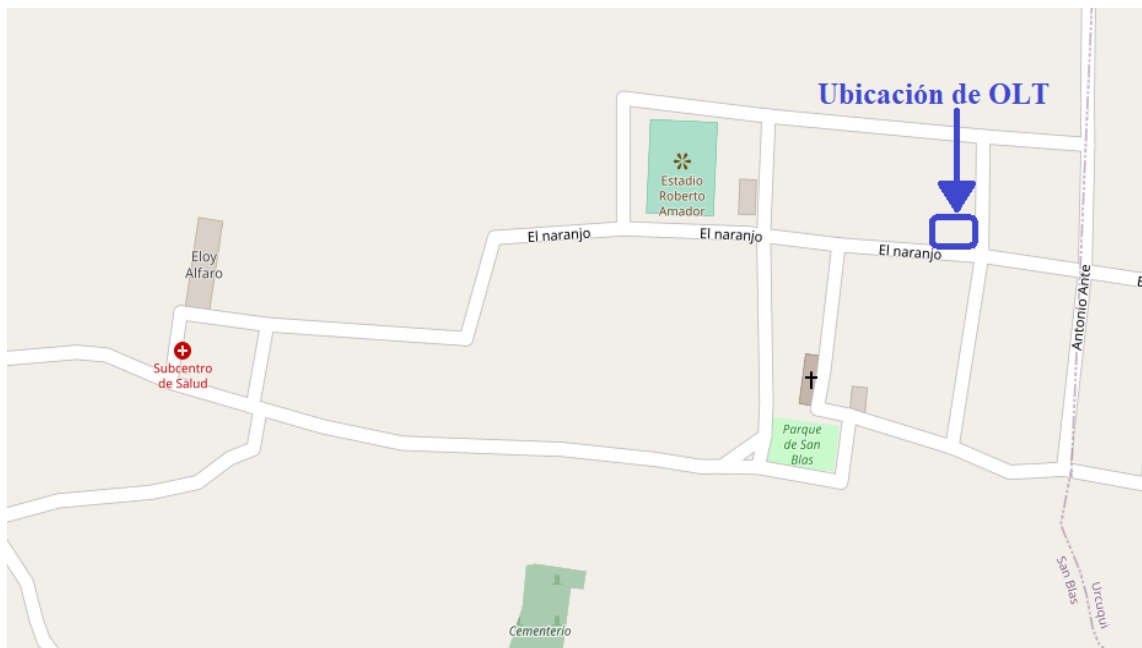
4.1.7.1. Criterio de Ubicación de la OLT. Un aspecto importante al momento de seleccionar la ubicación que tendrá la OLT es la distancia máxima a los posibles clientes. Ya que si la distancia supera el máximo recomendado puede haber fallas en el servicio. Por otra parte, en la recomendación UIT-T G.987.2 (2016) se habla de la potencia óptica máxima y

mínima con la que se debe llegar al equipo del cliente y se menciona que en caso de que la ODN no alcance una suficiente pérdida óptica en su trayecto, se debe incluir atenuadores ópticos adicionales que garanticen una pérdida de inserción de canal mínima, con el objetivo de evitar posibles daños en los receptores y garantizar la seguridad ocular del cliente. Es por ello por lo que tener clientes muy cerca de la OLT podría llegar a ser inviable, entonces la mejor solución para este problema es colocar la OLT en un lugar alejado de la zona densamente poblada.

Por todo lo antes expuesto se ha decidido ubicar la OLT en la cabecera parroquial de San Blas, a pocas cuadras del parque central, en una zona que actualmente no cuenta con muchos domicilios para evitar que los clientes cercanos a la OLT tengan una potencia óptica demasiada alta que pueda comprometer el funcionamiento de la red. En la figura 41 se puede apreciar un mapa con la ubicación de la OLT la zona más viable para este proyecto.

Figura 41

Ubicación de la OLT en San Blas



Fuente: (Geoportal Emelnorte, 2023)

4.1.7.2. Criterio de Ubicación de los Armarios Ópticos de Primer Nivel. Como se mencionó anteriormente, se usarán 4 puertos XG-PON de la OLT, de modo que también se deberán tener 4 NAP de primer nivel que se ubicarán a lo largo de toda la zona de estudio para poder dar cobertura a los domicilios de la Cabecera Parroquial San Blas, la comuna de San Juan de Dios y la comuna de San Alfonso de Iruguincho.

Debido a que la comuna de San Juan de Dios es la segunda zona más poblada de la parroquia y que su forma es muy lineal, en este lugar se ubicar dos de las NAP principales. Mientras que la cabecera parroquial y la comuna de Iruguincho, ya que tiene una forma más centralizada, dispondrán cada uno de una NAP de primer nivel.

4.1.7.3. Criterio de Ubicación de los Armarios Ópticos de Segundo Nivel. Como se mencionó anteriormente, dado que cada una de las 4 NAP de primer nivel tendrá una división de 1:4, se dispondrá de un total de 16 NAP secundarias que deben ser distribuidas de forma que se pueda brindar el servicio de internet a la totalidad de hogares de la zona de que se delimito previamente.

4.1.8 Tipo de Fibra Óptica

Como lo hace notar la recomendación UIT-T G.987.2 (2016), para el despliegue de la ODN de las redes XG-PON pueden usarse los tipos de fibra descritos en la recomendación UIT-T G.652. Los cuales han sido ampliamente usados en las redes pasivas de menor velocidad de transmisión como GPON, lo que permite la compatibilidad de las redes XG-PON con estas. Por otra parte, se menciona que los nuevos tipos de fibra con características de radio de curvatura bajo definidos en la recomendación UIT-T G.657 también deberían ser compatibles con los despliegues de XG-PON.

Dado que la red FTTH de este proyecto se divide en diferentes zonas, el tipo de fibra que se va a usar para llegar desde la OLT hasta la ONT de cada cliente se debe escoger para

acorde a las condiciones de cada tramo. Por todo esto, a continuación, se explicarán las principales características de las fibras correspondientes a las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones G.652D y G.657A.

4.1.8.1. Fibra Óptica UIT-T G.652D. En esta recomendación se describe una fibra óptica monomodo que tiene una longitud de onda de dispersión cero cerca de los 1310 nm y se utiliza típicamente en las regiones ópticas de 1310 nm y 1550 nm, aunque se puede extender su uso a las regiones de 1260 nm y 1650nm. Además, esta fibra se puede utilizar tanto para la transmisión de señales analógicas como digitales. A continuación, en la tabla 12 se describen las principales características geométricas, ópticas, de transmisión y mecánicas de este tipo de fibra (ITU-T Rec. G.652, 2016).

Tabla 12

Atributos de la fibra UIT-T G.652D

Atributo	Detalle	Valor	Unidad
	Longitud de onda	1310	nm
Diámetro del campo modal	Rango de valores nominales	8.6-9.2	μm
	Tolerancia	±0.4	μm
Diámetro del revestimiento	Nominal	125	μm
	Tolerancia	±0.7	μm
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0.6	μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1	%
Longitud de onda de corte	Máximo	1260	nm
	Radio	30	mm
Pérdida por macrocurvaturas	Número de vueltas	100	
	Máximo a 1625 nm	0.1	dB
Tensión de prueba	Mínimo	0.69	GPa
Parámetro de dispersión cromática	λ_{0min}	1300	nm
	λ_{0max}	1324	nm

	S_{0min}	0.073	ps / (nm ² × km)
	S_{0max}	0.092	ps / (nm ² × km)
Ajuste lineal (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)
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm	0.4	dB / km
	Máximo a 1383 nm después del envejecimiento con hidrógeno	0.4	dB / km
	Máximo a 1530-1565 nm	0.3	dB / km
Coeficiente de PMD	M	20	cables
	Q	0.01	%
	PMD _Q máximo	0.2	ps / √km

Fuente: (ITU-T Rec. G.652, 2016)

4.1.8.2. Fibra Óptica UIT-T G.657A. En la Recomendación UIT-T G.657 (2016) se describen dos categorías de fibra óptica monomodo con mejores prestaciones de pérdida por curvatura que las de las fibras UIT-T G.652. Las fibras UIT-T G.657 de categoría A están optimizadas para reducir la pérdida por macrocurvaturas en comparación con las fibras UIT-T G.652.D y pueden desplegarse en toda la red de acceso, incluido en el interior de edificios. Estas fibras son adecuadas para su uso en las bandas O, E, S, C y L (desde 1260 nm a 1625 nm). Además, las fibras de esta categoría son compatibles con las fibras UIT-T G.652.D y tienen las mismas propiedades de transmisión e interconexión. En la tabla 13 se muestran las propiedades más importantes de la fibra UIT-T G.657A.

Tabla 13

Atributos de la fibra UIT-T G.657A

Atributo	Detalle	Valor	Unidad
----------	---------	-------	--------

Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310					nm
	Rango de valores nominales	8.6-9.2					μm
	Tolerancia	± 0.4					μm
Diámetro del revestimiento	Nominal	125					μm
	Tolerancia	± 0.7					μm
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0.5					μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1					%
Longitud de onda de corte	Máximo	1260					nm
Pérdida por macrocurvaturas	Radio	A1		A2			mm
		15	10	15	10	7.5	
	Número de vueltas	10	1	10	1	1	dB
	Máximo a 1550 nm	0.2	0.7	0.0	0.	0.	
	Máximo a 1625 nm	5	5	3	1	5	dB
		1	1.5	0.1	0.	1	
Tensión de prueba	Mínimo	0.69					GPa
Parámetro de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300					nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324					nm
	$S_{0\text{min}}$	0.073					ps / ($\text{nm}^2 \times$ km)
	$S_{0\text{max}}$	0.092					ps / ($\text{nm}^2 \times$ km)
Ajuste lineal (de 1460 a 1625 nm)	Mínimo a 1550 nm	13.3					ps / ($\text{nm} \times$ 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)
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm	0.4	dB / km
	Máximo a 1383 nm ±3 nm después del envejecimiento con hidrógeno	0.4	dB / km
	Máximo a 1530-1565 nm	0.3	dB / km
Coeficiente de PMD	M	20	cables
	Q	0.01	%
	PMD _Q máximo	0.2	ps / √km

Fuente: (ITU-T Rec. G.657, 2016)

Después de analizar los atributos más relevantes de las fibras de los tipos de fibra óptica sugeridos para las redes XG-PON, se ha decidido que, para este diseño en el tramo de la red de feeder y de la red de distribución, la fibra de la recomendación UIT-T G.652 especialmente la categoría D es la más adecuada. Por otra parte, para la red de dispersión la fibra que se adapta mejor es la fibra UIT-T G.657 sobre todo su categoría A2.

4.2 Selección de Equipos y Materiales para la Red

Una vez conociendo los parámetros básicos de la red XG-PON para la parroquia de San Blas, es momento de seleccionar los equipos y materiales que conformen dicha red. Los

cuales deben cumplir con los requerimientos de XG-PON establecidos en la serie de recomendaciones UIT-T G.789, por otra parte, también se debe tener en cuenta la disponibilidad en el mercado de los equipos y su respectivo precio.

4.2.1 OLT

La OLT es el equipo activo principal en el despliegue de una red FTTH XG-PON y por tanto para su selección se debe tener en cuenta factores como la tecnología a usar, el número de abonados que se espera tener y la compatibilidad con el resto de los equipos de la red interna de la empresa.

La OLT Huawei SmartAX MA5800 X2, que se puede apreciar en la figura 42, emplea una arquitectura distribuida y admite 2 tarjetas ópticas PON/10G PON/GE/10GE/100GE en una sola plataforma, con lo cual, puede satisfacer las demandas de los operadores de una red Gigaband con mayor cobertura, banda ancha más rápida y conectividad más inteligente. Es por todo esto, que se ha seleccionado esta OLT para la implementación de la red XG-PON en la parroquia de San Blas.

Figura 42

OLT Huawei modelo MA5800-X2



Fuente: (YCICT Co., 2022)

En la tabla 14, se muestra las especificaciones técnicas, las tarjetas soportadas y otras características de la OLT MA5800-X2.

Tabla 14

Especificaciones de la OLT MA5800-X2

Especificaciones técnicas	
Capacidad de conmutación del sistema	480 Gbps
Ancho de banda máximo por ranura	H901MPSC: 80 Gbit/s
Número máximo de direcciones MAC	262144
Número máximo de entradas de enrutamiento	65536
Puertos GPON	32
Puertos XG-PON	32
Puertos XGS-GPON	16
Puertos GE/FE	96
Puertos 10GE	16
Soporte de gabinete	N63E-22
Tarjetas compatibles	
Tarjeta de alimentación	
H901PISA	Proporciona una entrada de CC de -48 V
H901PISB	Proporciona una entrada de alimentación de CA y admite batería para respaldo de energía
Tarjeta de monitoreo de ventilador	
H901FMSA	Suministra energía a los ventiladores; controla y controla los ventiladores
Tarjeta de servicio	
H901GPHF	Proporciona 16 puertos GPON para servicios de acceso
H901GPSF	Proporciona 16 puertos GPON para servicios de acceso doméstico
H901XGHD	Proporciona 8 puertos GPON 10G asimétricos para servicios de acceso

H901TWED	Proporciona 8 puertos GPON 10G simétricos para servicios de acceso
H901EDSH	Tarjeta de subida E1 de 32 canales, compatible con el modo TDM nativo
H901OGHK	Tarjeta de interfaz óptica GE/FE agregada de 48 puertos, compatible con hasta 48 canales de GE/FE
H901OXHD	Tarjeta de interfaz óptica 10GE agregada de 8 puertos, compatible con la agregación Ethernet GE/10GE
Otras características	
	Sin incluir las orejas de montaje: 442 mm x 268.7 mm x 88.1 mm
Dimensiones (Ancho x Profundidad x Alto)	Incluidas las orejas de montaje de la norma IEC: 482.6 mm x 268.7 mm x 88.1 mm Incluidas las orejas de montaje de la norma ETSI: 535 mm x 268.7 mm x 88.1 mm
Peso máximo	9.4 kg
Corriente máxima de entrada	8A
Fuente de alimentación	Rango de tensión de trabajo: 100 V a 240 V Tensión nominal: 110 V/220 V
Temperatura ambiente	-40 °C a +65 °C
Humedad ambiental	5% a 95% de HR

Fuente: (Telcomate, 2021)

Conociendo ya que la OLT Huawei MA5800 soporta diferentes tarjetas ópticas de servicio, es momento de seleccionar una de ellas que proporcionen las características adecuadas para la red XG-PON de San Blas. Es así como se ha seleccionado la Tarjeta H901XGHD que cuenta con 8 puertos XG-PON para servicios de acceso, como se muestra en la figura 43.

Figura 43

Tarjeta óptica Huawei modelo H901XGHD



Fuente: (Telcomate, 2021)

Las especificaciones técnicas de la tarjeta y de los módulos que la componen se muestran en la tabla 15.

Tabla 15

Especificaciones de la Tarjeta óptica H901XGHD

Especificaciones de la Tarjeta	
Puerto	8
Capacidad de reenvío	40 Gbps
Modo de velocidad	Velocidad asimétrica
T-CONT por tarjeta PON	2048
Flujos de servicio por tarjeta PON	16376
Tamaño máximo de trama	2052 bytes 9216 bytes (trama jumbo activada)
Número máximo de direcciones MAC	131072
Diferencia máxima de distancia entre dos ONU bajo el mismo puerto PON	40 km
FEC	Bidireccional

Grupo CAR	Soportado
HQoS	Soportado
OMCI de longitud variable	Soportado
Conformación basada en la ONU o conformación basada en cola	Soportado
Protección tipo B (dual-homing)	Soportado
Protección tipo B (single-homing)	Soportado
1588v2	Soportado
Detección y aislamiento de ONT no autorizadas	Soportado
Apagado automático a alta temperatura	Soportado
Ahorro de energía para tarjetas de servicio	Soportado
D-CCAP	Soportado

Especificación del módulo GPON SFP

Tipo	Módulo N1: Módulo óptico bidireccional de una fibra, N1 Módulo N2a: Módulo óptico bidireccional de una fibra, N2a N1/N2a:
Longitud de onda operativa	- Tx: 1577 nm - Rx: 1270 nm
Tipo de encapsulación	SFP+ N1/N2a:
Tasa de puerto	- Tx: 9.953 Gbps - Rx: 2.488 Gbps
Potencia óptica de salida mínima	Módulo N1: 2 dBm Módulo N2a: 4 dBm
Potencia óptica de salida máxima	Módulo N1: 6 dBm Módulo N2a: 8 dBm
Sensibilidad máxima del receptor	Módulo N1: -27.5 dBm Módulo N2a: -29.5 dBm
Tipo de conector óptico	SC

Tipo de fibra óptica	Monomodo
Potencia óptica de sobrecarga	Módulo N1: -7 dBm Módulo N2a: -9 dBm
Relación de extinción	N1/N2a: 8.2 dB
Especificaciones del dispositivo	
Dimensiones (Ancho x Profundidad x Alto)	23.30 mm x 257.90 mm x 399.20 mm
Consumo de energía y tamaño máximo de trama	
Consumo eléctrico	Estático: 42 W Máximo: 61 W
Temperatura de funcionamiento	-40°C a +65°C

Fuente: (Telcomate, 2021)

4.2.2 ODF

El siguiente elemento de la red XG-PON es el ODF que sirve de punto de conexión para la OLT, dado que se usarán cuatro puertos XG-PON se requiere un ODF con al menos cuatro puertos, como la ODF DFOP1 que se muestra en la figura 44 y puede albergar hasta 12 puertos, los cuales podrían ser usados en futuras extensiones de la red.

Figura 44

Distribuidor de Fibra Óptica DFOP1-6/12



Fuente: (OptyTECH, 2022)

En la tabla 16, se detallan las principales características y especificaciones asociadas a la ODF DFOP1 -6/12.

Tabla 16

Especificaciones del Distribuidor de Fibra Óptica DFOP1-6/12

Características	Detalle
Material	Acero A36 de espesor 1.5 mm
Capacidad	6 o 12 puertos ópticos
Dimensión	481 mm x 280 mm x 44 mm
Caseteras	1
Bandeja de empalme	Capacidad de alojar 12 fibras
Adaptadores	FC, LC, ST, SC con pulido UPC o APC.
Ingreso posterior	Permite acceso a cables con diámetro máximo de 20 mm FC, SC, LC, ST con pulido UPC o APC, diámetro
Pigtails	exterior de 0.9 mm, 2 mm o 3 mm, fibra monomodo o multimodo.
Tapa frontal	Para proteger los conectores.
Espacio para reservas de Pigtails	Para controlar el radio de curvatura mínimo de 30mm.

Fuente: (OptyTECH, 2022)

4.2.3 NAP de primer orden

El siguiente elemento de la red XG-PON a seleccionar son las NAP de primer orden, las cuales, se ubican a lo a lo largo de la red troncal y son el punto de partida para la red de distribución. Por lo tanto, estos elementos deben permitir y proteger el sangrado del cable de la red troncal para su posterior fusión y división óptica 1:4. Es así como se requiere que este elemento tenga al menos dos puertos de entrada y 4 puertos de salida.

La NAP de primer orden seleccionada para la red de San Blas, es la caja NAP Cofitel modelo GPJ09-8203, que se muestra en la figura 45, es una caja de distribución IP68 diseñada para soportar condiciones ambientales extremas. Tiene un tamaño compacto y su

tapa abatible facilitan su manejo, así como su completa funcionalidad. Por otra parte, cuenta varias bandejas de empales que permite la instalación de dos divisores ópticos 1:4 o 1:8, también, cuenta con ocho puertos de salida y dos puertos de entrada.

Figura 45

Caja NAP IP68 8 puertos



Fuente: (ImportFiber, 2021)

Las principales características físicas como tamaño, material y condiciones de temperatura y humedad soportadas por la NAP GPJ09-8203, se encuentran descritas en la tabla 17.

Tabla 17

Especificaciones de la Caja NAP IP68 8 puertos

Características	Detalle
Material	Plástico PC+ABS
Ancho	190 mm
Largo	250 mm

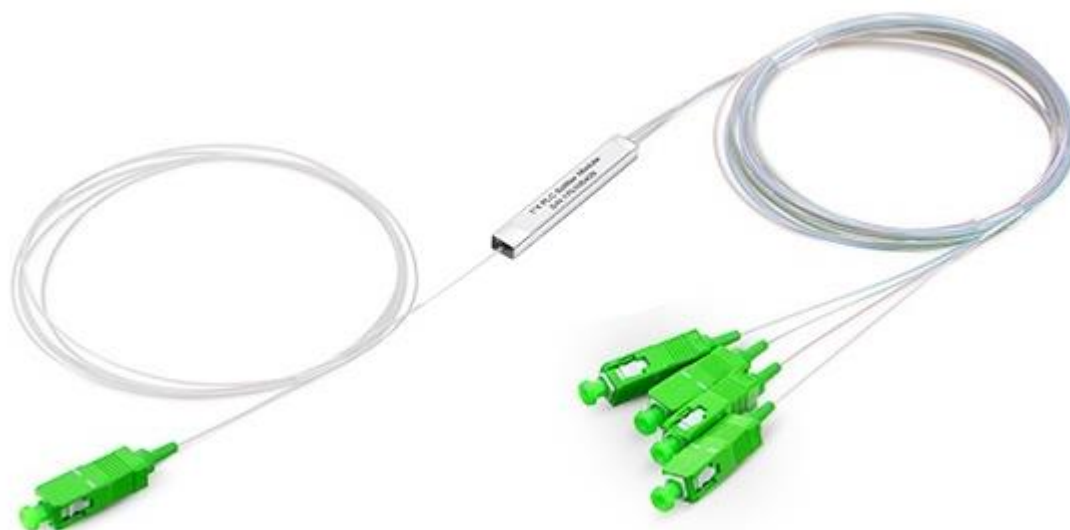
Fondo	72 mm
Puertos de salida	8 × 5-10 mm
Puertos de entrada	2 × 10-16 mm
Estándar Outdoor	IP68
Color	Negro
Número de piezas	8 piezas de adaptadores SC
Temperatura de operación	-40 °C a +60 °C
Humedad relativa	≤ 90% (30 °C)
Presión atmosférica	75 a 120 kPa

Fuente: (ImportFiber, 2021)

Una vez seleccionadas la NAP principales, se requiere escoger el divisor óptico de primer nivel con división 1:4, que se alojará en la NAP. Este elemento permite dividir la señal óptica proveniente de la OLT que alimentará a las NAP de segundo nivel. En la figura 46 se muestra un divisor óptico 1 a 4 modelo SOP-B14-SA con conectores tipo SC y pulido APC, el cual será usado en la red XG-PON de San Blas.

Figura 46

Divisor óptico 1 a 4 con conector SC/APC



Fuente: (Telalca Store, 2022)

En la tabla 18 se muestran las especificaciones del divisor óptico 1:4 SOP-B14-SA.

Tabla 18*Especificaciones de divisor óptico 1 a 4*

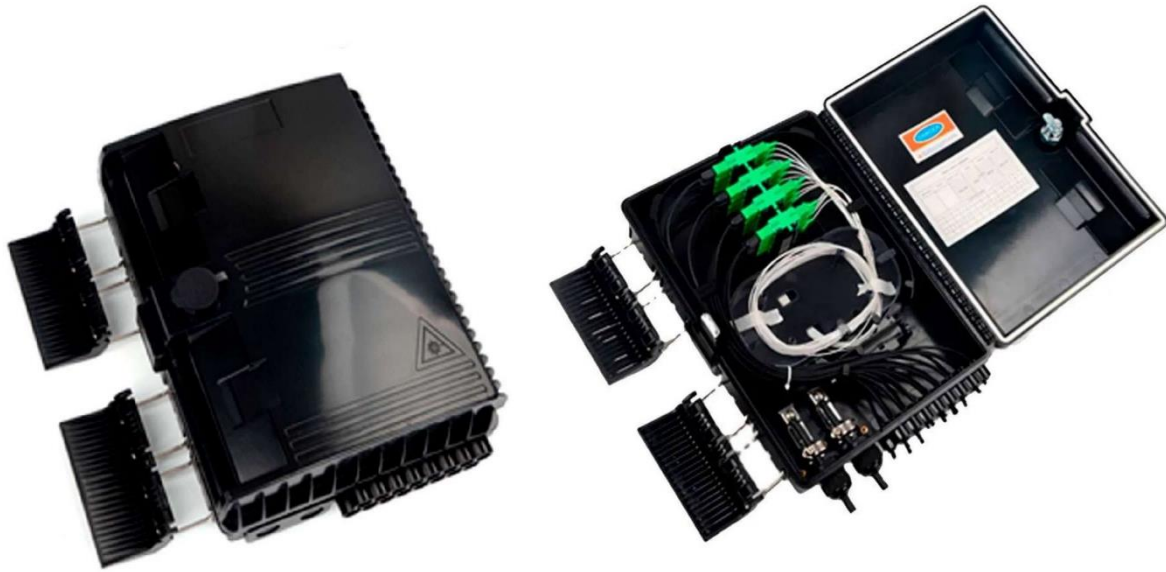
Características	Detalle
División	1 × 4
Perdida de inserción	7.3 dB
Uniformidad Máxima	0.6 dB
Perdida de Retorno Mínima	55 dB
Sensibilidad a la polarización Max.	0.2 dB
Longitud de fibra	1.5 m
Directividad	55 dB
Conectores	Tipo SC / Pulido APC
Tipo de Fibra	G657A2
Longitud de onda operativa	1260 a 1650 nm
Temperatura de operación	-40 °C a +85 °C

Fuente: (Telalca Store, 2022)

4.2.4 NAP de segundo orden

Para la selección de las NAP de segundo orden, es necesario tener en cuenta que estas se distribuirán a lo largo de la red de distribución, contendrán y protegerá a los divisores ópticos de segundo que tiene una división 1:16 y por tanto debe tener al menos 16 salidas para los cables que se dirigen a los hogares de los clientes.

La NAP CFO-4716 de la marca Connection, que se muestra en la figura 47, es una resistente caja de distribución IP65 que funciona en entornos interiores o exteriores y ofrece espacio para alojar un divisor óptico 1 a 16, hasta 16 fusiones y 16 conectores SC. Por todas las razones antes mencionadas, esta NAP es la ideal para la red XG-PON de San Blas.

Figura 47*Caja NAP IP65 16 puertos*

Fuente: (Sincables, 2021)

Otras características físicas importantes de las NAP Connection CFO-4716 se muestran en la tabla 19.

Tabla 19*Especificaciones de la Caja NAP IP65 16 puertos*

Características	Detalle
Modelo	CF0-4716
Material	PC + ABS - UL 94V-0
Ancho	235 mm
Largo	320 mm
Fondo	90 mm
Puertos de salida	16 × 3-4 mm
Puertos de entrada	2 × 16 mm
Estándar outdoor	IP65
Color	Negro
Estructura de rotación interna	Fácil mantenimiento
Número de piezas	16 adaptadores SC

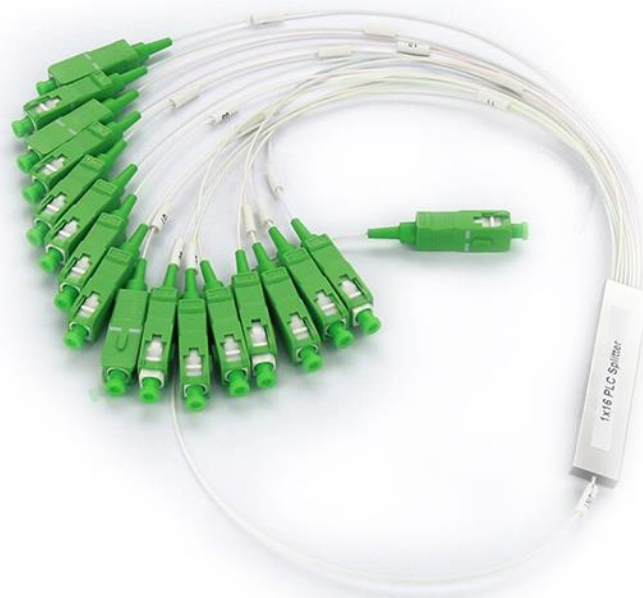
Temperatura de operación	-40 °C a +60 °C
Humedad relativa	≤ 85% (30 °C)
Presión atmosférica	70 a 106 kPa

Fuente: (Sincables, 2021)

De la misma forma que se hizo en la selección de las NAP primarias, ahora, es necesario seleccionar los divisores 1:16 que se usará en las NAP secundarias. El divisor SOP-B116-SA, que se puede observar en la figura 48, cumple con todos los requerimientos del diseño para la red XG-PON en San Blas y, por tanto, será el divisor de segundo nivel seleccionado.

Figura 48

Divisor óptico 1 a 16 con conector SC/APC



Fuente: (Telalca Store, 2021)

En la tabla 20 se encuentran detalladas las principales características físicas y ópticas del divisor SOP-B116-SA.

Tabla 20*Especificaciones de divisor óptico 1 a 16*

Características	Detalle
División	1 × 16
Perdida de inserción	13.7 dB
Uniformidad Máxima	1.2 dB
Perdida de Retorno Mínima	55 dB
Sensibilidad a la polarización Max.	0.3 dB
Longitud de fibra	1.5 m
Directividad	55 dB
Conectores	Tipo SC / Pulido APC
Tipo de Fibra	G657A2
Longitud de onda operativa	1260 a 1650 nm
Temperatura de operación	-40 °C a +85 °C

Fuente: (Telalca Store, 2021)

4.2.5 Cable para la Red Troncal

Como se mencionó anteriormente, en la red XG-PON de San Blas se usarán 4 puertos de la OLT y, por tanto, se requerirán al menos un cable con 4 hilos de fibra UIT-T G.652D para la red Troncal. Es así como se ha decidido seleccionar el cable ADSS de 6 hilos G.652D, cuya estructura se muestra en la figura 49, para el despliegue de la red troncal en la parroquia de San Blas, ya que es completamente dieléctrico y su despliegue aéreo es bastante rápido.

Figura 49

Cable de fibra óptica ADSS de 6 hilos



Fuente: (Latic, 2022)

Las especificaciones técnicas del cable ADSS y de sus 6 fibras ópticas se pueden apreciar en la tabla 21.

Tabla 21

Especificaciones de cable de fibra óptica ADSS de 6 hilos

Especificaciones del Cable	
Tipo de cable	SBE-FOADSS6SM
Tipo de fibra	Monomodo ITU-T Rec. G.652 D
Número de fibras	6 fibras
Código de color de la fibra	TIA/EIA 598
Miembro Central de Resistencia	FRP con revestimiento de PE
Tubo holgado	PBT 2.3 mm

Rellenos	4 varillas de polietileno o polipropileno
Material de la cubierta	PE
Diámetro	12.4 ± 0.4 mm
Peso nominal	125 ± 10 kg/km
Carga de tracción máxima	3220 N
Vida útil	25 años
Temperatura de Operación	de -20 °C a $+60$ °C

Especificaciones de la fibra

Tipo de fibra	G.652 D
Atenuación	$1310\text{nm} \leq 0.36$ dB/km $1550\text{nm} \leq 0.22$ dB/km
Dispersión cromática	1310 nm ≤ 3.5 ps/nm.km $1550\text{nm} \leq 18$ ps/nm.km
Longitud de onda de dispersión cero	1300 a 1322 nm
Longitud de onda de corte	≤ 1260 nm
Concentricidad del núcleo	≤ 0.6 μm
Diámetro del revestimiento	125 ± 1 μm
No circularidad del revestimiento	$\leq 1\%$
Diámetro del revestimiento	245 ± 10 μm

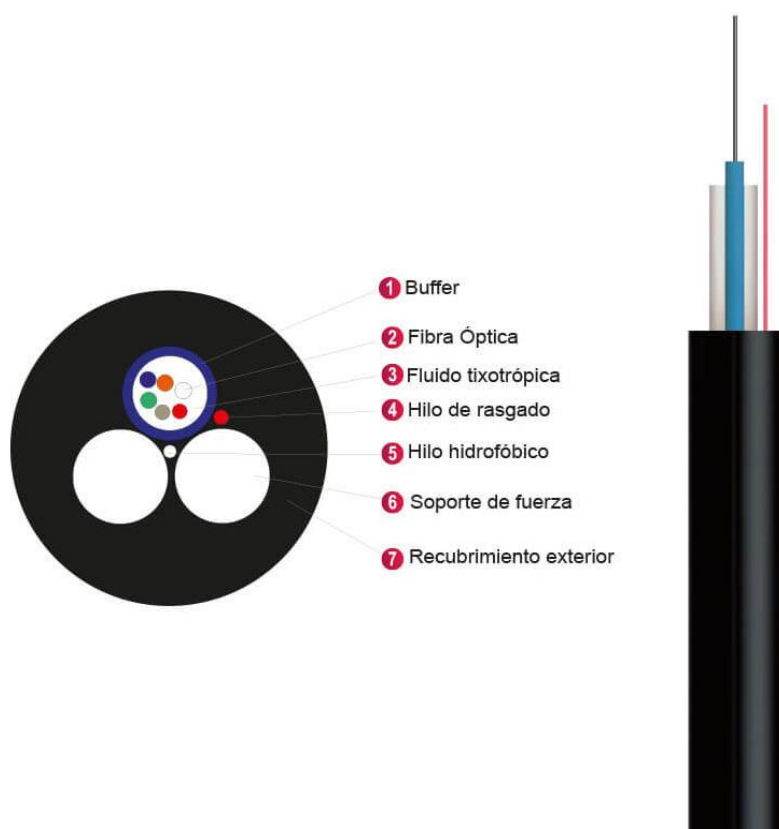
Fuente: (FiberHome, 2019)

4.2.6 Cable para la Red de Distribución

Por otra parte, para la red de distribución, que se extiende desde las NAP de primer nivel hasta las NAP de segundo nivel, se requiere un cable aéreo y dieléctrico con al menos 4 hilos de fibra del tipo G.652D, por lo tanto, se ha seleccionado el cable Mini ADSS de 6 hilos de fibra, que se puede observar en la figura 50, para la instalación de las redes de distribución en San Blas.

Figura 50

Cable de fibra óptica Mini ADSS de 6 hilos



Fuente: (Latic, 2022)

En la tabla 21 se puede visualizar las especificaciones del cable Mini ADSS y de los 6 hilos que lo componen.

Tabla 22

Especificaciones de cable de fibra óptica Mini ADSS de 6 hilos

Especificaciones del Cable	
Tipo de cable	MINI-ADSS-06C
Tipo de fibra	Monomodo ITU-T Rec. G.652 D
Número de fibras	6 fibras
Código de color de la fibra	TIA/EIA 598
Miembro de Resistencia	2 cables de FRP

Tubo holgado	1 PBT
Material de la cubierta	MDPE
Diámetro	6.6 ± 0.3 mm
Peso nominal	50 ± 10 kg/km
Carga de tracción máxima	1550 N
Vida útil	20 años
Temperatura de Operación	de -20 °C a $+65$ °C
Especificaciones de la fibra	
Tipo de fibra	G.652 D
Atenuación	$1310\text{nm} \leq 0.35$ dB/km $1550\text{nm} \leq 0.21$ dB/km $1625\text{nm} \leq 0.24$ dB/km
Dispersión cromática	$1550\text{nm} \leq 18$ ps/nm.km $1625\text{nm} \leq 22$ ps/nm.km
Longitud de onda de dispersión cero	1300 a 1324 nm
Longitud de onda de corte	≤ 1260 nm
Concentricidad del núcleo	≤ 0.6 μm
Diámetro del revestimiento	125 ± 1 μm
No circularidad del revestimiento	$\leq 0.8\%$
Diámetro del revestimiento	250 ± 15 μm

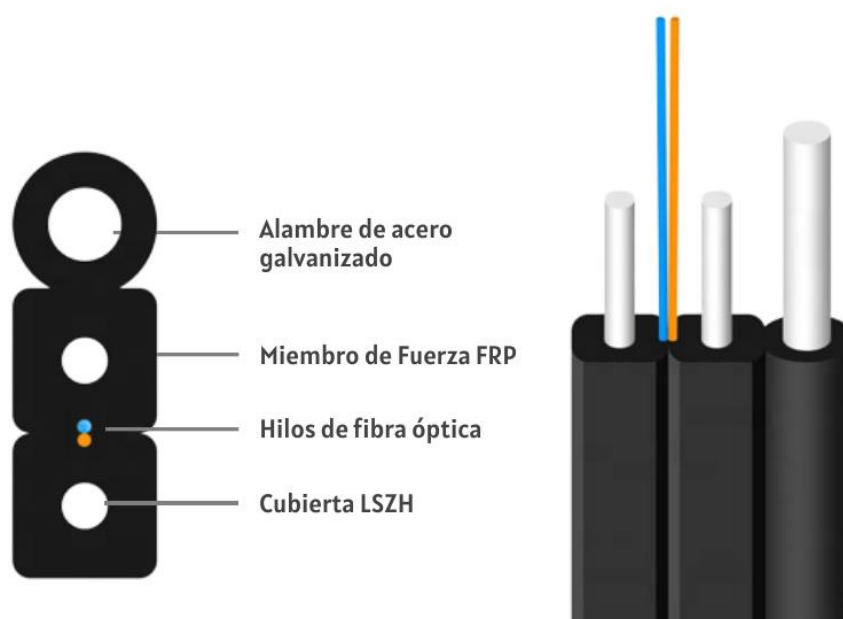
Fuente: (Connection, 2021)

4.2.7 Cable para la Red de Dispersión

Como se mencionó anteriormente, la red de dispersión que une las NAP de segundo orden con la ONT que se encuentra en las instalaciones del cliente, se requiere usar una fibra del tipo G.657A debido a sus características de alta flexibilidad. Es por eso, que se ha seleccionado el cable DROP de 2 fibras, cuya estructura se puede observar en la figura 51, para la instalación de la red de dispersión.

Figura 51

Cable de fibra óptica DROP 2 hilos



Fuente: (Lubeck, 2022)

Las características y especificaciones, tanto, del cable DROP como el de los hilos de fibra G.657A contenidos en él, se puede apreciar en la tabla 23.

Tabla 23

Especificaciones de cable de fibra óptica DROP 2 hilos

Especificaciones del Cable	
Tipo de cable	GJYXCH
Tipo de fibra	Monomodo ITU-T Rec. G.657 A2
Número de fibras	2 fibras
Código de color de la fibra	Azul, Naranja
Miembro de Resistencia	2 × 0.45 mm Cable de acero
Cable mensajero	Alambre de acero de 1,0 mm
Material de la cubierta	LSZH Negro
OD del cable	2.0 mm × 5.2 mm ± 0.2 mm
Peso nominal	20 kg/km
Carga de tracción máx.	660 N

Vida útil	25 años
Temperatura de Operación	de -40 °C a + 60 °C
Especificaciones de la fibra	
Tipo de fibra	G.657 A
Atenuación	1310nm ≤ 0.36 dB/km 1550nm ≤ 0.22 dB/km
Dispersión cromática	1310nm ≤ 3.5 ps/nm.km 1550nm ≤ 18 ps/nm.km 1625nm ≤ 22 ps/nm.km
Longitud de onda de dispersión cero	1300 a 1324 nm
Longitud de onda de corte	≤ 1260 nm
Concentricidad del núcleo	≤ 0.5 μm
Diámetro del revestimiento	125±1 μm
No circularidad del revestimiento	≤ 0.8%
Diámetro del revestimiento	245±5 μm

Fuente: (Lubeck, 2022)

4.2.8 Roseta

La roseta o caja terminal se instala en el interior del hogar del cliente y sirve como punto de terminación de fibra óptica FTTH, al cual se conecta la ONT por medio de un patchcore. Para los clientes de la red XG-PON de San Blas, se ha seleccionado la roseta CFO-5602 de la marca Connection, que se puede apreciar en la figura 52. Este modelo además incluye un pigtail y bandeja para máximo dos empalmes.

Figura 52*Roseta óptica CFO-5602*

Fuente: (Sincables, 2022)

En la tabla 24 se pueden visualizar las principales características de la roseta Connection CFO-5602.

Tabla 24*Especificaciones de roseta óptica CFO-5602*

Características	Detalle
Material	Plástico ABS
Color	Blanco
Altura	105 mm
Anchura	82 mm
Profundidad	22 mm
Número máximo de fibras individuales	2
Número máximo de empalmes térmicos	2
Número de puntos de entrada de cable	4
Humedad Máxima	90% HR a +30°C
Peso	0.2 Kg

Fuente: (Sincables, 2022)

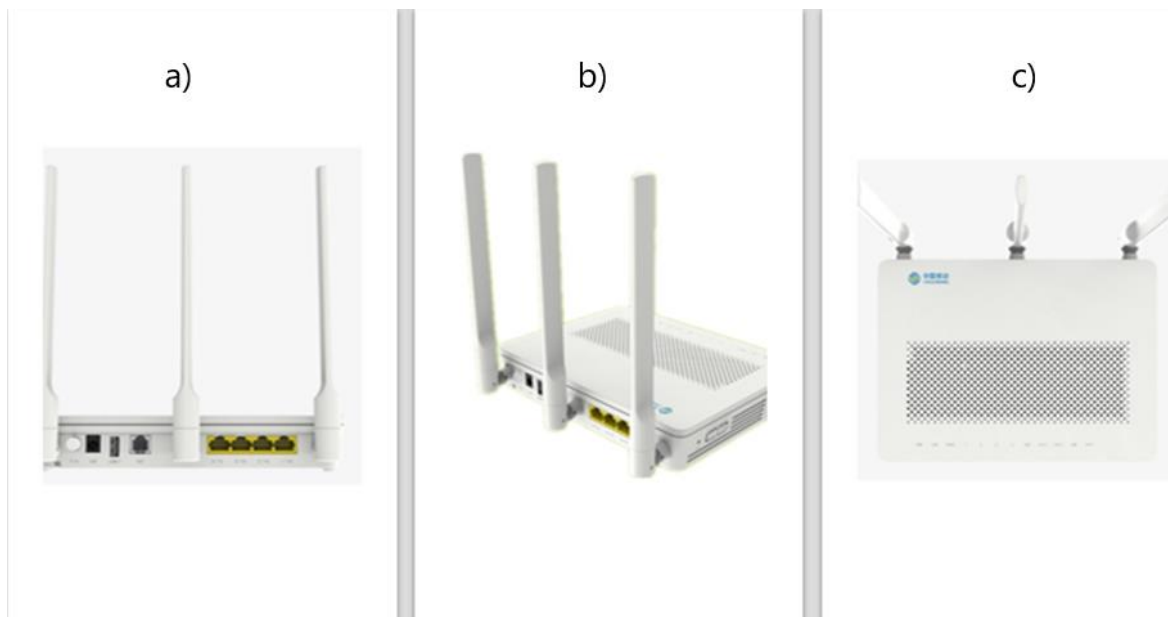
4.2.9 ONT

El último equipo de la red es la ONT, se encuentra en el interior del domicilio del cliente final y es el punto de interconexión entre la red XG-PON y la red interna de cada cliente. Es decir, se encarga de recibir la señal óptica proveniente de la OLT, recuperar la información y entregársela a los equipos del usuario. Entonces, la ONT que se seleccione para la red de San Blas debe ser compatible con la tecnología XG-PON.

La ONT modelo HN8546Q de la Marca Huawei, que se muestra en la figura 53, es la indicada para este proyecto, ya que cumple con todas las características requeridas por la recomendación UIT-T G.987.2.

Figura 53

ONT Huawei HN8546Q FTTH a) vista posterior, b) vista lateral, c) vista superior



Fuente: (YCICT Co., 2020)

Las características del hardware de la ONT HN8546Q y las especificaciones su puerto PON se hallan detalladas en la tabla 25.

Tabla 25*Especificaciones de la ONT HN8546Q*

Especificaciones de hardware	
Peso	< 500 g
Temperatura de funcionamiento	0 °C a 40 °C
Humedad de funcionamiento	5% a 95% RH
Alimentación eléctrica	11–14V DC, 3A
Entrada del adaptador de corriente	180–240V AC, 50/60 Hz
Consumo de energía de la electrostática	< 8W
Consumo máximo de energía	< 30W
Características del puerto	1 POTS + 4 GE + 2 USB + 2.4G y 5G Wi-Fi
Interfaz óptica	SC/UPC
Dimensiones (anchura × profundidad × altura)	210 mm × 159.5 mm × 36 mm
Especificaciones de puerto PON	
XG-PON	Clase N1 / N2a
Sensibilidad	-28 dBm
Longitud de onda	Enlace ascendente: 1260- 1280 nm Enlace descendente: 1575-1580 nm
Autenticación	MAC/Clave/ SN/Contraseña/SN +Contraseña/ Autenticación bidireccional basada en OMCI
Tasa de Transmisión	2.5 Gbps ascendente 10 Gbps descendente
Otras Características	Soporta filtro de parada de banda (WBF). Puerto GEM y mapeo flexible CONT. Soporta FEC ascendente y descendente. Soporta DBA DE SR, NSR.

Fuente: (YCICT Co., 2020)

4.3 Diseño de la Red XG-PON

Después de seleccionar cuidadosamente los elementos tanto activos como pasivos de la red basado en las parámetros y criterios antes mencionados, es posible crear el diseño final de la red XG-PON, el cual se realizará mediante el software de diseño RedFTTH, el cual se describe en las siguientes secciones. Por otra parte, para el diseño, la red se dividirá en tres partes, la red troncal o de feeder, la red de distribución y la red de dispersión.

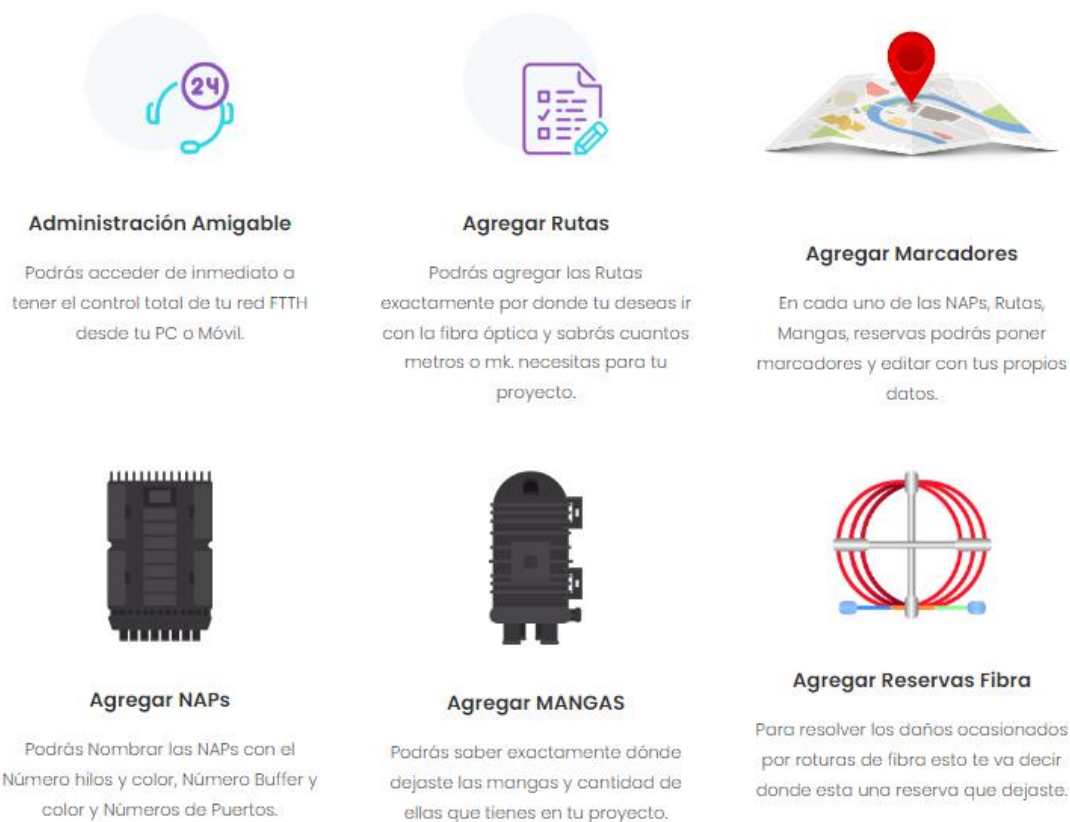
4.3.1 Software de Diseño RedFTTH

Actualmente existen una gran variedad de plataformas que permiten el diseño de diferentes tipos de redes de fibra óptica, una de ellas es RedFTTH, que se caracteriza por ser un software inteligente y totalmente alojado en la nube, que permite su uso tanto en un computador como en dispositivos móviles a través de su aplicación que se encuentra disponible en la tienda de Google. Además, RedFTTH tiene una interfaz sencilla y amigable con el usuario, lo cual permite el diseño de redes ópticas de forma fácil.

Otras características de RedFTTH que se deben resaltar es la administración amigable y la variedad de elementos que se pueden agregar al diseño como por ejemplo rutas, marcadores, NAP de primero y segundo orden, mangas, reservar, entre otros elementos muy útiles a la hora de realizar el diseño de las redes. En la figura 54 se detallan de mejor forma estas características.

Figura 54

Características de RedFTTH para el diseño de redes FTTH



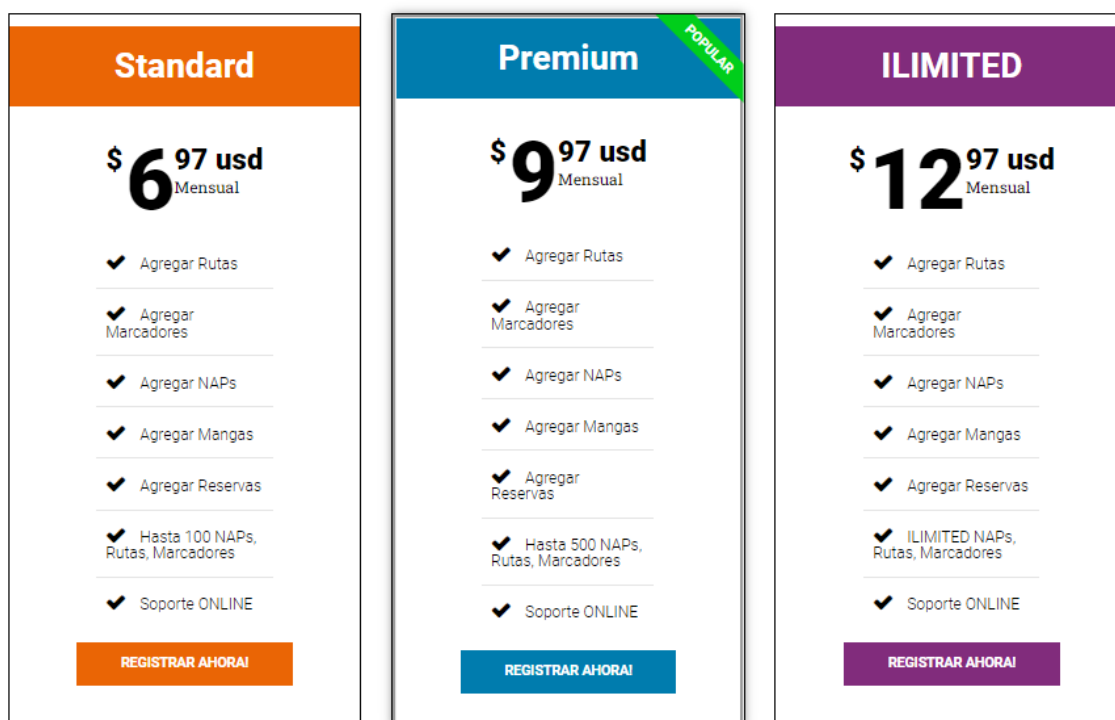
Fuente: (Red FTTH, 2022)

El software de diseño RedFTTH es una plataforma de suscripción que cuenta con tres planes, los cuales se diferencian por la cantidad de elementos como NAP que se puede agregar para cada diseño. El plan estándar, que es el de menor costo, permite agregar hasta 100 NAP, lo cual es más que suficiente para una red FTTH pequeña y mediana. Un resumen de las características de cada plan, así como su costo mensual se encuentra en la figura 55.

Ya que en el diseño de la red XG-PON de la parroquia rural de San Blas se requiere el uso de únicamente 4 NAP primaras y 16 NAP de segundo orden, el plan estándar cuyo costo es de 6.97 USD, satisface completamente las necesidades del proyecto.

Figura 55

Planes que ofrece la plataforma RedFTTH





Fuente: (Red FTTH, 2022)

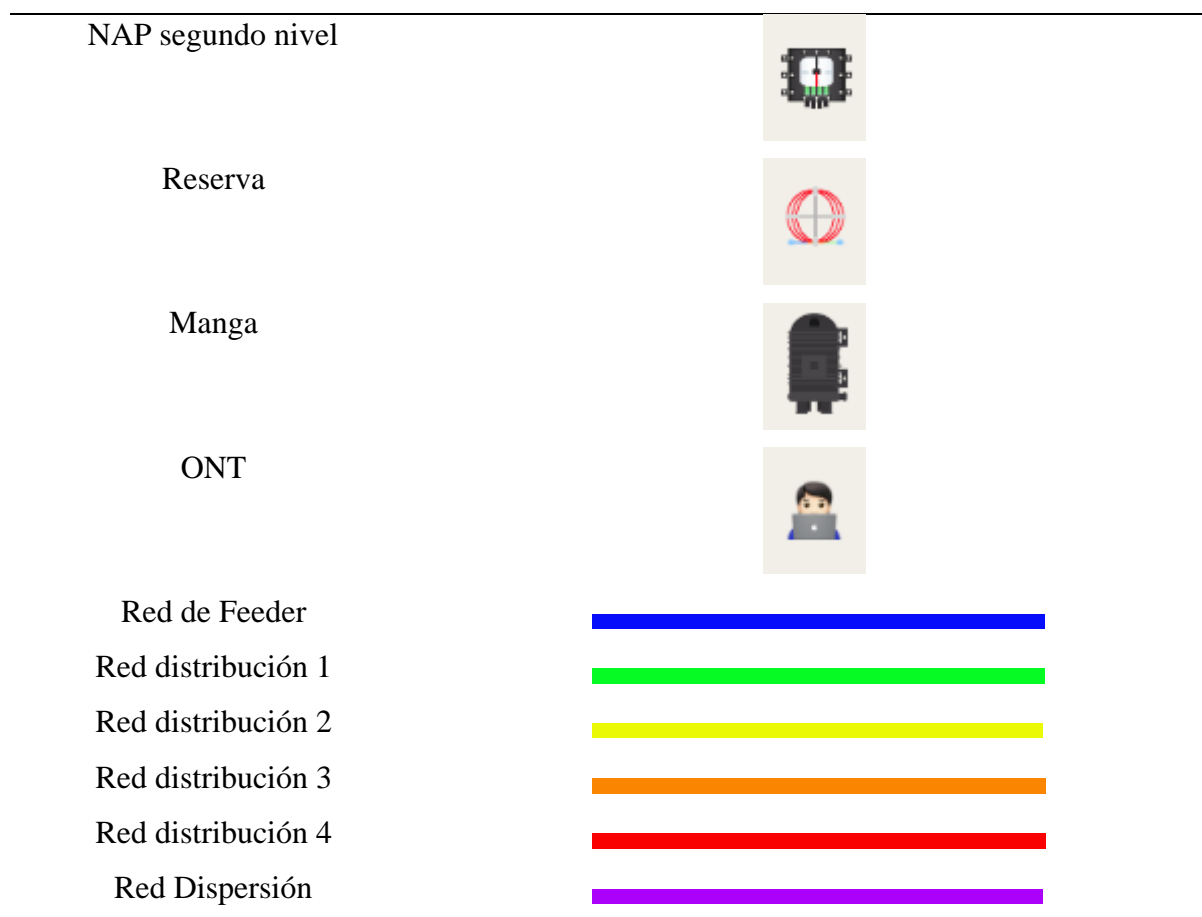
4.3.2 Simbología

RedFTTH tiene una serie de marcadores los cuales serán usado para representar los diferentes elementos dentro de la red. Es así como en la tabla 26, se muestra la simbología que se usará para el diseño de la red XG-PON en la parroquia de San Blas.

Tabla 26

Simbología para la red FTTH

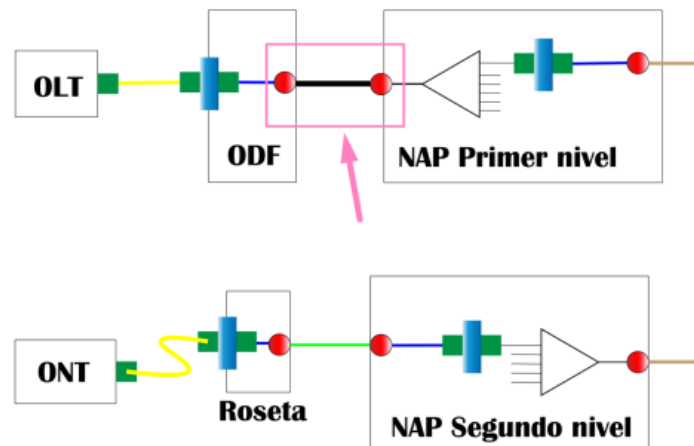
Elemento	Símbolo
OLT	
NAP primer nivel	



Fuente: Autoría Propia

4.3.3 Red Troncal

La red troncal o de feeder, como se mencionó anteriormente y como se puede apreciar en la figura 56, es la parte de la red FTTH que conecta el nodo principal donde se encuentra la OLT con los armarios ópticos de primer nivel. Se compone de un solo cable de fibra óptica de varios hilos que alimentan las NAP de primer nivel. Esta red es una de las partes más importantes del diseño, ya que a partir de esta se despliegan la red de distribución y la red de dispersión.

Figura 56*Red troncal en la arquitectura FTTH*

Fuente: (Carrera Díaz, 2022)

4.3.3.1. Ubicación y Descripción de la OLT. La OLT es el equipo activo más importante de la red XG-PON y el punto de partida de la red troncal. Es así como la OLT para este proyecto se ubica en la cabecera parroquial de San Blas, más específicamente en la calle El naranjo, a pocas cuadras del parque de la parroquia. En la figura 57 se muestra la ubicación exacta de la OLT dentro del software RedFTTH.

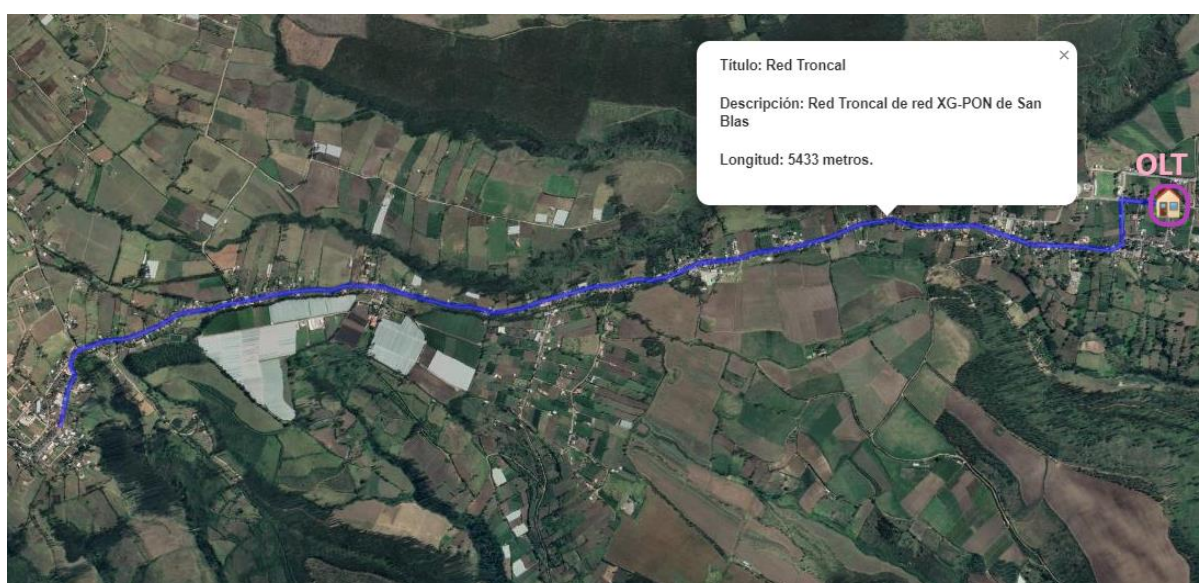
Figura 57*Ubicación de la OLT*

Fuente: (RedFTTH, 2023)

4.3.3.2. Ruta de la Red Troncal. Una vez establecido la ubicación exacta de la OLT, se debe definir el recorrido que tendrá la red troncal desde la ubicación de la OLT en la cabecera parroquial de San Blas hasta la ubicación que tendrá la última NAP primaria, que se la encuentra en el centro de la comuna San Alfonso de Iruguincho. Dicha ruta se puede observar en la figura 58 y tiene una distancia total de 5433 m.

Figura 58

Ruta de la Red Troncal



Fuente: (RedFTTH, 2023)

De acuerdo con las Normas de diseño y construcción de redes de telecomunicaciones con fibra óptica de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones mejor conocida como CNT (2012), para las redes de acceso de fibra óptica en lugares urbanos se establece una reserva equivalente al 5% de la distancia total del enlace. Esta cantidad será distribuida a lo largo de la red en reservas de 30 metros, colocados a una distancia aproximada de 500 metros entre cada una de las reservas. Cada una de estas reservas debe disponerse de tal manera que se tenga 15 metros de fibra óptica a cada lado del poste en que se coloque dicha reserva.

Es así como para la ruta troncal que tiene una distancia dmT de 5433 metros, se debe calcular, mediante la ecuación [12], la distancia total de reservas a la cual se le llamará drT .

$$drT = 5\% \times dmT$$

$$drT = 5\% \times 5433 \text{ m}$$

$$drT = 271.65 \text{ m} \approx 270 \text{ m} \quad \text{Ecuación [12]}$$

Sabiendo que se requiere aproximadamente 270 metros de fibra como reserva en la red troncal, ahora es necesario determinar la cantidad de reservas de 30 metros (NrT) que se dejaran a lo largo de la ruta de esta red, para lo cual se emplea la ecuación [13].

$$NrT = \frac{drT}{30 \text{ m}}$$

$$NrT = \frac{270 \text{ m}}{30 \text{ m}}$$

$$NrT = 9 \quad \text{Ecuación [13]}$$

Finalmente, es indispensable conocer la cantidad total de cable de fibra óptica que se requerirá para desplegar la red troncal (dT) en la parroquia de San Blas, con sus respectivas reservas, para ello se usará la ecuación [14].

$$dT = dmT + drT$$

$$dT = 5433 \text{ m} + 270 \text{ m}$$

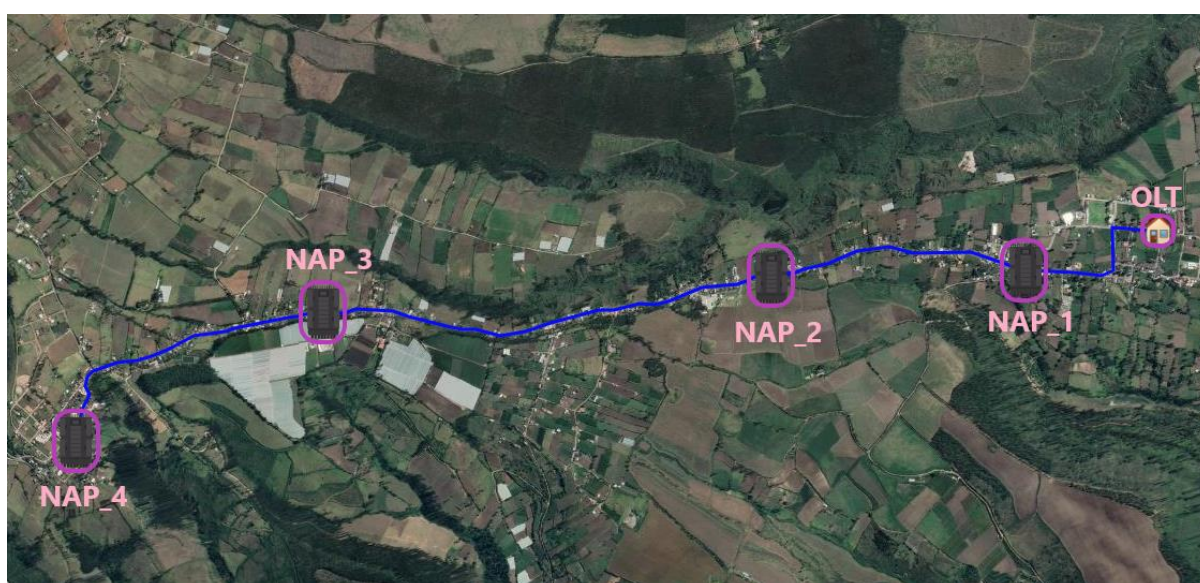
$$dT = 5703 \text{ m} \quad \text{Ecuación [14]}$$

Ya que durante la instalación de la red troncal se pueden llegar a dar ciertos percances o inconvenientes, se debe considerar comprar una cantidad de cable superior a la calculada. Es así como para la red troncal de San Blas se decidió que se debe adquirir 8 km de cable de fibra seleccionado para la misma.

4.3.3.3. Ubicación y Descripción de las NAP de primer nivel. Conociendo ya la ruta de la red troncal, es momento de determinar la ubicación de las NAP de primer nivel, las cuales posteriormente serán el punto de partida de las cuatro redes de dispersión. En la figura 59 se puede observar la representación en la plataforma RedFTTH de la ubicación de las NAP primarias con respecto a la OLT y la ruta de la red de feeder.

Figura 59

Red Troncal con las 4 NAP principales

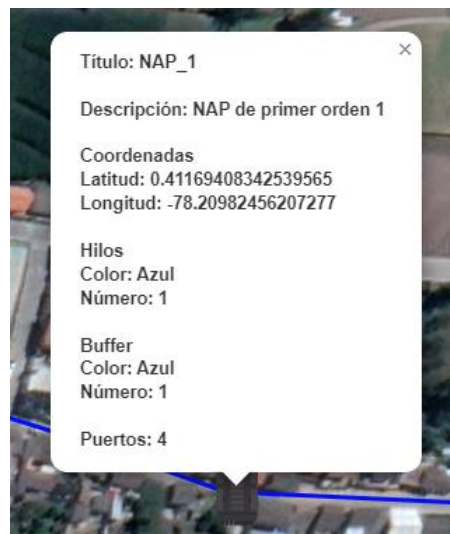


Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

En la Figura 60 se muestran las coordenadas y la descripción general del armario óptico de primer nivel denominado NAP_1 que cubre la cabecera parroquial de San Blas. Siguiendo la norma TIA-593-C107 esta caja se alimenta mediante el primer hilo de fibra óptica de color azul y se realiza el splitteo 1:4, con lo que se obtiene los cuatro puertos para alimentar a las cuatro NAP de segundo nivel.

Figura 60

Ubicación y descripción de la NAP_1

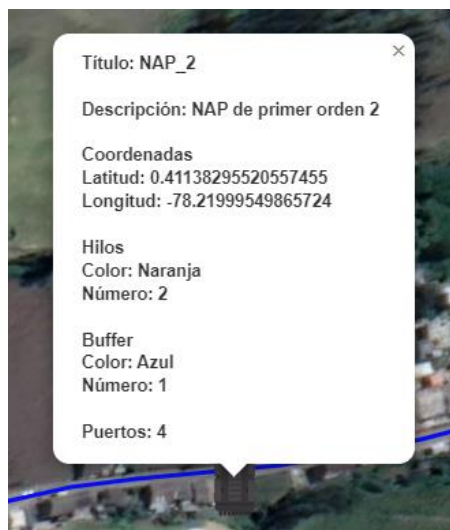


Fuente: (RedFTTH, 2023)

De la misma forma en la figura 61, se puede observar la ubicación, descripción y otros detalles importantes que se le ha dado a la NAP_2 dentro de RedFTTH.

Figura 61

Ubicación y descripción de la NAP_2

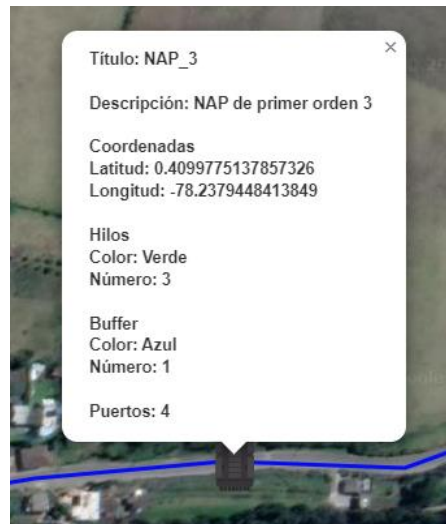


Fuente: (RedFTTH, 2023)

Los detalles y las coordenadas de la tercera NAP de primer orden, cuyo identificador es NAP_3, se pueden observar en la figura 62.

Figura 62

Ubicación y descripción de la NAP_3

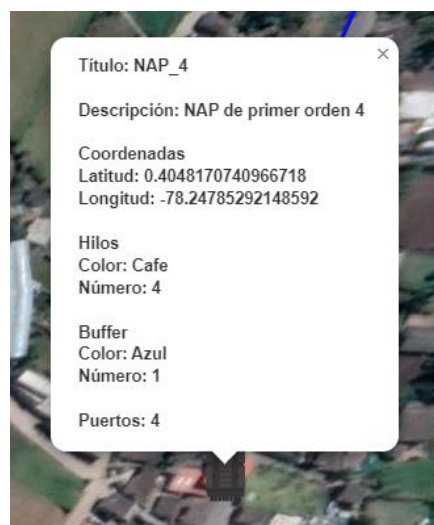


Fuente: (RedFTTH, 2023)

Finalmente, en la figura 63 se muestra el cuadro de información generado en RedFTTH asociado al última de los armarios ópticos de primer nivel.

Figura 63

Ubicación y descripción de la NAP_4



Fuente: (RedFTTH, 2023)

A continuación, en la tabla 27 se presenta un resumen de la principal información correspondiente a los 4 armarios ópticos de primer nivel, como lo es el identificador asignado y su descripción.

Tabla 27

Resumen de la ubicación y descripción de las NAP de primer nivel

Elemento	Identificador	Descripción
NAP I #1	NAP_1	NAP de primer nivel 1 Hilo de fibra color azul
NAP I #2	NAP_2	NAP de primer nivel 2 Hilo de fibra color naranja
NAP I #3	NAP_3	NAP de primer nivel 3 Hilo de fibra color verde
NAP I #4	NAP_4	NAP de primer nivel 4 Hilo de fibra color café

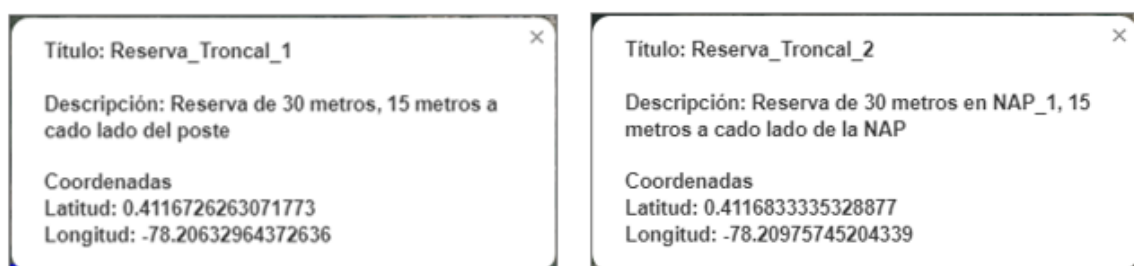
Fuente: Autoría Propia

4.3.3.4. Ubicación y Descripción de las reservas de la Red Troncal. Como se mencionó anteriormente, en la red troncal de San Blas se debe disponer de nueve reservas de cable de fibra las cuales deben estar separadas a aproximadamente 500 m, sin embargo, para este proyecto se ha modificado ligeramente las distancias entre reservas para lograr que haya una reserva justo al lado de cada NAP de primer nivel. En la figura 64 se puede observar la ubicación que se le ha dado a cada reserva dentro de la plataforma RedFTTH.

Figura 64*Red Troncal con reservas de fibra*

Fuente: (RedFTTH, 2023)

En la figura 65 se puede apreciar la ubicación exacta y las descripciones de las dos primeras reservas de fibra, las cuales cuentan con los identificadores Reserva_Troncal_1 y Reserva_Troncal_2.

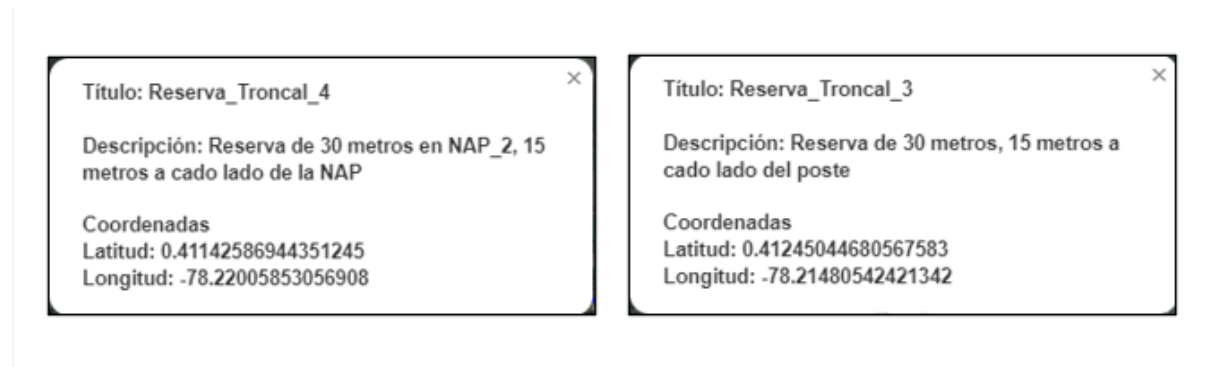
Figura 65*Ubicación y descripción de las reservas troncales 1 y 2.*

Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

Del mismo modo en la figura 66 se muestra los detalles relacionados con la tercera y cuarta reserva de la red troncal.

Figura 66

Ubicación y descripción de las reservas troncales 3 y 4.

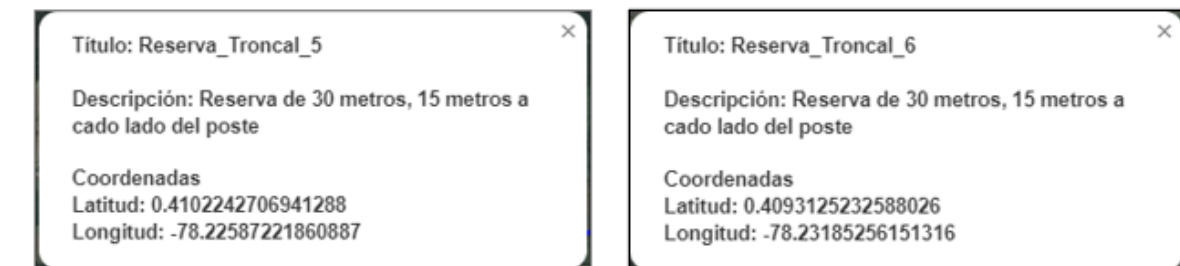


Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

A continuación, en la figura 67 se encuentran los datos de ubicación y descripción de las siguiente dos reservas troncales, que fueron nombradas Reserva_Troncal_5 y Reserva_Troncal_6.

Figura 67

Ubicación y descripción de las reservas troncales 5 y 6.

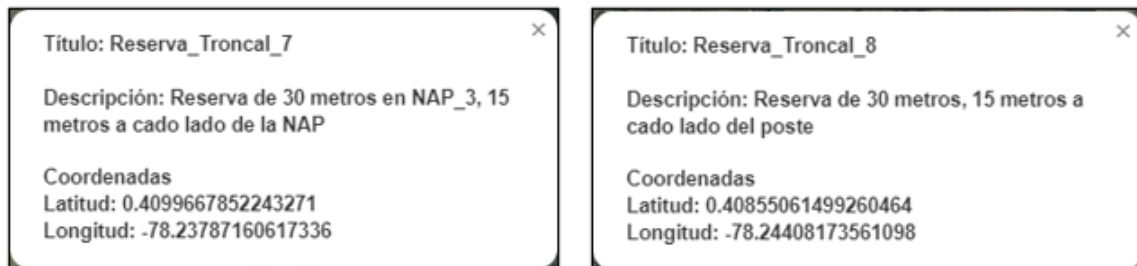


Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

La ubicación y descripción de la Reserva_Troncal_7 y la Reserva_Troncal_8 establecido en la plataforma RedFTTH se puede apreciar en la figura 68.

Figura 68

Ubicación y descripción de las reservas troncales 7 y 8.

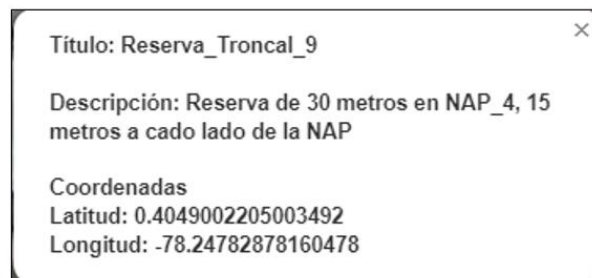


Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

Finalmente, los detalles de la novena reserva troncal que se ubica inmediatamente a lado de la NAP_4 se presentan en la figura 69.

Figura 69

Ubicación y descripción de las reservas troncales 9.



Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

En la tabla 28 se puede ver un resumen de los detalles correspondientes a las nueve reservas de fibra óptica en la red troncal de este proyecto. Para ello se cuenta con tres columnas, en la primera se encuentra el nombre del elemento, seguido por el identificador que se le asignó y una breve descripción.

Tabla 28*Resumen de la ubicación y descripción de las reservas de la red troncal*

Elemento	Identificador	Descripción
Reserva #1	Reserva_Troncal_1	Reserva de 30 metros 15 metros a cada lado del poste
Reserva #2	Reserva_Troncal_2	Reserva de 30 metros en NAP_1 15 metros a cada lado de la NAP
Reserva #3	Reserva_Troncal_3	Reserva de 30 metros 15 metros a cada lado del poste
Reserva #4	Reserva_Troncal_4	Reserva de 30 metros en NAP_2 15 metros a cada lado de la NAP
Reserva #5	Reserva_Troncal_5	Reserva de 30 metros 15 metros a cada lado del poste
Reserva #6	Reserva_Troncal_6	Reserva de 30 metros 15 metros a cada lado del poste
Reserva #7	Reserva_Troncal_7	Reserva de 30 metros en NAP_3 15 metros a cada lado de la NAP
Reserva #8	Reserva_Troncal_8	Reserva de 30 metros 15 metros a cada lado del poste
Reserva #9	Reserva_Troncal_9	Reserva de 30 metros en NAP_4 15 metros a cada lado de la NAP

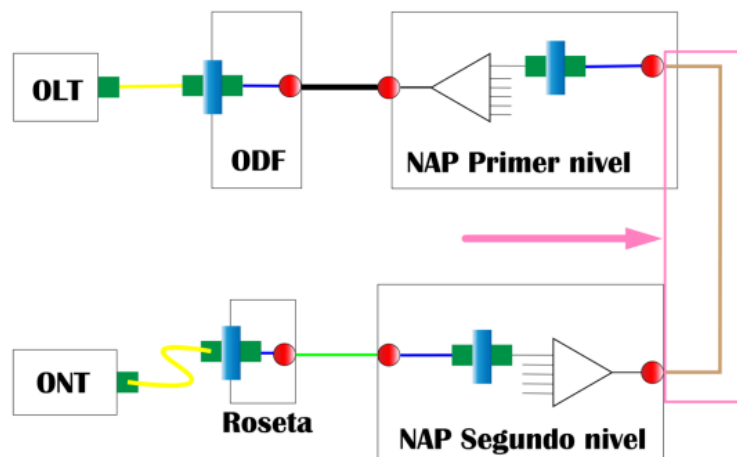
Fuente: Autoría Propia

4.3.4. Red de Distribución

Se entiende por red de distribución, al tramo de la red XG-PON que une los dos niveles de división óptica, dicho de otra forma, conecta los armarios ópticos de primer nivel con sus respectivas NAP de segundo nivel, como se puede observar en la figura 70. La ubicación de las NAP secundarias y, por lo tanto, la disposición de la red de dispersión se debe elegir cuidadosamente con el objetivo de dar cobertura a toda la zona delimitada para este proyecto.

Figura 70

Red de distribución en la arquitectura FTTH



Fuente: (Carrera Díaz, 2022)

Ya que para la red XG-PON de la parroquia San Blas se dispuso de 4 NAP de primer orden, se puede dividir la red de distribución en cuatro redes independientes, cada una de ellas tendrá como punto de partida uno de los armarios de primer nivel.

4.3.4.1. Rutas de las Redes de Distribución. La primera red de distribución cuyo punto de partida es la NAP_1 se extiende por la cabecera parroquial de San Blas como se muestra en la figura 71 y tiene una distancia total de 851 metros.

Figura 71*Ruta de la Red de Distribución 1*

Fuente: (RedFTTH, 2023)

De forma similar a lo realizado con la red troncal, para cada una de estas redes de distribución se debe calcular la cantidad de cable de fibra óptica de reserva, que se debe sumar a la distancia medida. De esta manera, mediante la ecuación [15] se calcula el valor de la reserva equivalente al 5% de acuerdo con lo que establece el CNT (2012).

$$drD1 = 5\% \times dmD1$$

$$drD1 = 5\% \times 851 \text{ m}$$

$$drD1 = 42.55 \text{ m} \approx 40 \text{ m} \quad \text{Ecuación [15]}$$

Una vez que se conoce que la longitud de la reserva para la red de distribución es de aproximadamente 40 metros, se ha decidido distribuir esta longitud de cable entre las cuatro NAP secundarias con lo que cada reserva tendrá una longitud de 10 metros.

A continuación, es preciso determinar la cantidad total de cable de fibra óptica que se requerirá en la red de distribución 1 ($dD1$), para lo cual se emplea la ecuación [16].

$$dD1 = dmD1 + drD1$$

$$dD1 = 851 \text{ m} + 40 \text{ m}$$

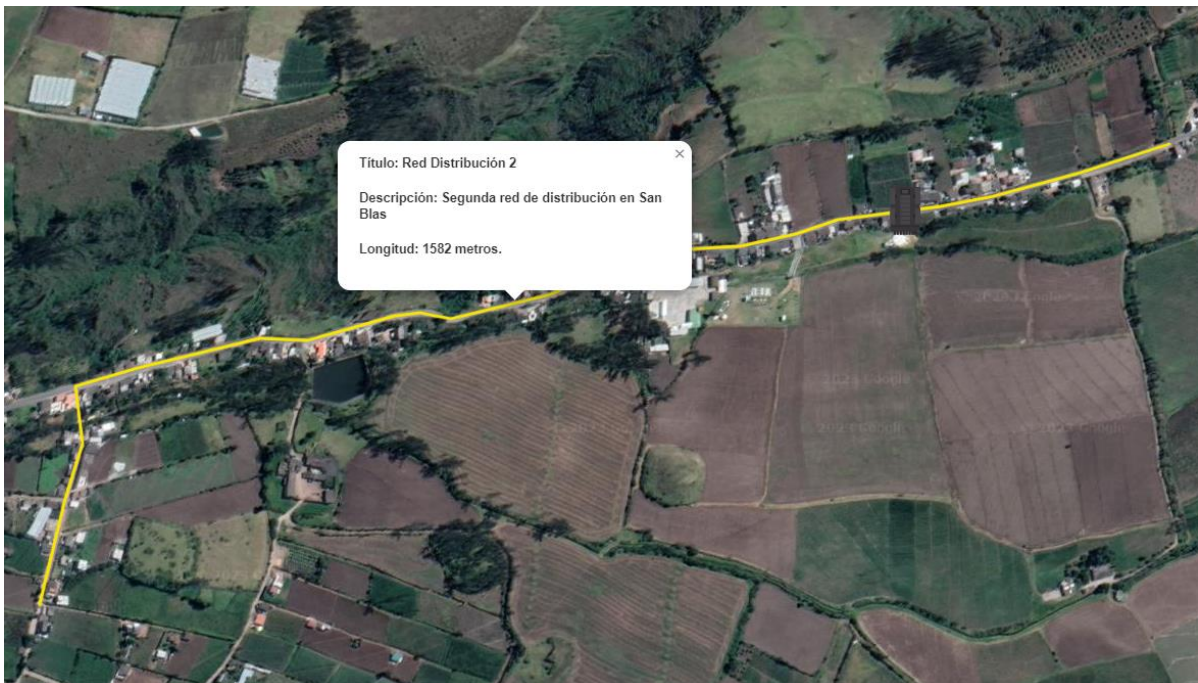
$$dD1 = 891 \text{ m}$$

Ecuación [16]

La red de distribución 2, que se encuentra representada por la línea amarilla dentro de la plataforma RedFTTH, tiene una distancia total de 1582 metros como se puede apreciar en la figura 72.

Figura 72

Ruta de la Red de Distribución 2



Fuente: (RedFTTH, 2023)

Conociendo la distancia medida de la segunda red de distribución a la cual se la denominará $dmD2$, es momento de calcular la cantidad de fibra que se debe agregar de reserva, para ello se utiliza la ecuación [17].

$$drD2 = 5\% \times dmD2$$

$$drD2 = 5\% \times 1582 \text{ m}$$

$$drD2 = 79.1 \text{ m} \approx 80 \text{ m}$$

Ecuación [17]

De igual forma que en la red de distribución anterior, el valor total de reservas se dividirá para las cuatro NAP secundarias. Es así como se tendrá cuatro reservas de 20 metros. Por otra parte, también es necesario cuantificar, mediante la ecuación [18], el total de fibra que requiere la red de distribución 2.

$$dD2 = dmD2 + drD2$$

$$dD2 = 1582 \text{ m} + 80 \text{ m}$$

$$dD2 = 1662 \text{ m} \quad \text{Ecuación [18]}$$

En la figura 73, se ilustra el recorrido de 1265 metros que tendrá la red distribución número 3 en la parroquia de San Blas.

Figura 73

Ruta de la Red de Distribución 3



Fuente: (RedFTTH, 2023)

A partir de la distancia medida para la red de distribución 3 y mediante la ecuación [19], se tiene que determinar la distancia total de las reservas para esta red.

$$drD3 = 5\% \times dmD3$$

$$drD3 = 5\% \times 1256 \text{ m}$$

$$drD3 = 62.8 \text{ m} \approx 60 \text{ m} \quad \text{Ecuación [19]}$$

Esta distancia de reserva repartida entre las 4 NAP de segundo nivel equivalen a reservas individuales de 15 m cada una. Análogamente a lo que se ha hecho para las redes de distribución anteriores, se procede a calcular la distancia total de red de distribución de acuerdo con la ecuación [20].

$$dD3 = dmD3 + drD3$$

$$dD3 = 1256 \text{ m} + 60 \text{ m}$$

$$dD3 = 1316 \text{ m} \quad \text{Ecuación [20]}$$

Por último, se tiene el diseño en el software RedFTTH de la red de distribución 4, la cual tiene una distancia total de 606 metros, como se puede observar en la figura 74.

Figura 74

Ruta de la Red de Distribución 4



Fuente: (RedFTTH, 2023)

La longitud de cable de fibra óptica que se debe dejar de reserva en la red de distribución 4, equivale al 5% de la distancia total y se calcula por medio de la ecuación [21].

$$drD4 = 5\% \times dmD4$$

$$drD4 = 5\% \times 606 \text{ m}$$

$$drD4 = 30.3 \text{ m} \approx 32 \text{ m} \quad \text{Ecuación [21]}$$

Ya que se debe dejar un total de 32 metros de cable de reserva, las reservas individuales colocadas junto a cada NAP secundaria tendrán una longitud de 8 metros.

La sumatoria de la distancia medida y las reservar para esta red de distribución, que se muestra en la ecuación [22], dan como resultado la distancia total requerida para la implementación de esta.

$$dD4 = dmD4 + drD4$$

$$dD4 = 606 \text{ m} + 32 \text{ m}$$

$$dD3 = 638 \text{ m} \quad \text{Ecuación [22]}$$

Una vez teniendo el diseño de las cuatro redes de distribución, es necesario hacer la sumatoria de las 4 distancia para determinar la cantidad total de cable de fibra se debe adquirir para la realización de esta parte de la red. En la ecuación [23] se realiza este cálculo.

$$dD = dD1 + dD2 + dD3 + dD4$$

$$dD = 891 \text{ m} + 1662 \text{ m} + 1316 \text{ m} + 638 \text{ m}$$

$$dD = 4507 \text{ m} \quad \text{Ecuación [23]}$$

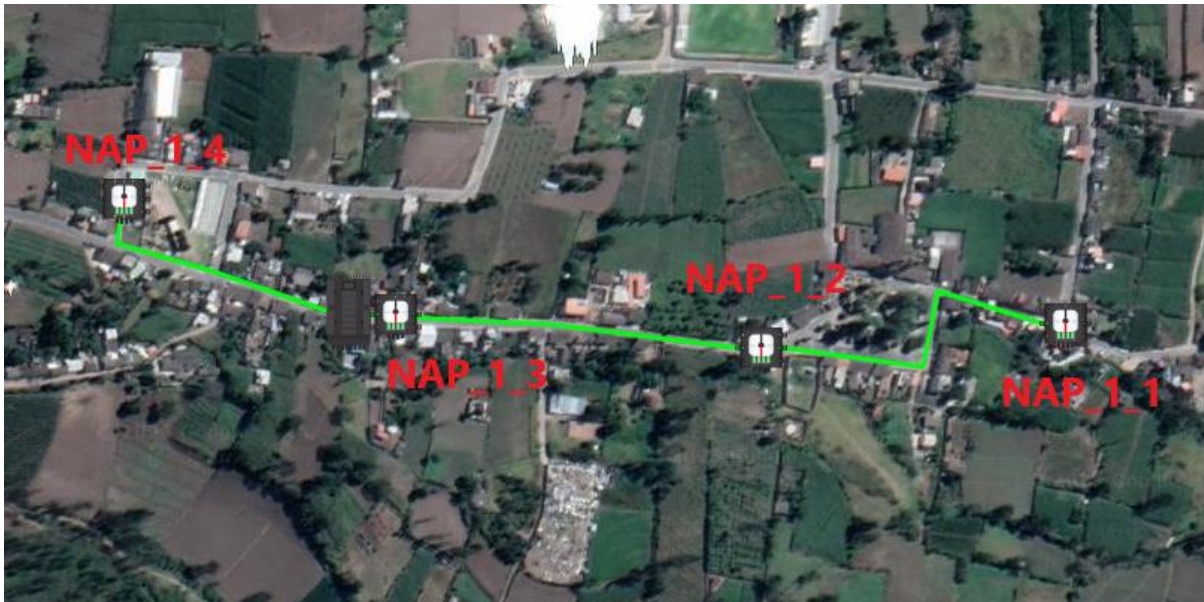
Del mismo modo que se realizó para la red troncal, se debe adquirir una cantidad de fibra superior a lo calculado, en caso de que durante su instalación surja cualquier tipo de

inconveniente. Entonces para la totalidad de la red de distribución se comprar aproximadamente 5 km.

4.3.4.2. Ubicación y Descripción de las NAP de segundo nivel. Al igual que los armarios ópticos de primer nivel se colocan a lo largo de la red troncal, las NAP secundarias se ubicarán sobre sus respectivas redes de distribución. En la figura 75, se muestra la red de distribución 1 con la ubicación de las cuatro primeras NAP de segundo orden, donde tres de ellas se encuentran al este de la NAP_1 y la cuarta se encuentra al oeste.

Figura 75

Red de Distribución 1 con sus 4 NAP secundarias.

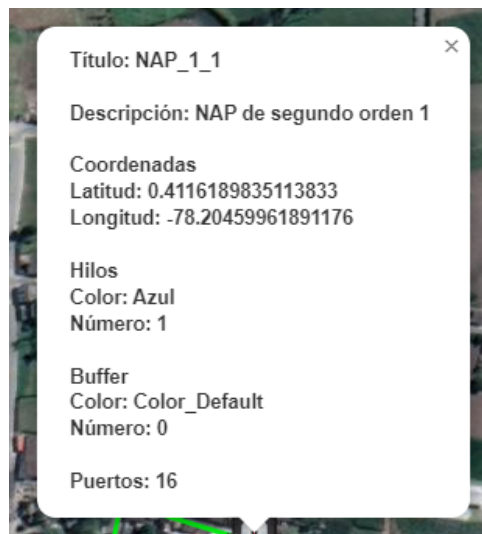


Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

La información de ubicación y descripción del primer armario óptico de segundo nivel, denominado también NAP_1_1, se puede apreciar en la figura 76.

Figura 76

Ubicación y descripción de la NAP_1_1

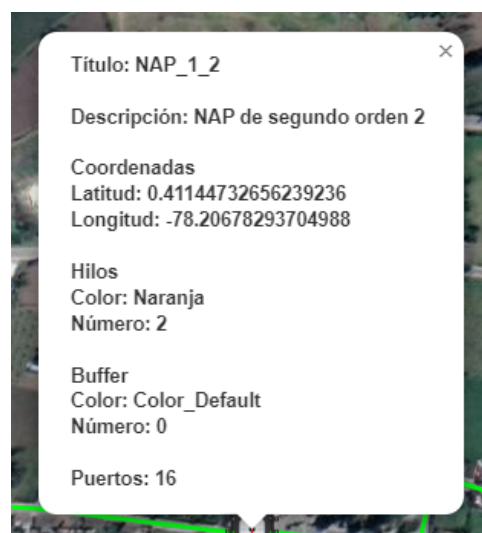


Fuente: (RedFTTH, 2023)

En la figura 77, se presenta el cuadro de información de la segunda NAP de segundo orden, ubicada sobre la red de distribución 1.

Figura 77

Ubicación y descripción de la NAP_1_2

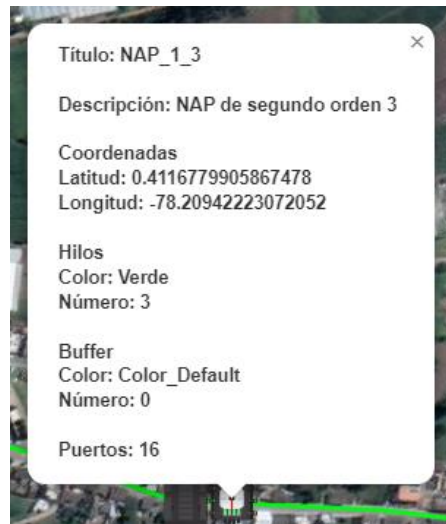


Fuente: (RedFTTH, 2023)

De la misma forma, en la figura 78 se muestra la descripción y ubicación de la NAP_1_3 perteneciente a la primera red de distribución de la red XG-PON.

Figura 78

Ubicación y descripción de la NAP_1_3



Fuente: (RedFTTH, 2023)

El cuadro generado en RedFTTH con los detalles de la última de las NAP de segundo orden la Red de distribución 1, se puede apreciar en la figura 79.

Figura 79

Ubicación y descripción de la NAP_1_4

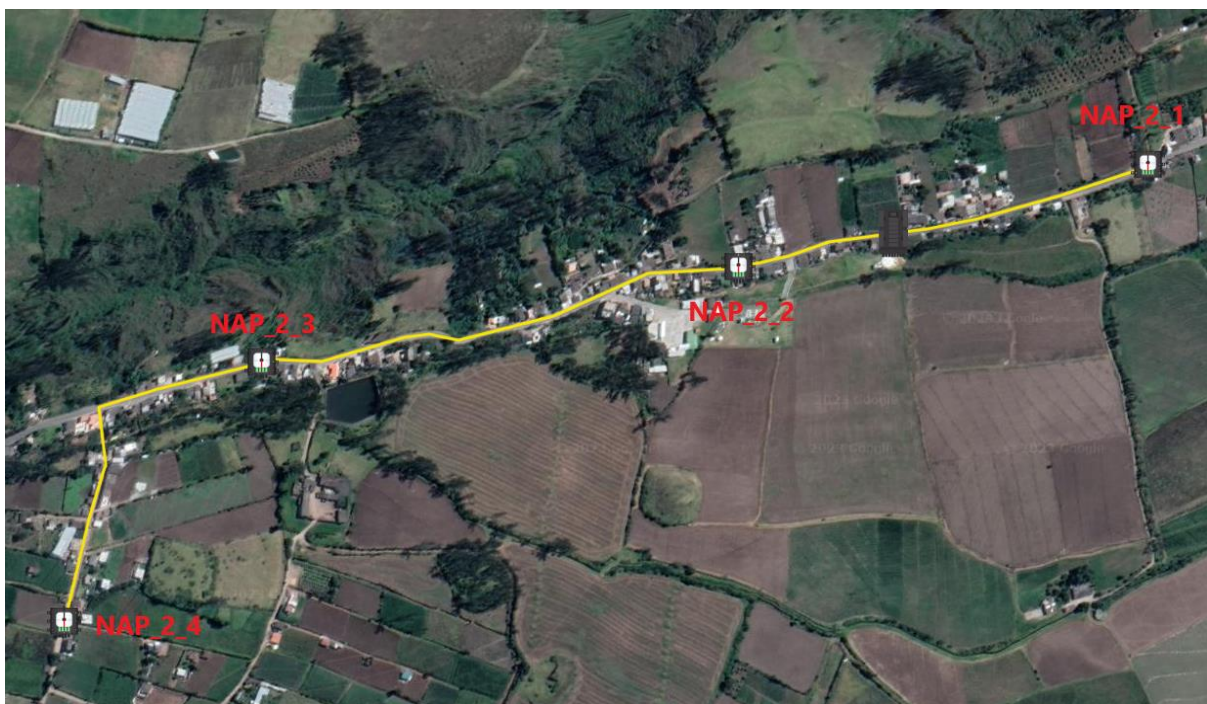


Fuente: (RedFTTH, 2023)

Una vez determinado la ubicación de las 4 primeras NAP de segundo nivel, es momento de continuar con los NAP de segundo nivel correspondientes a la red de distribución 2. En la figura 80, se muestra la distribución los armarios de distribución NAP_2_1, NAP_2_2, NAP_2_3 y NAP_2_4 colocados a lo largo de la segunda red de distribución de San Blas.

Figura 80

Red de Distribución 2 con sus 4 NAP secundarias



Fuente: (Red FTTH, 2022). Modificado por el Autor.

En la figura 81 se puede encontrar la información relacionada a la ubicación y descripción de la quinta NAP de segundo orden con respecto a la red completa, y la primera de la red de distribución 2.

Figura 81

Ubicación y descripción de la NAP_2_1

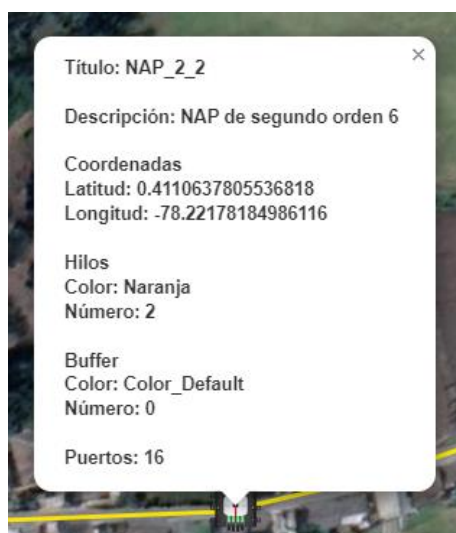


Fuente: (RedFTTH, 2023)

Los detalles de la segunda NAP secundaria de la red de distribución 2, cuyo identificador es NAP_2_2, se aprecian en la figura 82.

Figura 82

Ubicación y descripción de la NAP_2_2

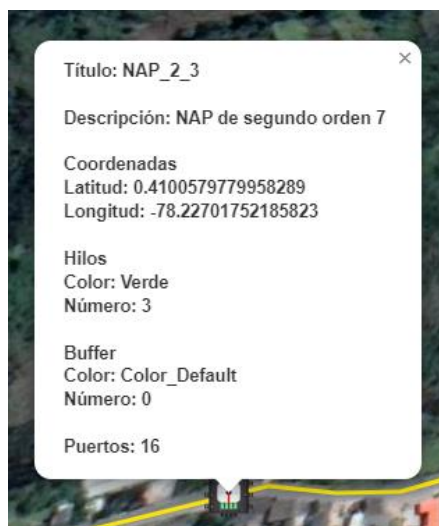


Fuente: (RedFTTH, 2023)

Por otra parte, la figura 83 muestra el cuadro de información correspondiente a la NAP secundaria NAP_2_3, obtenido de la plataforma RedFTTH.

Figura 83

Ubicación y descripción de la NAP_2_3

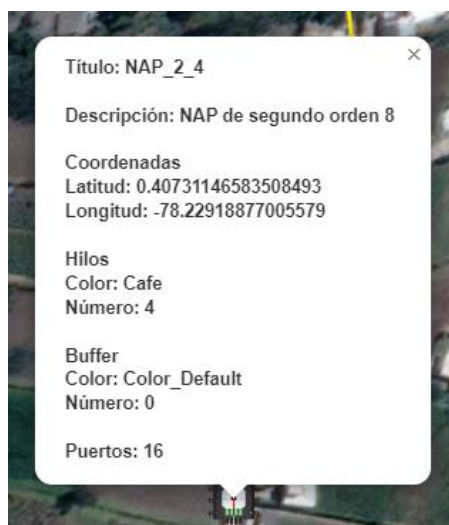


Fuente: (RedFTTH, 2023)

La descripción y ubicación de la cuarta y última NAP secundaria perteneciente a la red de distribución 2, se puede observar en la figura 84.

Figura 84

Ubicación y descripción de la NAP_2_4



Fuente: (RedFTTH, 2023)

Continuando con el diseño de la red de distribución, es momento de determinar la ubicación que tendrá las 4 NAP secundarias que se derivan del armario óptico NAP_3, para poder garantizar que los domicilios de este sector tengan la cobertura de la red XG-PON. En la figura 85, se puede apreciar la distribución que se le ha dado a las NAP secundarias sobre la red de distribución 3.

Figura 85

Red de Distribución 3 con sus 4 NAP secundarias

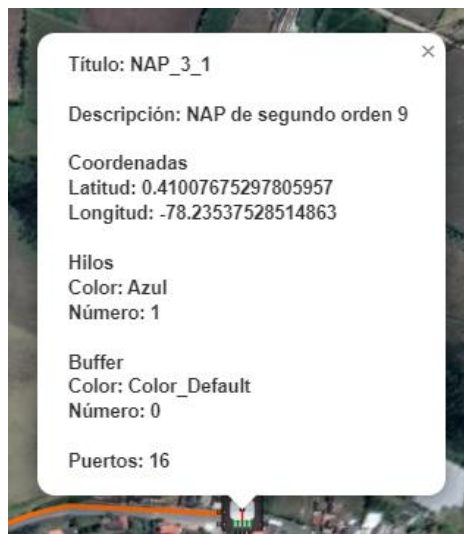


Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

La información más relevante de la novena NAP secundaria de la red XG-PON de San Blas, se puede observar en la figura 86, entre esa información se puede destacar su identificador, la descripción y el nivel de división.

Figura 86

Ubicación y descripción de la NAP_3_1

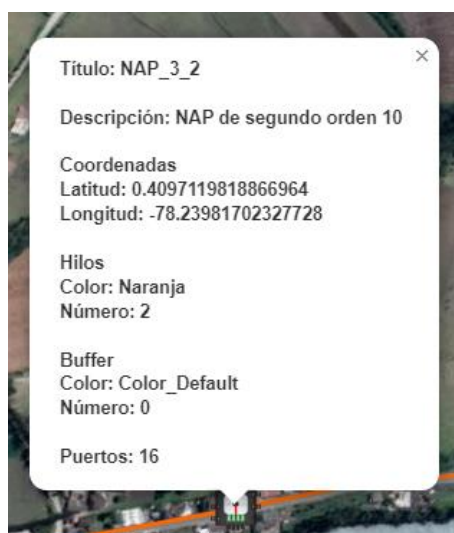


Fuente: (RedFTTH, 2023)

En la figura 87 contiene el cuadro de información, que se despliega en la plataforma RedFTTH, correspondiente a la NAP_3_2.

Figura 87

Ubicación y descripción de la NAP_3_2

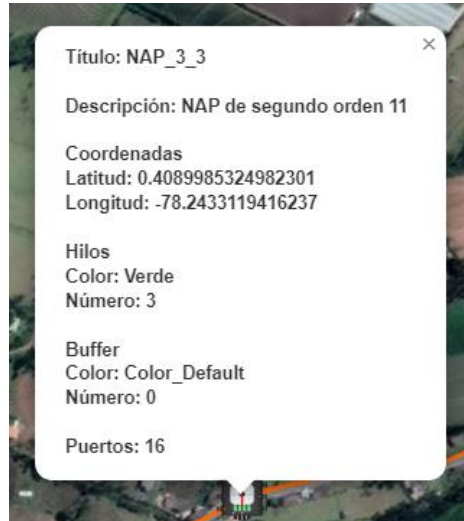


Fuente: (RedFTTH, 2023)

Los detalles de ubicación, número de puertos y descripción de la tercera NAP secundaria de la red de distribución 3 se puede observar en la figura 88.

Figura 88

Ubicación y descripción de la NAP_3_3

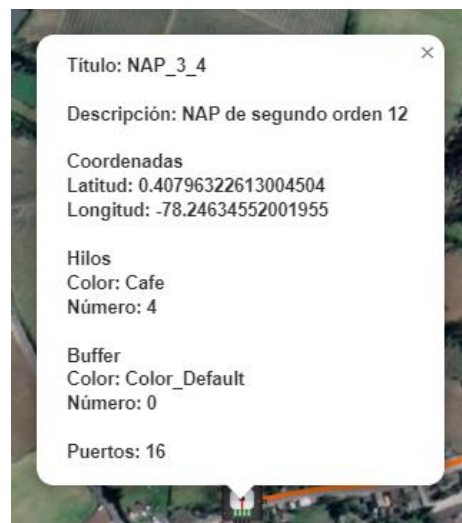


Fuente: (RedFTTH, 2023)

De la misma forma, la figura 89 muestra la información principal que se le ha asignado última a la NAP secundaria de la tercera red de distribución de San Blas.

Figura 89

Ubicación y descripción de la NAP_3_4



Fuente: (RedFTTH, 2023)

Por último, en la figura 90 se puede apreciar la disposición, a lo largo de la comuna de San Alfonso de Iruguincho, de los armarios secundarios nombrados NAP_4_1, NAP_4_2, NAP_4_3 y NAP_4_4, los cuales se derivan del armario óptico primario NAP_4.

Figura 90

Red de Distribución 4 con sus 4 NAP secundarias

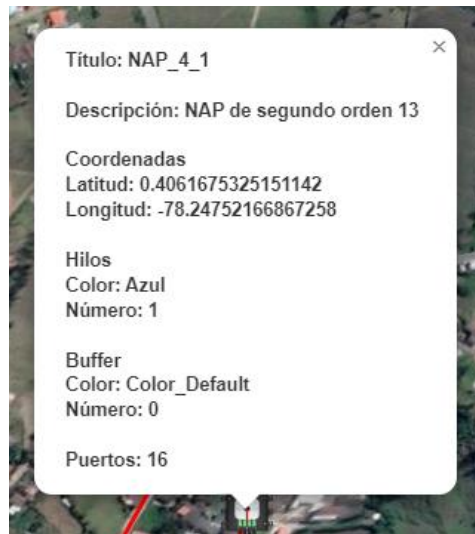


Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

Es así como en la figura 91 se pueden observar los detalles de ubicación y división que corresponden a la NAP de según orden NAP_4_1.

Figura 91

Ubicación y descripción de la NAP_4_1



Fuente: (RedFTTH, 2023)

Por otra parte, el cuadro de información que correspondiente a la NAP secundaria NAP_4_2 se presenta en la figura 92.

Figura 92

Ubicación y descripción de la NAP_4_2

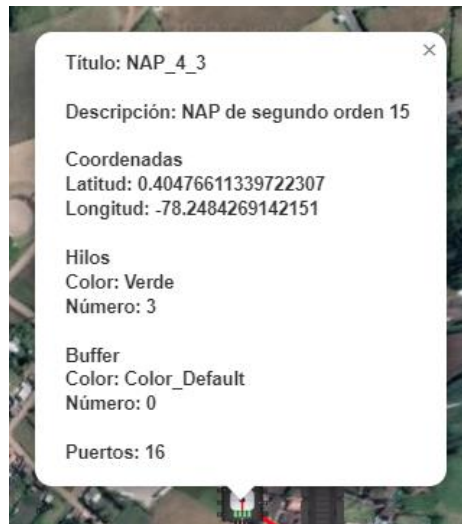


Fuente: (RedFTTH, 2023)

En la figura 93 se enseña la información de ubicación, descripción y división relacionados a la tercera de las NAP secundaria de la red de distribución 4.

Figura 93

Ubicación y descripción de la NAP_4_3

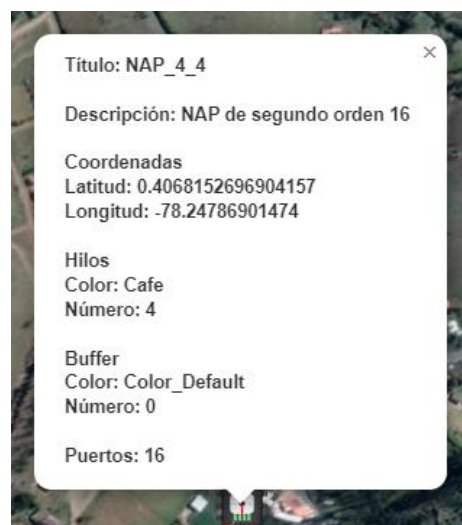


Fuente: (RedFTTH, 2023)

Finalmente, los detalles de la NAP_4_4, que corresponde a la última de las NAP secundarias, se aprecian en la figura 94.

Figura 94

Ubicación y descripción de la NAP_4_4



Fuente: (RedFTTH, 2023)

A continuación, en la tabla 29, se presenta un resumen de la información del elemento, su identificador y descripción, correspondiente a las 16 NAP secundarias. De esta forma se pretende facilitar el manejo e identificación de cada uno de los armarios ópticos de segundo orden que conforman las diferentes redes de distribución de la red XG-PON de la parroquia de San Blas.

Tabla 29

Resumen de la ubicación y descripción de las NAP de segundo nivel

Elemento	Identificador	Descripción
NAP II #1	NAP_1_1	NAP de segundo nivel 1 Hilo de fibra azul
NAP II #2	NAP_1_2	NAP de segundo nivel 2 Hilo de fibra naranja
NAP II #3	NAP_1_3	NAP de segundo nivel 3 Hilo de fibra verde
NAP II #4	NAP_1_4	NAP de segundo nivel 4 Hilo de fibra café
NAP II #5	NAP_2_1	NAP de segundo nivel 5 Hilo de fibra azul
NAP II #6	NAP_2_2	NAP de segundo nivel 6 Hilo de fibra naranja
NAP II #7	NAP_2_3	NAP de segundo nivel 7 Hilo de fibra verde
NAP II #8	NAP_2_4	NAP de segundo nivel 8 Hilo de fibra café

NAP II #9	NAP_3_1	NAP de segundo nivel 9 Hilo de fibra azul
NAP II #10	NAP_3_2	NAP de segundo nivel 10 Hilo de fibra naranja
NAP II #11	NAP_3_3	NAP de segundo nivel 11 Hilo de fibra verde
NAP II #12	NAP_3_4	NAP de segundo nivel 12 Hilo de fibra café
NAP II #13	NAP_4_1	NAP de segundo nivel 13 Hilo de fibra azul
NAP II #14	NAP_4_2	NAP de segundo nivel 14 Hilo de fibra naranja
NAP II #15	NAP_4_3	NAP de segundo nivel 15 Hilo de fibra verde
NAP II #16	NAP_4_4	NAP de segundo nivel 16 Hilo de fibra café

Fuente: Autoría Propia

4.3.4.3. Ubicación y Descripción de las Reservas en la Red de Distribución. Como se mencionó durante en el diseño de las rutas de 4 las redes de distribución, se van a dejar cuatro reservas de fibra en cada red distribución, en caso de que se presenten percances durante la instalación de la fibra o posteriormente. Es así como en la figura 95 se muestra la ubicación de las reservas para la primera red de distribución.

Figura 95

Red de distribución 1 con sus reservas.



Fuente: (RedFTTH, 2023)

En la figura 96, se muestran los detalles de las 4 reservas que se van a colocar en la red de distribución 1, entre dichos detalles se incluye su identificador, cantidad de reserva y ubicación.

Figura 96

Ubicación y descripción de las 4 reservas de la red de distribución 1.

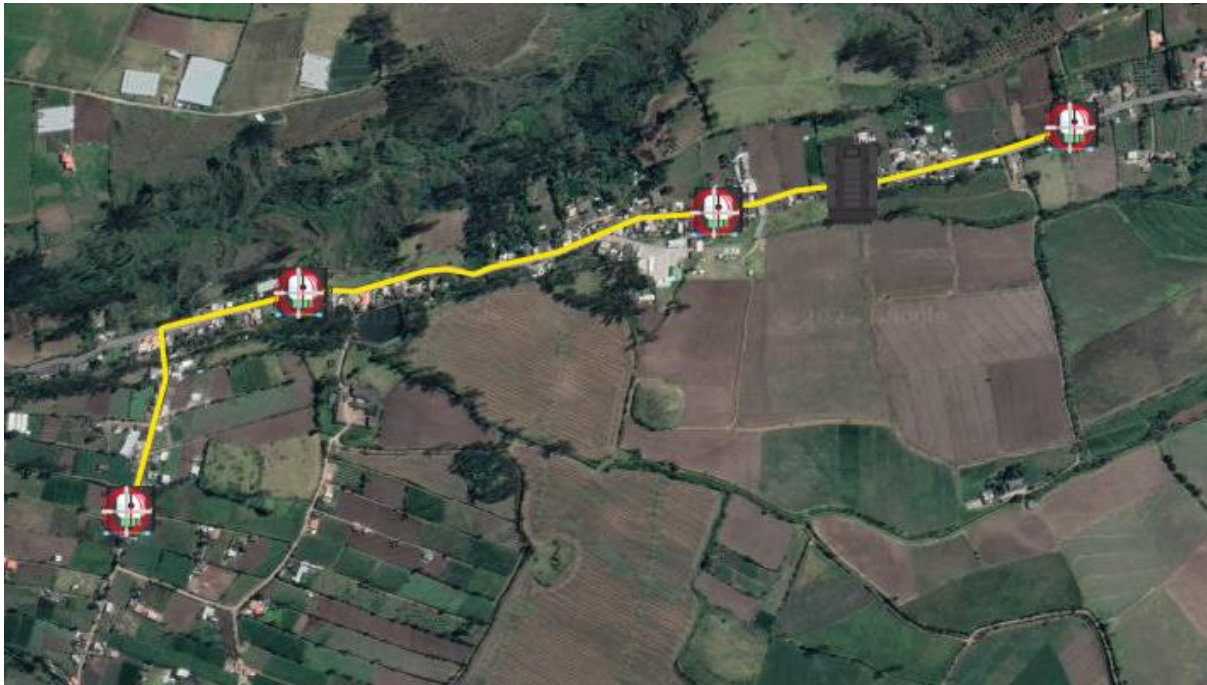
<p>Título: Reserva_Distrib_1</p> <p>Descripción: Reserva de 10 metros. En el poste donde se ubica la NAP_1_1</p> <p>Coordenadas Latitud: 0.4116028906725701 Longitud: -78.20463314652444</p>	<p>Título: Reserva_Distrib_2</p> <p>Descripción: Reserva de 10 metros. En el poste donde se ubica la NAP_1_2</p> <p>Coordenadas Latitud: 0.4114513497721752 Longitud: -78.20674002170564</p>
<p>Título: Reserva_Distrib_3</p> <p>Descripción: Reserva de 10 metros. En el poste donde se ubica la NAP_1_3</p> <p>Coordenadas Latitud: 0.4116793316566372 Longitud: -78.20937529206276</p>	<p>Título: Reserva_Distrib_4</p> <p>Descripción: Reserva de 10 metros. En el poste donde se ubica la NAP_1_4</p> <p>Coordenadas Latitud: 0.4124665396427716 Longitud: -78.2113789021969</p>

Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

De forma similar, ubicación de las reservas de fibra óptica para la segunda red de distribución se pueden apreciar en la figura 97. De derecha a izquierda el identificador de las reservas es Reserva_Distrib_5, Reserva_Distrib_6, Reserva_Distrib_7 y Reserva_Distrib_8. Por otra parte, se puede apreciar que cada reserva se encuentra dispuesta en la misma ubicación de las NAP de segundo orden ya que estos puntos suelen ser más susceptibles de inconvenientes.

Figura 97

Red de distribución 2 con sus reservas.

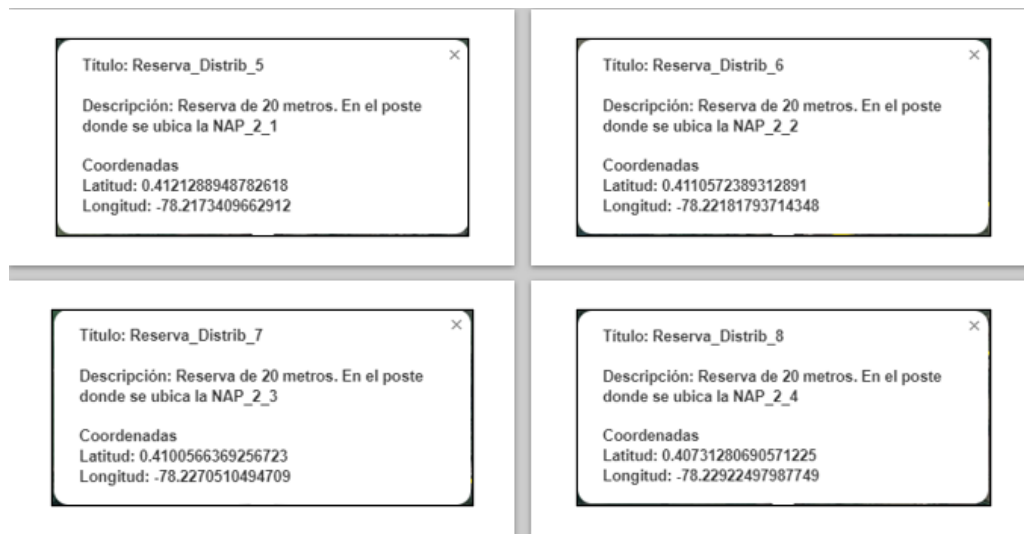


Fuente: (RedFTTH, 2023)

La información de ubicación y descripción pertinente a cada una de las reservas de la red de distribución 2, se puede apreciar en la figura 98.

Figura 98

Ubicación y descripción de las 4 reservas de la red de distribución 2.



Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

Análogamente a los casos anteriores, en la figura 99 se presenta la disposición de las reservas de cable de fibra óptica para la tercera red de distribución, dentro de la plataforma de diseño RedFTTH.

Figura 99

Red de distribución 3 con sus reservas.

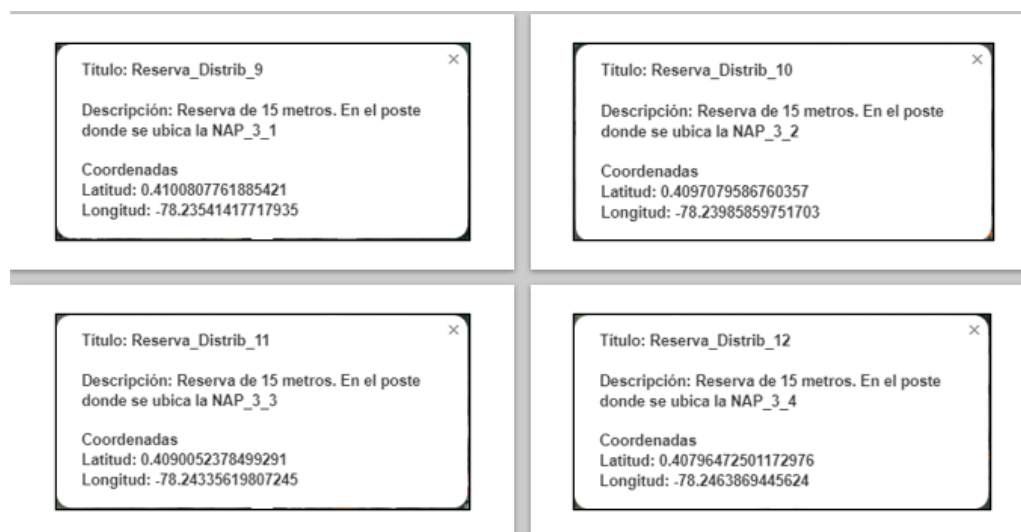


Fuente: (RedFTTH, 2023)

Los cuadros de información correspondientes a las reservas de fibra Reserva_Distrib_9, Reserva_Distrib_10, Reserva_Distrib_11 y Reserva_Distrib_12, se pueden observar en la figura 100.

Figura 100

Ubicación y descripción de las 4 reservas de la red de distribución 3.

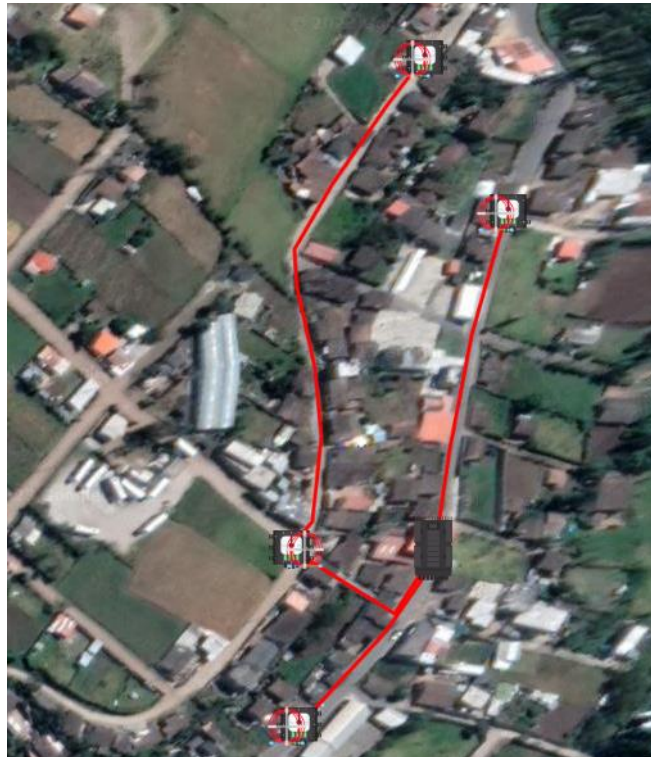


Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

Por último, la ubicación de las reservas de fibra óptica para la tercera red de distribución se puede observar en la figura 101, donde cada reserva se coloca en el mismo poste que se usará para la instalación de las NAP de segundo nivel. Es así como la reserva Reserva_Distrib_13, Reserva_Distrib_14, Reserva_Distrib_15 y Reserva_Distrib_16 corresponde a las reservas de la NAP con identificador NAP_4_1, NAP_4_2, NAP_4_3 y NAP_4_4 respectivamente.

Figura 101

Red de distribución 4 con sus reservas.

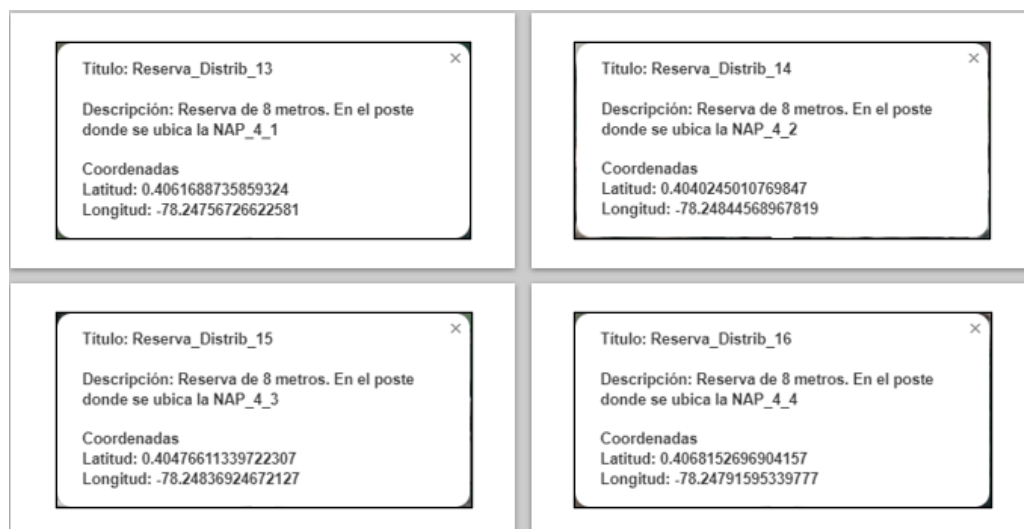


Fuente: (RedFTTH, 2023)

En la figura 102 se muestra los detalles de las reservas de la red de distribución 4.

Figura 102

Ubicación y descripción de las 4 reservas de la red de distribución 4.



Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

A continuación, en la tabla 30, se presenta una recopilación de la información pertinente a cada una de las dieciséis reservas de fibra óptica dejadas a lo largo de las 4 redes de distribución. Cada una de ellas tiene su identificador y una descripción que incluye la longitud de la reserva y su ubicación con respecto a las NAP de segundo orden.

Tabla 30

Resumen de la ubicación y descripción de las reservas de la red de distribución

Elemento	Identificador	Descripción
Reserva #1	Reserva_Distrib_1	Reserva de 10 metros En el poste donde se ubica la NAP_1_1
Reserva #2	Reserva_Distrib_2	Reserva de 10 metros En el poste donde se ubica la NAP_1_2
Reserva #3	Reserva_Distrib_3	Reserva de 10 metros En el poste donde se ubica la NAP_1_3
Reserva #4	Reserva_Distrib_4	Reserva de 10 metros En el poste donde se ubica la NAP_1_4
Reserva #5	Reserva_Distrib_5	Reserva de 20 metros En el poste donde se ubica la NAP_2_1
Reserva #6	Reserva_Distrib_6	Reserva de 20 metros En el poste donde se ubica la NAP_2_2
Reserva #7	Reserva_Distrib_7	Reserva de 20 metros En el poste donde se ubica la NAP_2_3
Reserva #8	Reserva_Distrib_8	Reserva de 20 metros En el poste donde se ubica la NAP_2_4

Reserva #9	Reserva_Distrib_9	Reserva de 15 metros En el poste donde se ubica la NAP_3_1
Reserva #10	Reserva_Distrib_10	Reserva de 15 metros En el poste donde se ubica la NAP_3_2
Reserva #11	Reserva_Distrib_11	Reserva de 15 metros En el poste donde se ubica la NAP_3_3
Reserva #12	Reserva_Distrib_12	Reserva de 15 metros En el poste donde se ubica la NAP_3_4
Reserva #13	Reserva_Distrib_13	Reserva de 8 metros En el poste donde se ubica la NAP_4_1
Reserva #14	Reserva_Distrib_14	Reserva de 8 metros En el poste donde se ubica la NAP_4_2
Reserva #15	Reserva_Distrib_15	Reserva de 8 metros En el poste donde se ubica la NAP_4_3
Reserva #16	Reserva_Distrib_16	Reserva de 8 metros En el poste donde se ubica la NAP_4_4

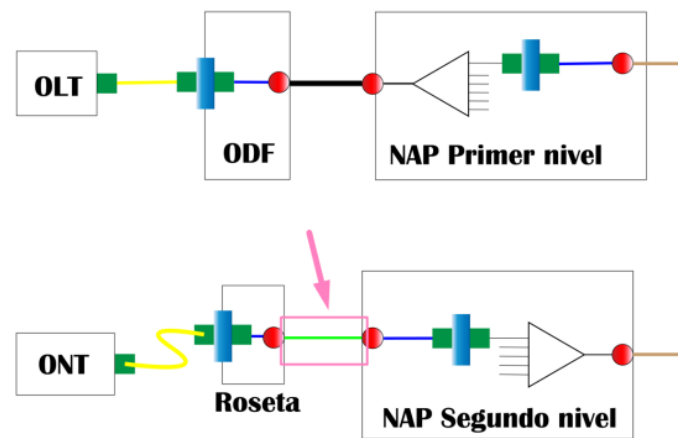
Fuente: Autoría Propia

4.3.5 Red de Dispersión

La red de dispersión es el último tramo de la red de acceso FTTH, que interconecta la red distribución con la red interna de cada cliente, es así como la red de dispersión parte desde las NAP de segundo nivel hasta la ONT que se encuentra dentro de las instalaciones del abonado, como se muestra en la figura 103.

Figura 103

Red de dispersión en la arquitectura FTTH



Fuente: (Carrera Díaz, 2022)

De forma similar a lo realizado con la red troncal y la red de distribución es necesario conocer la distancia total de fibra que se deberá adquirir para el despliegue de la red de dispersión. Para esto, es necesario primero considerar cual es la distancia máxima que se tendrá desde las NAP secundarias hasta las ONT. Dado que la colocación de las NAP de segundo nivel se hizo de forma estratégica, es de esperar que esta distancia en la mayoría de los casos no supere los 100 metros. Sin embargo, ya que la distribución de domicilios no es uniforme en toda la parroquia, la distancia máxima que se permitirá para la red XG-PON es de 400 metros.

Entonces, para calcular la distancia total con la ecuación [24], se tomará un valor promedio de 200 metros de fibra óptica de dispersión para los 256 abonados que se espera tener.

$$dDis = \#abonados * 200 m$$

$$dDis = 256 * 200 m$$

$$dDis = 51200 m = 51.2 km$$

Ecuación [24]

Igual que para los casos anteriores, es preferible adquirir una cantidad superior de cable de fibra, por cualquier percance que pueda ocurrir durante de la instalación o de forma posterior. Es así como se ha decidido adquirir 52 km de fibra óptica para la totalidad de la red de dispersión.

4.3.5 Diseño Final de la Red.

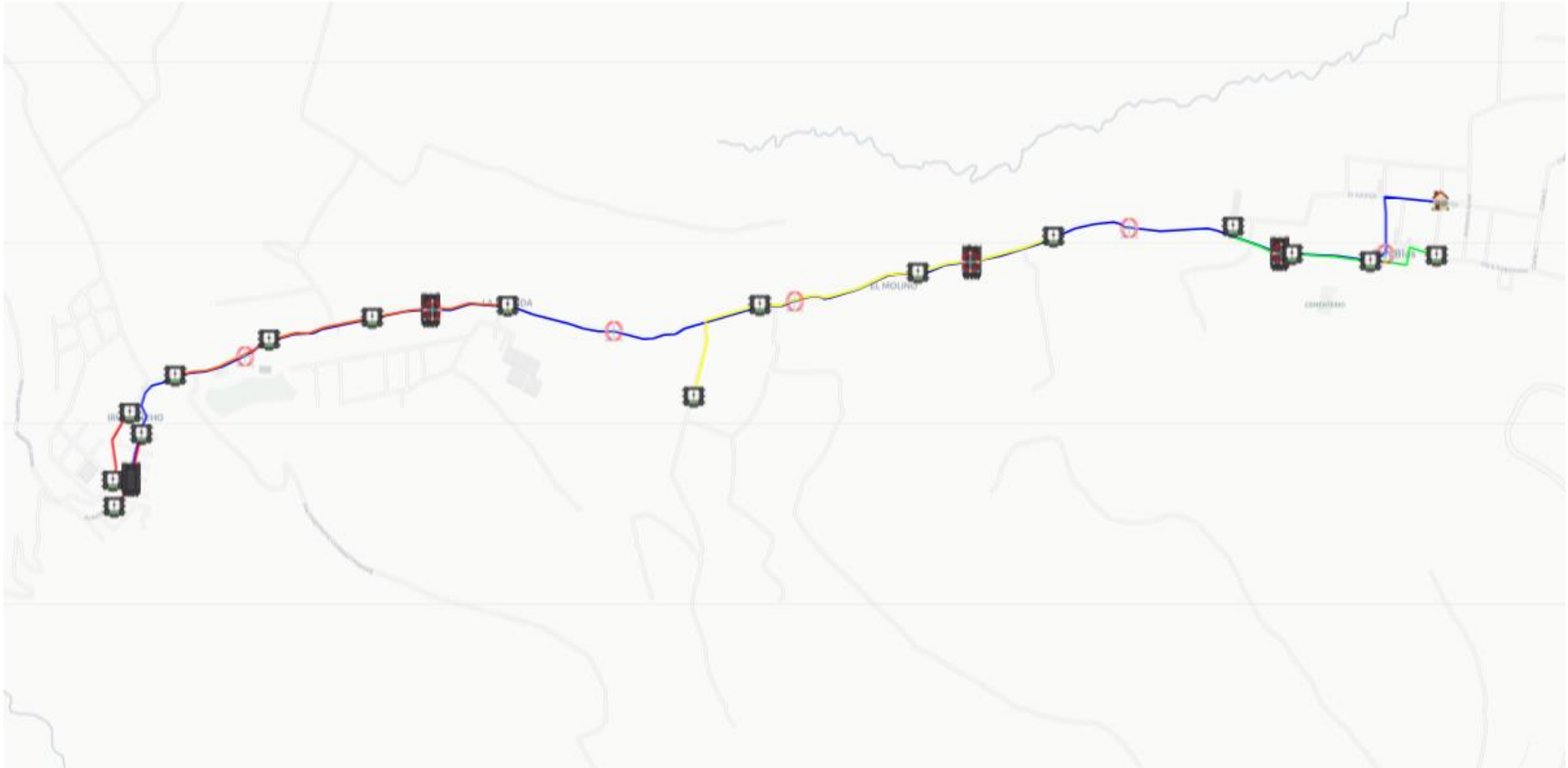
Una vez finalizado la ubicación, caracterización y descripción de cada uno de los elementos que conforman la red XG-PON, es momento de presentar el diseño completo. Para ello, el software de diseño RedFTTH cuenta con cuatro tipos de mapas geográficos distintos, que son: el mapa modo limpio (*Clean Mode*), el mapa de *Open Street*, el mapa base y el mapa satelital.

Para el caso específico de este trabajo se ha decidido mostrar el diseño acoplado al mapa modo limpio y al mapa satelital. El primer mapa se escogió debido a que solo tiene las calles y los lugares importantes, con lo cual se puede apreciar el diseño de mejor manera el diseño de la red XG-PON en San Blas, como se muestra en la figura 104.

Por otra parte, en la figura 105 se muestra el diseño de la red XG-PON sobre un mapa satelital, el cual permite observar los relieves, construcciones, terrenos, vías principales y secundarias de la parroquia de San Blas, que pueden tomarse como referencia. Sin embargo, la presencia de todos esos elementos puede llegar a reducir la visibilidad de la red XG-PON.

Figura 104

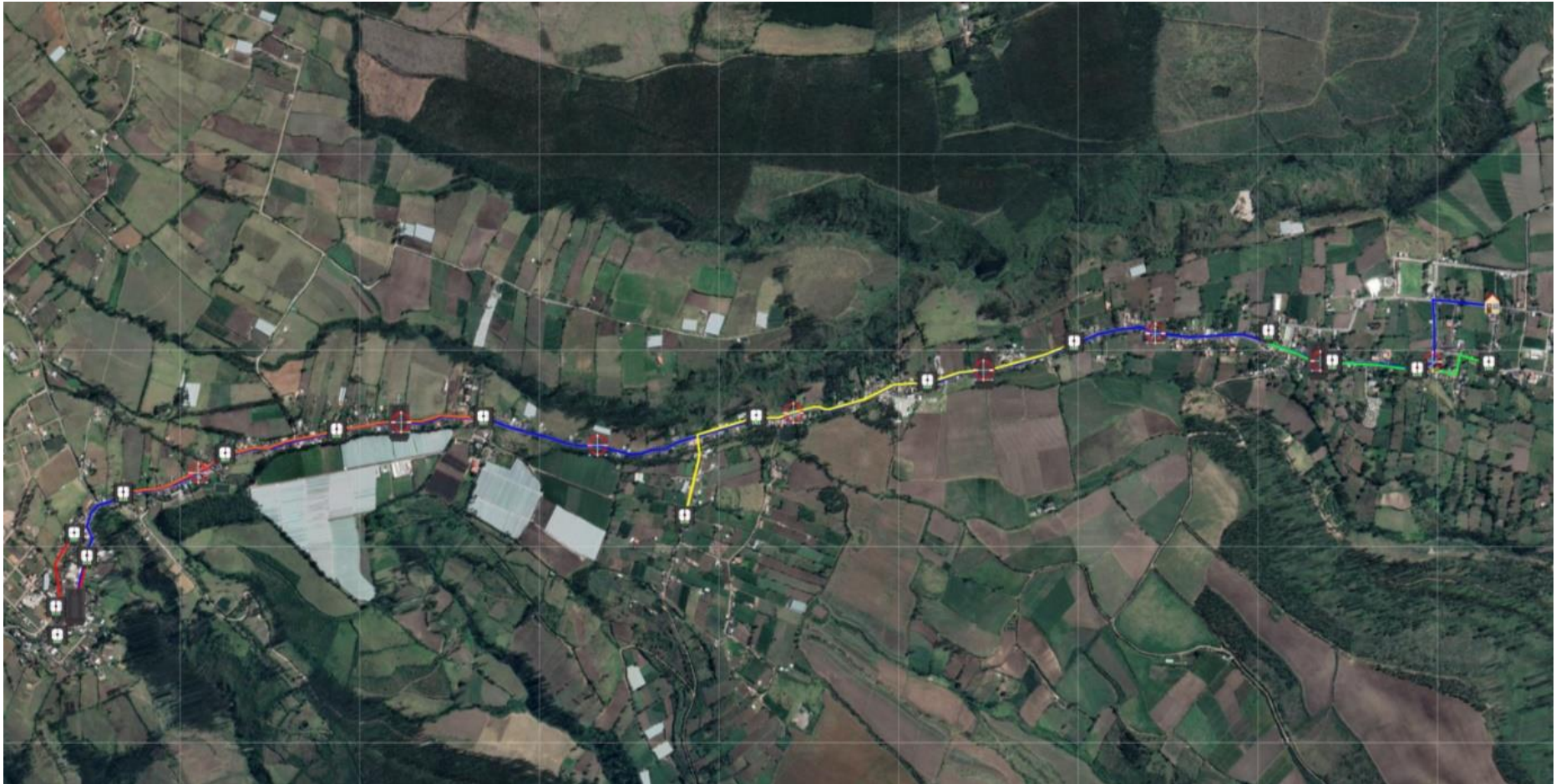
Diseño final de la red FTTH acoplado a un mapa modo limpio de San Blas



Fuente: (RedFTTH, 2023)

Figura 105

Diseño final de la red FTTH acoplado un mapa satelital de San Blas.



Fuente: (RedFTTH, 2023)

4.4. Presupuesto de Potencia y Presupuesto de Pérdidas Óptica

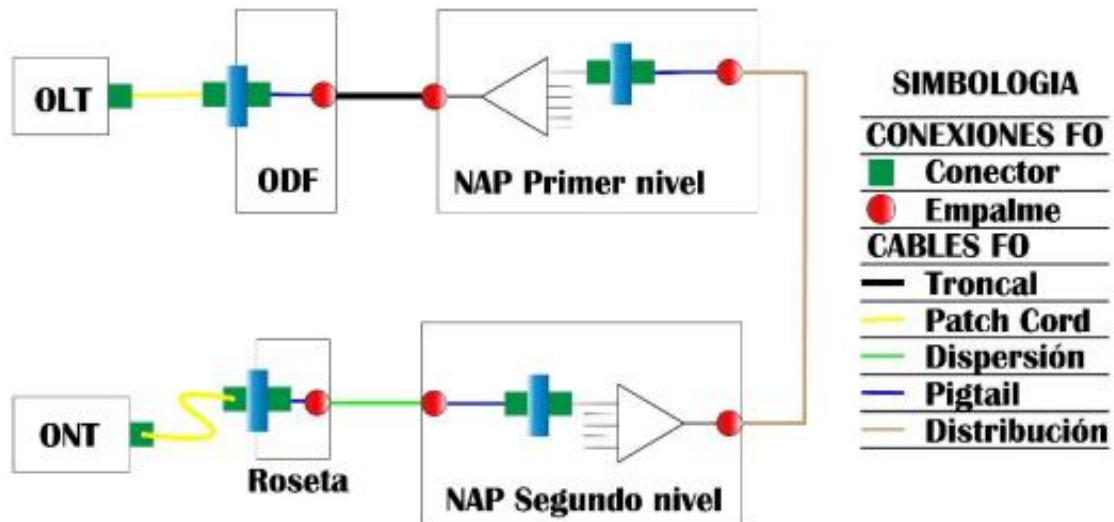
Una vez concluido con el diseño de toda la red XG-PON para la parroquia de San Blas, es momento de verificar el correcto funcionamiento de la red, para lo cual es preciso calcular el presupuesto de potencia y las pérdidas para los dos casos críticos de sistema. Pero primero, es necesario conocer definir los conceptos de presupuesto de potencia óptica y presupuesto de perdidas ópticas.

El presupuesto de potencia de un sistema de comunicación es la diferencia entre la potencia de salida del transmisor y los requisitos de potencia de entrada del receptor, ambos definidos como potencia acoplada a la fibra óptica de un tipo especificado por el enlace. Es por esto por lo que se puede definir un presupuesto mínimo y un máximo. El presupuesto mínimo determina valor mínimo de pérdida que debe tener la red para no sobrecargar el receptor, mientras que el presupuesto máximo es el valor máximo de pérdida para garantizar que el receptor tenga señal suficiente para funcionar correctamente (The Fiber Optic Association, 2016).

Por otra parte, el presupuesto de perdidas es la cantidad de pérdidas que debería tener un enlace de comunicación si se instala correctamente. Se calcula sumando las pérdidas medias estimadas de todos los componentes que conforman dicho enlace (The Fiber Optic Association, 2016). En el caso específico de una red PON, esos componentes generalmente son: divisores, conectores, empalmes, cable de fibra óptica, entre otros; como se muestra en la figura 106.

Figura 106

Diagrama de la arquitectura red FTTH



Fuente: (Carrera Díaz, 2022)

4.4.1. Parámetros de transmisión de OLT y ONT

Para poder calcular el presupuesto de potencia de la red XG-PON es necesario conocer primero los parámetros de transmisión de los dos elementos activos de la red, como lo es la OLT y las ONT. La Recomendación UIT-T G.987.2 (2016) en su sección 9.2 habla sobre los requisitos de la capa dependiente del medio físico para XG-PON y especifica las potencia mínima y máxima de emisión y recepción de la OLT y la ONT.

En la tabla 31 se muestra un resumen de los parámetros de interfaz óptica de 9.95328 Gbps en sentido descendente, donde la OLT actúa como el transmisor y la ONT es el receptor.

Tabla 31*Parámetros de interfaces ópticos en sentido descendente*

Clases		N1	N2	E1	E2		
Subclases		N2a	N2b	E2a	E2b		
Transmisor	Potencia	2 dBm	4 dBm	10.5	6 dBm	8 dBm	14.5
	Mínima			dBm			dBm
OLT	Potencia	6 dBm	8 dBm	12.5	10	12	16.5
	Máxima			dBm	dBm	dBm	dBm
Receptor	Sensibilidad	-28	-28 dBm	-21.5	-28	-28	-21.5
	Mínima	dBm		dBm	dBm	dBm	dBm
ONT	Sobrecarga	-8 dBm	-8 dBm	-3.5	-8 dBm	-8 dBm	-3.5 dBm
	Mínima			dBm			

Fuente: (ITU-T Rec. G.987.2 , 2016)

Por otra parte, en la tabla 32 se muestra los valores de potencia de transmisión máxima y mínima de la ONT, así como el valor de sensibilidad mínima y la potencia de sobrecarga para la OLT.

Tabla 32*Parámetros de interfaces ópticos en sentido ascendente*

Clases		N1	N2	E1	E2
Transmisor	Potencia Mínima	2 dBm	2 dBm	2 dBm	2 dBm
ONT	Potencia Máxima	7 dBm	7 dBm	7 dBm	7 dBm
Receptor OLT	Sensibilidad	-27.5	-29.5	-31.5	-33.5
	Mínima	dBm	dBm	dBm	dBm
	Sobrecarga Mínima	-7 dBm	-9 dBm	-11 dBm	-13 dBm

Fuente: (ITU-T Rec. G.987.2 , 2016)

Para la estimación del presupuesto de enlace de la red XG-PON de San Blas se tomarán en cuenta los valores del enlace descendente, específicamente los de la clase N1 ya que esta corresponde a la tecnología XG-PON1 en la cual trabajan los equipos seleccionados para la red.

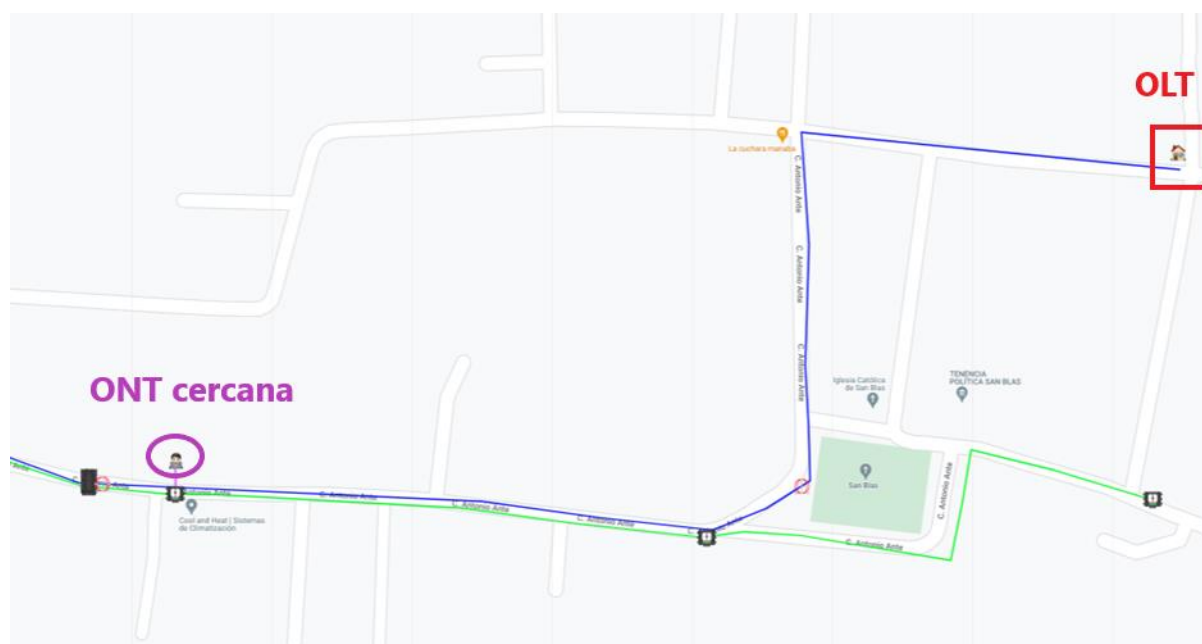
4.4.2. Cálculo del Presupuesto de Potencia y Perdidas para Caso más Cercano

Para el cliente que posee pérdidas mínimas dentro de la red, es decir, tiene un recorrido más corto, se debe considerar el escenario en el que la potencia de transmisión es máxima. Esto debe ser así con el objetivo de verificar que la potencia de la señal óptica que llega al receptor de este abonado se encuentra por debajo de la potencia que podría saturar o incluso estropear al detector óptico de la ONT.

El posible cliente más cercano con respecto a la OLT estará conectado a la NAP secundaria NAP_1_3 y su ubicación se puede apreciar en la figura 107.

Figura 107

Ubicación de la ONT más cerca.



Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

4.4.2.1. Presupuesto de Potencia Mínimo. Como se mencionó anteriormente para estimar el presupuesto de potencia para este caso se usará la potencia de transmisión máxima (P_{TX-MAX}) de la OLT que es de 6 dBm y el valor de la potencia de sobrecarga (S_{RX-MAX}) de la ONT que corresponde a -8 dBm. Mediante la ecuación [25] se calcula el presupuesto de potencia mínimo (PP_{MIN}) de la red XG-PON de San Blas.

$$PP_{MIN} = P_{TX-MAX} - S_{RX-MAX}$$

$$PP_{MIN} = 6 \text{ dBm} - (-8 \text{ dBm})$$

$$PP_{MIN} = 14 \text{ dB} \quad \text{Ecuación [25]}$$

4.4.2.2. Presupuesto de Atenuación. De acuerdo con el anexo 1 de la Recomendación UIT-T G.652 (2016), que tiene como título: Información sobre los atributos de los enlaces de cable de fibra utilizados para el diseño del sistema, la atenuación media o presupuesto de pérdidas (A) de un enlace se puede calcular con la ecuación [26]

$$A = \alpha \cdot L + \alpha_s \cdot x + \alpha_c \cdot y + \alpha_n \cdot z \quad \text{Ecuación [26]}$$

Donde:

- α = Coeficiente de atenuación de la fibra óptica
- L = Longitud de fibra óptica
- α_s = Pérdida media por empalme
- x = Número de empalmes
- α_c = Pérdida media por conector
- y = Número de conectores
- α_n = Pérdida media por divisor óptico
- z = Número de divisores

Cada sumando de la ecuación representa un tipo diferente de atenuación como son la Atenuación por Longitud de Fibra (A_L), la atenuación por empalmes (A_E), la atenuación por conectores (A_C) y la atenuación por divisores (A_D), dividiendo así el calculo en cuatro diferentes ecuaciones.

Para calcular la atenuación por logitud de fibra, primero se debe conocer la distancia total de fibra desde la OLT hasta el cliente. La distancia que separa la ubicación de la OLT y la ubicación de la NAP primaria NAP_1 es de 800 metros, pero tambien se debe contar las dos resevas de 30 metros que existen en este tramo. Por otra parte la distancia desde la NAP_1 hasta la NAP_1_3 es de apenas 50 metros a la que se le agrega una reserva de 10 metros. Finalmente desde la NAP secundaria hasta las instalaciones del cliente hay apenas 15 metros, sumando una distancia total de 965 metros.

Por otra parte, el valor del coeficiente de atenuación de la fibra troncal es de maximo 0.21 dB/Km, con todos estos datos y usando la ecuación [27] se puede calcular la atenuación de longitud de fibra.

$$A_L = \alpha \cdot L_{cliente\ cercano}$$

$$A_L = 0.21\ dB/km \cdot 0.965\ km$$

$$A_L = 0.386\ dB \qquad \qquad \qquad \mathbf{Ecuación [27]}$$

Para el cálculo de la atenuación total por empalmes o también llamadas fusiones, es necesario conocer que en la Recomendación UIT-T L.400/L.12 (2022) se explica que cada empalme de fibra óptica monomodo ya sea en exteriores o interiores, agrega pérdidas las cuales deben tener un valor máximo de 0.2 dB, siempre y cuando sean realizadas con la técnica y los equipos adecuados, como lo señala la tabla 33. Pero, dado que este es el caso de menor atenuación tomará el valor de 0.05 dB como el más adecuado para este análisis.

Tabla 33*Rangos de atenuación por empalme de fibra óptica*

Longitud de onda	Atenuación
	0.05 dB ideal
1260 nm – 1625 nm	≤ 0.1 dB media
	≤ 0.2 dB máxima

Fuente: (ITU-T Rec. L.400/L.12, 2022)

De acuerdo con la imagen 106, en la red XG-PON de San Blas son necesarios realizar 6 empalmes de fibra, basándose en este dato y la ecuación [28] se puede determinar el valor de la atenuación por empalmes.

$$A_E = \alpha_S \cdot x$$

$$A_E = 0.05 \text{ dB} \cdot 6$$

$$A_E = 0.3 \text{ dB} \quad \textbf{Ecuación [28]}$$

El siguiente tipo de atenuación que se debe calcular es aquella debió de a los conectores, teniendo en cuenta que para este proyecto se requieren 8 conectores para que la potencia óptica llegue desde la OLT hasta la ONT, como se muestra en la figura 106.

Por otra parte, la Recomendación UIT-T L.36 (2015), que describe las principales características de los conectores de fibra óptica en cuanto a tipos, campos de aplicación, configuraciones y aspectos técnicos, define cuatro grados de atenuación para los conectores, los cuales se pueden apreciar en la tabla 34. Para la red XG-PON de la parroquia de San Blas, se considerará que los 8 conectores son de grado C y cada uno tiene una atenuación mínima de 0.25 dB.

Tabla 34*Grados de atenuación de conectores de fibra óptica*

Grado de atenuación	Atenuación
Grado A	No definido aún
Grado B	≤ 0.12 dB media ≤ 0.25 dB máxima
Grado C	≤ 0.25 dB media ≤ 0.5 dB máxima
Grado D	≤ 0.5 dB media ≤ 1 dB máxima

Fuente: (ITU-T Rec. L.36, 2015)

Ya conociendo los valores de atenuación de conector y el número de conectores de fibra, es momento de calcular la atenuación total de estos, mediante la ecuación [29].

$$A_C = \alpha_C \cdot y$$

$$A_C = 0.25 \text{ dB} \cdot 8$$

$$A_C = 2 \text{ dB} \quad \textbf{Ecuación [29]}$$

El último tipo de atenuación para las redes ópticas pasivas es causada por los divisores ópticos. En el presente proyecto se tiene dos niveles de división óptica, el primero formado por divisores 1:4 y el segundo por divisores 1:16. De acuerdo con la recomendación UIT-T G.671 (2019) que trata sobre los aspectos relacionados con la transmisión de todos los tipos de componentes ópticos utilizados en redes de larga distancia y redes de acceso, establece los requisitos de pérdida de inserción de los divisores ópticos con una o dos entradas y hasta 64 salidas, como se muestra en la tabla 35.

Tabla 35*Pérdidas por inserción de los divisores ópticos*

Puertos de entrada	Puertos de salida	Pérdida por inserción mínima (dB)	Pérdida por inserción máxima (dB)
1	2	2.8	3.9
	4	5.4	7.4
	8	8.2	10.6
	16	10.8	14.1
	32	13.3	17.5
	64	16.1	20.9
2	2	2.6	4.2
	4	5.1	7.7
	8	7.6	11.2
	16	10.1	14.7
	32	12.7	18.2
	64	15.2	21.7

Fuente: (ITU-T Rec. G.671, 2019)

Entonces, para el presente proyecto, se va a asumir que el divisor óptico de 1:4 tiene una atenuación de 5.4 dB mientras que para el divisor 1:16 es 10.8 dB, con estos valores y la ecuación [30] se puede determinar el valor de atenuación por división óptica.

$$A_D = \alpha_{1:4} \cdot z_{1:4} + \alpha_{1:16} \cdot z_{1:16}$$

$$A_D = 5.4 \text{ dB} \cdot 1 + 10.8 \text{ dB} \cdot 1$$

$$A_D = 16.2 \text{ dB}$$

Ecuación [30]

De esta forma el valor total del presupuesto de pérdida se puede obtener mediante la ecuación [31] que suma las atenuaciones anteriores. Dicho valor debe ser mayor que el presupuesto mínimo de potencia, para garantizar que la potencia que llega al cliente más cercano no sobrecargue a la ONT.

$$A = A_L + A_E + A_C + A_D \geq 14 \text{ dB}$$

$$A = 0.386 \text{ dB} + 0.3 \text{ dB} + 2 \text{ dB} + 16.2 \text{ dB} \geq 14 \text{ dB}$$

$$A = 18.886 \text{ dB} \geq 14 \text{ dB} \quad \text{Ecuación [31]}$$

Dado que se cumple la premisa de que el presupuesto de pérdidas para el caso más cercano es mayor que el presupuesto mínimo de potencia se puede asumir que cualquier cliente de esta zona obtendrá un nivel de potencia dentro adecuado para el buen funcionamiento del servicio de internet.

4.4.3. Cálculo del Presupuesto de Potencia y Perdidas para Caso más Lejano

Por otra parte, para el caso del cliente más lejano de la red de XG-PON se debe considerar el peor escenario, es decir, cuando la potencia de transmisión de la OLT es la mínima. Esto se hace para verificar que la potencia óptica que llega a la ONT de ese usuario esté por arriba de la sensibilidad del receptor y, por tanto, los errores en la transmisión de información sean mínimos.

Para la red XG-PON de la parroquia de San Blas, el posible cliente más lejano se encontraría en la comuna de San Alfonso de Irguincho a una distancia aproximada de 6 km desde la ONT y se conectaría a la NAP de segundo nivel NAP_4_2, como se muestra en la figura 108.

Figura 108

Ubicación de la ONT más lejana.



Fuente: (RedFTTH, 2023). Modificado por el Autor.

4.4.3.1. Presupuesto de Potencia Máximo. Como se mencionó en la sección anterior para calcular el presupuesto de potencia para este caso se usará la potencia de transmisión mínima (P_{TX-MIN}) de la OLT que es de 2 dBm y el valor de la sensibilidad (S_{RX-MIN}) de la ONT que corresponde a -28 dBm. Mediante la ecuación [32] se calcula el presupuesto de potencia máximo (PP_{MAX}) de la red XG-PON de San Blas.

$$PP_{MAX} = P_{TX-MIN} - S_{RX-MIN}$$

$$PP_{MAX} = 2 \text{ dBm} - (-28 \text{ dBm})$$

$$PP_{MAX} = 30 \text{ dB} \quad \text{Ecuación [32]}$$

4.4.3.2. Presupuesto de Pérdidas. Para obtener el presupuesto de pérdidas del caso más lejano, se seguirá la misma metodología que se usó en el caso más cercano, es decir, se dividirá el cálculo en los cuatro tipos de atenuación: atenuación por longitud de fibra, atenuación por empalmes, atenuación por conectores y atenuación por los divisores ópticos.

Entonces, para conocer la atenuación por la fibra óptica se debe conocer la longitud total de todas las secciones de la red XG-PON, desde la OLT hasta las instalaciones del cliente. El primer tramo corresponde a la red troncal, la cual tiene una distancia total de 5703 metros incluido las 9 reservas de fibra, desde la OLT hasta la NAP_4. Por otra parte, desde la cuarta NAP primaria hasta la NAP_4_2 existe una distancia de fibra de 122 metros y desde esta NAP secundaria hasta las instalaciones del posible cliente hay una distancia de 375 metros. Es así como la distancia total de fibra óptica es de 6200 metros o, lo que es lo mismo, 6.2 km.

Con este valor y asumiendo un coeficiente de atenuación de la fibra de 0.4 dB, de acuerdo con lo mencionado en la tabla 12, se puede obtener la atenuación por longitud de fibra con la ecuación [33].

$$A_L = \alpha \cdot L_{cliente\ lejano}$$

$$A_L = 0.4\ dB/km \cdot 6.2\ km$$

$$A_L = 2.48\ dB \qquad \textbf{Ecuación [33]}$$

Para el cálculo de la atenuación por empalmes (A_E) del caso más lejano, mediante la ecuación [34], se conoce que la red XG-PON cuenta contiene 6 empalmes de la fibra y se tomará el valor máximo de la tabla 33, que es de 0.2 dB por empalme.

$$A_E = \alpha_S \cdot x$$

$$A_E = 0.2\ dB \cdot 6$$

$$A_E = 1.2\ dB \qquad \textbf{Ecuación [34]}$$

Siguiendo con el cálculo del presupuesto de pérdidas, es momento de conocer la pérdida total causada por los conectores de la red, los cuales son 8 como se menciona en la

sección 4.4.2.2. Para la atenuación para cada conector se considerará el valor máximo de la categoría C que equivale a 0.5 dB. En la ecuación [35] se muestra el cálculo de la atenuación por conectores.

$$A_C = \alpha_c \cdot y$$

$$A_C = 0.5 \text{ dB} \cdot 8$$

$$A_C = 4 \text{ dB} \quad \text{Ecuación [35]}$$

Por último, para la atenuación por divisores ópticos se debe recordar que en la red XG-PON de San Blas hay dos niveles de división, el primero con una relación de división de 1:4 y el segundo con una relación de 1:16. De acuerdo con la tabla 35, la atenuación máxima para el divisor 1:4 es de 7.4 dB, mientras que para el divisor 1:16 es de 13.1 dB. Estos son los valores que se usarán en la ecuación [36] para calcular el valor de este tipo de atenuación.

$$A_D = \alpha_{1:4} \cdot z_{1:4} + \alpha_{1:16} \cdot z_{1:16}$$

$$A_D = 7.4 \text{ dB} \cdot 1 + 13.1 \text{ dB} \cdot 1$$

$$A_D = 21.5 \text{ dB} \quad \text{Ecuación [36]}$$

Ya conociendo todos los tipos de atenuación de la red para el caso del cliente más lejano, se procede a calcular el valor de la atenuación total o presupuesto de pérdidas, mediante la ecuación [37], el cual debería ser menor que el presupuesto máximo de potencia calculado previamente. En caso de que esto se cumpla, se puede asumir que al cliente más lejano le llegará la suficiente potencia óptica para que el servicio funcione de manera adecuada.

$$A = A_L + A_E + A_C + A_D \leq 30 \text{ dB}$$

$$A = 2.48 \text{ dB} + 1.2 \text{ dB} + 4 \text{ dB} + 21.5 \text{ dB} \leq 30 \text{ dB}$$

$$A = 29.18 \text{ dB} \leq 30 \text{ dB}$$

Ecuación [37]

Ya que el presupuesto de pérdidas para el caso más lejano es inferior al presupuesto de potencia máximo de la red, se puede concluir que cualquier posible cliente dentro de la zona delimitada de este proyecto tendrá una potencia óptica adecuada para el correcto funcionamiento de los equipos y, por tanto, una buena calidad de servicio de internet.

5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS FINANCIERO

En este capítulo se presenta un análisis financiero del proyecto, para lo cual se hace una estimación de los ingresos y los egresos asociados a la red XG-PON de San Blas.

Partiendo de estos datos se calculan los indicadores financieros VAN y PRI para determinar la factibilidad del proyecto para la empresa Profyber.

5.1. Estimación de Egresos

Los egresos asociados al proyecto son toda cantidad de dinero que salen y se hace con el fin de cumplir un pago o para realizar una inversión. Para este proyecto se ha dividido el egreso total en cinco tipos de egreso para facilitar su cálculo, los cuales se detallan a continuación.

5.1.1. Egresos de equipos activos

El primer egreso que se debe tomar en cuenta es el costo de los equipos activos seleccionados para la red de San Blas, es decir, la OLT con su respectiva tarjeta óptica y las ONT. En la tabla 36 se detallan los costos individuales y totales de estos elementos.

Tabla 36

Egresos por equipos activos

Equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
OLT	Huawei	Smart MA5800-X2	1	\$1990.00	\$1990.00
Tarjeta Óptica	Huawei	Huawei H901XGHD	1	\$960.00	\$960.00
ONU	Huawei	EchoLife HN8546Q	256	\$37.50	\$9600.00
TOTAL					\$12550.00

Fuente: Autoría Propia

5.1.2. Egresos de equipos pasivos

El siguiente tipo de egreso que se debe calcular, es el egreso debido a la adquisición de todos los equipos y materiales pasivos que componen la red XG-PON de San Blas, como,

por ejemplo, los diferentes tipos de cable de fibra óptica, las NAP, los divisores ópticos, rosetas, entre otros. En la tabla 37 se muestra a detalle de cada uno de estos elementos con su precio unitario y total.

Tabla 37*Egresos por equipos y materiales pasivos*

Elemento	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio final
Cable red troncal	Bobina de cable ADSS 6 hilos de 4km	2	\$1710.00	\$3420.00
Cable red de distribución	Cable MINI ADSS 6 hilos de 4 km	2	\$1590.00	\$3180.00
Cable red de dispersión	Bobina Cable DROP 2 Hilos (G.657 A2) de 2Km	26	\$160.00	\$4160.00
ODF	ODF 6/12P SC/APC, incluye pigtail y adaptadores	1	\$42.50	\$42.50
NAP de primer nivel	NAP IP68 APC 1X8, incluye splitter 1:4	4	\$46.95	\$187.80
NAP de segundo nivel	NAP IP65 APC 1x16, incluye splitter 1:16	16	\$34.25	\$548.00
Roseta	Roseta 1H, incluye 1 Pigtail SC/APC	256	\$2.95	\$755.20
Tubillos de fusión	Paquete Tubillos para fusión 100 unidades	7	\$5.95	\$41.65
Patchcord	Patchcord SC/UPC-SC/APC 2 m	256	\$2.20	\$563.20
Cintas aceradas $\frac{3}{4}$	Rollo de cinta $\frac{3}{4}$ de 30 m	8	\$28.00	\$224.00
Hebillas $\frac{3}{4}$	Paquete de Hebillas $\frac{3}{4}$ de 100 unidades	6	\$24.55	\$147.30
			TOTAL	\$13269.65

Fuente: Autoría Propia

Una vez calculados estos rubros, se puede conocer el egreso por inversión, que equivale a la suma de los valores de egreso total por equipos activos y el egreso total por equipos y materiales pasivo, alcanzando un monto total de \$25819.65 para la red XG-PON de la parroquia de San Blas.

5.1.3. Egresos de personal operativo

Por otra parte, para calcular el egreso asociado al personal operativo, es necesario considerar que actualmente la empresa Profyber cuenta con dos técnicos que ganan un salario de \$450 y se encargarían de desplegar la red XG-PON en San Blas, instalar los equipos terminales para el cliente y resolver los inconvenientes que podrían darse en cualquier tramo de la red. Basados en estos datos, en la tabla 38 se muestra el costo anual del pago de los salarios de estos empleados.

Tabla 38

Egreso anual del personal operativo

Trabajador	Costo mensual	Costo Anual
Técnico 1	\$450.00	\$5400.00
Técnico 2	\$450.00	\$5400.00
	Total	\$10800.00

Fuente: Autoría Propia

5.1.4. Egresos de movilización

En cuanto a la movilización, la empresa Profyber estima un gasto semanal de \$40, de esta forma, en la tabla 39 se detalla el costo mensual y anual estimado para este rubro.

Tabla 39

Egreso anual de movilización

Motivo	Costos	Costo mensual	Costo Anual
Movilización	\$40.00	\$160.00	\$1920.00

Fuente: Autoría Propia

5.1.5. Egresos de mantenimiento

De acuerdo con la CNT (2012) en su normativa de diseño y construcción de redes de telecomunicaciones con fibra óptica, los egresos del mantenimiento y operación de una red de fibra óptica se pueden estimar como el 5% del monto total de la inversión, que para el presente proyecto alcanza los \$25819.65. Entonces, el egreso total por mantenimiento alcanzaría los \$1291.00, el cual se debe dividir para un periodo de tiempo específico, en este caso 5 años, como se muestra en la tabla 40.

Tabla 40

Egreso anual de mantenimiento

Motivo	Costo anual	Periodo	Total
Mantenimiento	\$258.20	5 años	\$1291.00

Fuente: Autoría Propia

5.2. Estimación de Ingresos

Por otra parte, los ingresos representan cualquier suma de dinero que pase a formar parte de la economía de la empresa, para el presente proyecto existen dos fuentes principales de ingresos. El primer ingreso corresponde a los pagos que se espera recibir por la prestación del servicio de internet, mientras que el otro ingreso proviene del costo de instalación de la red de dispersión hasta el domicilio del cliente para que pueda acceder al servicio de internet.

5.2.1. Ingresos por prestación de servicios

Para la estimación de los ingresos mensuales y anuales primero se debe considerar que de acuerdo con los resultados de la encuesta la gran mayoría de personas que ya cuentan con internet en la parroquia de San Blas tienen problemas con el mismo. Por lo cual se espera una gran acogida del proyecto, pudiendo esperar que en los primeros años haya un gran aumento de los clientes. Por otra parte, con respecto al costo del servicio de internet, se tomará como referencia el valor del plan de internet medio que corresponde al plan navega de

100 Mbps y que tiene un costo mensual de \$25. Con estos datos se ha hecho una proyección de los ingresos esperados en los primeros 5 años del proyecto, que se muestra en la tabla 41.

Tabla 41

Ingresos por prestación del servicio

Periodo	Clientes nuevos	Clientes totales	Precio de plan	Ingreso mensual	Ingreso anual	Ingreso anual acumulado
1er año	30	30		\$750.00	\$9000.00	\$9000.00
2do año	35	65		\$1625.00	\$19500.00	\$28500.00
3ero año	20	85	\$25.00	\$2125.00	\$25500.00	\$54000.00
4to año	10	95		\$2375.00	\$28500.00	\$82500.00
5to año	10	105		\$2625.00	\$31500.00	\$114000.00
Total, después de 5 años						\$114000.00

Fuente: Autoría Propia

5.2.2. Ingresos por instalación

Actualmente la empresa tiene un costo por instalación del servicio que alcanza los \$60, monto con el cual se estima cubrir el costo de la ONT, la roseta y el cable de dispersión que se usa. En la tabla 42 se muestra una estimación anual de este ingreso a lo largo de los próximos 5 años.

Tabla 42

Ingresos por instalación del servicio

Periodo	Clientes Nuevos	Precio de instalación	Ingreso anual
1er año	30		\$1800.00
2do año	35		\$2100.00
3ero año	20	\$60.00	\$1200.00
4to año	10		\$600.00
5to año	10		\$600.00
Total, después de 5 años			\$6300.00

Fuente: Autoría Propia

5.3. Flujo de Caja

Una vez calculado los egresos e ingresos estimados para la red XG-PON de la parroquia San Blas, se procede a calcular el flujo de caja del proyecto para los próximos 5 años. Para facilitar el cálculo de este, primero se determina el egreso total anual sumando los diferentes tipos de egresos antes calculados, como se presenta en la tabla 43.

Tabla 43

Egresos totales anuales

Periodo	Egreso de Inversión	Egreso de Personal	Egreso de Movilización	Egreso de Mantenimiento	Egreso Total
0	\$25,819.65	\$10,800.00	\$1,920.00	\$0.00	\$38,539.65
1	0	\$10,800.00	\$1,920.00	\$258.20	\$12,978.20
2	0	\$10,800.00	\$1,920.00	\$258.20	\$12,978.20
3	0	\$10,800.00	\$1,920.00	\$258.20	\$12,978.20
4	0	\$10,800.00	\$1,920.00	\$258.20	\$12,978.20
5	0	\$10,800.00	\$1,920.00	\$258.20	\$12,978.20

Fuente: Autoría Propia

De la misma forma en la tabla 44 se muestra la sumatoria de los ingresos anuales esperados para los 5 años próximos años.

Tabla 44

Ingresos totales anuales

Periodo	Ingreso de Servicio	Ingreso de Instalación	Ingreso Total
0	\$0.00	\$0.00	\$0.00
1	\$9,000.00	\$1,800.00	\$10,800.00
2	\$19,500.00	\$2,100.00	\$21,600.00
3	\$25,500.00	\$1,200.00	\$26,700.00
4	\$28,500.00	\$600.00	\$29,100.00
5	\$31,500.00	\$600.00	\$32,100.00

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 45, se puede visualizar el flujo de caja, que equivale a la resta de los ingresos con egresos, y también flujo de caja acumulado año a año.

Tabla 45

Flujo de caja total anual

Periodo	Egreso Total	Ingreso Total	Flujo de Caja	Flujo de Caja acumulado
0	\$38,539.65	\$0.00	-\$38,539.65	-\$38,539.65
1	\$12,978.20	\$10,800.00	-\$2,178.20	-\$40,717.85
2	\$12,978.20	\$21,600.00	\$8,621.80	-\$32,096.05
3	\$12,978.20	\$26,700.00	\$13,721.80	-\$18,374.25
4	\$12,978.20	\$29,100.00	\$16,121.80	-\$2,252.45
5	\$12,978.20	\$32,100.00	\$19,121.80	\$16,869.35

Fuente: Autoría Propia

5.4. Indicadores de Rentabilidad

Las ganancias obtenidas fruto de una inversión de un proyecto, mejor conocida como la rentabilidad, se puede cuantificar mediante una serie de indicadores la efectiva administración de gastos y costos (Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros, 2011). Existen una gran cantidad de estos indicadores, pero para el presente caso, se ha optado por el Valor Actual Neto (VAN por sus siglas) y el Periodo de Recuperación de la Inversión o PRI, ya que son de mucha ayuda al entendimiento del riesgo de oportunidades de inversión.

5.4.1. Valor Actual Neto

El valor actual neto, también conocido como NPV por sus siglas en inglés, es una herramienta matemática que permite estimar si una inversión será rentable o no según los flujos de caja de una cierta cantidad de periodos. Para ello, este indicador calcula el valor que tiene hoy el dinero que se va a recibir en los futuro periodos, por medio de una tasa de descuento (Arkangeles, 2021). Para el cálculo del VAN se puede usar la ecuación [38].

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{FNE}{(1+i)^t} \quad \text{Ecuación [38]}$$

Donde FNE es el Flujo Neto de Efectivo que equivale al flujo de caja, t representa el periodo de tiempo e i es la tasa de descuento que se le aplicará al proyecto.

El resultado del VAN se puede interpretar de tres formas, si el VAN es igual a cero la inversión no generará ni gastos ni beneficios, por lo que es necesario tomar alguna acción para que el proyecto genere algún valor. Por otra parte, si el cálculo del VAN es mayor que cero, significa que la inversión producirá beneficios, por lo que el proyecto, en principio, es rentable. Finalmente, en el caso de que el VAN se torne negativo el proyecto ocasionará pérdidas, por lo que no es conveniente llevarlo a cabo dicho proyecto (Pepe Promedio, 2022).

De acuerdo con el Banco Central del Ecuador (2023), la tasa referencial para enero del presente año es del 8.54%. Mientras que el periodo que se utilizara para el cálculo del VAN del presente proyecto es de 5 años, con estos datos, en la ecuación [39] se muestra el valor obtenido.

$$\begin{aligned}
 VAN &= \frac{-\$38539.65}{(1 + 8.54\%)^0} + \frac{-\$7250.18}{(1 + 8.54\%)^1} + \frac{\$1749.18}{(1 + 8.54\%)^2} + \frac{\$15249.82}{(1 + 8.54\%)^3} \\
 &\quad + \frac{\$33248.82}{(1 + 8.54\%)^4} + \frac{\$54999.82}{(1 + 8.54\%)^5} \\
 VAN &= \frac{-\$38539.65}{1} + \frac{-\$2178.20}{1.0854} + \frac{\$8621.80}{1.178} + \frac{\$13721.80}{1.279} + \frac{\$16121.80}{1.388} \\
 &\quad + \frac{\$19121.80}{1.506} \\
 VAN &= -\$38539.65 - \$2006.82 + \$71318.44 + \$10731.04 + \$11615.94 \\
 &\quad + \$12963.45 \\
 VAN &= \$1812.39 \quad \text{Ecuación [39]}
 \end{aligned}$$

Dado que el monto resultante del cálculo del VAN es superior a cero se puede concluir, de forma preliminar, que el proyecto sería viable y generará ganancias.

5.4.2. Periodo de Recuperación de la Inversión

El Periodo de Recuperación de Inversión (PRI) es un instrumento matemático que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos totales de caja de una inversión recuperen su costo o inversión inicial. Este indicador es imprescindible para estimar la viabilidad de un proyecto y de allí decidir si vale la pena llevarlo a cabo (PYMESfuturo, 2010).

Para su cálculo es necesario, primero determinar el flujo de caja acumulado en cada periodo, hasta encontrar el primer año en que el este valor sea positivo. Para este caso, de acuerdo con la tabla 45, el quinto año es el primer periodo que tiene un flujo de caja acumulada mayor a cero, alcanzando un valor de \$16,869.35. Conociendo este dato, el PRI determina haciendo uso de la ecuación [40], donde:

- a = Periodo del último flujo de caja acumulado negativo
- b = Valor del último flujo de caja acumulado negativo
- c = Valor del flujo de caja del siguiente periodo

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

$$PRI = 4 + \frac{|-\$2252.45|}{\$19121.18}$$

$$PRI = 4.12 \text{ años}$$

Ecuación [40]

Entonces, el tiempo necesario para recuperar la inversión de este proyecto es ligeramente superior a 4 años. Para obtener un valor más preciso se tomará la parte decimal del PRI para transformarla en meses con la ecuación [41].

$$meses = 0.12 \text{ años} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$meses = 1.44 \text{ meses} \quad \text{Ecuación [41]}$$

Finalmente, se procede a convertir el excedente de los meses en día con la ecuación [42], con el objetivo de tener una mejor apreciación del tiempo de recuperación.

$$días = 0.44 \text{ meses} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}}$$

$$días = 13.2 \approx 14 \text{ días} \quad \text{Ecuación [42]}$$

Entonces, se puede concluir que el tiempo de retorno de la inversión para este proyecto sería de 4 años, 1 mes y 14 días.

5.4.3. Análisis de VPN y PRI

Como se mencionó previamente cuando el VAN tiene un valor positivo para el periodo estimado se puede considerar que el proyecto es rentable, este el caso para el proyecto de la implementación de una red XG-PON en la parroquia de San Blas, con lo cual se podría esperar que, dentro de los 5 años, periodo que fue tomado como referencia, se empiece ya a tener ganancias.

Por otra parte, periodo de retorno de inversión calculado para este proyecto es de 4 años, 1 mes y 14 días, lo que significa que al cabo de este periodo de tiempo la totalidad la inversión inicial habrá sido recuperada y, por tanto, a partir de ese momento se generan

ganancias para la empresa. Dado que la mayoría de los equipos y materiales que se propone usar en la red XG-PON de San Blas, tienen una vida útil estimada superior a los 10 años, existe un periodo de más de 5 años en que el proyecto genere ganancias mientras los gastos se limitan únicamente a los egresos de operación y mantenimiento de la red.

De esta forma se demuestra que el proyecto de expansión del servicio por parte de la empresa Profyber S.C. en el sector de San Blas de Urcuquí es financieramente rentable a mediano y largo plazo, además de que representa un avance tecnológico considerable para la población del sector.

6. CONCLUSIONES

Basándose en la situación actual de la parroquia rural de San Blas y los objetivos de expansión de la empresa Profyber S.C., se ha diseñado una red de fibra óptica para la prestación del servicio de internet, mediante la tecnología XG-PON y con una arquitectura FTTH, que ofrece cobertura en las tres zonas pobladas más importantes de la parroquia que son la cabecera parroquial San Blas, la comuna de San Juan de Dios y la comuna de San Alfonso de Iruguincho.

Bajo las condiciones poblacionales investigadas se ha dimensionado la red XG-PON/FTTH de tal forma que se puede brindar el servicio de internet a un total de 256 posibles clientes, valor que ha sido estimado a partir de la proyección a 10 años de la demanda actual.

Los equipos principales que se han seleccionado para el diseño de la red cumplen con los requerimientos de la tecnología XG-PON, se adapta perfectamente a la arquitectura FTTH y están disponibles en el mercado ecuatoriano, haciéndoles la mejor opción tanto tecnológica como económicamente.

El diseño de la red y la selección de equipos y materiales que conforman la red están pensados para que se ajusten a las condiciones ambientales del sector, a la vida útil estimada, la cantidad de clientes soportados, su costo aproximado y principalmente su disponibilidad en el mercado nacional.

De acuerdo con el análisis financiero realizado en este trabajo, la construcción de la red XG-PON para la parroquia de San Blas es un proyecto rentable, ya que para una inversión inicial de \$38539.65, el valor actual neto de los siguientes 5 años corresponde a aproximadamente \$1812.39, el cual siendo un monto positivo demuestra que existe una

ganancia en este periodo. Por otra parte, el periodo de retorno de la inversión del proyecto es de 4 años, 1 mes y 14 días, lo cual ratifica la rentabilidad de este.

7. RECOMENDACIONES

Es recomendable tener una situación geográfica y poblacional del sector para saber como direccionar el diseño para para la infraestructura como para la distribución del servicio.

Se recomienda que al momento de diseñar la encuesta se incluya en esta solo preguntas que sean verdaderamente relevantes para el proyecto, para evitar que llegue a ser muy larga y tediosa.

Es importante conocer la disponibilidad de una adecuada infraestructura de postiería antes de delimitar la zona de cobertura que tendrá la red de fibra óptica diseñada.

Es indispensable elegir cuidadosamente la ubicación de los diferentes equipos activos y pasivos de la red, teniendo en cuenta factores como la geografía del lugar, la distribución de domicilios, la densidad de población y la fácil accesibilidad.

Antes de seleccionar los equipos y materiales que se propone usar en el proyecto, es necesario verificar su disponibilidad en el mercado ecuatoriano, para garantizar que el diseño sea realizable en un futuro cercano.

Cuando se realiza el cálculo de la cantidad de materias que se necesita para la implementación del proyecto, especialmente de la longitud de cable de fibra óptica, se debe adicionar una cantidad de reserva en caso de presentar algún inconveniente o novedad durante o después de la instalación de la red.

Para la estimación del presupuesto de potencia y el presupuesto de pérdidas de la red es preciso conocer a profundidad los parámetros establecidos en la normativa de la tecnología que se pretende usar y de esta forma garantizar tener una estimación realista de la potencia óptica que llegará a los usuarios de la red.

Es necesario comparar los costos de los equipos y materiales seleccionados para el proyecto en varias fuentes, con el objetivo de tener una estimación más realista del costo de inversión que representaría su adquisición.

Se recomienda seleccionar los indicadores financieros de rentabilidad que mejor se adapten a las necesidades individuales del proyecto.

8. REFERENCIAS

- Acosta O., M., Yacelga-Pinto, M., & Arévalo, G. V. (2018). Experimental evaluation of a NG-PON2 network. *2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ETCM.2018.8580339>
- Addanki, S., Amiri, I. S., & Yupapin, P. (2018). Review of optical fibers-introduction and applications in fiber lasers. *Results in Physics*, *10*, 743-750.
<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.07.028>
- Alkholidi, A. G., & Altowij, K. S. (2014). Free Space Optical Communications — Theory and Practices. *Contemporary Issues in Wireless Communications*, *5*, 159-212.
<https://doi.org/10.5772/58884>
- ARCOTEL. (2022). *Derechos y obligaciones de los abonados, clientes y usuarios*.
<https://www.arcotel.gob.ec/derechos-de-los-abonados-clientes-y-usuarios/>
- Arkangeles. (13 de Agosto de 2021). *ArValor Presente Neto: Qué es y cómo calcularlo*.
<https://www.arkangeles.com/blog/valor-presente-neto>
- Arumugam, M. (2001). Optical fiber communication — An overview. *Pramana - Journal of Physics*, *57*(5), 849–869. <https://doi.org/10.1007/s12043-001-0003-2>
- Banco Central de Ecuador. (2023). *Tasas de Interés Enero 2023*.
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/TasasVigentes012023.htm>
- Batagelj, B., Erzen, V., Tratnik, J., Naglic, L., Bagan, V., Ignatov, Y., & Antonenko, M. (2012). Optical Access Network Migration from GPON to XG-PON. *Proc. of The Third International Conference on Access Networks ACCESS*, 62-67.

- Cabezas, A. F., & Pinto García, R. A. (2014). *Sistemas de comunicaciones ópticas*.
Universidad Militar Nueva Granada.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11995/Com%20opticas%20V.2014-03-28%20PDF.pdf>
- Cadena Paredes, J. G., & Jiménez Jiménez, M. S. (2019). Análisis y Simulación del Fenómeno de Dispersión por Modo de Polarización (PMD) en Fibras Ópticas ITU-T G.655. *Revista Politécnica*, 43(2), 21-28.
- Carrera Díaz, M. N. (Noviembre de 2022). *Diseño de una red de fibra óptica basado en el estándar XGPON para la expansión de cobertura FTTH de la empresa SYSMARC.NET en la parroquia de Tumbabiro*. Universidad Técnica del Norte.
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13243>
- Cid, M. A. (11 de Mayo de 2011). *Física II*. Departamento de Física, Universidad del Bío-Bío. http://ciencias.ubiobio.cl/fisica/wiki/uploads/AntonellaCid/F2_14.pdf
- CNT. (2012). *Normas de diseño y construcción de redes de telecomunicaciones con fibra óptica*.
- Connection. (2021). *Cable ADSS 6-Fiber SM*.
<https://drive.google.com/file/d/18QVVK4m5Um-7RCvJIOjdUHGGQReVf0YX/view>
- Effenberger, F., Cleary, D., Haran, O., Kramer, G., Li, R. D., Oron, M., & Pfeiffer, T. (2007). An introduction to PON technologies [Topics in Optical Communications]. *IEEE Communications Magazine*, 45(3), S17-S25.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2007.344582>

Fiber Cabling Solution. (14 de Abril de 2016). *What Can Limit the Data Transmission*

Distance? <https://www.fiber-optic-cable-sale.com/what-can-limit-the-data-transmission-distance.html>

FiberHome. (2019). *Mini ADSS-6FO/12FO Span 80m (ASU) Specification G.652D.*

[https://ftp3.syscom.mx/usuarios/ftp/2019/09/13/0d72f/Mini%20ADSS%20span%2080m%20\(ASU\)%20specification.pdf](https://ftp3.syscom.mx/usuarios/ftp/2019/09/13/0d72f/Mini%20ADSS%20span%2080m%20(ASU)%20specification.pdf)

FS Community. (9 de Julio de 2019). *El ancho de banda y las ventanas del cable de fibra*

óptica. <https://community.fs.com/es/blog/the-bandwidth-and-window-of-fiber-optic-cable.html>

FS Community. (27 de Julio de 2020). *Comprehensive Understanding of FTTx Network.*

<https://community.fs.com/blog/a-comprehensive-understanding-of-fttx-network.html>

Furukawa Electric. (2021). *Divisor Óptico 1xN Desequilibrado.*

<https://www.furukawalatam.com/es/versao-et-pdf/divisor-optico-1xn-desequilibrado>

GAD Cantonal de San Miguel de Urcuquí. (2014). *Actualización del Plan de Desarrollo y*

Ordenamiento Territorial del cantón San Miguel de Urcuquí 2014-2015.

GAD Cantonal de San Miguel de Urcuquí. (2020). *Actualización del Plan de Desarrollo y*

Ordenamiento Territorial del cantón San Miguel de Urcuquí.

GAD Parroquial de San Blas. (2016). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial San*

Blas 2015-2019.

GAD Parroquial de San Blas. (2019). *Datos Geográficos de la Parroquia.*

<http://www.sanblas.gob.ec/index.php/ct-menu-item-11/ct-menu-item-27>

GAD Parroquial de San Blas. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la*

Parroquia Rural San Blas 2019-2023.

García, R., García, V., Pañeda, X. G., Melendi, D., & Neira, A. (2004). Aggregated traffic generation in FTTX networks. *Proceedings of the International Conference on Applied Computing*.

https://www.academia.edu/download/45226539/Aggregated_traffic_generation_in_fttx_ne20160430-31030-19krge.pdf

Geoportal Emelnorte. (2023). Geoportal Emelnorte:

<https://gis.emelnorte.com/GEOPORTAL/>

Google Earth. (2023). *Google Earth*.

<https://earth.google.com/web/search/San+Blas,+Imbabura,+Ecuador/@0.43026485,-78.26425668,1204.68969193a,18608.73610803d,35y,0h,0t,0r/>

Grazzini, H. O. (2020). *Fibras ópticas: conceptos teóricos y aplicaciones prácticas*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas.

IICA. (2020). *Conectividad rural en América Latina y El Caribe - Un puente al desarrollo sostenible en tiempos de pandemia*.

<https://www.iica.int/es/prensa/eventos/conectividad-rural-en-america-latina-y-el-caribe-un-puente-al-desarrollo-sostenible>

ImportFiber. (2021). *Caja Nap IP65 APC 1X8 / 1X16*.

<https://importfiber.com/producto/modelo-ip65-apc-upc/>

INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*.

INEC. (2021). *Tecnologías de la Información y Comunicación 2020*.

https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/2020/202012_Principales_resultados_Multiproposito_TIC.pdf

Instaladores de Telecom. (2013). *Procedimiento de pruebas de redes FTTH*.

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjzrazWi5n9AhXTVTABHfgUBR8QFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.instaladoresdetelecomhoy.com%2Fprocedimientos-de-pruebas-en-redes-ftth-fase-de-mantenimiento-i%2F&usg=AOvVa>

ITU-T Rec. G.652. (2016). *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*.

ITU-T Rec. G.657. (2016). *Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable*.

ITU-T Rec. G.671. (2019). *Transmission characteristics of optical components and subsystems*.

ITU-T Rec. G.987.1. (2016). *10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.1-201603-I/en>

ITU-T Rec. G.987.2. (2016). *10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification*.

ITU-T Rec. L.36. (2015). *Single-mode fibre optic connectors*.

ITU-T Rec. L.400/L.12. (2022). *Optical fibre splices*.

Kaur, N., & Parmar, H. S. (2016). Non-linear scattering effects in fiber optic cables: a comprehensive review. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(11), 217-226.

Keiser, G. (2006). *FTTX concepts and applications*. John Wiley & Sons.

Kim, K. S. (2003). On the evolution of PON-based FTTH solutions. *Information Sciences*, 149(3), 21-30. [https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(02\)00241-4](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(02)00241-4)

- Landa Llerena, J. D. (2022). *Análisis y evaluación de NG-PON2 utilizando técnica de multiplexación OTDM*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/19134>
- Latic. (2022). *12 Hilos span 100 (G652D) ADSS*. <https://latic.lat/producto/12-hilos-span-100-g652d-adss/>
- Latic. (2022). *6 hilos span 80 (ASU-G652D) Mini ADSS*. <https://latic.lat/producto/6hilos-g652d-80m-span-hdpe-con-cordon-de-rasgado/>
- López Catalá, M. O., & Zuaznabar Mazorra, V. (2009). *Evolución de la Fibra Óptica en el Futuro*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría.
- Lubeck. (2022). *GJYXCH-2FO-3M F.O. Drop 2H*. <https://www.sincables.com.ec/wp-content/uploads/2022/12/GJYXCH-2FO-3M.pdf>
- Martínez, T. (1 de Enero de 2013). *Radioenlace vs Fibra óptica (I)*. Telequismo:
https://www.telequismo.com/2013/01/radioenlace_fibraoptica.html/
- Massa, N. (2000). Fiber optic telecommunication. En *Fundamental of Photonic* (págs. 293-437). University of Connecticut.
- Nesset, D. (2017). PON Roadmap [Invited]. *Journal of Optical Communications and Networking*, 9(1), A71-A76. <https://doi.org/10.1364/JOCN.9.000A71>
- OptyTECH. (2022). *Distribuidor de fibra óptica DFOP1*.
<https://www.optytech.com.ec/materiales-de-fibra-optica/distribuidor-de-fibra-optica-modelo-dfop-1-homolgado-cnt.html>
- Panchi Herrera, M. F. (2016). *Diseño de una red GPON para la empresa Cine Cable TV*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13176>

- Pepe Promedio. (27 de Mayo de 2022). *¿Qué es el VAN y el TIR? Diferencias y usos de estos indicadores financieros*. <https://www.barymont.com/pepepromedio/blog/que-es-el-van-y-el-tir-diferencias-y-usos/>
- Pereda , J. M. (2004). *Sistemas y Redes Ópticas de Comunicaciones*. Madrid Prentice Hall.
- Personick, S. (1983). Review of Fundamentals of Optical Fiber Systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1 (3), 373-380.
<https://doi.org/10.1109/JSAC.1983.1145958>
- PYMESfuturo. (2010). *Periodo de recuperación de la inversión - PRI*.
<https://www.pymesfuturo.com/pri.htm>
- Ramaswami, R., Sivarajan, K. N., & Sasaki, G. H. (2009). *Optical Networks: A Practical Perspective* . Morgan Kaufmann.
- Red FTTH. (2022). *Inteligente Software Para Diseño de Red FTTH*. <https://redftth.com>
- RedFTTH. (2023). Lista de Fichas.: <https://app.redftth.com/fichas>
- Senior, J. M., & Jamro, M. Y. (2009). *Optical fiber communications: principles and practice*. Pearson Education.
- Senko. (2020). *Advanced Components*. <https://www.senko.com/es/producto/sc-premium-1-2-connector/>
- Silex Fiber. (2014). *Conector fibra optica ST*. <https://silexfiber.com/producto/conector-fibra-optica-st/>
- Sincables. (2021). *CFO-4716 Connection caja NAP 16 Hilos Vacía IP65 FTTH GPON*.
<https://www.sincables.com.ec/product/connection-cfo-4716-caja-nap-16hilos-vacia/>

Sincables. (2022). *CFO-5602 Connection Roseta 1H y 1 Pigtail SC/APC FTTH GPON*.

<https://www.sincables.com.ec/product/cfo-5602-connection-roseta-1h-con-1-adaptador-sc-ftth-gpon/>

Singal, T. L. (2017). *Optical Fiber Communications Principles and Applications*. Cambridge University Press.

Solis, O. (2009). *Educaplay*. Fibra Óptica: https://es.educaplay.com/recursos-educativos/3424564-fibra_optica.html

Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros. (2011). *Indicadores Financieros*. https://www.supercias.gob.ec/bd_supercias/descargas/ss/20111028102451.pdf

SurveyMonkey. (2022). *Calculadora del tamaño de muestra*.

<https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>

Tanaka, K., Agata, A., & Horiuchi, Y. (2010). IEEE 802.3av 10G-EPON Standardization and Its Research and Development Status. *Journal of Lightwave Technology*, 28(4), 651-661. <https://doi.org/10.1109/JLT.2009.2038722>

Telalca Store. (2021). *Splitter 1 a 16 – OPF SC/APC – 900UM – 1.5 Metros*.

<https://store.telalca.com/producto/splitter-1-a-16-opf-sc-apc-900um-1-5-metros/>

Telalca Store. (2022). *Splitter 1 a 4 – OPF SC/APC – 900UM – 1.5 Metros*.

<https://store.telalca.com/producto/splitter-1-a-4-opf-sc-apc-900um-1-5-metros/>

Telcomate. (2021). *H901XGHD*. <https://www.telecomate.com/h901xghd.html>

Telcomate. (2021). *Huawei MA5800-X2 DC*. <https://www.telecomate.com/huawei-ma5800-x2-dc.html>

The Fiber Optic Association. (2016). *Power Budgets And Loss Budgets*.

<https://www.thefoa.org/tech/lossbudg.htm>

Torres Aranda, A. M., & Gascón López, J. (2014). *Manual de teoría y prácticas de óptica geométrica*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Tuolima. (2016). *Conector rápido de fibra óptica LC*. <https://es.tuolima.com/Conector-rápido-de-fibra-óptica-LC-pd43212506.html>

Unifet. (2021). *¿Qué es fibra hasta el hogar, o FTTH?*

<https://www.ufinet.com/es/servicios/ftth/>

Upcom Optical. (2012). *Optical Reflector*.

<http://www.upoptical.com/?route=home/post/detail&id=2246005135307938>

Varela Muñoz, D. A., Bustamante Lozano, Á. M., & Jiménez Orjuela, C. A. (2022). *Guía para prácticas experimentales de física: óptica geométrica y óptica física*. Universidad de La Salle - Ediciones Unisalle.

Vargas, I. A. (2014). *Sistemas de Fibra Óptica*. Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica.

VaxaSoftware. (2010). *Tabla de índices de refracción*.

http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/inrefraccion.pdf

Vukovic, A., Savoie, M., Hua, H., & Maamoun, K. (2007). Performance Characterization of PON Technologies. *Photonics North 2007*, 6796, 912-918.

<https://doi.org/10.1117/12.778943>

We Are Social y Hootsuite. (2022). *Digital 2022: Global Overview Report*.

Woodward, B. (2014). *Cabling Part 2: Fiber-Optic Cabling and Components*. John Wiley & Sons.

Wu, X., Brown, K. N., Sreenan, C. J., Alvarez, P., Ruffini, M., Marchetti, N., . . . Doyle, L. (2013). An XG-PON module for the NS-3 network simulator. *Proceedings of the 6th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques: WNS3*, 195-202. <https://doi.org/10.4108/icst.simutools.2013.251605>

Xingcheng. (2018). *ODF Outdoor Fiber Optic Distribution Box for Pole Mount Wall Mount*. <https://www.hfxcfibertools.com/cn/product/ODF-Outdoor-Fiber-Optic-Distribution-Box-for-Pole-Mount-Wall-Mount.html>

YCICT Co. (2020). *Huawei HN8546Q FTTH*. <https://www.ycict.net/products/huawei-hn8546q-ftth/>

YCICT Co. (2022). *Huawei SmartAX MA5800 X2 OLT*. <https://www.ycict.net/products/huawei-smartax-ma5800-x2-olt/>

ZMS Cable. (2019). *Tipos de Cable Fibra Óptica*. <https://zmscable.es/cable-fibra-optica-aerea/>

9. ANEXOS

Anexo 1. Encuestas

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

1. ¿Cuál es su edad? 52
2. ¿Qué actividad realiza diariamente?
Estudia _____ Trabaja X Otros _____
3. ¿Cuenta con servicio de internet en su domicilio?
SI X NO _____
4. ¿A través de que medio recibe su servicio de internet?:
Antena _____
Teléfono fijo _____
Cable Coaxial (cable de TV) X
Fibra Óptica _____
5. ¿Tiene problemas en el funcionamiento de su servicio?
SI X NO _____
Especifique No cargar los videos
6. ¿Qué actividades realiza principalmente en su servicio de internet?

Redes Sociales	
Clases en línea	
Videollamadas	<u>X</u>
Tv por internet	
Netflix	
7. ¿Le gustaría que se implemente el servicio de internet a través de fibra óptica?
SI X NO _____

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

1. ¿Cuál es su edad? 23

2. ¿Qué actividad realiza diariamente?

Estudia Trabaja Otros

3. ¿Cuenta con servicio de internet en su domicilio?

SI NO

4. ¿A través de que medio recibe su servicio de internet?:

Antena

Teléfono fijo

Cable Coaxial (cable de TV)

Fibra Óptica

5. ¿Tiene problemas en el funcionamiento de su servicio?

SI NO

Especifique

6. ¿Qué actividades realiza principalmente en su servicio de internet?

Redes Sociales	<input type="checkbox"/>
Clases en línea	<input type="checkbox"/>
Videollamadas	<input type="checkbox"/>
Tv por internet	<input type="checkbox"/>
Netflix	<input checked="" type="checkbox"/>

7. ¿Le gustaría que se implemente el servicio de internet a través de fibra óptica?

SI NO

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

1. ¿Cuál es su edad? 32

2. ¿Qué actividad realiza diariamente?

Estudia Trabaja Otros _____

3. ¿Cuenta con servicio de internet en su domicilio?

SI NO

4. ¿A través de que medio recibe su servicio de internet?:

Antena

Teléfono fijo

Cable Coaxial (cable de TV)

Fibra Óptica

5. ¿Tiene problemas en el funcionamiento de su servicio?

SI NO

Especifique intermitente

6. ¿Qué actividades realiza principalmente en su servicio de internet?

Redes Sociales	<input checked="" type="checkbox"/>
Clases en línea	<input type="checkbox"/>
Videollamadas	<input type="checkbox"/>
Tv por internet	<input type="checkbox"/>
Netflix	<input type="checkbox"/>

7. ¿Le gustaría que se implemente el servicio de internet a través de fibra óptica?

SI NO

Estimado encuestado por favor lea cada pregunta y conteste con sinceridad, esta encuesta tiene como objetivo definir la situación actual acerca del servicio de Internet en la parroquia San Blas

1. ¿Cuál es su edad? 23

2. ¿Qué actividad realiza diariamente?

Estudia Trabaja Otros _____

3. ¿Cuenta con servicio de internet en su domicilio?

SI NO

4. ¿A través de que medio recibe su servicio de internet?:

Antena

Teléfono fijo

Cable Coaxial (cable de TV)

Fibra Óptica

5. ¿Tiene problemas en el funcionamiento de su servicio?

SI NO

Especifique Internet Lento

6. ¿Qué actividades realiza principalmente en su servicio de internet?

Redes Sociales	
Clases en línea	<input checked="" type="checkbox"/>
Videollamadas	
Tv por internet	
Netflix	

7. ¿Le gustaría que se implemente el servicio de internet a través de fibra óptica?

SI NO

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

1. ¿Cuál es su edad? 48

2. ¿Qué actividad realiza diariamente?

Estudia Trabaja Otros _____

3. ¿Cuenta con servicio de internet en su domicilio?

SI NO _____

4. ¿A través de que medio recibe su servicio de internet?:

Antena

Teléfono fijo _____

Cable Coaxial (cable de TV) _____

Fibra Óptica _____

5. ¿Tiene problemas en el funcionamiento de su servicio?

SI NO _____

Especifique lento _____

6. ¿Qué actividades realiza principalmente en su servicio de internet?

Redes Sociales	<input checked="" type="checkbox"/>
Clases en línea	
Videollamadas	
Tv por internet	
Netflix	

7. ¿Le gustaría que se implemente el servicio de internet a través de fibra óptica?

SI NO _____

Estimado encuestado por favor lea cada pregunta y conteste con sinceridad, esta encuesta tiene como objetivo definir la situación actual acerca del servicio de Internet en la parroquia San Blas

1. ¿Cuál es su edad? 29

2. ¿Qué actividad realiza diariamente?

Estudia Trabaja Otros _____

3. ¿Cuenta con servicio de internet en su domicilio?

SI NO

4. ¿A través de que medio recibe su servicio de internet?:

Antena

Teléfono fijo

Cable Coaxial (cable de TV)

Fibra Óptica

5. ¿Tiene problemas en el funcionamiento de su servicio?

SI NO

Especifique Intermitente

6. ¿Qué actividades realiza principalmente en su servicio de internet?

Redes Sociales	<input type="checkbox"/>
Clases en línea	<input type="checkbox"/>
Videollamadas	<input type="checkbox"/>
Tv por internet	<input checked="" type="checkbox"/>
Netflix	<input type="checkbox"/>

7. ¿Le gustaría que se implemente el servicio de internet a través de fibra óptica?

SI NO

Estimado encuestado por favor lea cada pregunta y conteste con sinceridad, esta encuesta tiene como objetivo definir la situación actual acerca del servicio de Internet en la parroquia San Blas

1. ¿Cuál es su edad? 33

2. ¿Qué actividad realiza diariamente?

Estudia Trabaja Otros _____

3. ¿Cuenta con servicio de internet en su domicilio?

SI NO

4. ¿A través de que medio recibe su servicio de internet?:

Antena

Teléfono fijo _____

Cable Coaxial (cable de TV) _____

Fibra Óptica _____

5. ¿Tiene problemas en el funcionamiento de su servicio?

SI NO

Especifique Siempre está lento

6. ¿Qué actividades realiza principalmente en su servicio de internet?

Redes Sociales	<input type="checkbox"/>
Clases en línea	<input type="checkbox"/>
Videollamadas	<input type="checkbox"/>
Tv por internet	<input type="checkbox"/>
Netflix	<input checked="" type="checkbox"/>

7. ¿Le gustaría que se implemente el servicio de internet a través de fibra óptica?

SI NO

Estimado encuestado por favor lea cada pregunta y conteste con sinceridad, esta encuesta tiene como objetivo definir la situación actual acerca del servicio de Internet en la parroquia San Blas

1. ¿Cuál es su edad? 26

2. ¿Qué actividad realiza diariamente?

Estudia Trabaja _____ Otros _____

3. ¿Cuenta con servicio de internet en su domicilio?

SI NO _____

4. ¿A través de que medio recibe su servicio de internet?:

Antena

Teléfono fijo _____

Cable Coaxial (cable de TV) _____

Fibra Óptica _____

5. ¿Tiene problemas en el funcionamiento de su servicio?

SI NO _____

Especifique lento

6. ¿Qué actividades realiza principalmente en su servicio de internet?

Redes Sociales	
Clases en línea	<input checked="" type="checkbox"/>
Videollamadas	
Tv por internet	
Netflix	

7. ¿Le gustaría que se implemente el servicio de internet a través de fibra óptica?

SI NO _____

Estimado encuestado por favor lea cada pregunta y conteste con sinceridad, esta encuesta tiene como objetivo definir la situación actual acerca del servicio de Internet en la parroquia San Blas

1. ¿Cuál es su edad? 51

2. ¿Qué actividad realiza diariamente?

Estudia Trabaja Otros _____

3. ¿Cuenta con servicio de internet en su domicilio?

SI NO

4. ¿A través de que medio recibe su servicio de internet?:

Antena

Teléfono fijo

Cable Coaxial (cable de TV)

Fibra Óptica

5. ¿Tiene problemas en el funcionamiento de su servicio?

SI NO

Especifique Se va

6. ¿Qué actividades realiza principalmente en su servicio de internet?

Redes Sociales	<input checked="" type="checkbox"/>
Clases en línea	<input type="checkbox"/>
Videollamadas	<input type="checkbox"/>
Tv por internet	<input type="checkbox"/>
Netflix	<input type="checkbox"/>

7. ¿Le gustaría que se implemente el servicio de internet a través de fibra óptica?

SI NO

Estimado encuestado por favor lea cada pregunta y conteste con sinceridad, esta encuesta tiene como objetivo definir la situación actual acerca del servicio de Internet en la parroquia San Blas

1. ¿Cuál es su edad? 38

 2. ¿Qué actividad realiza diariamente?
 Estudia Trabaja Otros _____

 3. ¿Cuenta con servicio de internet en su domicilio?
 SI NO

 4. ¿A través de que medio recibe su servicio de internet?:
 Antena _____
 Teléfono fijo _____
 Cable Coaxial (cable de TV)
 Fibra Óptica _____

 5. ¿Tiene problemas en el funcionamiento de su servicio?
 SI NO
 Especifique Intermitente

 6. ¿Qué actividades realiza principalmente en su servicio de internet?
- | | |
|-----------------|---|
| Redes Sociales | |
| Clases en línea | |
| Videollamadas | |
| Tv por internet | |
| Netflix | X |
-
7. ¿Le gustaría que se implemente el servicio de internet a través de fibra óptica?
 SI NO