

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA



PROYECTO DE GRADO

**DISEÑO DE UNA RED GPON/FTTH PARA LA LOCALIDAD
DE CORIPATA CASO: TELECOMUNICACIONES YUNGUEÑA**

POSTULANTE: Abraham Ricardo Choque Tacuña

TUTOR: Ing. Wilfredo Quispe Huanca

La Paz – Bolivia
2021



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a los seres que más amo en este mundo, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño y amor se los dedico a ustedes:

A mis padres: Paulino Choque y Sebastiana
Tacuña.

A mis hermanos: Gabriela y Edwin.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por guiarme en el camino de la vida, llenándome de fortaleza y sabiduría para salir adelante en todos estos años.

A mis padres Paulino y Sebastiana, por creer y confiar siempre en mí, respaldándome en todas las decisiones que tome en la vida, además de brindarme consejos y apoyo en los momentos más difíciles.

A mis hermanos por la admiración y cariño que me tienen, reciban como ejemplo y realicen también sus sueños.

Un agradecimiento especial a un gran docente el Ing. Wilfredo Quispe Huanca, por su confianza y colaboración en la elaboración de este proyecto de grado, gracias por sus observaciones y consejos para formar personas de bien, y sin olvidar a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Electrónica de nuestra querida Facultad de Ingeniería por brindarme su conocimiento y experiencias.

A todos mis amigos, compañeros que fueron parte de esta gran travesía que estuvo llena de largos días de trabajo y de las inolvidables malas noches, siempre los llevare en mis recuerdos.

RESUMEN

La necesidad de cubrir la demanda del servicio TV cable y próximamente el servicio de Internet por parte de la empresa Telecomunicaciones Yungueña en la localidad de Coripata, han hecho que el presente proyecto de grado tenga como objetivo el diseño de una red de acceso con tecnología GPON/FTTH con la finalidad de proveer el servicio de TV cable (video) e internet a esta localidad.

Para llevar a cabo este proyecto, se realizó como primera fase del proyecto, un estudio de los fundamentos y principales características de las Redes Ópticas Pasivas, donde se describen los diferentes tipos de redes PON, haciendo énfasis en la fibra óptica, la red GPON y la red de última milla FTTH.

Se realizó una descripción de la situación actual de la empresa Telecomunicaciones Yungueña, gracias a los datos facilitados por ella se pasó por alto algún tipo encuesta a los habitantes de la zona para actualizar la demanda de los usuarios. Se procede a realizar los cálculos de la capacidad requerida para el diseño de la red GPON/FTTH y de esta manera obtener un diseño óptimo que cumpla las expectativas de la empresa y la necesidad de los usuarios.

Como siguiente paso, se ha diseñado la red óptica desde la oficina central pasando por la red ODN y terminando en la red de distribución. Se determinó los parámetros técnicos que deben cumplir los equipos para ser utilizados en el diseño de la red GPON y los planos de despliegue en Autocad, donde se detalla las rutas, ubicación de las NAPs, Splitters, muflas y demás elementos que componen la red óptica.

En base a lo analizado anteriormente, se elabora un presupuesto referencial de los equipos y elementos a ser utilizados, escogiendo a un fabricante de equipos de telecomunicaciones que brinde las mejores características y se acople a las condiciones técnicas y económicas planteadas en el proyecto y que son presentadas mediante un análisis de Costos de Inversión (CAPEX) y costos de operación (OPEX).

Como último punto se muestra las conclusiones y recomendaciones obtenidas del desarrollo del proyecto que servirán para futuros diseños de una red GPON/FTTH de pequeña escala.

INDICE

1.	CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Planteamiento del problema central	2
1.3	Objetivos: General y Específicos	2
1.3.1	Objetivo General	2
1.3.2	Objetivos Específicos.....	2
1.4	Justificación del Proyecto.....	3
1.5	Alcance y Limites.....	4
1.5.1	Alcance	4
1.5.2	Limites	4
2.	CAPITULO II MARCO TEÓRICO	5
2.1	Redes HFC	5
2.1.1	Red Híbrida Fibra - Coaxial (HFC)	5
2.2	Fundamentos De Fibra Óptica.....	7
2.2.1	Espectro Electromagnético	7
2.3	Características De La Fibra Óptica	8
2.3.1	Estructura De La Fibra Óptica	9
2.3.2	Principios De Transmisión.....	10
2.3.3	Clasificación De La Fibra Óptica	15
2.3.4	Ventanas de operación de La Fibra Óptica	17
2.3.5	Pérdidas en los cables de fibra óptica	18
2.3.6	Ventajas y Desventajas de la Fibra Óptica	23
2.4	Redes de Acceso FTTX.....	24

2.4.1	Red FTTN (Fiber To The Node): Fibra Hasta el Nodo	25
2.4.2	Red FTTC (Fiber To The Curb): Fibra Hasta la Acera	25
2.4.3	Red FTTB (Fiber To The Building): Fibra Hasta el Edificio	25
2.4.4	Red FTTH (Fiber To The Home): Fibra Hasta el Hogar	25
2.4.5	Red FTTD (Fiber To The Desk): Fibra Hasta el Escritorio.....	26
2.4.6	Redes De Acceso FTTH	26
2.4.7	Arquitectura General de una Red FTTH.....	27
2.4.8	Elementos pasivos de la red FTTH.....	30
2.4.9	Red de Distribución Óptica (ODN)	43
2.5	Introducción a Redes Ópticas Pasivas (PONs)	44
2.5.1	Red PON (Passive Optical Network).....	44
2.5.2	Estándares de las Redes Ópticas Pasivas (PON)	45
2.6	Redes GPON	50
2.6.1	Recomendaciones UIT – T G.984.x para Redes GPON	50
2.6.2	Arquitectura y Funcionalidad de la Red GPON	54
2.6.3	Elementos activos de una Red GPON	57
2.6.4	Modulación en redes Ópticas.....	60
2.6.5	Capa de Convergencia de transmisión GPON	65
2.6.6	Multiplexado GPON, puertos GEM y T-CONT.....	69
2.6.7	DBA	71
2.6.8	OAM	72
2.6.9	Códigos de Línea, Corrección de Errores y Seguridad.....	72
2.7	Planificación, Procedimiento y Recomendaciones de Diseño de una Red FTTH	77
2.7.1	Planificación y Diseño de una red FTTH	77
2.7.2	Criterios de Diseño para Redes FTTH.....	82

2.8	Pruebas de Certificación.....	95
2.8.1	Instrumentos de Prueba Básicos	96
2.8.2	Pruebas de Red FTTH.....	100
3.	CAPITULO III INGENIERIA DEL PROYECTO.....	102
3.1	Situación de Telecomunicaciones Yungueña.....	102
3.2	Diseño de la red GPON/FTTH.....	105
3.3	Área a cubrir con GPON/FTTH.....	105
3.3.1	Penetración de la Red GPON en la localidad de Coripata.....	108
3.4	Diseño Lógico - Genérico de la Red	109
3.4.1	Topología De Red GPON/FTTH a Utilizar	111
3.5	Diseño físico de la red.....	112
3.5.1	Ubicación del Nodo de la Red	115
3.5.2	Selección de rutas	116
3.5.3	Análisis de rutas.....	116
3.5.4	Proyecciones Futuras	119
3.6	Elementos a considerar en el diseño	119
3.6.1	Dimensionamiento de enlaces y capacidad de Red	121
3.7	Diseño de la ODN (Red de Distribución Óptica).....	122
3.7.1	Asignación de Puertos en Bandeja ODF (Optical Distribution Fiber)	123
3.7.2	Red de Alimentación (Feeder).....	124
3.7.3	Determinación de las áreas de distribución	124
3.7.4	Dimensionamiento de Splitters.....	126
3.8	Asignación - Distribución de Splitters Primarios y Secundarios en la Red de Fibra Óptica.....	132
3.8.1	Asignación - Distribución de Splitters Primarios y Secundarios (Ruta de Distribución Troncal 1).....	133

3.8.2	Asignación - Distribución de Splitters Primarios y Secundarios (Ruta de Distribución Troncal 2).....	137
3.8.3	Asignación - Distribución de Splitters Primarios y Secundarios (Ruta de Distribución Troncal 3).....	142
3.9	Consideraciones Acerca de las Rutas de Distribución	150
3.10	Análisis de distancias (OLT- Splitters primarios, Splitters primarios - Splitters secundarios)	151
3.11	Medición de tramos y tendido de Fibra	152
3.12	Red de dispersión.....	155
3.13	Tipo de Fibra Óptica para tendido aéreo	155
3.14	Punto de Acceso de Red (NAP)	156
3.15	Roseta Óptica.....	156
3.16	Herrajería para tendido aéreo	158
3.16.1	Herrajes definidos por zona	158
3.17	Estimación del requerimiento de ancho de banda y tráfico de la red	165
3.17.1	Capacidad necesaria de Red.....	167
3.18	Presupuesto del Enlace Óptico	168
3.18.1	Calculo de pérdidas en la NAP más cercana	170
3.18.2	Calculo de pérdidas en la NAP más Lejana.....	171
3.19	Balance Óptico de potencia de Recepción	173
3.19.1	Escenario 1: Cliente más lejano.....	174
3.19.2	Escenario 2: Cliente más cercano	175
3.20	Red GPON Componentes y características	176
3.21	Equipamiento a Utilizar en el Diseño de la Red.....	178
3.21.1	OLT.....	178
3.21.2	ONTs.....	181

3.21.3	Rack	182
3.21.4	ODF (Optical Distribution Fiber)	182
3.21.5	Fibra Óptica	184
3.22	Muflas de Empalme.....	185
3.23	Punto de Acceso de Red (NAP)	187
3.24	Roseta Óptica.....	188
3.25	Configuración de equipos.....	188
3.25.1	Configuración Básica de equipos GPON (OLT Y ONT)	189
4.	CAPITULO 4 ANALISIS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO PARA EL DESARROLLO DE RED	198
4.1	Introducción	198
4.2	Costo de elementos Activos y Pasivos	199
4.2.1	Costo de elementos Activos.....	199
4.2.2	Costo de elementos Pasivos	199
4.2.3	Selección de Componentes Activos y Pasivos.....	200
4.3	Análisis de Costos de Inversión (CAPEX)	205
4.4	Análisis de Costos de Operación (OPEX).....	208
4.5	Análisis de Ingresos y Egresos Anuales.....	209
4.5.1	Calculo de VAN.....	214
4.5.2	Calculo de TIR.....	215
4.6	Análisis de Costos de Inversión (CAPEX) para Brindar los Servicios de TV Cable e Internet	217
4.7	Análisis de Costos de Operación (OPEX).....	219
4.8	Análisis de Ingresos y Egresos Anuales.....	219
4.8.1	Calculo de VAN.....	222
4.8.2	Calculo de TIR.....	222

5.	CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	225
5.1	Conclusiones	225
5.2	Recomendaciones.....	226
6.	CAPITULO 6 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA	228
6.1	Referencias.....	228
6.2	Bibliografía.....	230
7.	ANEXOS	234
	ANEXO 1: CARTA DE SOLICITUD PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA PARA LA EMPRESA TELECOMUNICACIONES YUNGUEÑA	234
	ANEXO 2: CARTA: DEMANDA DE LOS SERVICIO DE TV CABLE E INTERNET EN CORIPATA PROPORCIONADA POR LA EMPRESA TELECOMUNICACIONES YUNGUEÑA.....	235
	ANEXO 3: PLANOS CATASTRALES DE DESPLIEGUE DE LA RED GPON/FTTH EN LAS 6 ZONAS DE CORIPATA	236
	ANEXO 4: CARACTERISTICAS TECNICAS Y PROFORMAS DE COTIZACIONES DE EQUIPOS ACTIVOS Y PASIVOS	242
	ANEXO 5: FOTOGRAFIAS DE LA CABECERA CATV, POSTACION Y ZONAS PARA EL DESPLIEGUE DEL PROYECTO GPON/FTTH PARA LA EMPRESA TELECOMUNICACIONES YUNGUEÑA EN LA LOCALIDAD DE CORIPATA.....	249

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1</i>	Red Hibrida Fibra Óptica-Coaxial.....	6
<i>Figura 2.2.</i>	Espectro Electromagnético	8
<i>Figura 2.3.</i>	Estructura de la Fibra Óptica	9
<i>Figura 2.4.</i>	Reflexion de la luz	10
<i>Figura 2.5.</i>	Refracción de la luz	12

<i>Figura 2.6.</i> Reflexión interna total	14
<i>Figura 2.7.</i> Característica y modo de propagación en la fibra óptica Monomodo	15
<i>Figura 2.8.</i> Propagación de los haces de luz en la Fibra Óptica de Índice Escalonado	16
<i>Figura 2.9.</i> Ventanas de operación de la Fibra Óptica.	17
<i>Figura 2.10.</i> Pérdidas Generadas por curvaturas en la fibra óptica.....	20
<i>Figura 2.11.</i> Defectos en el alineamiento de las fibras: (a) Desalineamiento lateral; (b) Desalineamiento entrehierro; (c) Desalineamiento angular; (d) Acabado superficial.....	21
<i>Figura 2.12.</i> Perdida por dispersión de Rayleigh en función de la longitud de onda.....	22
<i>Figura 2.13.</i> Tipos de Redes FTTx.....	26
<i>Figura 2.14</i> Red Básica FTTH	27
<i>Figura 2.15.</i> Topología Punto a Punto	28
<i>Figura 2.16.</i> Diferentes topologías punto a multipunto. a) Árbol; b) Bus; c) Anillo	29
<i>Figura 2.17.</i> Distribuidor de fibra Óptica (ODF)	30
<i>Figura 2.18</i> Concepto Básico de Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM).....	32
<i>Figura 2.19.</i> Estructura Y Características De Cable De Fibra Óptica.....	33
<i>Figura 2.20 .</i> a) Estructura de la utilización de Splitters PLC para la fabricación de un divisor de potencia óptica 1x8 b)Splitter de Tecnologia PLC	35
<i>Figura 2.21.</i> a) Empalme Mecánico b) Empalme por Fusión	36
<i>Figura 2.22.</i> Cajas de Empalme o Mufas	38
<i>Figura 2.23.</i> Caja de Distribución NAP	39
<i>Figura 2.24.</i> Roseta Óptica.....	39
<i>Figura 2.25</i> Herraje de retención de fibra tipo Terminal.....	40
<i>Figura 2.26</i> Preformado para tendido de cable óptico	41
<i>Figura 2.27</i> Herraje tipo Paso para tendido óptico.....	42
<i>Figura 2.28</i> Herraje tipo cruce americano.....	42
<i>Figura 2.29</i> Cruceta para reserva de vanos de cable óptico ADSS	43
<i>Figura 2.30.</i> Arquitectura Típica de Una Red Óptica Pasiva (PON)	45
<i>Figura 2.31.</i> Arquitectura General de la Red GPON	55
<i>Figura 2.32</i> Diagrama de partes funcionales de una OLT	57
<i>Figura 2.33</i> Diagrama de bloques funcionales de la ONT GPON	59

<i>Figura 2.34</i> Modulación directa por amplitud de onda	61
<i>Figura 2.35</i> Modulación binaria sobre la onda portadora	62
<i>Figura 2.36</i> Ejemplo de Codificación de 2 bits por amplitud	63
<i>Figura 2.37</i> Modulación binaria por fase	65
<i>Figura 2.38</i> El formato de trama GPON de tres segmentos tiene una longitud de 125useg	67
<i>Figura 2.39</i> Estructura del campo US BW map.....	68
<i>Figura 2.40</i> Esquema puertos GEM y T-CONT	70
<i>Figura 2.41</i> Codificaciones en Línea más comunes.....	73
<i>Figura 2.42</i> Código NRZ-L y NRZ-I.....	73
<i>Figura 2.43</i> Diagrama de bloques de la operación de Forward Error Correction (FEC)	76
<i>Figura 2.44.</i> Despliegue aéreo de la red de Fibra Óptica	84
<i>Figura 2.45.</i> Ejemplos de despliegue para zonas Industriales.....	84
<i>Figura 2.46.</i> Arquitectura general de una red FTTH.....	85
<i>Figura 2.47.</i> Ubicación de múltiples Splitters en Gabinete.....	86
<i>Figura 2.48</i> Interfaces con equipos relacionados con video en la oficina central.....	89
<i>Figura 2.49.</i> Pérdidas en un enlace hipotético FTTH entre un OLT y un ONT	93
<i>Figura 2.50.</i> Esquemas básicos de protección de redes FTTH	95
<i>Figura 2.51.</i> Puntos en una red FTTP de los parámetros de prueba más importantes	96
<i>Figura 2.52.</i> Power Meter para redes FTTH	98
<i>Figura 2.53.</i> Puntos más Relevantes para realizar mediciones con Power Meter dentro de la red	98
<i>Figura 2.54.</i> Traza representativa de potencia óptica reflejada y retro dispersada como se muestra en una pantalla OTDR características de traza.....	99
<i>Figura 2.55.</i> Mediciones generales entre la OLT en la oficina central y la ONT en las instalaciones del cliente.	101
<i>Figura 3.1</i> Mapa de despliegue Red CATV en la localidad de Coripata	104
<i>Figura 3.2.</i> Comunidades consideradas para el proyecto de la Localidad de Coripata.....	107
<i>Figura 3.3.</i> Diagrama Lógico de la red GPON/FTTH.....	110
<i>Figura 3.4.</i> Zonas de en donde se realizara el despliegue de la red GPON/FTTH	114
<i>Figura 3.5.</i> Ubicación del nodo principal de la red GPON (Coripata).....	115
<i>Figura 3.6.</i> Rutas troncales y distribución de fibra óptica.....	118

<i>Figura 3.7.</i> ODF con la distribución de buffer e hilos de FO.....	123
<i>Figura 3.8.</i> Rutas de cable troncal y distribución de Muflas.....	125
<i>Figura 3.9.</i> Rutas de distribución de NAPs (Coripata –Zona 6)	134
<i>Figura 3.10.</i> Ruta de distribución de NAPs (S. Bárbara - Zona 3)	135
<i>Figura 3.11.</i> Rutas de Distribución de NAPs (Coripata - Zona 6)	138
<i>Figura 3.12</i> Ruta de distribución de NAPs (Chillamani -Zona 4).....	139
<i>Figura 3.13.</i> Ruta de Distribución de NAPs (Anacuri - Zona 5).....	140
<i>Figura 3.14</i> .Rutas de distribución de NAPs (S. Gertrudis-Zona 1)	144
<i>Figura 3.15.</i> Rutas de distribución de NAPs (Coscoma- Zona 2).....	145
<i>Figura 3.16.</i> Cable aéreo ADSS	155
<i>Figura 3.17.</i> Esquema de la NAP más cercana	170
<i>Figura 3.18.</i> Esquema de la NAP más lejana	172
<i>Figura 3.19.</i> OLT estándar para redes GPON	178
<i>Figura 3.20.</i> Racks de 30 unidades para albergar al ODF y OLT	182
<i>Figura 3.21.</i> ODF de 48 puertos.....	183
<i>Figura 3.22.</i> Mufa de empalme tipo lineal (izquierda) y tipo domo (derecha)	186
<i>Figura 3.23.</i> Configuración mediante línea de comandos (CLI).....	189
<i>Figura 3.24.</i> Configuración de VLANs en OLT	192
<i>Figura 3.25</i> .Comandos para configuración de DBA Profile	193
<i>Figura 3.26.</i> Comandos para configuración de Line Profile	194
<i>Figura 3.27.</i> Comandos para configuración de Service Profile	195
<i>Figura 3.28.</i> Comandos para agregar ONT a la OLT.....	196
<i>Figura 3.29.</i> Configuración de puerto PON para servicio.....	197

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Espectro Óptico En Telecomunicaciones	18
Tabla 2.2 Ventajas y desventajas de la Fibra Óptica	24
Tabla 2.3 Fibra óptica estándar e identificaciones de color de tubo suelto	34
Tabla 2.4 Atenuación de splitters	35
Tabla 2.5. Características de Conectores Ópticos Típicos.....	37

Tabla 2.6. Comparación Entre las tecnologías de las Redes PON	49
Tabla 2.7 Resumen de características más importantes de la recomendación UIT.....	52
Tabla 2.8 Tabla de Codificación 4B/5B	75
Tabla 2.9 Requerimientos de Ancho de Banda de servicios hogar común.....	88
Tabla 2.10. Tipos y Características de Componentes usados en un diseño de Red Óptica	90
Tabla 2.11 Características de equipos y materiales relacionados para el diseño de enlaces FTTH	91
Tabla 2.12 Algunos instrumentos de prueba de sistemas ópticos ampliamente utilizados para PON y sus funciones.....	97
Tabla 3.1 Número de viviendas según censo 2011 en las zonas de despliegue de RED GPON/FTTH	107
Tabla 3.2 Clientes potenciales para servicios de internet y TV cable (Datos proporcionados por la empresa Telecomunicaciones Yungueña)	108
Tabla 3.3 Relación de Splitters	126
Tabla 3.4 Cantidad de usuarios potencial por zona al 60% de penetración.....	127
Tabla 3.5 Dimensionamiento de hilos de fibra y splitters requeridos para cada zona.....	128
Tabla 3.6 Resumen de total de hilos de fibra requeridos y cantidad de splitters de primer y segundo nivel	129
Tabla 3.7 Resumen del número de splitters secundarios proyectados.....	132
Tabla 3.8 Distribución de splitters primarios para la Ruta de Distribución Troncal 1	136
Tabla 3.9 Distribución de splitters secundarios para la Ruta de Distribución Troncal 1	136
Tabla 3.10 Distribución de splitters primarios para la Ruta de Distribución Troncal 2	141
Tabla 3.11 Distribución de splitters secundarios para la Ruta de Distribución Troncal 2	142
Tabla 3.12 Distribución de splitters primarios para la Ruta de Distribución Troncal 3	146
Tabla 3.13 Distribución de splitters secundarios para la Ruta de Distribución Troncal 3	147
Tabla 3.14 Distribución Global de Splitters Primarios.....	148
Tabla 3.15 Tabla de Distribución total de Splitters Primarios y Secundarios	149
Tabla 3.16 Distancias de OLT a Splitters Primarios.....	151
Tabla 3.17 Distancia de Splitters primarios a splitters secundarios.....	152
Tabla 3.18 Longitud aproximada total de rutas troncales de FO con vanos.....	153

Tabla 3.19 Longitud de cable de FO ADSS de 6 hilos aproximado para distribución en Zonas con Vanos.....	154
Tabla 3.20 Longitud total aproximada de cable ADSS de 6 y 12 hilos incluyendo vanos....	154
Tabla 3.21 Resumen del dimensionamiento de equipos y elementos de la red GPON para servicio de internet.....	157
Tabla 3.22 Elemento activos necesarios de la red GPON para servicio de internet y TV.....	157
Tabla 3.23 Herrajería y preformado para la zona 1 (Santa Gertrudis)	159
Tabla 3.24 Herrajería y preformado para la zona 2 (Coscoma).....	159
Tabla 3.25 Herrajería y preformado para la zona 3 (Santa Bárbara	160
Tabla 3.26 Herrajería y preformado para la zona 4 (Chillamani).....	161
Tabla 3.27 Herrajería y preformado para la zona 5 (Anacuri).....	162
Tabla 3.28 Herrajería y preformado para la zona 6 (Coripata).....	163
Tabla 3.29 Herrajería y preformado para la ruta Coripata - Coscoma - S. Gertrudis.....	164
Tabla 3.30 Volumen total de Herrajería necesaria para implementación de red	165
Tabla 3.31 Ancho de banda necesario por cliente para servicio de internet.....	166
Tabla 3.32 Ancho de banda por cliente GPON (Resumen).....	167
Tabla 3.33 Pérdidas típicas en los elementos de red.....	169
Tabla 3.34 Cálculo de las pérdidas en la NAP cercana	171
Tabla 3.35 Cálculo de las pérdidas en la NAP más lejana	172
Tabla 3.36 Parámetros ópticos según recomendación UIT-T G.984.2 Clase B+	174
Tabla 3.37 Características necesarias de los elementos activos para la red GPON (Proyecto)	176
Tabla 3.38 Características de elementos pasivos para la red GPON (Proyecto)	177
Tabla 3.39 Especificaciones técnicas de equipos OLT.....	180
Tabla 3.40 Especificaciones técnicas de equipos ONTs.....	181
Tabla 3.41 Especificaciones técnicas del ODF a emplear	183
Tabla 3.42 Especificaciones técnicas de cable de fibra óptica de 6 y 12 hilos.....	184
Tabla 3.43 Especificaciones técnicas de los Splitters.....	185
Tabla 3.44 Especificaciones técnicas de muflas.....	186
Tabla 3.45 Características Técnicas de NAPs para despliegue de red óptica.....	187
Tabla 3.46 Características técnicas de la roseta óptica	188

Tabla 3.47 Clasificación de Servicios para configuración de mediante línea de comandos .	190
Tabla 4.1 Costos Referenciales de los elementos activos.....	199
Tabla 4.2 Costos referenciales de elementos pasivos de la red óptica.....	199
Tabla 4.3 Especificaciones técnico-económicas para elección del equipo OLT	201
Tabla 4.4 Especificaciones técnico-económicas para elección del equipo ONT.....	202
Tabla 4.5 Especificaciones técnico-económicas para elección de los elementos pasivos	203
Tabla 4.6 CAPEX del material de despliegue para la Red GPON/FTTH en las 6 zonas	206
Tabla 4.7 CAPEX para implementación en primera etapa de despliegue para las zonas de Coripata y Santa Bárbara	207
Tabla 4.8 Evaluación de costos de operación del proyecto (OPEX)	208
Tabla 4.9 Tablas de Flujo de Ingresos y Egresos Anual.....	212
Tabla 4.10 Ganancias anuales totales por un periodo de 3años de operación.	213
Tabla 4.11 Costo de capital (CAPEX) para una segunda etapa de implementación de la red GPON/FTTH	216
Tabla 4.12 CAPEX del material de despliegue para la Red GPON/FTTH en las 6 zonas para el servicio de TV Cable e Internet	217
Tabla 4.13 CAPEX para implementación en primera etapa de despliegue para las zonas de Coripata y Santa Bárbara para los servicios de Tv Cable e Internet.....	218
Tabla 4.14 Evaluación de costos de operación del proyecto (OPEX)	219
Tabla 4.15 Tablas de Flujo de Ingresos y Egresos Anual.....	220
Tabla 4.16 Ganancias total anual (Periodo de 3 años).....	221
Tabla 4.17 Costo de capital (CAPEX) para una segunda etapa de implementación de la red GPON/FTTH para los servicios de TV cable e Internet	224

LISTA DE DIAGRAMAS

<i>Diagrama 1.</i> Diagrama de distribución de splitters primarios y secundarios por zona	130
<i>Diagrama 2.</i> Pasos para la configuración de plan de datos en la OLT	191

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 2.1.....	11
Ecuación 2.2.....	12
Ecuación 2.3.....	14
Ecuación 2.4.....	62
Ecuación 2.5.....	64
Ecuación 2.6.....	92
Ecuación 2.7.....	93
Ecuación 3.1.....	122
Ecuación 3.2.....	128
Ecuación 3.3.....	128
Ecuación 3.4.....	166
Ecuación 3.5.....	166
Ecuación 3.6.....	173
Ecuación 4.1.....	210
Ecuación 4.2.....	210
Ecuación 4.3.....	211

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: CARTA DE SOLICITUD PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA OPTICA PARA LA EMPRESA TELECOMUNICACIONES YUNGUEÑA.....	234
ANEXO 2: CARTA: DEMANDA DE LOS SERVICIO DE TV CABLE E INTERNET EN CORIPATA PROPORCIONADA POR LA EMPRESA TELECOMUNICACIONES YUNGUEÑA.....	235
ANEXO 3: PLANOS CATASTRALES DE DESPLIEGUE DE LA RED GPON/FTTH	236
ANEXO 4: CARACTERISTICAS TECNICAS Y PROFORMAS DE COTIZACIONES DE EQUIPOS ACTIVOS Y PASIVOS	242
ANEXO 5: FOTOGRAFIAS DE LA CABECERA CATV, POSTACION Y ZONAS PARA EL DESPLIEGUE DEL PROYECTO GPON/FTTH PARA LA EMPRESA TELECOMUNICACIONES YUNGUEÑA EN LA LOCALIDAD DE CORIPATA	249

LISTA DE ACRONIMOS Y ABREVIATURAS

ADSS: All Dielectric Self Supporting
AES: Encriptación Avanzada Estándar
APC: Contacto físico angular (Angled Physical Contact)
APON: Red óptica pasiva ATM (ATM passive optical network).
ATM: Modo de transferencia Asíncrono
BER: Tasa de error de bit (bit error ratio).
BIP: Bit de paridad (bit interleaved parity).
BPON: Red Óptica Pasiva de Banda Ancha
CAPEX: Capital Expenditure
CATV: Televisión por Cable
CRC: Comprobación de Redundancia Cíclica
CWDM: Multiplexación por División de Longitud de Onda
dB: Decibelio
DBA: Asignación Dinámica de Ancho de Banda
DWDM: Multiplexado Denso por División en Longitudes de Onda
EDFA: Amplificador de fibra dopada con erbio (erbium doped fiber amplifier).
EPON: Red Óptica Pasiva basado en Ethernet
FC: conector FC (ferrule connector).
FDH: Fiber Distribution Hub
FEC: Corrección de Errores Hacia Adelante
FO: Fibra óptica.
FSAN: Full Service Access Network
FTTB: Fiber to The Building
FTTC: Fiber to The Cabinet
FTTD: Fiber to The Desk
FTTH: Fibra hasta el hogar (Fiber To The Home).
FTTN: Fiber to The Node
FTTP: Fiber to The Premises
FTTx: Fiber to the x
GEM: Método de encapsulamiento GPON

GPON: Red Óptica Pasiva Gigabit

HFC: Cables híbridos de fibra y coaxial (hibrid fiber-coaxial).

IEEE: Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (The Institute of Electrical)

ITU: Union internacional de telecomunicaciones (Internacional Telecommunication Union).

Kevlar: Material ligero y robusto con gran resistencia al calor

LASER: Light Amplification by Stimulated Emisión of Radiation.

LED: Diodo de emisión de luz (light-emitting diode).

Luz Cromatica: Luz formada por componentes de varios colores (Varias longitudes de onda)

Luz Monocromatica: Luz formada por componentes de un solo color (Una sola longitud de onda)

MIB: Management Information Base

MM: Multimodo.

NAP: Punto de Acceso a Red

NRZ: Sin retorno a cero (non return to zero).

NZDSF: Fibras ópticas monomodo de dispersión desplazada no nula (non zero dispersion shifted fiber).

OAM: Operations, Administration and Management

OAN: Red de Acceso Óptico

ODN: Red de Distribución Óptica

OLT: Terminal de línea Óptica

OMCI: Interfaz de control y mantenimiento ONT (ONT management and control interface).

ONT: Terminal de Red Óptica

ONU: Unidad de Red Óptica

OPEX: Operational Expenditures

OTDR: Reflectómetro óptico en el Dominio del Tiempo

P2MP: Point to Multi Point

P2P: Punto a Punto

PCB: Bloque de Control Físico

PCBd: Bloque de Control Físico de Bajada

PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy

PLOAM: Physical Layer Operation Administration and Maintenance

PMD: Polarization Mode Dispersion

PON: Red óptica pasiva (passive optical network).

RF: Radio Frecuencia

SC: Conector (standard connector).

SDH: Synchronous Digital Hierarchy

Silicio: Elemento químico metaloide, numero atómico 14

SM: Monomodo.

SMF: Fibras ópticas monomodo estándar (standard single mode fiber).

SNI: Service Node Interface

SNMP: Protocolo Simple de Administración de Red

ST: Conector ST (straight tip).

TC: Convergencia de Transmision

TDM: Multiplexación por división temporal (time division multiplexing).

TDMA: Acceso múltiple por división en el tiempo (time division multiple access).

UNI: User Network Interface

VoIP: Servicio de voz IP.

VPL: Virtual Path Line

WDM: Multiplexacion por División de Longitud de onda

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La creciente demanda de los servicios de TV cable, video e Internet de alta velocidad por los usuarios, hace que los proveedores de servicios tengan que implementar nuevas redes y tecnologías de acceso para satisfacer la demanda y exigencias de los clientes. El avance en tecnologías de la información y comunicación ha permitido que cada vez exista una mayor interconexión entre usuarios desde cualquier lugar del mundo.

Las redes de acceso a internet, son una alternativa para la exploración de velocidades nuevas en cuanto a la información en una comunidad distante. Por ser una red pasiva, las Redes GPON no necesitan de equipos suministradores de voltaje o energía como lo hace la red telefónica convencional, pues al emplear la fibra óptica como medio de transmisión, que por sus características de inmunidad al ruido, a la interferencia eléctrica y poseer capacidad de transporte de datos a gran velocidad es propicia para la implementación en zonas urbanas y rurales.

Este tipo de red no solo permite brindar servicio de internet, con la evolución de las tecnologías de comunicación, puede soportar servicios triple Play (Voz, Datos, tv) a través de la misma red.

Coripata es una localidad y municipio de Bolivia, ubicado en la Provincia de Nor Yungas del departamento de La Paz, cuya población está dedicada a la producción de la hoja de coca, y al tratarse de un área rural, tiene como único medio de educación, distracción y entretenimiento la Televisión por Cable, cuyo servicio es provisto por la empresa Telecomunicaciones Yungueña.

Esta empresa es una pequeña operadora de comunicaciones que actualmente provee servicio de TV cable a esta localidad, contando con una cantidad aproximada de 500 usuarios y, entre sus

proyectos, tiene planificado implementar una red de fibra óptica para cubrir la demanda de su servicio y próximamente el servicio de internet incluyendo poblaciones aledañas.

1.2 Planteamiento del problema central

La empresa Telecomunicaciones Yungueña, legalmente establecida y regulada por la ATT, brinda servicio de TV cable a la población de Coripata y Coscoma, contando con una cabecera principal y tres nodos para brindar servicio a 500 usuarios. En su afán de cubrir la demanda de servicio de TV cable (video), próximamente el servicio de internet y, al no contar con un estudio ni diseño de una red que pueda cumplir tal propósito, solicita el diseño de una red de fibra óptica que sea capaz de transportar y ofrecer los servicios de TV cable (video) e Internet a la Localidad de Coripata.

1.3 Objetivos: General y Específicos

1.3.1 Objetivo General

Realizar el diseño de una red de fibra óptica con tecnología GPON/FTTH para la empresa Telecomunicaciones Yungueña para cubrir la demanda del servicio de TV cable y proveer el servicio de Internet a la localidad de Coripata.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un relevamiento en sitio (site survey), para determinar los requerimientos técnicos básicos necesarios para la implementación de tecnología de redes GPON en la localidad de Coripata.
- Realizar el diseño de una Red de Distribución Óptica que sea funcional a los requerimientos que exige la empresa Telecomunicaciones Yungueña para la transmisión

de servicios, identificando los puntos con mayor cantidad de abonados de acuerdo a los datos proporcionados por la Empresa.

- Realizar cálculos del presupuesto óptico de la red de fibra óptica considerando atenuaciones, potencia de transmisión, sensibilidad de receptor, márgenes de seguridad, etc. En base al estándar ITU-T G984.
- Dimensionar los materiales y equipos que se necesitaran para ser implementados, analizando los costos de materiales requeridos para la instalación de la red ODN, equipos OLT y ONT, además de realizar un mapa del trazado de la red FTTH de fibra óptica.

1.4 Justificación del Proyecto

El diseño de una red de fibra óptica con tecnología GPON para la localidad de Coripata pretende cubrir la demanda y mejorar la calidad del servicio de TV cable y próximamente Internet a mediano y corto plazo.

La población de Coripata, según el último censo nacional de 2012 cuenta con una población de 17.586 habitantes aproximadamente. Con la inclusión de este proyecto, la empresa Telecomunicaciones Yungueña incorpora una solución para cumplir con la demanda y brindar los servicios TV cable (video) e Internet a través de un solo medio, brindando un servicio a bajo costo acorde a la realidad económica.

Una red GPON permite la transmisión de información a gran velocidad en el esquema punto – multipunto, estas redes permiten al usuario un acceso a los servicios FTTH, permitiendo de esta forma integrar varios servicios a través de un solo medio, con calidad, capacidad y escalabilidad. Al hacer uso de elementos pasivos y activos nos permiten un ahorro en costos de mantenimiento de la red y permitirnos brindar servicio a varios usuarios a través de un solo puerto OLT y

gestionar de manera remota la administración de los equipos en el lado del usuario final, ahorrando de esta manera tiempo y costos de soporte.

1.5 Alcance y Limites

1.5.1 Alcance

El presente proyecto considera solo el diseño de una red GPON / FTTH para la localidad de Coripata, contemplando materiales, equipos, elementos pasivos y activos y, un costo referencial para la implementación del proyecto.

1.5.2 Limites

El proyecto no contempla la implementación del diseño propuesto.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Redes HFC

2.1.1 Red Híbrida Fibra - Coaxial (HFC)

Una Red híbrida de fibra coaxial (HFC), emplea una red de fibra óptica en la red troncal para extender la red a sitios más alejados, dispone de un mayor ancho de banda en los canales y tiene la posibilidad de disponer y proveer el servicio de transmisión de datos e internet a través de la misma red.

La combinación de fibra óptica y cable coaxial se conoce como sistema Híbrido de Fibra Coaxial (HFC). Este esquema ha sido implementado ampliamente por empresas que brindan el servicio de TV cable (CATV). Las redes HFC despliegan cable de fibra óptica y cable coaxial en diferentes partes de una red de acceso para transportar contenido de banda ancha, video, datos, voz e Internet. Como se muestra en la Figura 2.1, una compañía local de CATV instala un cable de fibra óptica desde un centro de distribución (Cabecera) hasta los nodos de servicio que se encuentran cerca de los usuarios comerciales y residenciales. En este punto, las señales ópticas se convierten en señales eléctricas, que luego viajan a través de cables coaxiales hacia los usuarios finales (Keiser, 2006).

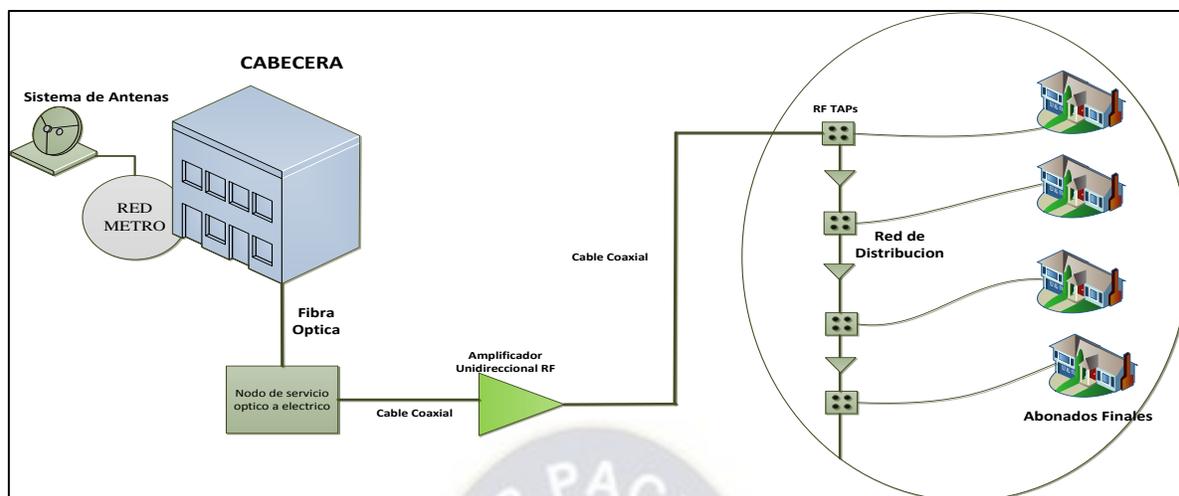


Figura 2.1 Red Híbrida Fibra Óptica-Coaxial

Fuente: Elaboración propia en base a la información de (Keiser, 2006)

En los sistemas HFC, los términos hacia adelante (forward) y hacia atrás (backward) se utilizan para referirse a las direcciones descendente y ascendente, respectivamente. Los cables coaxiales usados en las redes HFC permiten el transporte de información de banda ancha a varios kilómetros de distancia. La atenuación del cable en estas distancias se compensa con el uso de amplificadores de RF (radiofrecuencia).

Para conectar un nuevo usuario al sistema HFC, el proveedor de servicios utiliza un conector en T coaxial simple para conectarse a la línea principal con el fin de tender un cable de bajada a los usuarios finales. Para acceder a los servicios en la red, el cliente usa un módem relativamente económico que se conecta al cable de bajada y separa las señales de TV y de datos internamente (Keiser, 2006).

Si describimos el espectro de frecuencias utilizado por una red HFC. El ancho de banda de 40 MHz que va de 5 a 45 MHz se utiliza para transmitir información del usuario a la cabecera. El intervalo de 500 MHz que abarca las frecuencias de 50 a 550 MHz se utiliza para transmisiones analógicas, como distribución de video analógico o sonido FM. La banda de difusión estrecha

que comienza en 550 MHz tiene un ancho de 200 o 320 MHz, según el sistema. Esta banda se utiliza para servicios como video, TV de alta definición (HDTV) y aplicaciones multimedia (Keiser, 2006).

2.2 Fundamentos De Fibra Óptica

A largo del presente capítulo detallaremos los aspectos más relevantes de una red de fibra óptica y los elementos pasivos y activos que participan en la red. El principal elemento de estudio será la fibra óptica, en torno a la cual se especificarán el resto de elementos clave para una red de comunicaciones óptico.

En los sistemas tradicionales de comunicación, la información es conducida por medio de señales eléctricas o electromagnéticas; el incremento de nuevos usuarios y el surgimiento de nuevas tecnologías han hecho que la fibra óptica y el uso de la luz como portadora de información reciban una atención especial debido a las grandes ventajas que tiene frente a otros medios.

2.2.1 Espectro Electromagnético

El Espectro Electromagnético es el conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan de manera ondulatoria y velocidad constante a 3×10^8 [m/s]. Su longitud de onda se extiende desde una menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud, como son las ondas de radio. (Fonrouge, 2016)

El espectro de frecuencias concerniente a la región de las comunicaciones ópticas solo cubre 3 bandas generales:

- Infrarroja: Son bandas de longitudes de onda de luz incapaces de ser vistas por el ojo humano, pues son demasiado grandes.

- Visible: Este tipo de longitudes de onda de luz son visibles al ojo humano, estas comprenden desde los 700 nanómetros (rojo) hasta los 390 nm (Violeta).
- Ultravioleta: Estas ondas de luz no pueden ser vistas por el ojo humano al ser demasiado cortas.

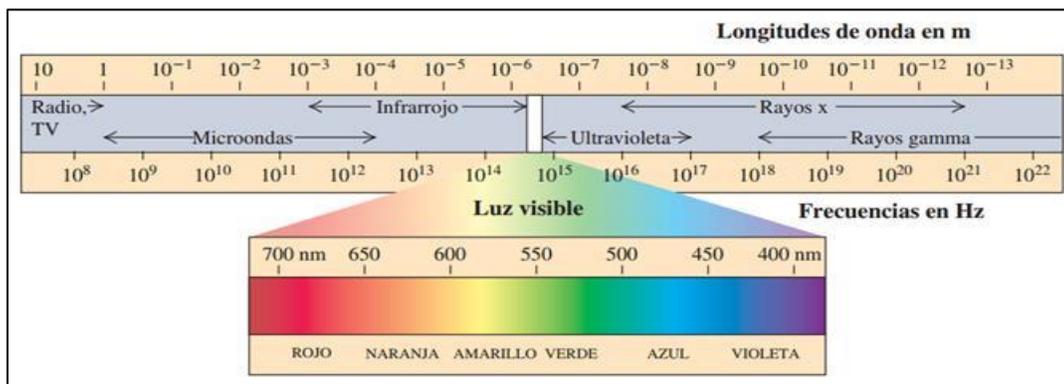


Figura 2.2. Espectro Electromagnético

Fuente: Recuperado de (Fonrouge, 2016)

2.3 Características De La Fibra Óptica

La fibra óptica es un elemento fundamental en la transmisión de información, es un hilo de vidrio o de material plástico por donde se envían pulsos de luz, confinado y propagado por el interior de la fibra; está compuesto de un núcleo, un revestimiento y una cubierta de plástico resistente. El núcleo y el revestimiento están compuestos por elementos como el sílice, cuarzo fundido o plástico.

El núcleo y el revestimiento se diferencian por los dopantes que se agregan, lo que permite que tengan diferentes índices de refracción. En cuanto al diámetro del núcleo, este suele ser entre 8 y 9 μm para el caso de la fibra monomodo y de 50 o 62.5 μm en fibras multimodo.

2.3.1 Estructura De La Fibra Óptica

La fibra óptica posee las siguientes características y composición:

Núcleo: formado por un elemento típicamente como es el Sílice, el cual tiene una refracción superior a la del manto o revestimiento cuya característica permite que los rayos de luz viajen a través de este medio.

Revestimiento o Manto: está recubierto por un material de similares características que el núcleo pero con un índice de refracción menor, típicamente de vidrio de este modo los rayos de luz se reflejan al interior de él, evitando así pérdida de información. (The Fiber Optic Association, Inc., 2014)

Revestimiento de protección (Buffer): el revestimiento cubre a las dos estructuras de la fibra mencionadas, está formado de un material de polietileno que permite aislar las fibras que están adyacentes en la chaqueta exterior. (The Fiber Optic Association, Inc., 2014)

Chaqueta Exterior: generalmente de polietileno, recubre todos los componentes de la fibra óptica, además impide que los rayos solares penetren en ella. Algunos cables llevan una capa de hilos Kevlar que permite al cable ser más rígido y brindar seguridad y protección.

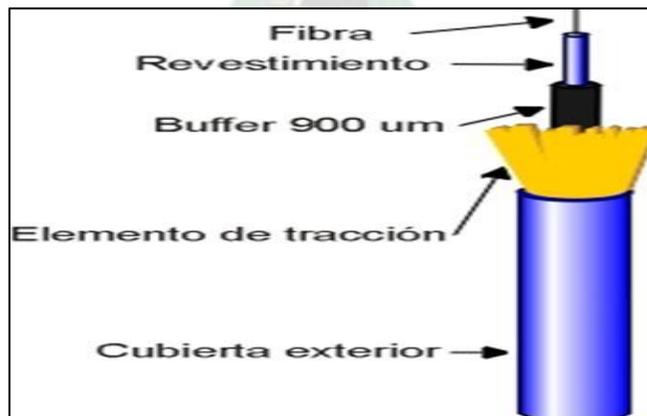


Figura 2.3. Estructura de la Fibra Óptica

Fuente: Recuperado de (The Fiber Optic Association, Inc., 2014)

2.3.2 Principios De Transmisión

La fibra óptica transmite la información mediante pulsos de luz que viajan a través de ella. La transmisión de estos pulsos se basa en dos propiedades: la refracción y la reflexión.

2.3.2.1 Reflexión

La reflexión de la luz es un fenómeno donde existe un cambio de dirección en los rayos incidentes en un mismo medio, se rige por dos principios o leyes de reflexión. El rayo incidente, el reflejado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano. El Angulo del rayo incidente δ y el de reflexión ϕ son iguales (Fernandez & Gregorio, 2013).

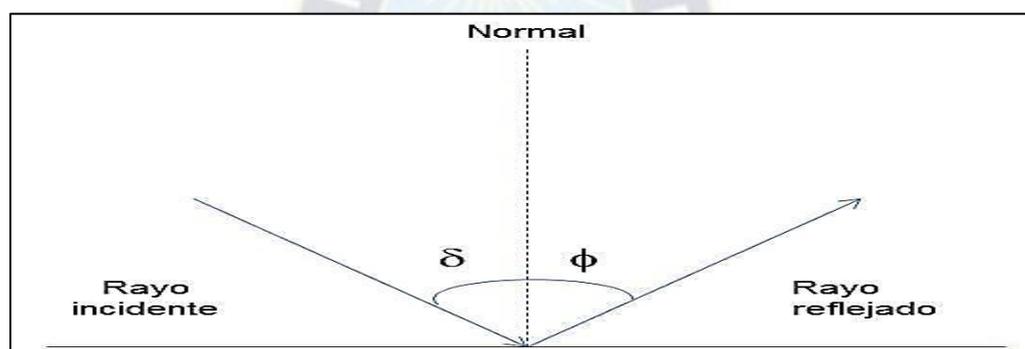


Figura 2.4. Reflexion de la luz

Fuente: Elaboración propia

En la reflexión no existen cambios en la velocidad de la luz, frecuencia o longitud de onda λ .

Existen dos tipos de reflexión dependiendo de las irregularidades de la superficie, estos son:

Reflexión especular: se produce cuando las irregularidades del medio son pequeñas en comparación con la longitud de onda de la luz incidente.

Reflexión difusa: se produce cuando las irregularidades del medio son de un orden de magnitud comparable al tamaño de la longitud de onda de la luz incidente y se proyectan varios rayos sobre este

2.3.2.2 Ley de Refracción o Ley de Snell

La refracción es un fenómeno óptico que ocurre cuando un rayo de luz pasa de un **medio 1** a un **medio 2** y de esta manera presenta un cambio de dirección inicial y sigue propagándose rectilíneamente en el segundo medio.

- El rayo incidente, el refractado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano. (Fernandez & Gregorio, 2013)
- La Ley de Snell, es la relación entre los índices de refracción de los medios, igualada a la razón entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción, o bien menciona que el producto del índice de refracción del primer medio por el seno del ángulo de incidencia es igual al producto del índice de refracción del segundo medio por el seno del ángulo de refracción, es decir:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

Ecuación 2.1

Dónde:

n_1 y n_2 : Son los índices de refracción de los medios 1 y 2.

θ_1 : Ángulo formado entre el rayo incidente y el eje vertical, el cual es perpendicular a la superficie de separación de los dos medios.

θ_2 : Ángulo formado entre el rayo refractado y el mismo eje vertical.

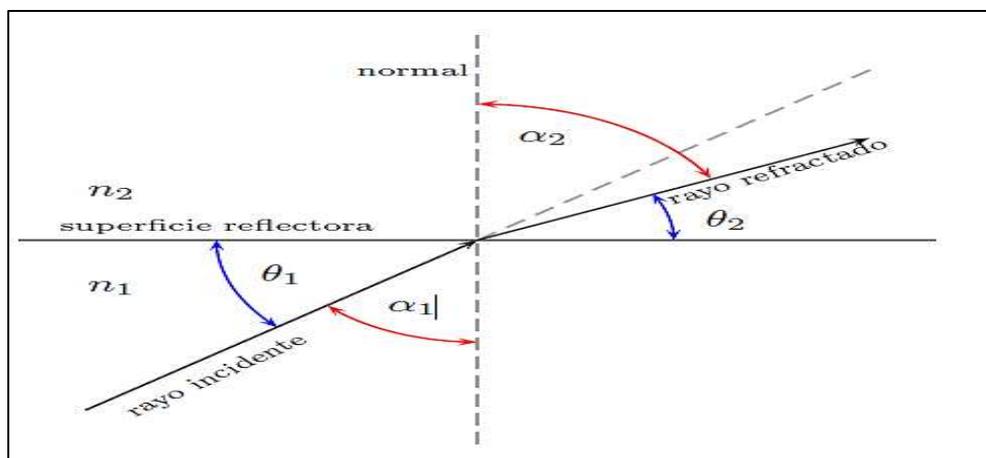


Figura 2.5. Refracción de la luz

Fuente: Elaboración propia en base a la información de: (Fernandez & Gregorio, 2013). Reflexión y Refracción de la Luz. España.

Cuando $n_1 < n_2$ el rayo refractado tiende a inclinarse hacia la normal, mientras que si $n_1 > n_2$ el rayo refractado se acerca a la superficie de la interfaz.

Índice De Refracción

Fernandez & Gregorio (2013), define que el índice de refracción es la relación entre la velocidad de propagación de la luz en el espacio libre con la velocidad de propagación de la luz en un material específico, matemáticamente se la representa de la siguiente manera:

$$n = \frac{c}{v}$$

Ecuación 2.2

Dónde:

n : Índice de Refracción

c : Velocidad de la luz en el espacio libre (m/s)

v : Velocidad de la luz en material específico (m/s)

2.3.2.3 *Reflexión Interna Total*

Al considerar que la Ley de Snell se expresa en términos del índice de refracción, puede presentarse dos casos cuando un rayo de Luz pasa de un medio a otro medio con diferentes índices de refracción:

- Si $n_1 < n_2$, se tiene que $v_1 > v_2$ y el ángulo $\theta_1 > \theta_2$; el rayo refractado se acerca al eje vertical.
- Si $n_1 > n_2$, se tiene que $v_1 < v_2$ y el ángulo $\theta_1 < \theta_2$; el rayo refractado se aleja del eje vertical.

Sin embargo, para determinar cuándo se produce el fenómeno de la reflexión interna total se considera el segundo caso, donde el rayo de luz pasa de un medio con un índice de refracción mayor n_1 a otro menor n_2 . En este caso basándonos en la figura 2.6, conforme aumenta el ángulo de incidencia θ_1 , el rayo refractado se va acercando a la superficie. El ángulo de incidencia para que el ángulo de refracción θ_2 sea 90° se denomina ángulo crítico θ_c . De tal manera que, con ángulos menores al crítico, parte de la luz se refleja y parte se refracta, pero para ángulos mayores toda la luz se refleja, sin existir refracción. A este comportamiento se denomina reflexión interna total, que es la base para la propagación de la luz en la fibra óptica. (Fernandez & Gregorio, 2013)

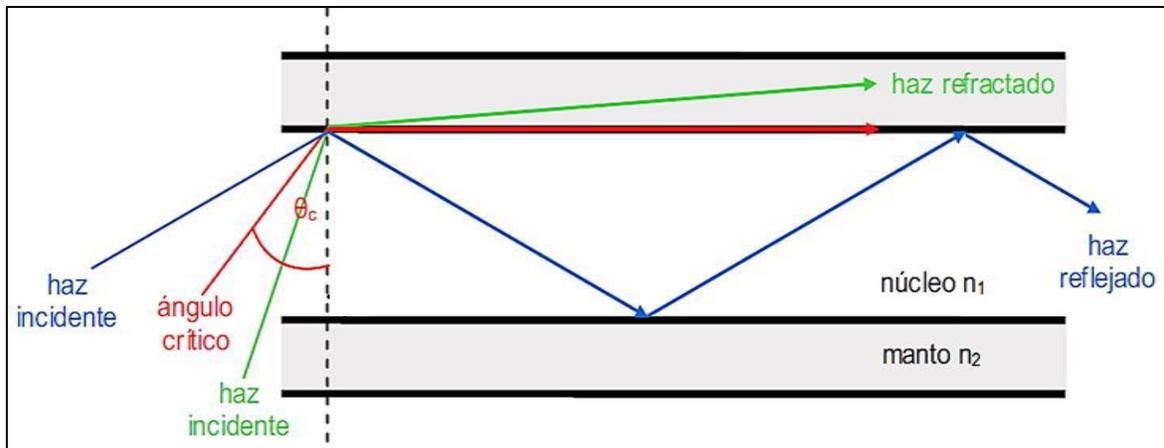


Figura 2.6. Reflexión interna total

Fuente: Elaboración propia en base a la información recuperada de (Fernandez & Gregorio, 2013).

Como vimos, el núcleo de la fibra óptica tiene un índice de refracción n_1 ligeramente mayor al revestimiento n_2 , donde la luz que llega al límite del núcleo y el revestimiento con un ángulo de incidencia mayor que el ángulo crítico θ_c se refleja y continua su recorrido dentro del núcleo. Por tanto, él θ_c es una función del índice de refracción de los dos medios, dicha expresión viene dada por:

Por Ley de Snell ecuación 2.1

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

Si $\theta_2 = 90^\circ$

$$\theta_1 = \theta_c = \text{Angulo critico}$$

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

Ecuación 2.3

A partir de este resultado se puede deducir que:

Hay refracción si:

$$\theta_1 < \theta_c$$

Hay reflexión si:

$$\phi_1 > \phi_c$$

2.3.3 Clasificación De La Fibra Óptica

Gracias a los fenómenos de refracción y reflexión la luz puede propagarse por el cable de fibra óptica según la relación de (Núcleo/revestimiento), además, dependiendo de la cantidad de rayos luminosos que se propaguen en ella pueden ser monomodo o multimodo.

2.3.3.1 Fibra Óptica Monomodo o SM (Single Mode)

En este tipo de fibra, el haz o pulso de luz se propaga en un solo modo, es decir, que la luz viaja en forma paralela al eje de la fibra gracias a que su núcleo es muy pequeño y solo permite un único rayo de luz que se propaga sin reflexión. El diámetro del núcleo llega a ser del orden de 8 a 10 micrones y permiten alcanzar distancias de hasta 100 Km mediante un láser de alta densidad. (Solutions FTTX, 2018)

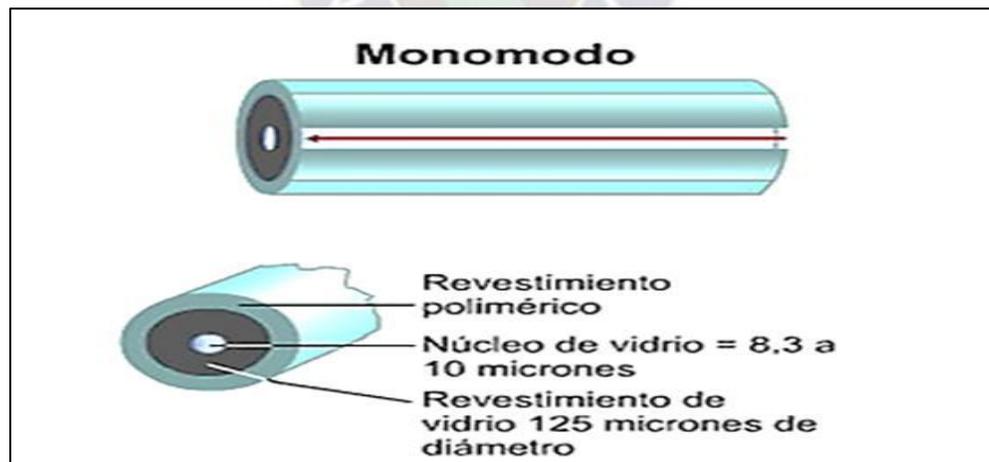


Figura 2.7. Característica y modo de propagación en la fibra óptica Monomodo

Fuente: Recuperado de (Solutions FTTX, 2018) Solutions FTTX. (Marzo de 2018).

2.3.3.2 Fibra Óptica Multimodo o MM (Multi Mode)

Son aquellas en la que los haces de luz pueden circular en más de un modo de propagación, los diámetros comunes de este tipo de fibra son 50/125 y 62.5 /125 micras. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 1 o 2 km. (Solutions FTTX, 2018)

Existen dos tipos de fibra multimodo, el de índice escalonado y gradual.

2.3.3.2.1 Índice Escalonado

Este tipo de fibras permiten la propagación de varias ondas o modos a través de ella, lamentablemente también presenta un fenómeno denominado dispersión, es decir, que por los rebotes sucesivos sufren de una leve dispersión que termina en varios frentes de onda o trayectorias, donde en algunos casos no es posible distinguir fase ni frecuencia. (Ptolomeo)

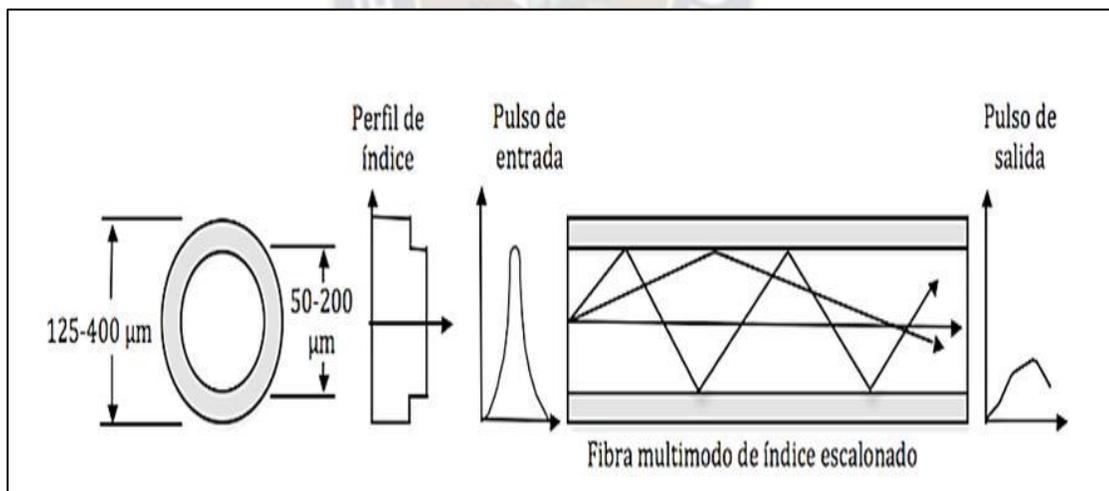


Figura 2.8. Propagación de los haces de luz en la Fibra Óptica de Índice Escalonado

Fuente: Recuperado de Ptolomeo. (s.f.). *Sistema de Comunicaciones Óptico*.

2.3.4 Ventanas de operación de La Fibra Óptica

En las comunicaciones por fibra óptica se utilizan las longitudes de onda que van de los 800 a 1600 nm, pero este rango que se dispone no es usado en su totalidad, ya que existen zonas que presentan una alta atenuación. Es por esto que se usan las zonas de menor atenuación a las que se denominan “ventanas”. Estas están centradas básicamente en las longitudes de onda: 850 [nm], 1300 [nm] y 1550 [nm]. Según Campero (2009), “las atenuaciones en los rangos intermedios tienen picos de resonancia aproximadamente en 1000 [nm] y 1400 [nm] y se debe a impurezas de agua que no es posible eliminar de la fibra” (p 23).

Las atenuaciones que se ubican por debajo de las longitudes de 820 [nm] presentan la atenuación de Rayleigh y por último atenuaciones superiores a la longitud de 1600 [nm] se deben a la estructura cristalina y/o molecular que presenta el material. Gracias a los avances tecnológicos y al dopaje introducido en la estructura cristalina, en la actualidad la atenuación que presentan la fibra comercial es de 0,23 dB/Km. (Campero, 2009).

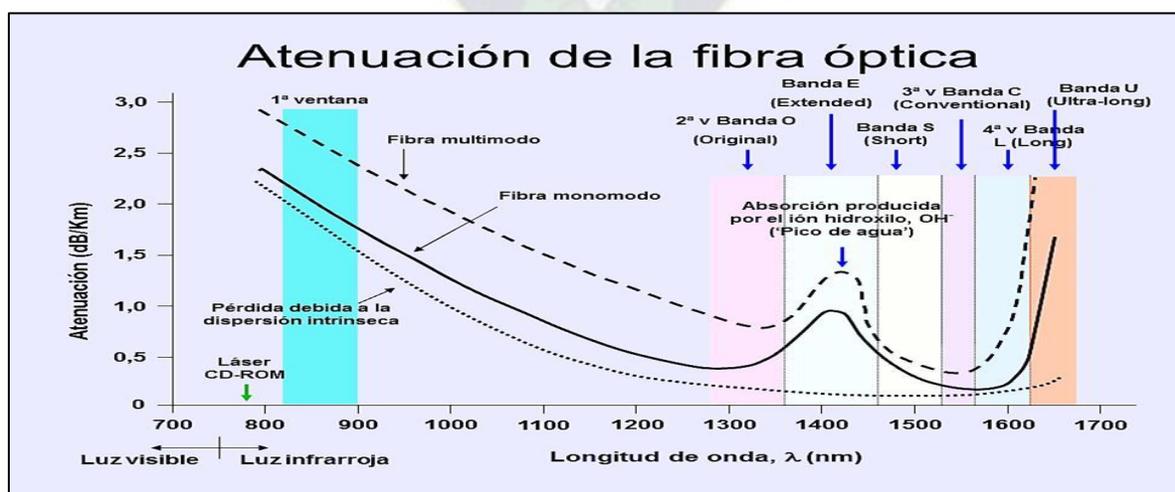


Figura 2.9. Ventanas de operación de la Fibra Óptica.

Fuente: Recuperado de Turmero, P. (2015).

Tabla 2.1.

Espectro Óptico En Telecomunicaciones

Ventana	Rango [nm]	λ Central	Atenuación [dB/Km]
Primera	800 a 900	850	2.5
Segunda	1250 a 1350	1310	0,38
Tercera	1500 a 1600	1550	0,25
Cuarta	1600 a 1660	1625	0,20

Fuente: elaboración propia en base a información recopilada.

2.3.5 Pérdidas en los cables de fibra óptica

Existen muchos factores que podrían causar pérdida o atenuaciones en una red de fibra óptica, las cuales pueden ir desde el proceso de fabricación hasta los diversos usos a las que es sometida, a continuación describiremos cada una de ellos.

2.3.5.1 Atenuación

La atenuación según la definición de Tomasi (2003) es: “la pérdida de potencia de la onda luminosa al atravesar el cable” (pág. 442). Dicha disminución origina una reducción en el ancho de banda del sistema, lo que obliga a disminuir la velocidad de transmisión.

Debemos resaltar que casi todos los medios físicos de comunicación utilizados en la actualidad tienen una considerable atenuación, a excepción de la fibra óptica. Según varios autores y personas que tienen experiencia laboral con el tema de redes de fibra óptica, mencionan que este medio tiene un promedio de atenuación del orden de 0,23 dB/Km, esto para el caso de las fibras monomodo.

2.3.5.2 Perdas Por Absorción y Radiación

Las pérdidas por absorción y radiación son generadas por la manera en que se elaboran las fibras ópticas. En este caso, las pérdidas por absorción se producen por las impurezas que se incorporan al Silicio para que así se obtenga un índice de refracción distinto entre el núcleo y el recubrimiento; estas impurezas impiden la propagación libre de los pulsos de luz, las cuales son absorbidas y se transforman en calor; tienen sus máximos en las longitudes de 100 *nm* y 1400 *nm*. (Castro Lechtaler & Fusa, 1999).

Al momento de elaborar los cables de fibra, generalmente se producen imperfecciones como pequeñas dobleces, discontinuidades, etc., esto origina unas radiaciones indeseadas que hace que la potencia de transmisión se vea disminuida. (Castro Lechtaler & Fusa, 1999)

2.3.5.3 Perdas Por Curvatura

La fibra óptica al ser un medio de confinamiento de la luz no deben superar el ángulo crítico, pues se producirá una pérdida cuando la superficie entre el núcleo y la envoltura presente algún tipo de irregularidad, lo que hace que no se cumpla con el ángulo crítico (Campero, 2009).

En este tipo de pérdidas existen dos casos:

➤ *Microbending (Microcurvatura)*

Este se produce por las irregularidades que puede presentar la fibra al momento de la fabricación en la interfaz núcleo-envoltura. Generalmente, en regiones limitadas del cable.

➤ *Macrobending (Macrocurvatura)*

Según las especificaciones el cable de fibra óptica debe tener un radio mínimo de curvatura, que dependiendo de los casos este puede ir entre los 8 y 10 *cm*. Si no tomamos en

cuenta estas recomendaciones y se realiza una instalación con radios o curvaturas menores parte de la energía lumínica pasa a la envoltura por refracción (Campero, 2009).

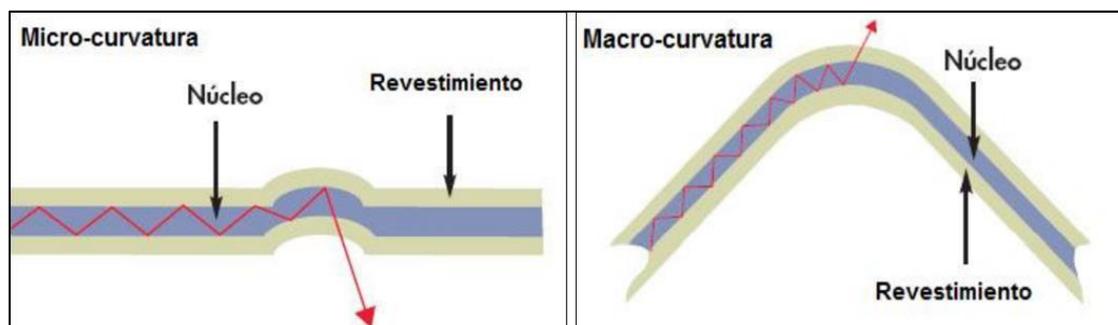


Figura 2.10. Pérdidas Generadas por curvaturas en la fibra óptica.

Fuente: Recuperado de: Heredia Ch., R., & Murillo, M. (septiembre de 2001).

2.3.5.4 Pérdidas Por Acoplamiento

Las pérdidas por acoplamiento se producen en cualquier tipo de fibra por las uniones imperfectas entre las distintas partes que componen el circuito óptico. “En condiciones normales, el valor típico de pérdidas entre los acoplamientos de: transmisor/fibra, fibra/fibra y fibra/receptor es de 0,5 dB” (Castro Lechtaler & Fusa, 1999, pág. 462).

Las pérdidas en las uniones se deben con frecuencia a uno de los siguientes problemas de alineación:

➤ *Desalineamiento lateral*

Es el desplazamiento lateral o axial entre dos tramos de cable de fibra adjuntos apreciable en la figura 2.11; la pérdida puede ser hasta varias décimas de decibelio, y podría ser despreciable si los ejes de las fibras se alinean a menos de 5 % del diámetro de la fibra (Tomasi, 2003).

➤ *Desalineamiento de entrehierro*

También denominado “separación entre extremos”, esto ocurre cuando los empalmes o acoples entre hilos de fibra óptica quedan alejadas, lo que provoca la pérdida de los pulsos de luz. Este tipo de pérdida lo podemos apreciar en la figura 2.11.

➤ *Desalineamiento angular*

Como se ve en la figura 2.11, se denomina también “desplazamiento Angular”, esto se da cuando la fusión de dos fibras ópticas presentan un ángulo superior a los 2° , si este ángulo es menor la pérdida será inferior a 0.5 dB.

➤ *Acabado superficial Imperfecto*

Según Tomasi (2003) nos dice que “ Los extremos de dos fibras adjuntas deben estar muy pulidos y asentados entre si, (...) Si los extremos de las fibras están menos de 3° fuera de la perpendicular, las pérdidas serán menores que 0.5 dB” (pág. 449).

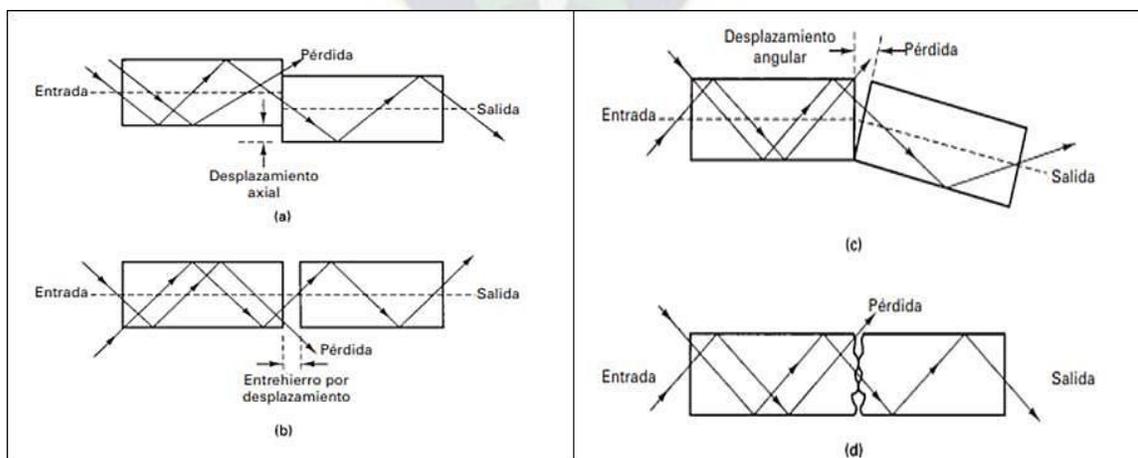


Figura 2.11. Defectos en el alineamiento de las fibras: (a) Desalineamiento lateral; (b) Desalineamiento entrehierro; (c) Desalineamiento angular; (d) Acabado superficial

Fuente: Recuperado de: Tomasi, W. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas.

2.3.5.5 *Pérdidas por Dispersión de Rayleigh*

Al momento de fabricar la fibra óptica, se trabaja con silicio en estado líquido y sólido, comúnmente denominado “Estado Plástico”, intermedio entre ambos estados, al solidificarse inevitablemente se producen irregularidades sub microscópicas que pueden permanecer en el material, que al incidir un rayo de luz en este medio se produce una difracción indeseada, que se denomina “perdida de Rayleigh”.

En la figura 2.12 podemos apreciar en forma gráfica, la relación entre la longitud de onda y la pérdida por dispersión de Rayleigh.

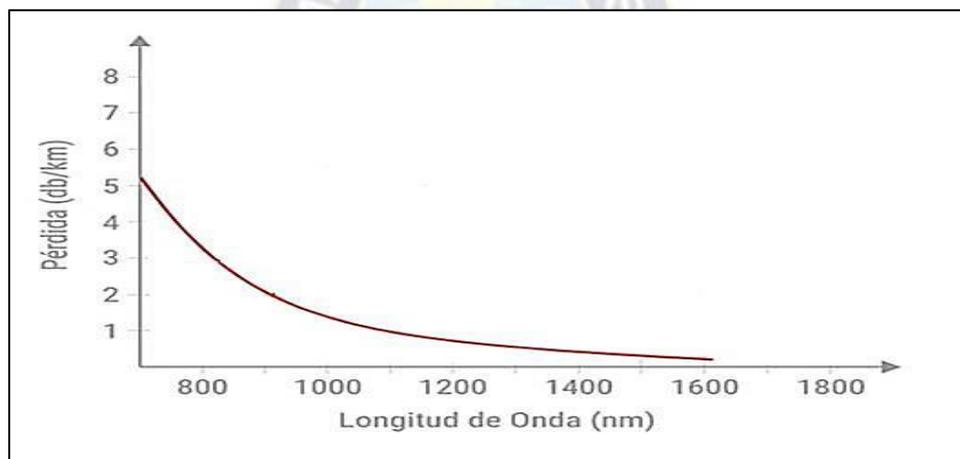


Figura 2.12. Perdida por dispersión de Rayleigh en función de la longitud de onda

Fuente: Elaboración propia en base a la información de (Tomasi, 2003)

2.3.5.6 *Dispersión*

La dispersión es un fenómeno que ocurre cuando un pulso de luz se ensancha durante la transmisión por la fibra, ocasionando que la información se distorsione; si el medio es largo causa un mayor ensanchamiento de los pulsos. El valor de la dispersión en fibras monomodo aumenta

gradualmente arriba de los 1310 hasta que alcance aproximadamente una dispersión cromática de 17 ps / (nm-km) a los 1550 nm. (Castro Lechtaler & Fusa, 1999).

Existen tres tipos de dispersión:

➤ *Dispersión Modal*

Esta pérdida es normalmente la de mayor importancia, generalmente presente en las fibras multimodo es causado por la diferencia en los tiempos de propagación de los haces de luz, dado que estos toman rutas diferentes y llegan en instantes distintos. Esto origina que en el extremo donde se encuentra el receptor el pulso se ensanche por la pérdida de amplitud en comparación a la salida del transmisor (Castro Lechtaler & Fusa, 1999).

➤ *Dispersión Cromática*

La dispersión se genera cuando el emisor no genera “luz monocromática” como es caso del LED, por tanto, al emitirse desde una fuente cromática, estas viajan a velocidades diferentes y esto producirá que en el receptor se tenga un ensanchamiento del pulso de luz, y, consecuentemente la disminución de su amplitud (Castro Lechtaler & Fusa, 1999).

2.3.6 Ventajas y Desventajas de la Fibra Óptica

La fibra óptica presenta ventajas inigualables: mayor velocidad con menos atenuación, menor efecto a las interferencias electromagnéticas, menor tamaño y mayor capacidad de transporte de información. Las incesantes necesidades de ancho de banda, por otro lado, también están produciendo un crecimiento significativo en la demanda de fibra óptica. En la tabla 2.2 se muestra las ventajas y desventajas de la fibra óptica.

Tabla 2.2

Ventajas y desventajas de la Fibra Óptica

Fibra Óptica	
Ventajas	Desventajas
Mayor ancho de banda y transmisión	Conversión Electro/óptica mas costosa
Inmunidad a interferencia estática y electromagnética	Mayor costo en el tema de mantenimiento y reparación
Resistente al medio ambiente	Fragilidad de los hilos de fibra
Baja atenuación	Necesidad de usar transmisores y receptores mas costosos
Mayor Seguridad a interceptaciones	Empalmes entre fibra son mas difíciles de realizar, especialmente en el campo.
Escalable y mas vida útil	
Menor peso, volumen y materia prima	

Fuente: Elaboración propia

2.4 Redes de Acceso FTTX

En esta sección realizaremos una descripción teórica, basándonos en información recopilada sobre las redes de acceso FTTx y, concretamente del sistema FTTH en el que se funda el diseño y despliegue de la red propuesta en el proyecto. Describiremos el funcionamiento general de este tipo de red, estándares, arquitectura y estructura, además, de los servicios que ofrece la red; con todo esto permitiremos ofrecer una visión global de la tecnología FTTH.

FTTx es un término aplicable a aquellas tecnologías de banda ancha que usan en su arquitectura de red la fibra óptica para reemplazar todo o parte de una red de cobre; esta expresión se usa para abarcar varias configuraciones de despliegue de fibra, mismas que se describirán más adelante, y que están diferenciadas únicamente por la ultima letra que sustituye a la “x” y que nos indica el tramo de red implementado con fibra óptica.

Una red de acceso con fibra óptica es llamada comúnmente OAN quien adopta dos tecnologías o arquitecturas: P2P y PON. P2P hace uso de dos fibras, una para transmisión y otra para

recepción, que resulta dificultoso. En cambio la tecnología PON entrega una sola fibra al usuario final que se usa para transmisión y recepción.

Dependiendo el lugar (Gabinete en la calle, edificio, departamento, casa u oficina) se pueden distinguir diferentes tipos de despliegue de redes FTTx, mismas que varían según el alcance de la fibra y proximidad al usuario final.

2.4.1 Red FTTN (Fiber To The Node): Fibra Hasta el Nodo

En este caso el recorrido de la fibra óptica va desde la oficina central hasta un punto alejado del abonado que es un nodo de conmutación (Armario. A partir de donde se brindara servicio a los usuarios por medio de cable coaxial o par de cobre (Keiser, 2006).

2.4.2 Red FTTC (Fiber To The Curb): Fibra Hasta la Acera

La tecnología FTTC, se caracteriza por compartir la ONU y el tendido de fibra óptica entre varios usuarios pertenecientes a una zona de edificios o un área urbana de poca extensión. El ancho de banda de cada cliente dependerá del nivel de división. (Keiser, 2006).

2.4.3 Red FTTB (Fiber To The Building): Fibra Hasta el Edificio

En este caso la fibra óptica va desde la central hasta un cuarto de Telecomunicaciones del Edificio, sin incluir tendido hasta el hogar, los splitters son ubicados en el cuarto de telecomunicaciones de cada piso del edificio, de acuerdo al número de suscriptores (Keiser, 2006).

2.4.4 Red FTTH (Fiber To The Home): Fibra Hasta el Hogar

La red FTTH permite que la fibra óptica vaya desde la oficina central hasta el hogar del usuario final; esta red es la más destacada en telecomunicaciones y esta implementado para

brindar servicios avanzados como el conocido “Triple Play”, es decir, Internet de banda ancha, televisión y telefonía (Keiser, 2006).

2.4.5 Red FTTD (Fiber To The Desk): Fibra Hasta el Escritorio

En este caso la fibra óptica va desde la oficina central hasta el escritorio del usuario, generalmente es usado en ambientes corporativos que permite llegar a cada escritorio con un cable de fibra óptica.

En la figura 2.13 podemos visualizar de manera gráfica los tipos de redes FTTx descritos anteriormente.

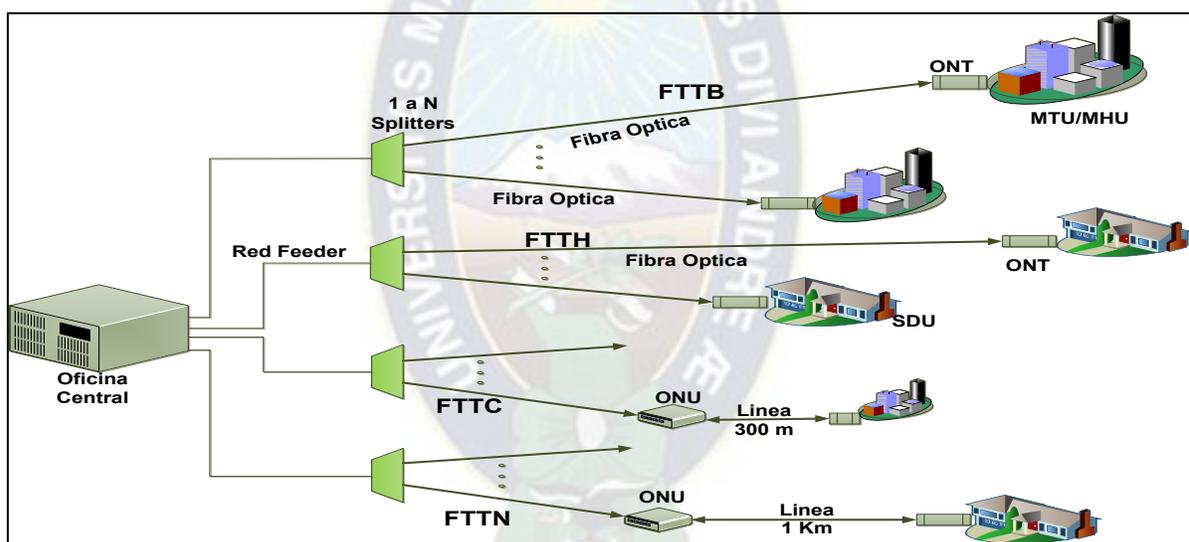


Figura 2.13. Tipos de Redes FTTx

Fuente: Elaboración propia en base a la información de (Keiser, 2006)

2.4.6 Redes De Acceso FTTH

Para conseguir una red eficiente y proporcionar un excelente servicio a los usuarios, la arquitectura de la red debe ser lo más sencilla posible, con el fin de minimizar al máximo los

costos de despliegue y mantenimiento. Por eso, se usa elementos pasivos para no realizar inversiones fuertes, y todo esto lo permiten las redes FTTH.

Una red de acceso FTTH es la que nos permite realizar una conexión física con fibra óptica desde la central o Nodo hasta los abonados o usuarios finales, este tipo de red es el más usado en la actualidad por su capacidad de transportar y transmitir datos y servicios a grandes distancias. La red es pasiva y con una arquitectura punto a punto o punto a multipunto.

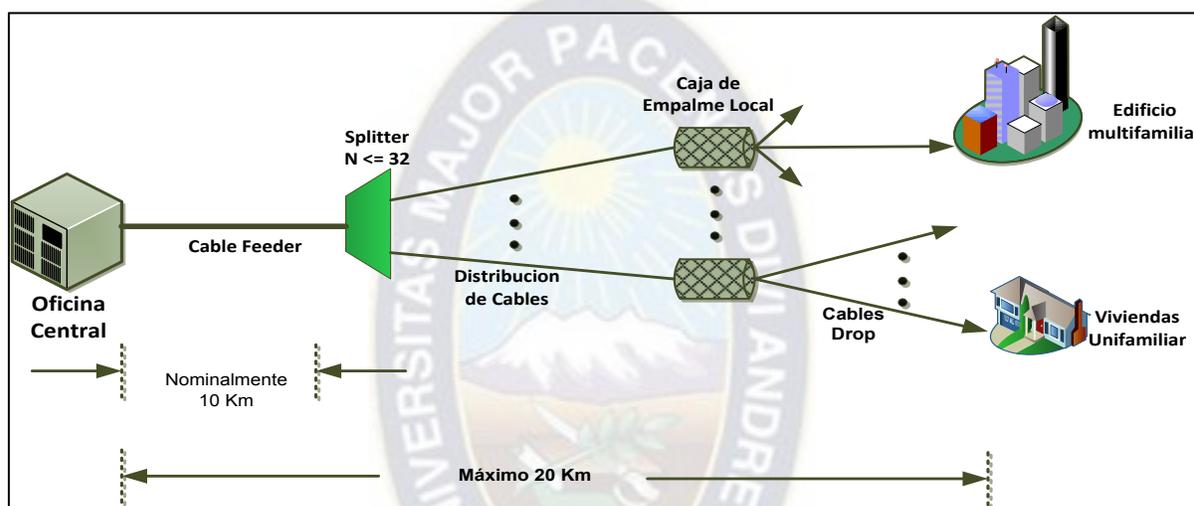


Figura 2.14 Red Básica FTTH

Fuente: Elaboración Propia en base a la información de (Keiser, 2006)

2.4.7 Arquitectura General de una Red FTTH

Una red FTTH sea cual sea su configuración y arquitectura final, propone el uso del medio físico a través de la multiplexación por longitud de onda (WDM), desde la central hasta el usuario. La interconexión entre el abonado y el nodo de distribución que prestara los servicios puede realizarse a través de varias configuraciones físicas, que se detallan a continuación, a las que se denominan como topologías.

2.4.7.1 Topología Punto a Punto

Este tipo de arquitectura posee un costo elevado, pues los enlaces son dedicados. Esta topología no es muy usada para distribución hasta los hogares pues se tiene un enlace directo desde la OLT a los ONT mediante fibra óptica dedicada y suele utilizar un sistema bidireccional. (Kramer, 2005).

Debemos destacar que los equipos utilizados para el envío de información en este tipo de topologías punto a punto son PDH o SDH así como WDM; estos enlaces gozan de alta capacidad y son muy útiles en el mundo empresarial. En la figura 2.15 podemos apreciar la configuración de esta topología.

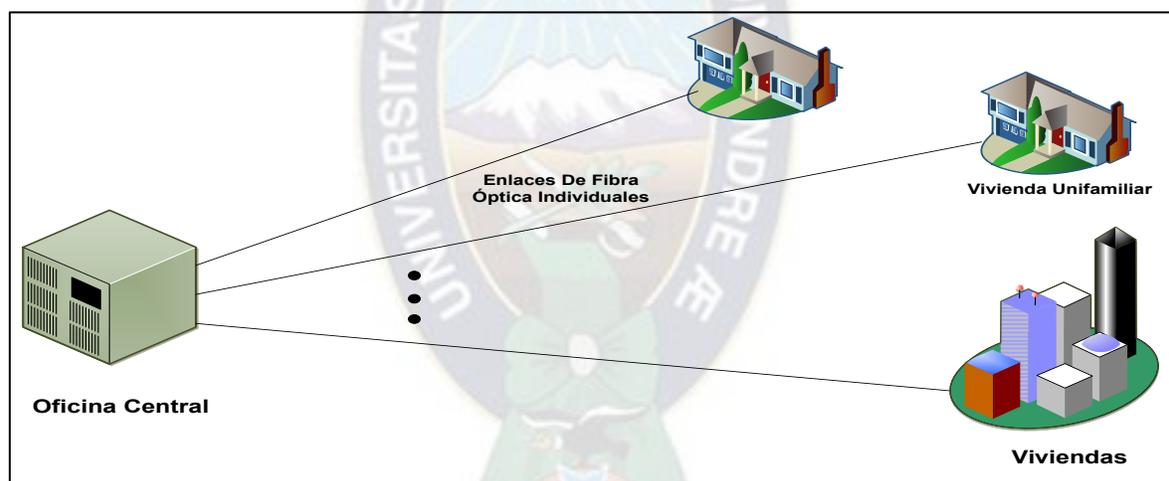


Figura 2.15. Topología Punto a Punto

Fuente: Elaboración Propia

2.4.7.2 Topología Punto a Multipunto

Este tipo de topología es llamada también Red Óptica Pasiva (PON), que hace uso de elementos pasivos sencillos, esto gracias a que se reparte los costos entre varios segmentos de la red, además de tener varias arquitecturas.

2.4.7.2.1 Arquitectura tipo árbol

Esta arquitectura la apreciamos en la figura 2.16, es el más usado en las redes FTTH debido a su bajo costo y gran eficiencia; la misma consisten un tramo único desde la OLT hasta el nodo óptico en donde habrá un divisor óptico desde donde se distribuirá la señal hasta el usuario final.

2.4.7.2.2 Arquitectura tipo Bus

Esta arquitectura la podemos apreciar en la figura 2.16, usa un único enlace y está conectado a los ONTs de la red con el nodo central; el gran inconveniente de la red es su confiabilidad, pues la ruptura de la red principal dejaría sin comunicación a los demás usuarios que están en el tramo posterior de la ruptura del cable.

2.4.7.2.3 Arquitectura tipo Anillo

Es una de las arquitecturas más usadas, debido a su alta confiabilidad. Este tipo de configuración es capaz de recuperar la comunicación después de un fallo utilizando dos técnicas: protección de ruta y el enlace/nodo de recuperación.

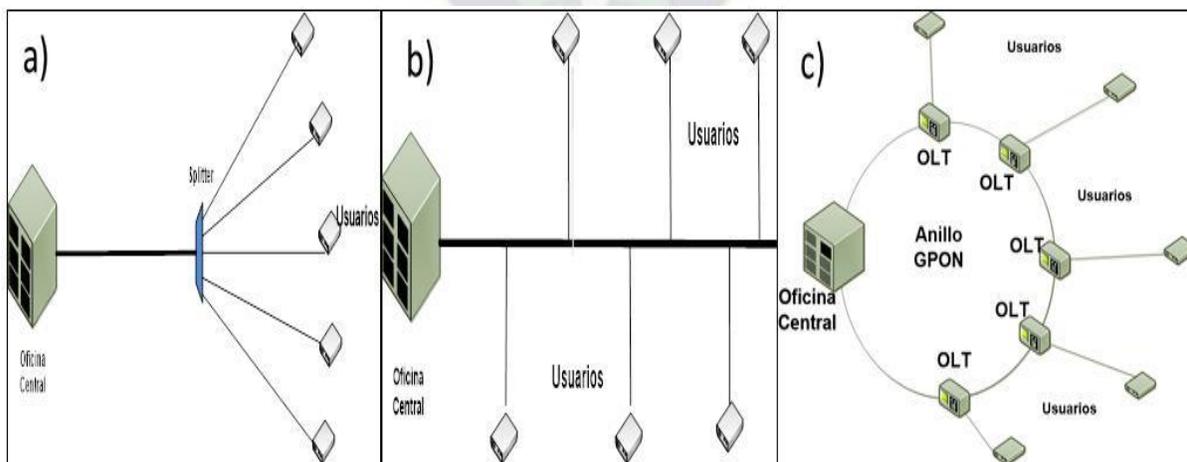


Figura 2.16. Diferentes topologías punto a multipunto. a) Árbol; b) Bus; c) Anillo

Fuente: Elaboración propia

2.4.8 Elementos pasivos de la red FTTH

Además de fibras, fuentes de luz y fotodetectores, muchos otros componentes son utilizados en una red de comunicación óptica para dividir, enrutar y procesar la señal de luz. Los dispositivos se pueden clasificar en términos generales como: componentes pasivos y activos. Los componentes ópticos pasivos juegan un papel importantes en las redes FTTH, ya que no requieren de una fuente de energía externa para funcionar. Por ejemplo, un splitter óptico divide la luz que ingresa en dos o más salidas de potencia de nivel inferior. Los elementos activos requieren algún tipo de energía externa, ya sea para realizar sus funciones o ser utilizada en una operación de más amplio alcance que un dispositivo pasivo, ofreciendo así una mayor flexibilidad. Sin embargo, estos generalmente se usan entre puntos finales en una Red PON.

2.4.8.1 Distribuidor de Fibra Óptica (ODF)



Figura 2.17. Distribuidor de fibra Óptica (ODF)

Fuente: Recuperado de: Vaca, Y. (2015). Experto en Rede Opticas- Elementos de Red. Santa Cruz, Bolivia.

El ODF se trata de un distribuidor óptico donde se encuentran los conectores de cada hilo de fibra, así como los empalmes y patchcords. Este elemento brinda a la red la posibilidad de que los elementos conectados a él logren una escalabilidad adecuada, ordenamiento y manejo adecuado.

2.4.8.2 Acopladores WDM para redes PON

Un componente fundamental de WDM es el multiplexor de longitud de onda. Como se ve en la figura 2.18, en la dirección de operación (de izquierda a derecha) la función del dispositivo consiste en combinar flujos de señal independientes que operan en diferentes longitudes de onda en la misma fibra. Debemos tomar en cuenta que las tasas y formatos de señal pueden ser diferentes en cada longitud de onda. En la dirección inversa (de derecha a izquierda) el dispositivo separa el conjunto de longitudes de onda provenientes en un solo canal o longitud. De esta manera los formatos de datos se pueden seleccionar independientemente en cada longitud de onda. (Keiser, 2006)

Antes del año 2000, la velocidad de transmisión era para enlaces DWDM de 2.5 Gbps, posteriormente las aplicaciones de telecomunicaciones de alta velocidad utilizan muchas longitudes de onda las cuales son más densos de 10 Gbps que funcionan con canales espaciados a 50 GHz, 25 GHz o 12.5 GHz. A diferencia de los paquetes de canales compresos que usa DWDM para los enlaces en telecomunicaciones, una red PON se basa en CWDM (Keiser, 2006).

En una red PON se hace uso de tres longitudes de onda fundamentales para transportar señales ópticas que se asocian a diferentes servicios, estas son 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm. Para separar o combinar estas longitudes en canales de transmisión o recepción se emplea un acoplador de longitud de onda.

Los multiplexores de longitud de onda para aplicaciones CWDM exigen un rendimiento menos estricto que DWDM en ciertos parámetros, como son: cambios a causa de la temperatura, nitidez para la banda espectral, etc. Sin embargo, aún se requiere de un excelente aislamiento de reflexión y baja pérdida por inserción (Keiser, 2006).

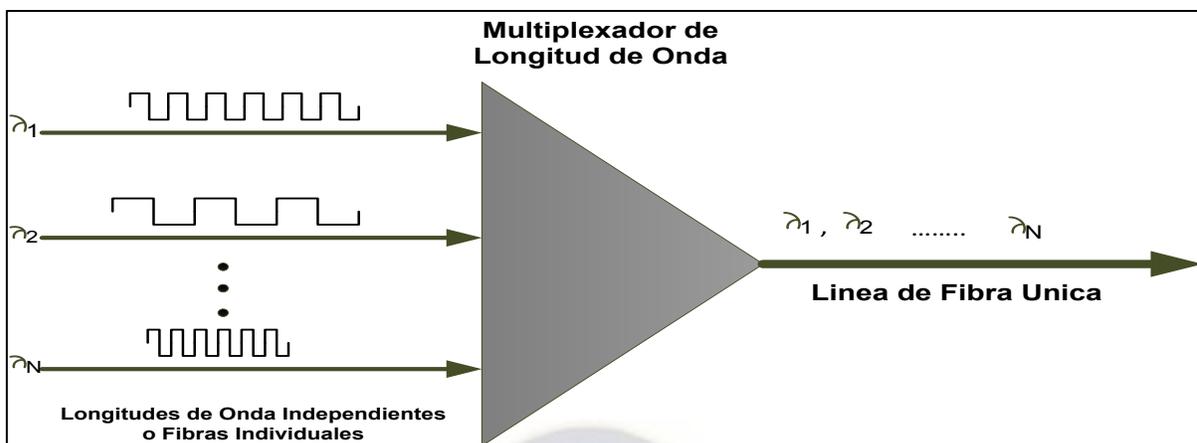


Figura 2.18 Concepto Básico de Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM)

Fuente: Elaboración Propia en base a información recuperada de (Keiser, 2006)

2.4.8.3 Fibra Óptica

La fibra óptica es un elemento pasivo dentro de la red FTTH, y la más utilizada es la del tipo monomodo. Se utilizan diferentes diseños de cable dependiendo en que sección de la red se implementara, tanto su forma como estructura varía si este será usado para tendido aéreo, tendido subterráneo o a través de ductos en un ambiente, etc. (Keiser, 2006).

Para evitar sobre tensiones que sobrepasen la resistencia del cable durante el proceso de tendido, generalmente incluye elementos para resistir tales fuerzas y puede ser fabricado con una estructura más resistente, implementando en el mismo cable hilos de nylon resistente a tensiones, alambres de acero, varillas de fibra de vidrio, etc.

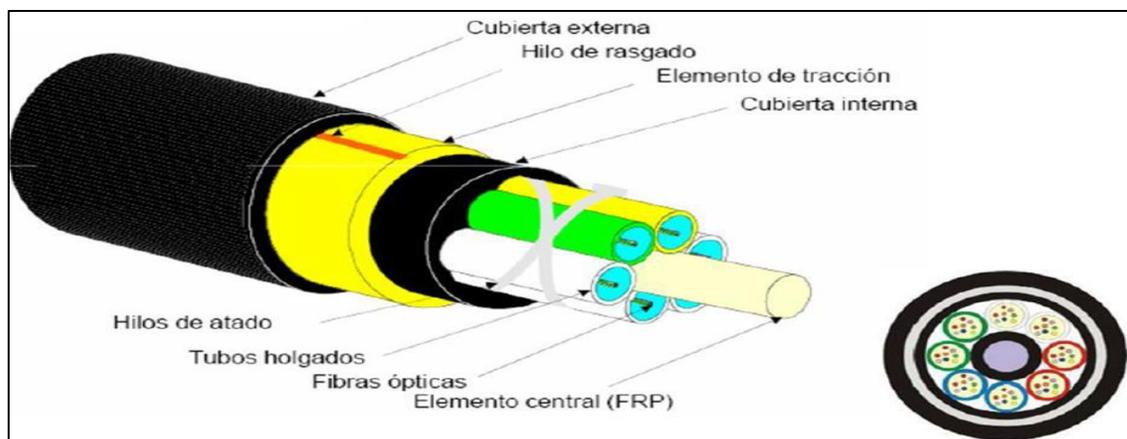


Figura 2.19. Estructura y Características De Cable De Fibra Óptica

Fuente: Recuperado de Vaca, Y. (2015). Experto En Redes Ópticas- Elementos De Red. Santa Cruz, Bolivia.

Para una protección extra de los tubetes que contienen a las fibras, generalmente estos son más largos que el cable que los contiene, de esta manera se puede aislar a las fibras del cable y permitir un movimiento libre dentro del tubo y con una baja tensión al momento de realizar el tendido aéreo. Los cables con estas características generalmente se usan para exteriores; en cambio las que son simples con una capa de blindaje de acero dentro de una chaqueta se usa en instalaciones internas como es el caso del cable Drop (Keiser, 2006).

Los cables de fibra óptica pueden contener hasta 432 hilos contenidos en tubetes. Para distinguir entre diferentes fibras en un cable estas se designan por un color de recubrimiento bajo el estándar TIA/EIA-598-B donde hace una codificación de colores, ya que nominalmente hay 12 fibras en un solo grupo, las hebras del 1 al 12 son únicas, en caso de existir más de 12 hilos dentro de un cable, estas se agrupan en una cantidad de 12 hilos y se vuelve a repetir el color fundamental de las 12 fibras primarias y se añade un línea trazada de color negro o amarillo.

Para una mejor comprensión lo podemos ver en la tabla 2.3.

Tabla 2.3

Fibra óptica estándar e identificaciones de color de tubo suelto

Numero de Fibra	Color	Numero de fibra	Color
1	Azul	13	Azul/Traza negro
2	Naranja	14	Naranja/Traza negro
3	Verde	15	Verde/Traza negro
4	Café	16	Café/Traza negro
5	Gris	17	Gris/Traza negro
6	Blanco	18	Blanco/Traza negro
7	Rojo	19	Rojo/Traza negro
8	Negro	20	Negro/Traza amarillo
9	Amarillo	21	Amarillo/Traza negro
10	Violeta	22	Violeta/Traza negro
11	Rosa	23	Rosa/Traza negro
12	Celeste	24	Celeste/Traza negro

Fuente: Elaboración propia

2.4.8.4 Divisor Óptico (Splitter)

Estos dispositivos son un componente clave en una red óptica pasiva para distribución de las señales ópticas. Su función es dividir la señal óptica; debido a su capacidad de multiplexar y demultiplexar la señal dividen la potencia en partes iguales. Otra característica que tienen es dividir la potencia recibida entre los múltiples puertos de salida y viceversa. Los splitters vienen en distintos tipos de división representado de forma 1: N donde N puede ser: 2, 4, 8, 16, 64 e inclusive 128. Por ejemplo, un divisor de 1:2 que tiene dos ramificaciones tiene una pérdida de 3dB, uno de 1:4 donde se agregan otras dos ramificaciones a cada ruta se añaden otros 3 dB de pérdida sumando o teniendo una pérdida total de 6 dB; en la tabla 2.4 se muestra las pérdidas por inserción de los splitters (Keiser, 2006).

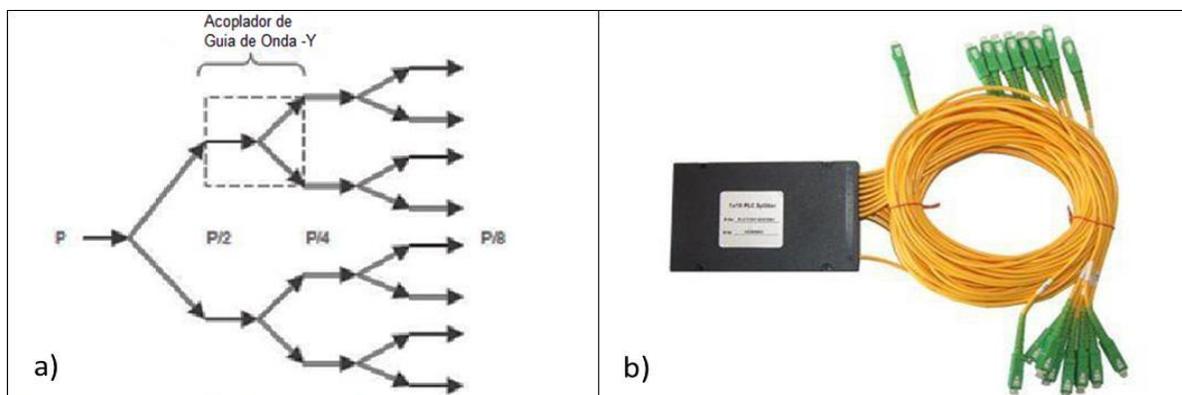


Figura 2.20 . a) Estructura de la utilización de Splitters PLC para la fabricación de un divisor de potencia óptica 1x8 b) Splitter de Tecnología PLC

Fuente: Recuperado de Vaca, Y. (2015). Experto en Rede Ópticas- Elementos de Red. Santa Cruz, Bolivia.

El splitter basado en PLC que se muestra en la figura 2.20, se compone de una serie de guías de onda tipo Y unidas. El funcionamiento de este dispositivo es recíproco, es decir, que pueden funcionar como splitters para dividir una fuente de luz en varios haces o multiplexar flujos ópticos de las fibras individuales en una fibra óptica común (Keiser, 2006).

Tabla 2.4

Atenuación de splitters

Numero de Splitteo	Atenuación dB (Max)
1:2	-3.6
1:4	-7
1:8	-11
1:16	-14
1:32	-18
1:64	-21.5

Fuente: Elaboración propia

2.4.8.5 Empalmes Ópticos

Un factor significativo en cualquier instalación de una red de fibra óptica es el empalme óptico con una baja pérdida. Estos se realizan en la cabecera de red, en la red de distribución, en puntos intermedios dentro de un cable en el que dos fibras se unen y en puntos intermedios en un enlace donde se conectan dos cables. Existen dos tipos de empalmes, permanente o temporal. La unión permanente de dos fibras se conoce como empalme, mientras que una unión desmontable en el extremo de un cable generalmente se denomina conector (Keiser, 2006).

Las técnicas de empalme óptico más importantes son las siguientes:

- Empalme por Fusión, en el que se usa un equipo para la soldadura de las fibras a unir, las pérdidas nominales son del orden del 0.01 a 0.1 dB.
- Empalme Mecánico, se usa un conector para unir las fibras, las pérdidas en este tipo de empalmes son del orden de 0.2 a 1 dB.
- Empalme con métodos Adhesivos, en el que se unen las fibras con pegamentos especiales.

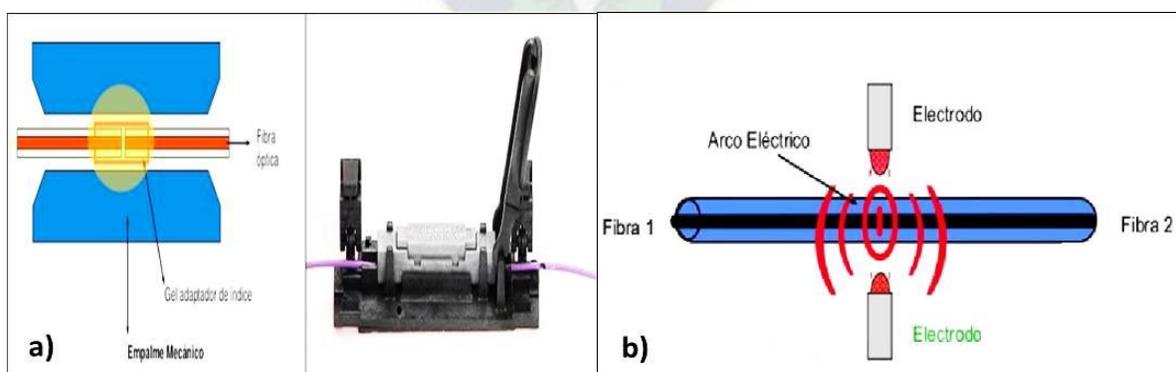


Figura 2.21. a) Empalme Mecánico b) Empalme por Fusión

Fuente: Recuperado de Vaca, Y. (2015). Experto en Redde Ópticas- Elementos de Red. Santa Cruz, Bolivia.

2.4.8.6 Conectores Ópticos Para Fibra Óptica

Los conectores son elementos que se encuentran en los extremos del cable de la fibra óptica como los patchcord, estos permiten a la fibra una interfaz conveniente para la inserción en algún equipo o elemento de la red. Estos son de diferentes tipos, hay unos que se atornillan, giran o encajan. Los diseños a presión son los más utilizados para las aplicaciones PON, permiten reconectarse varias veces dependiendo las exigencias de la red (Keiser, 2006).

Estos conectores ópticos no solo brindan la facilidad de conexión de enlaces dentro de la red, pues su uso también tiene algunos efectos en la red, entre estos efectos son la atenuación, pérdidas por retorno y clase de longitud de onda; la atenuación oscila entre 0.2 a 0.5 dB. Están compuestos de tres elementos: un cuerpo exterior de plástico o de metal, tienen un mecanismo de soporte del conector al acoplador tipo rosca o de inserción “Push-pull”, por último una férula o casquillo.

En la tabla 2.5 se describe la característica de los conectores más usados dentro de las redes GPON/FTTH.

Tabla 2.5.

Características de Conectores Ópticos Típicos

Tipo De Conector	Perdida Por Insercion (dB)	Tipo de Fibra Optica	Caracteristicas
 SC	0.25	SM / MM	Suscriptor conector (SC), Tipo de conector Push-pull que proporciona insercion y alineacion al mismo tiempo de la conexión
 LC	0.1	SM / MM	Lucent Conector (LC), conector del tipo push-pull, es mas seguro y compacto que SC.
 ST	0.25	MM	Straight Tip (ST), su ajuste es similar un conector BNC.
 FC	0.3	SM / MM	Ferrule Connector (FC), es un conector roscado con una fijacion resistente a vibraciones, se usa en instrumentos como el OTDR y en sistemas CATV.
 MTRJ	0.25	MM	Mechanical Transfer-Registered Jack (MTRJ), es un conector duplex, es decir sostiene dos fibras

Fuente: Elaboración propia

2.4.8.7 *Cajas de Empalme o Muflas*

Las cajas de empalme o Muflas proporcionan un medio de protección contra las inclemencias del ambiente a los empalmes o conexiones realizadas en la fibra. Existen una variedad de las mismas dependiendo si será usado para montajes exteriores o interiores. Las mufas para uso externo están fabricadas de un material resistente y con un sellado impermeable que permiten resguardar empalmes de hasta cuatro cables de diámetro diferente.

Existen muflas tipo domo como se observa en la figura 2.22 que se usan para dar continuidad al enlace de la fibra, pueden albergar de 12 hasta 288 hilos, algunos de ellos con un sistema de aterramiento.



Figura 2.22. Cajas de Empalme o Muflas

Fuente: Recuperado de (Vaca, 2015). Experto en Redes Ópticas- Elementos de Red. Santa Cruz, Bolivia.

2.4.8.8 *Caja de Distribución Óptica (NAP)*

Es conocida también como NAP o caja terminal, se encarga de conectar la red de distribución con las conexiones individuales a cada usuario, generalmente en este punto se realizan las tareas de operación y mantenimiento. Albergan pigtailes ópticos que son usados para conectar los hilos

del cable de distribución y que finaliza en la roseta óptica. La ubicación como el número de puertos de salida de la NAP dependerá del diseño y cantidad de hogares en el sector de despliegue.



Figura 2.23. Caja de Distribución NAP

Fuente: Recuperado de Vaca, Y. (2015). Experto en Redes Ópticas- Elementos de Red. Santa Cruz, Bolivia.

2.4.8.9 Roseta Óptica

La roseta óptica es el punto donde termina una red de acceso óptico y conecta la red de dispersión con el equipo activo ONT mediante un patchcord. En este elemento se realizan mediciones o pruebas de pérdidas en todo el enlace.



Figura 2.24. Roseta Óptica

Fuente: Recuperado de Vaca, Y. (2015). Experto en Redes Ópticas- Elementos de Red. Santa Cruz, Bolivia.

2.4.8.10 Herrajería para tendido aéreo

En el tema de la herrajería usada en las redes de telecomunicaciones, en lo general afectan en gran medida al precio de la instalación por la cantidad de elementos que se usan, mismos que se suman a los costos de adquisición y la mano de obra. A continuación realizaremos una breve descripción de los herrajes para tendido aéreo.

➤ **Herraje de retención (Tipo Terminal)**

Se usa en el inicio o fin de un enlace así como en los cambios de dirección de la ruta, en este caso denominado Duplo, en tramos mayores o iguales a 90 metros y después de dos herrajes tipo Paso consecutivos.

Este tipo de herrajes está constituido de lo siguiente:

- Varillas de extensión
- Material de sujeción
- Herraje terminal para poste

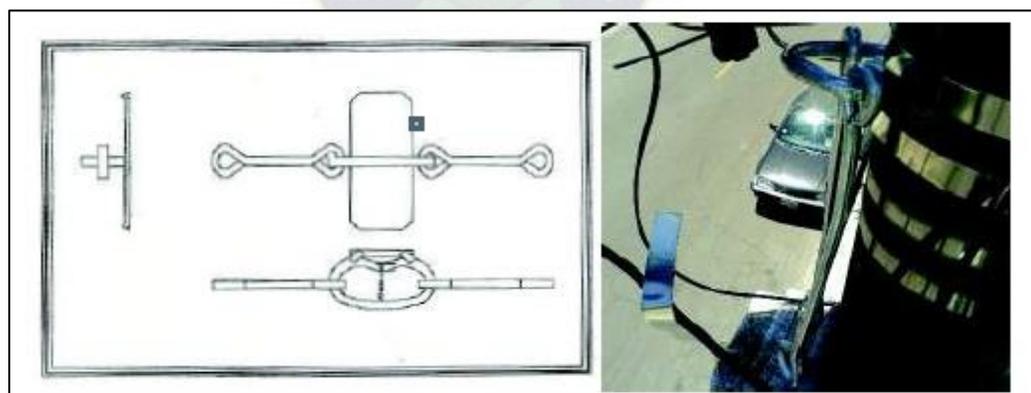


Figura 2.25 Herraje de retención de fibra tipo Terminal

Fuente: Recuperado de Vaca, Y. (2015). Experto en Redes Ópticas- Elementos de Red. Santa Cruz, Bolivia.

➤ **Preformado**

Este tipo de herrajería es empleado para sostener la fibra óptica tipo ADSS en el herraje tipo Terminal o Duplo de un guarda cabos llamado (Thimble Clevis), que protege la zona del lazo de retención. Al momento de adquirir este tipo de material para el tendido aéreo, se debe tomar en cuenta que los preformados sean específicamente para cable óptico, ya que el preformado de tipo eléctrico no brinda la misma sujeción al cable de fibra e incluso podría dañarlo.

Las varillas que conforman o componen el preformado tienen las puntas de sus extremos pulidas para evitar daños en el cable de fibra óptica y durante el montaje; estos elementos además llevan en su interior un material antideslizante para evitar que el cable resbale o se deslice. En la figura 2.26 podemos apreciar el preformado para cable óptico.

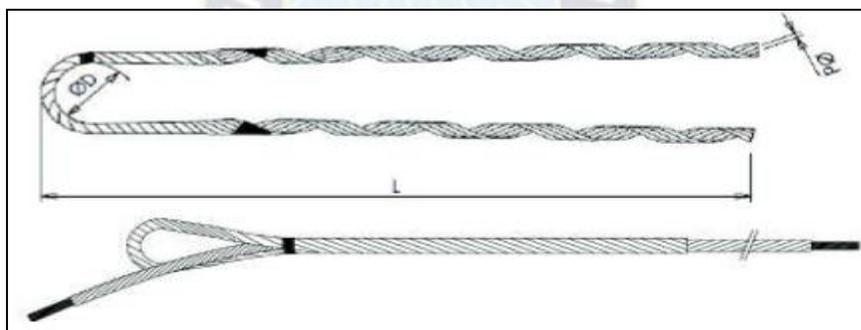


Figura 2.26 Preformado para tendido de cable óptico

Fuente: Recuperado de Vaca, Y. (2015). Experto en Redes Ópticas- Elementos de Red. Santa Cruz, Bolivia.

➤ **Herraje de suspensión de fibra (Tipo Paso)**

Este elemento para tendido aéreo se usa en tramos rectos en la ruta del despliegue para distancias menores a 100 metros. Está constituido por lo siguiente:

- Un elemento de soporte del cable de forma cilíndrica, misma que en su interior tiene un material antideslizante para evitar que el cable de fibra óptica resbale.
- Un herraje básico de soporte, que además incluye un material de sujeción al poste.

En la figura 2.27 podemos apreciar la forma del herraje tipo Paso.

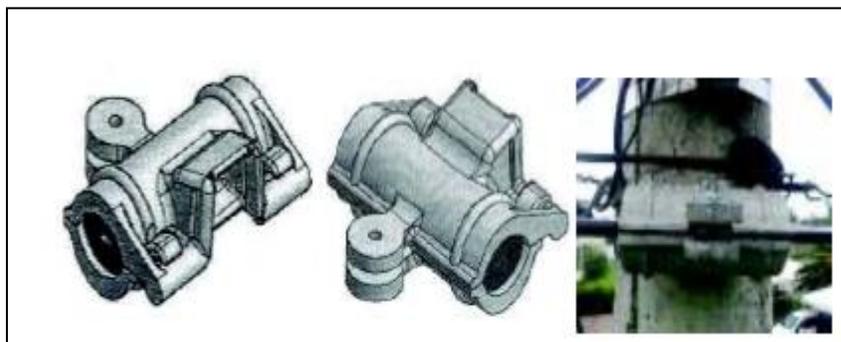


Figura 2.27 Herraje tipo Paso para tendido óptico

Fuente: Recuperado de Vaca, Y. (2015). Experto en Redes Ópticas- Elementos de Red. Santa Cruz, Bolivia.

➤ **Herraje (Cruce americano)**

El herraje cruce americano se usa en aquellos tramos donde los postes presentan una trayectoria que invade los límites de terrenos en esquinas de manzanos o tramos donde la ruta debe formar ángulos rectos para evitar obstáculos.

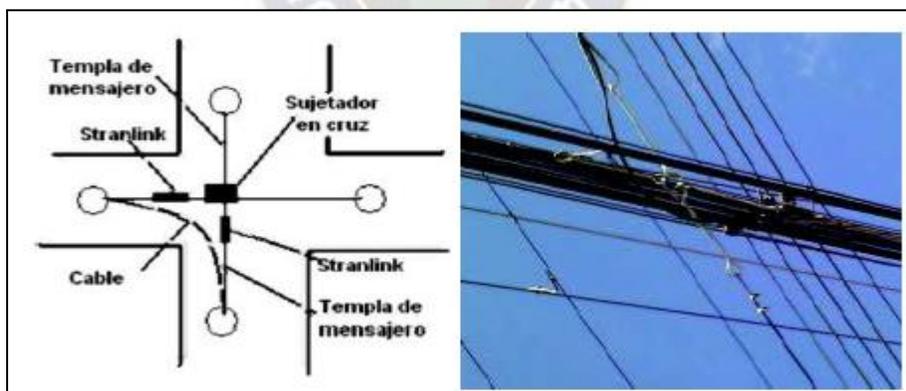


Figura 2.28 Herraje tipo cruce americano

➤ **Cruceta de reserva**

La Cruceta es un elemento para almacenamiento o reserva técnica del cable ADSS a lo largo del enlace de fibra óptica, de tal manera que permite almacenar el excedente de cable ADSS. La ubicación en el poste o torre se realiza a través de un soporte de fijación a compresión.

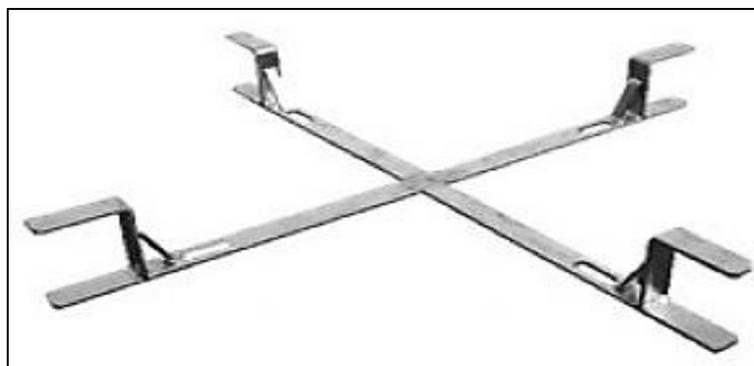


Figura 2.29 Cruceta para reserva de vanos de cable óptico ADSS

Fuente: Recuperado de Vaca, Y. (2015). Experto en Redes Ópticas- Elementos de Red. Santa Cruz, Bolivia.

2.4.9 Red de Distribución Óptica (ODN)

Una ODN está formada por la red Feeder, la red de distribución y la red de dispersión, donde también se ubican los armarios (FDH), splitters, las cajas de distribución óptica (NAP) y la roseta.

➤ Red Feeder

Se refiere a la red troncal que conecta el distribuidor óptico ODF ubicado en el nodo central con el armario FDH en caso de que haya uno o directamente hasta una NAP o mufla que alberga un splitter primario. La red feeder generalmente va canalizado por ductos PVC hasta llegar al armario donde se encuentran los Splitters y en algunos casos es aéreo.

➤ Red de Distribución

La red de distribución generalmente une el armario FDH con la caja NAP, estas cajas pueden estar ubicadas en postes o cámaras subterráneas y el cableado puede ser aéreo o canalizado, dependiendo de los criterios que se manejen durante el diseño de la red GPON.

➤ *Red de Dispersión*

Es el segmento de la red que va desde las cajas de distribución NAP hasta la roseta óptica donde se ubica en el usuario final, el cable usado es del tipo Drop que puede contener 1, 2 o más hilos de fibra óptica.

2.5 Introducción a Redes Ópticas Pasivas (PONs)

El acceso de fibra óptica hasta el usuario, llamado fibra hasta el hogar (FTTH), se está convirtiendo en una tecnología preparada para el futuro que podrá soportar los próximos servicios multimedia interactivos, y hoy en día los operadores están invirtiendo en redes de este tipo.

Una red óptica pasiva (PON) resulta atractivo, ya que este tipo de red contiene componentes no activos (pasivos) entre la oficina central y los abonados finales. Estos elementos son ubicados en la red de transmisión para conducir las señales de tráfico que son contenidas dentro de longitudes de onda específica hasta los usuarios y de vuelta a la oficina central (Keiser, 2006).

El reemplazo de los componentes activos por pasivos dentro de una red de fibra óptica supone un ahorro de costos para el proveedor de servicios, pues elimina la necesidad de energizar y administrar los componentes activos dentro de la red y, con la probabilidad baja de presentar problemas o fallas lo que también reduce costos de mantenimiento general (Keiser, 2006).

2.5.1 Red PON (Passive Optical Network)

En la figura 2.30 vemos la arquitectura básica de una red PON, típicamente la red de fibra óptica conecta un equipo de conmutación ubicado en la oficina central hasta los usuarios finales (abonados). Una oficina central típicamente está compuesta de conmutadores de telefonía pública, servidores de video, Routers IP, switches Ethernet y Switches ATM.

En la oficina central, los datos y voz son digitalizados, combinados y enviados hasta el usuario a través de la red óptica usando la longitud de onda de 1490 nm. El retorno de los datos y voz

desde el usuario hasta la oficina central se hace a través de la longitud de onda de 1310 nm. El servicio de video se envía a través de la longitud de onda de 1550 nm desde la central y en este tipo de servicio no hay retorno desde el usuario. (Keiser, 2006)

El equipo de transmisión es el OLT y este se ubica en la oficina central, donde el usuario se ubica la ONT; desde la oficina central un hilo de fibra óptica monomodo va hacia un splitter óptico que se ubica cerca de los usuarios finales, edificios, etc., el Splitter divide la señal en N salidas que puede variar entre 2 a 64, pero típicamente son 8, 16 o 32. La red de transmisión óptica desde la oficina central hasta el usuario puede llegar a hasta los 20 Km, por tanto los elementos activos de una red PON solo se ubican en la oficina central y en el usuario final (Keiser, 2006).

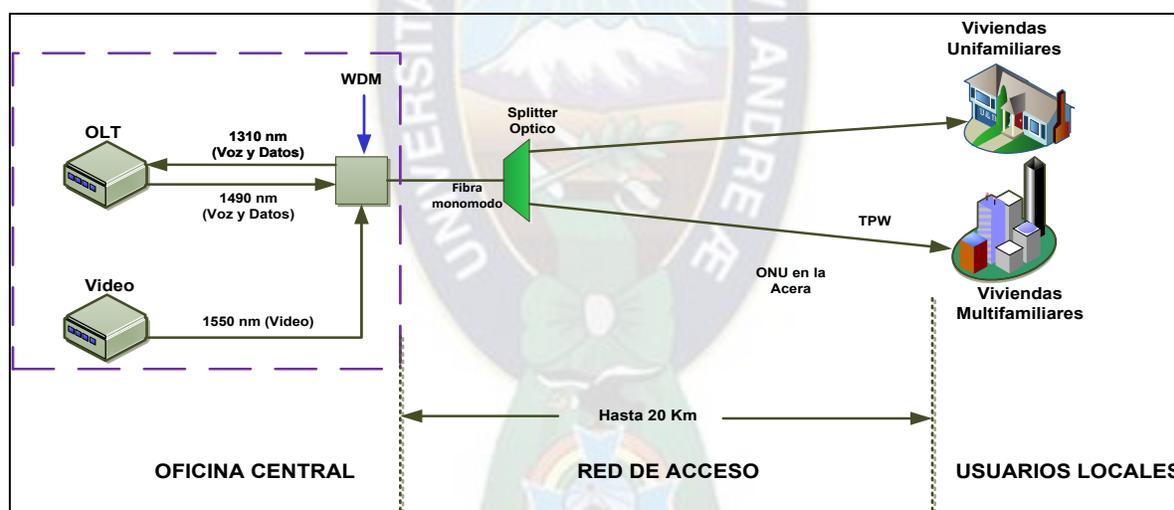


Figura 2.30. Arquitectura Típica de Una Red Óptica Pasiva (PON)

Fuente elaboración propia en base a la información de: (Keiser, 2006)

2.5.2 Estándares de las Redes Ópticas Pasivas (PON)

Constituyen una familia de redes (xPON), cuyo origen se encuentra definido por FSAN, un grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones, esto con el objetivo de unificar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas. Así pues, a continuación

describiremos las distintas arquitecturas o estándares de las redes PON existentes como sus características.

- **ATM – PON (Asynchronous Transfer Mode Over PON):** Los sistemas APON fueron implementados principalmente en América del Norte por los RBOC para sus proyectos FTTP. El estándar original G.983.1 publicado en 1998 definió velocidades de datos de 155.52 Mbps y 622.08 Mbps. Una versión más nueva agregó una velocidad de transmisión descendente de 1244.16 Mbps. Los proveedores de APON pueden optar por implementar velocidades de transmisión descendentes y ascendentes simétricas o asimétricas. Las celdas ATM (Modo de Transmisión Asíncrona), son repartidas entre el número de ONU que estén conectadas; en el canal de bajada se agregan dos celdas más, una para indicar el destinatario y otra de información de mantenimiento (Lam, 2007). La principal limitante de la red APON es la limitación de su velocidad, pues como ya indicamos es solamente de 622.08 Mbps.
- **BPON (Broadband PON):** Surgió como una mejora de la tecnología APON; integra y brinda más servicios tales como Ethernet, video, VPL y WDM, logrando de esta manera mayor ancho de banda. Al ser una mejora de APON posee las mismas características que este, con la diferencia de que brinda soporte a estándares de banda ancha. (Green, 2006). Admite tráfico asimétrico de 622 Mbps para bajada y de 155 Mbps para subida, además de tráfico simétrico de 622 Mbps; otra característica es que con esta tecnología se tiene un alcance de 20 Km y llega a tener un máximo de 64 usuarios por puerto BPON (Green, 2006).
- **EPON (Ethernet PON):** Esta nueva arquitectura trabaja bajo el estándar IEEE 802.3ah, el cual define el llamado “Ethernet en la última milla”, la característica

principal de esta tecnología es que transporta tráfico nativo de red Ethernet en lugar del clásico tráfico ATM (Kramer, 2005).

Posiblemente el principal atractivo que presenta esta tecnología es su optimización para el tráfico IP frente a las alternativas basadas en ATM. Debido a las ventajas de escalabilidad, simplicidad y capacidad de proveer acceso a todos los servicios, EPON fue adoptado rápidamente. En cuanto a las velocidades, EPON se maneja 1,244 Gbps simétrico, tanto para el canal de bajada como el de subida, debemos destacar también que establece una longitud de onda dedicada para la difusión de video.

- **GPON (Gigabit PON):** Su arquitectura está aprobada por la ITU-T, la principal característica es ofrecer un ancho de banda mayor que las demás tecnologías y lograr más eficiencia en el transporte de servicios basados en IP.

Las velocidades manejadas van en el rango de los 2.488 Gbps para el canal de bajada y de 1.244 Gbps para la subida, lo que proporciona velocidades muy altas para los abonados que pueden ser 100 Mbps o muchos mayores. Otra ventaja es su posibilidad de continuar brindando servicios tradicionales sin necesidad de cambiar equipos para que sean compatibles con otra tecnología; esto es posible gracias a que GPON usa su propio método de encapsulamiento (GEM), el cual permite soporte para todo tipo de servicios.

- **10GEPON (10Gigabit Ethernet PON):** Se encuentra definida en el estándar IEEE 802.3av, misma que se desarrolló para aumentar la velocidad de transmisión de GEAPON. Esta tecnología define dos formas de transmisión simétrica, a una velocidad de 10,31 Gbps y una asimétrica de 1,25 Gbps para el canal ascendente y 10.31 Gbps para bajada. Los datos de upstream y downstream se transmiten a través de una fibra óptica, donde se realiza multiplexación WDM para separar los canales de 1Gbps y 10

Gbps en sentido descendente y una combinación de multiplexación CWDM y TDM para separar los canales en sentido ascendente, además de permitir que GEPON y 10GEPON puedan coexistir en la misma infraestructura. Asigna longitudes de onda de 1480 – 1599 *nm* para 1Gbps y de 1575 – 1580 *nm* para 10 Gbps. La banda para 1 Gbps se propaga en el intervalo de 1260 – 1360 *nm*, mientras que la banda de 10 Gbps lo hará en 1260 – 1280 *nm*, la banda de 1550 – 1500 está reservada para transmisión de video downstream (Ishii & Yamashita, 2009).



2.5.2.1 Comparación de las Redes PON

En la tabla 2.6 se presenta un resumen de las tecnologías de las redes PON descritas previamente, realizando una comparación de las características más relevantes.

Tabla 2.6.

Comparación Entre las tecnologías de las Redes PON

Características	BPON	EPON	GPON	10GPON
Organización	ITU-T	IEEE	UIT-T FSAN	IEEE EFM
Estandar	G.983.1-8	802.3ah	G.984.1-5	802.3av
Transmisión	Simétrico	Simétrico	Asimétrico	Asimétrico/Simétrico
Velocidad de transmisión Up/Down (Gbps)	1,244/0.622 ; 0,622/0,155	1,25/1,25	1,25/2,5	10,31/10,31 ; 1,25/10,31
Capacidad de transmisión (Gbps)	1,0	1,0	1,0 2,0	10
Nivel de División de Splitter Min/Max	1:32	1:16 /1:32	1:64 /1:128	1:16/1:32/1:64
Alcance máximo de Fibra (Km)	20	10 o 20	20 o 60	10 o 20
Protocolo de Capa 2 (Payload)	TDM, ATM	Ethernet	Ethernet, ATM, ATM, TDMA	Ethernet, TDM, CWDM
Tipo de Fibra Óptica	Monomodo	Monomodo	Monomodo	Monomodo
Codificación en Línea	NRZ	8B / 10B	NRZ	Up: 8B/10B Down: 64B/66B
Banda de Longitud de Onda (l)	Up: 1260 - 1360 nm Down: 1260 - 1360 nm	Up: 1300 nm Down: 1490 nm	Up: 1260 - 1360 nm Down: 1480 - 1500 nm / 1550 - 1560 nm	Up: 1260 - 1280 nm (10Gbps) Up: 1260 - 1360 nm (1Gbps) Down: 1575 - 1580 nm (10Gbps)
Seguridad Downstream	AES	DES	AES	DES
Corrección de errores	No Definido	No Definido	FEC	FEC
Eficiencia	Down: 83% Up: 80%	Down: 80% Up: 60%	Down: 93% Up: 94%	No Definido
Aplicación	Redes	Redes LAN, PON, FTTx	Redes PON, FTTx, Triple Play, CCTV y datos	Aplicaciones avanzadas en redes de campus y metro Ethernent

Fuente: Elaboración Propia en base a la información consultada

2.6 Redes GPON

Como vimos en los apartados anteriores, GPON resulta de la mejora en varias de las características y recomendaciones de redes basado en las tecnologías PON (Passive Optical Network). Básicamente está conformada por una red de Fibra óptica con elementos pasivos.

Una red GPON permite manejar anchos de banda de amplio margen para la prestación de servicios a nivel comercial y residencial, además con las recomendaciones y estándares que se tiene por parte de la UIT, el transporte que maneja referente a servicios IP y su capa de transporte diferente permite que esta tecnología sea muy versátil.

Entre los estándares que regulan la tecnología GPON debemos destacar las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), concretamente en los apartados 1, 2, 3, 4 y 5 de la UIT-T G.984. Estas recomendaciones de manera detallada la podemos encontrar en su página Web: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/s>.

El objetivo de las recomendaciones es definir un proceso de desarrollo simple y garantizar la compatibilidad entre dispositivos dentro y fuera de la red.

2.6.1 Recomendaciones UIT – T G.984.x para Redes GPON

2.6.1.1 Recomendación UIT – T G.984.1 (Características Generales)

Esta recomendación es una introducción hacia el estándar GPON y, nos muestra las características generales de funcionamiento y constitución con el propósito de llegar a la convergencia de equipos, así como la topología.

Entre las características generales incluye ejemplos de servicios, interfaces de usuario-red (UNI) y de nodo de servicio (SIN) que son necesarios para los operadores de red. También

menciona que la red GPON debe ser capaz de transportar diferentes tipos de servicios como: Ethernet, telefonía analógica, tráfico E1, ATM de 155 Mbps, etc. Las longitudes de onda se especifican en el rango de los 1480 a 1550 *nm*, esto para los enlaces de bajada de voz y tráfico de datos, y 1260 a 1360 *nm* para la subida (Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T), 2008).

Los sistemas GPON se caracterizan por un sistema de terminación de línea óptica (OLT) y una unidad de red óptica (ONU) o una terminación de red óptica (ONT) con una red de distribución óptica (ODN) pasiva que los interconecta. Por lo general existe una relación o configuración de punto a multipunto entre la OLT y las ONU/ONT (Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T), 2008).

2.6.1.2 Recomendación UIT – T G.984.2 (Especificación de la Capa Física Dependiente del Medio PMD)

La recomendación, es un conjunto de especificaciones técnicas para un correcto manejo de la capa dependiente del medio físico de GPON. Esta capa cubre tasas nominales de velocidad que maneja este estándar, tal como están especificadas de 1.25 Gbps y de 2.5 Gbps en el canal de bajada y de 155 Mbps, 622 Mbps, 1.25 Gbps y 2,5 Gbps en la dirección de subida y explicar el manejo de las señales (Simétrico/asimétrico). La recomendación también incluye especificaciones de la señal Opto-eléctrica, recuperación de reloj y mecanismos de corrección de errores. En la tabla 2.7 podemos ver algunas de las características más importantes que se tiene de esta recomendación. (Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T), 2019)

Tabla 2.7

Resumen de características más importantes de la recomendación UIT.

Parametro	Especificaciones
Velocidades de Acceso	Dow: 1.2 /2.5 Gbps Up: 155/622 Mbps y 1.244/2.448 Gbps
Clases Opticas	A -B - C
Encabezado	La misma es especificca para cada velocidad
Nivel de Potencia	La salida de la potencia optica puede operar en tres diferentes niveles de acuerdo a la tolerancia del receptor
Confiabilidad de Datos	Se puede utilizar FEC como una opcion de la correccion de errores

Fuente: Elaboración propia en base a la información obtenida de: (Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T), 2008), <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/s>

Otra recomendación que nos menciona la UIT es la especificación del desempeño de transmisores y receptores ópticos a distancias de transmisión de 10 y 20 Km, para este cálculo se usan los siguientes valores:

Clase A: 5 a 20 dB

Clase C: 15 a 30 dB

Clase B: 10 a 25 dB

Clase C+: 17 a 32 dB

Clase B+: 13 a 28 dB

En dichos rangos están incluidas las pérdidas generadas por empalmes, conectores, divisores ópticos y fibra óptica. Debemos notar que la arquitectura que se analiza en el manejo de la PMD es una del tipo punto a multipunto o tipo árbol.

2.6.1.3 Recomendación UIT – T G.984.3 (Especificación de la Capa de Convergencia de Transmisión TC)

La especificación de la capa de convergencia de transmisión (TC), describe las capacidades en Gigabits para transmisión en redes GPON, proporcionar servicios de banda ancha, el plano de longitud de onda y los principios de diseño de la red integral. Otra de las recomendaciones que expone son los formatos de trama que maneja, el método de control de acceso al medio y la seguridad en redes GPON. Podemos decir que la recomendación está relacionada directamente a los aspectos de la fibra óptica, describiendo características de las PON así como los pasos que se deben considerar en el diseño como distancia, funcionalidad y seguridad (Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T), 2014).

2.6.1.4 Recomendación UIT – T G.984.4 (Especificación de la Interfaz de Control y Gestión De La Terminación de Red Óptica)

Describe la Gestión de la ONT y la interfaz de control OMCI en FTTH, adicionalmente realiza una especificación de entidades gestionadas de una base de información de gestión independiente del protocolo MIB que dirige el manejo de la configuración e intercambio de información entre la terminación de línea OLT y la ONT.

Los servicios para la operación de una red GPON en la gestión de fallos y de rendimiento son: la capa de transferencia asíncrona (ATM), la capa de adaptación GEM, los servicios de emulación de circuitos, servicios internet, servicios de voz y multiplexación de longitud de onda (WDM) (Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T), 2008).

OMCI permite que la OLT tenga control sobre las ONTs, logrando así establecer las conexiones a través de la ONT, manejar las interfaces usuario-red (UNI), pedir información de

configuración y estado de la calidad de operación e informar sin necesidad de intervención ajena a fallas en los enlaces. En general, las especificaciones G.984.4 permiten conocer a fondo como se realiza la administración de los servicios y sus tramas.

2.6.1.5 Recomendación UIT – T G.984.5 (Ampliación de Bandas WDM)

Esta recomendación describe los rangos de longitud de onda reservadas para aplicaciones adicionales, señales que se superponen a través de la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) para maximizar el valor de las redes de distribución óptica (ODN) (Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T), 2014).

2.6.2 Arquitectura y Funcionalidad de la Red GPON

La arquitectura de una red GPON sigue el mismo concepto de una red PON, el cual se describió en una sección anterior, conserva muchas de las funcionalidades de los esquemas BPON y EPON, por ejemplo la asignación dinámica de ancho de banda (DBA), el uso de mensajes de operación, administración y mantenimiento (OAM). Sin embargo el esquema operacional de la red está más orientado hacia el usuario final; esto se lo verifica en la recomendación de las características generales descrita en la UIT – T G.984.1 (Keiser, 2006).

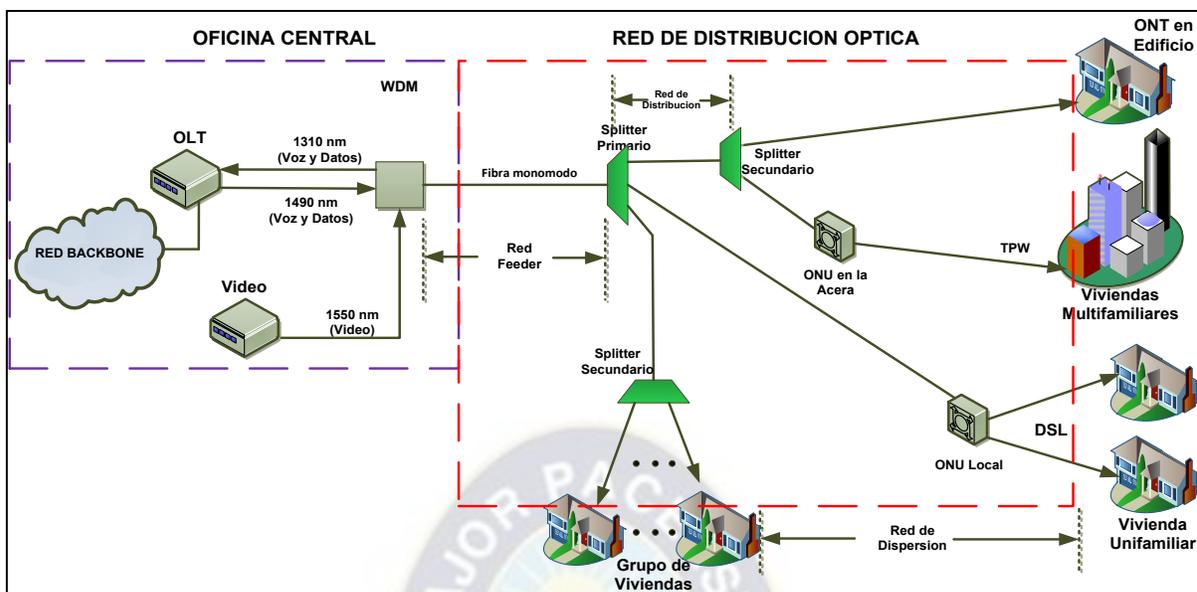


Figura 2.31. Arquitectura General de la Red GPON

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.31 podemos observar los módulos activos que participan dentro de la red GPON, vemos una terminal de línea óptica (OLT) que se ubica en la oficina central, y en el otro extremo de la red tenemos a la terminal de red óptica (ONT) o una unidad de red óptica (ONU), como vemos la ONT es usado del lado del usuario o cliente, en cambio la ONU se ubica red o en un Gabinete que se ubica cerca de los hogares o usuarios finales.

La conexión de la ONU hacia los usuarios finales puede hacerse con medios físicos (Cables) como: par trenzado o cable coaxial, pero en la actualidad se están empleando cables del tipo (Drop).

El tipo de arquitectura que posee una red GPON es muy ventajoso, pues desde el punto de vista económico permite ahorro en costos, ya que llevar una sola fibra desde el Splitter hasta un punto alejado donde se encuentran los usuarios finales supone un ahorro en material para el tendido y evita que se sature con cables el tendido aéreo o subterráneo. Apreciamos que un

pequeño divisor óptico se ubica al final de la red de fibra desde donde se ejecutan los enlaces de última milla hacia los usuarios. (Keiser, 2006).

2.6.2.1 Funcionalidad de la Red GPON

En redes GPON hay una terminología que se maneja constantemente y es la red de distribución Óptica (ODN), que hace referencia a la variedad de fibras y Splitters o acopladores que se tiene entre la OLT, la ONU y ONT.

El enlace que existe entre la oficina central y el divisor óptico se conoce como cable alimentador (Feeder), un splitter puede usarse desde 2 hasta 64 o 128 usuarios, generalmente ubicado a una distancia de 5 o 20 Km de la oficina central o dentro de 1 Km de los abonados en un vecindario u otro campus. Los cables de distribución inician en el Splitter, desde ahí se conectan directamente a los abonados o van en múltiples fibras a una caja que se denomina terminal de acceso, donde salen cables individuales de acometida a diferentes usuarios (Keiser, 2006).

Una red GPON debe ser una red de servicios completa entre los que podemos incluir el Ethernet, telefonía, tráfico digital de T1/E1, es decir, velocidades de 1.544 y 2.044 Mbps, paquete con tramas ATM de 155 Mbps y tráfico de línea arrendada a gran velocidad. Las velocidades que maneja la red GPON son 1.25 Gbps y 2.5 Gbps en downstream y velocidades de 155 Mbps, 622 Mbps, 1.25 Gbps y 2.5 Gbps en upstream, dichas velocidades pueden ser simétricas o asimétricas (Keiser, 2006).

Dependiendo de la capacidad de los transmisores y receptores ópticos, la recomendación de la UIT para redes GPON especifica distancias máximas de transmisión que van desde los 10 hasta los 20 Km, con Splitteo máximo de 64.

2.6.3 Elementos activos de una Red GPON

En esta sección describiremos las funciones y composiciones básicas de los elementos activos que conforman una red GPON como son: OLT, ONT, ONU, Tx Video RF, EDFA y DWDM.

2.6.3.1 Terminal de Línea Óptica (OLT)

La OLT se ubica en la oficina central, controla el flujo bidireccional de información a través de la ODN y es capaz de transmitir a una distancia de 20 Km a través de la ODN. En el canal de bajada la OLT debe ser apta para tomar el tráfico de datos, voz y video desde una red metro y transmitirlo a todos los módulos ONT en la ODN, su canal de subida debe aceptar y distribuir múltiple tipos de voz y datos desde la red del usuario (Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T), 2014).

La OLT consta de 3 partes:

- Función de interfaz de puerto de servicio
- Función de conexión cruzada
- Interfaz de red de distribución óptica (ODN)

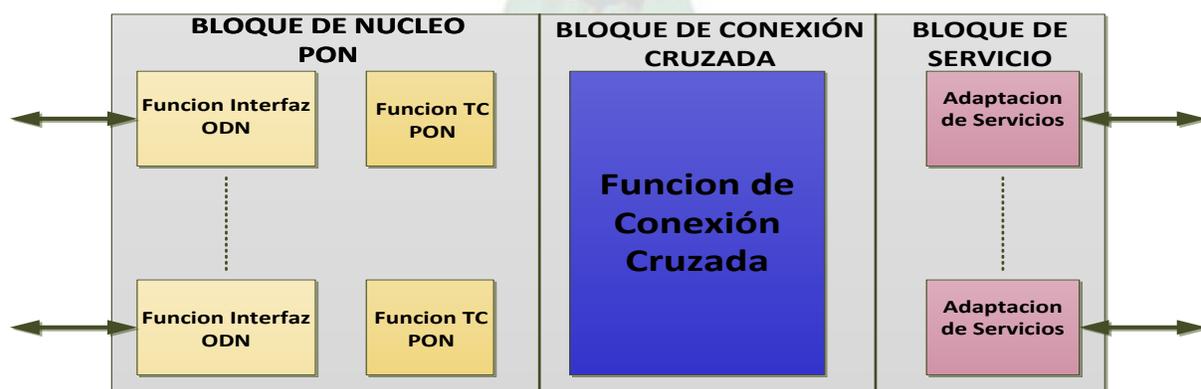


Figura 2.32 Diagrama de partes funcionales de una OLT

Fuente: Elaboración propia en base a información de (Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T), 2014)

- **Bloque núcleo PON:** está formado de dos partes con las siguientes funciones: la función de interfaz ODN y una función de TC PON que incluye el entramado, el control de acceso al medio, la operación, administración y mantenimiento, alineación de las unidades de datos de protocolo (PDU) para la función de conexión cruzada y administración de las ONTs.
- **Bloque de conexión cruzada:** proporciona un enlace de comunicación entre el bloque núcleo de PON y el bloque de servicio. Las tecnologías para la conexión de este enlace depende de los servicios, la arquitectura interna de la OLT y de otros factores. La OLT proporciona una funcionalidad de conexión cruzada y conformidad con el modo seleccionado ya sea GEM, o ATM.
- **Bloque de servicio:** Este bloque proporciona la traducción entre las interfaces de servicio y la interfaz de trama TC de la sección PON.

Durante la transmisión de los diferentes servicios dentro de la misma fibra en la ODN se trabaja con distintas longitudes de onda en cada dirección. En nuestro caso las transmisiones se realizan usando la longitud de onda de 1490 *nm* para voz y datos y los datos de retorno se hace a través de 1310 *nm*; la distribución de video se hace en 1550 *nm*. Los acopladores pasivos WDM realizan las funciones de combinación y separación de longitud de onda.

2.6.3.2 Terminal de Red Óptica (ONT)

La ONT se ubica en los usuarios finales, su propósito es brindar la conexión óptica hacia la red GPON en el canal de subida e interactuar con el equipo del cliente. Keiser (2006), Indica que dependiendo de los requisitos que se maneje en la red, la ONT admite una combinación de servicios de telecomunicaciones, incluidas Ethernet, T1, enlaces telefónicos, E1 (1.544 o 2.048

Mbps), E3 (44.736 o 34.368 Mbps), interfaces ATM (155 Mbps) y formatos de video analógico y digital.

Los bloques funcionales que constituyen el ONT de GPON son comúnmente similares a los bloques funcionales de la OLT. Puesto que la ONU opera solamente con una interfaz PON (o máximo dos por tema de protección), la función de conexión cruzada puede ser omitida. Sin embargo, en lugar de esta función, se especifica el servicio MUX y DEMUX para manejar el tráfico. Una configuración típica de una ONT es la que se ve en la figura

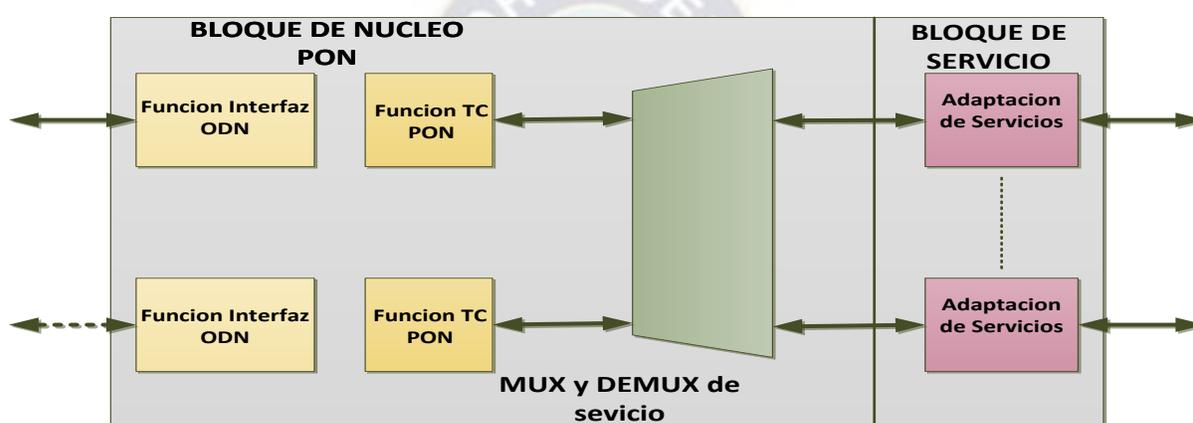


Figura 2.33 Diagrama de bloques funcionales de la ONT GPON

Fuente: Elaboración propia en base a información de (Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T), 2014)

2.6.3.3 Unidad de Red Óptica (ONU)

La ONU generalmente se ubica en la planta externa de la red GPON, y se ubica cerca a lugares céntricos. La ONU debe ser resistente al medio ambiente y soportar la variación de temperatura y ser a prueba de vándalos. Debe tener una fuente de alimentación local para el funcionamiento del equipo y tener respaldo a través de baterías. El enlace de la ONU hacia los

usuarios puede ser realizado mediante cables de par trenzado (UTP), cable coaxial, fibra óptica o conexiones inalámbricas.

2.6.3.4 Tx Video RF

Este equipo se encarga de convertir una señal eléctrica RF de entrada en una señal óptica modulada en la longitud de 1550 *nm*. De esta manera se puede proveer a la red FTTH de una señal de TV analógica/digital sobre un mismo medio físico, que transporta también servicios de internet. La longitud de onda de 1550 *nm* es modulada con la señal RF de video y posteriormente se multiplexa con la señal de 1490 *nm* que se envía en downstream desde la OLT hasta las ONTs.

2.6.3.5 Multiplexor WDM

Este equipo es encargado de unificar en una única fibra de salida hacia la red GPON las señales que provienen del Tx Video RF y de la OLT. A su vez también se encarga de dirigir hacia la OLT la señal proveniente de las ONTs. El multiplexor recibe la señal proveniente de los puertos PON de la OLT y de un puerto del EDFA, los cuales multiplexa y los envía a la red FTTH.

2.6.4 Modulación en redes Ópticas

La modulación es un conjunto de técnicas que se usan para transportar la información sobre una portadora, que comúnmente se trata de una onda sinusoidal. Debemos recordar que la función principal de un enlace óptico no es mandar luz, sino mandar información, y la manera de codificar estos unos y ceros que deseamos transmitir por un medio óptico se realiza mediante la inserción de la información sobre una onda, a la cual llamamos modulación, y esta onda es la encargada de llevar información y que se denomina onda portadora.

La mayoría de los sistemas de comunicación por fibra óptica, actualmente instalados hacen uso de dos tipos de modulación que serán descritas a continuación.

2.6.4.1 Modulación Directa

La modulación directa, es la más simple de los métodos para insertar la información en una onda portadora de luz; en ella se transmitirá luz cuando deseemos enviar un 1 (uno), y no transmitiremos luz cuando se trate de un 0 (cero), el mensaje llegara a nuestro transmisor como una secuencia de ceros y unos. El transmisor encenderá el láser para representar el 1 (uno) y lo apagara para representar el cero. El mensaje codificado sobre la onda de luz portadora se transmitirá a través de la fibra hasta el extremo remoto donde se encuentre un sensor de luz capaz de detectar la onda portadora, así pues cada bit es enviado como un pulso de luz nuevo.

La modulación directa modifica el factor de amplitud de la función seno para mandar uno a uno los bits de información, cada bit es mandado como una onda senoidal nueva que tendrá una amplitud máxima cuando se esté transmitiendo un 1 (uno), y una mínima cuando se trasmita un 0 cero. Indicar que el cero no representa específicamente un láser totalmente apagado, sino que se atenúa hasta un valor mínimo, esto debido a que es mucho más rápido pasar de un 0 a un 1 desde un umbral mínimo en lugar de estar encendiendo y apagando el láser, como podemos apreciar en la figura 2.34.

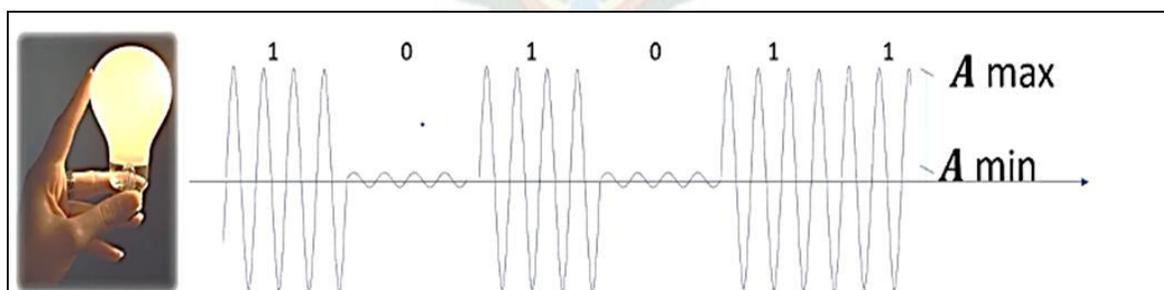


Figura 2.34 Modulación directa por amplitud de onda

Fuente: Recuperado de (J. & L., 2009)

Misma que está regida por la siguiente ecuación:

$$\text{Bit} = A * \sin(2\pi ft + \varphi)$$

$\left\{ \begin{array}{l} A = \text{max cuando "1"} \\ A = \text{max cuando "0"} \end{array} \right.$

Ecuación 2.4

Dónde:

A: Amplitud

f: frecuencia

t: tiempo

Por último, en la figura 2.35 podemos apreciar gráficamente la onda portadora sobre la que se modula la información, y finalmente la señal transmitida una vez modulada acorde al mensaje.

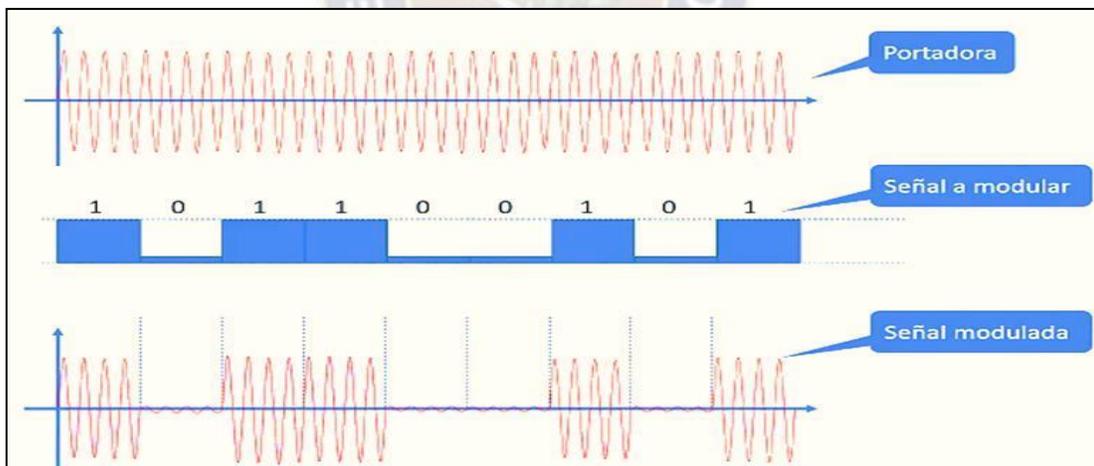


Figura 2.35 Modulación binaria sobre la onda portadora

Fuente: Recuperado de (J. & L., 2009)

2.6.4.2 Modulación por amplitud

La modulación por amplitud es similar a la modulación directa, la misma juega con la amplitud para codificar los bits, pero ahora la amplitud no tiene solamente dos valores, posee múltiples y con ellos codifica más de un bit. Diferentes valores de amplitud ahora representarían una combinación de bits, por lo que el mensaje transmitido se debe fragmentar en esa combinación de bits. Con esto conseguimos que en un pulso de luz en lugar de enviar un solo bit se manden múltiples, haciendo el sistema mucho más eficiente.

En la figura 2.36 se muestra un ejemplo de la codificación de 2 bits, donde se requieren 4 valores de A (Amplitud). Con ella podemos transmitir y codificar dos bits por cada pulso, es decir que el lugar de mandar un solo bit estamos mandando dos, lo que lo hace dos veces más eficiente que la modulación directa, en este caso la combinación “00”, sería el valor mínimo de amplitud, “01” sería 1/3 de la amplitud máxima, “10” representaría 2/3 de la amplitud máxima y por último la combinación de “11” sería la amplitud máxima.

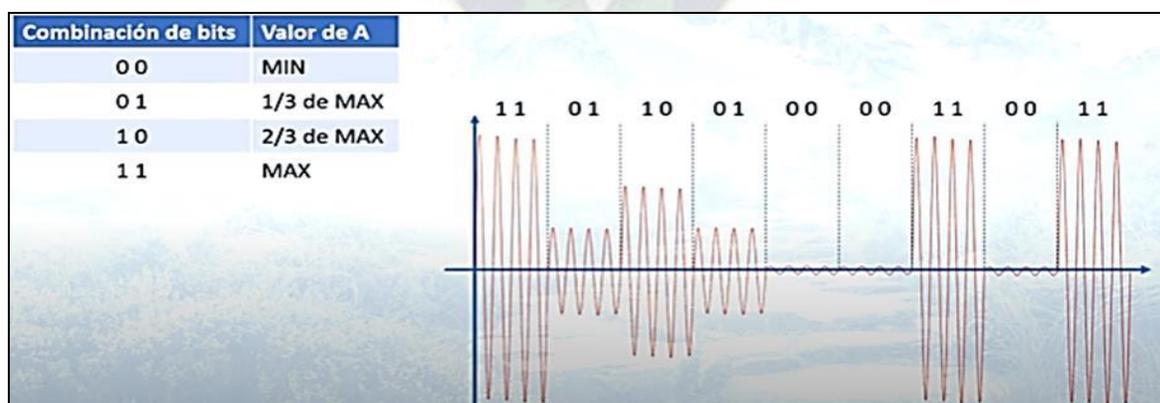


Figura 2.36 Ejemplo de Codificación de 2 bits por amplitud

Fuente: Recuperado de (J. & L., 2009)

Ahora como ya no se mandan solo bits únicamente sino una combinación de bits que es enviada por cada pulso, ahora se la denominara símbolo. Con esto ya se maneja el término de baudio, que es la unidad de medida utilizada en telecomunicaciones, que representa el número de símbolos por segundo en un medio de transmisión digital.

2.6.4.3 Modulación por Fase

La modulación por fase modifica los pulsos de luz de acuerdo a un patrón, en este caso en lugar de modificar por amplitud, modifica la fase inicial de la señal, es decir, basándonos en la ecuación 2.5.

$$\text{Pulso} = A * \sin(2\pi ft + \varphi) \left\{ \begin{array}{l} \varphi = 0^\circ \text{ cuando "0"} \\ \varphi = 180^\circ \text{ cuando "1"} \end{array} \right.$$

Ecuación 2.5

Dónde:

A: Amplitud

f: frecuencia

t: tiempo

φ : Fase

En nuestra ecuación, la fase es la constante que se suma a la frecuencia antes de calcular el seno, es así que cuando mandamos un 0 (cero), cuando el inicio de la portadora empiece a 0° , pero si empieza a 180° entonces estamos mandando un 1 binario.

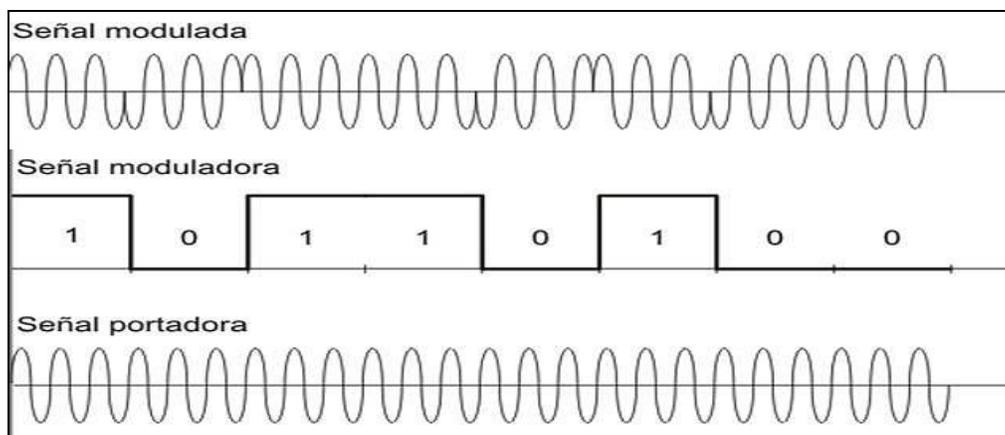


Figura 2.37 Modulación binaria por fase

Fuente: Recuperado de (J. & L., 2009)

2.6.5 Capa de Convergencia de transmisión GPON

La Recomendación UIT-T G.984.3 describe la capa de convergencia de transmisión (TC), que es equivalente a la capa 2 (capa de transmisión de datos) en el modelo de referencia OSI.

Especifica el formato de trama GPON, el protocolo de control de acceso a los medios, el esquema de rango, los procesos de operación y mantenimiento y el método de encriptación de la información (Keiser, 2006).

➤ *Formato de trama GPON descendente*

Para acomodar todo tipo de servicios (por ejemplo, ATM, TDM y Ethernet) de manera eficiente, se utiliza un método de encapsulación GPON (GEM). Método basado en una versión que es modificada del procedimiento de la recomendación UIT-T G.7041, que proporciona las especificaciones para enviar paquetes IP a través de redes SONET o SDH.

La figura 2.38 se observa formato de trama GPON, que tiene una longitud fija de 125 μ s. La trama consta de un bloque de control físico (PCB) y una carga útil compuesta por un segmento ATM y un segmento GEM. La sección de PCB contiene la información general de la capa física usada para controlar y administrar la red (Keiser, 2006).

Según menciona Keiser (2006) , en downstream, el PCBd (bloque de control físico para tramas downstream) contiene la siguiente información:

- Un campo de sincronización de tramas de 4 bytes (Psync).
- Un segmento de 4 bytes (Ident) que contiene un contador de 8 KHz, un bit de estado FEC downstream, un bit de conmutación de clave de cifrado y 8 bits de estado reservados para uso futuro.
- Un mensaje OAM (PLOAMd) de capa física descendente de 13 bytes, que maneja funciones tales como alarmas relacionadas con OAM o alertas de cruce de umbral.
- Un campo de paridad intercalada de bits (BIP) de 1 byte, que se utiliza para estimar la tasa de errores de bits.
- Un indicador de longitud de carga útil descendente de 4 bytes (PLend), que proporciona la longitud del mapa de ancho de banda ascendente (US BW) y el tamaño del segmento ATM. El campo PLend se envía dos veces para obtener redundancia adicional y errores robustos.
- US BW de $N \times 8$ bytes asigna N intervalos de tiempo de transmisión a las ONTs.

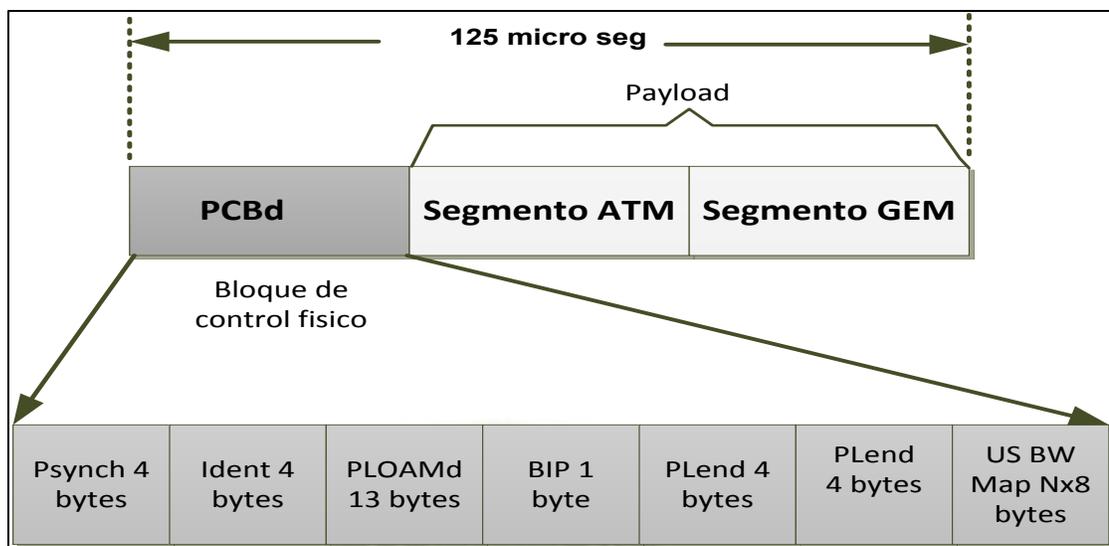


Figura 2.38 El formato de trama GPON de tres segmentos tiene una longitud de 125useg

Fuente: Elaboración propia en base a la información de (Keiser, 2006)

El mapa US BW contiene N entradas asociadas con N identificaciones de asignación de intervalos de tiempo para las ONT. Como muestra la figura 2.35, cada entrada en el campo US BW o la estructura de acceso consta de:

- Un identificador de asignación de 12 bits (AllocID) que se asigna a un ONT.
- Doce bits bandera que permiten la transmisión ascendente de capas físicas de encabezado para un ONT designado.
- Un puntero de inicio de 2 bytes (SStart) que indica cuándo comienza la ventana de transmisión ascendente. Este tiempo se mide en bytes; el comienzo de la trama GTC en sentido ascendente se designa como tiempo cero.
- Un puntero de alto de 2 bytes (SStop) que indica cuándo se detiene la ventana de transmisión ascendente.

- Un byte CRC que proporciona detección de errores de 2 bits y corrección de errores de 1 bit en el campo de asignación de ancho de banda.

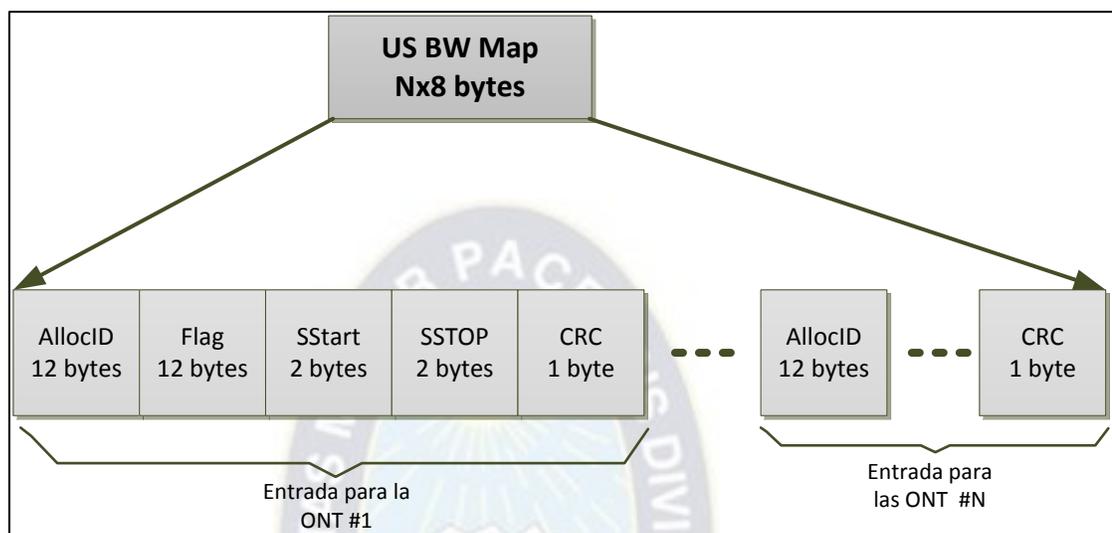


Figura 2.39 Estructura del campo US BW map

Fuente: Elaboración propia en base a la información de (Keiser, 2006)

➤ **Formato de trama GPON ascendente**

El tráfico GPON ascendente consiste en transmisiones sucesivas de uno o más ONT. La secuencia particular de tramas se basa en las asignaciones de intervalos de tiempo de transmisión desarrolladas por la OLT. Para permitir la recepción adecuada de las tramas individuales en modo ráfaga, se necesita una cierta cantidad de sobrecarga de ráfaga al comienzo de una ráfaga ascendente ONT. El formato de una trama ascendente, que consta de hasta cuatro tipos de campos de tara de PON y una carga útil de datos de usuario de longitud variable que contiene una ráfaga de transmisión (Keiser, 2006).

Los campos de encabezado ascendentes según refiere Keiser (2006) son los siguientes:

- La capa física de encabezado (PLOu) al comienzo de una ráfaga en sentido ascendente ONT contiene el preámbulo, que asegura el funcionamiento adecuado de la capa física (por ejemplo, alineaciones de bits y bytes) del enlace ascendente en modo ráfaga.
- La capa física de operación, administración y gestión ascendente (PLOAMu) es responsable de las funciones de gestión, como la determinación de distancia, la activación de un ONT y las notificaciones de alarma.
- El campo de secuencia de nivelación de potencia ascendente (PLSu) contiene información sobre los niveles de potencia del láser en los ONT como los ve el OLT, con ello el OLT utiliza el PLSu para ajustar los niveles de potencia del ONT para reducir el rango dinámico óptico recibido en el OLT.
- El campo de informe de ancho de banda dinámico (DBRu) informa a la OLT de la longitud de la cola de cada AllocID en una ONT. Esto permite que la OLT habilite el funcionamiento adecuado del proceso de asignación dinámica de ancho de banda. El DBRu está protegido contra errores de bits por un CRC.

2.6.6 Multiplexado GPON, puertos GEM y T-CONT

El modo de encapsulamiento de GEM permite mayor flexibilidad y transmisión de paquetes IP de tamaño variable a lo largo de enlaces TDM. GPON de este modo no solo ofrece más ancho de banda, sino que también es más eficiente y permite a los operadores continuar brindando servicios tradicionales (voz basada en TDM, líneas alquiladas) sin tener que mudar los equipos

instalados en los usuarios finales. Permite soportar cualquier tipo de servicios (Ethernet, TDM, ATM, etc.) al tratarse de un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125 ms.

Antes de explicar el método es necesario definir algunos términos importantes como:

- Puerto GEM: es la unidad mínima para el transporte de servicios en una red GPON (Conexión lógica).
- T-CONT: Llamado “Transmission Containers”, que son buffers en subida que se utilizan para transmitir servicios. La asignación del ancho de banda en subida está basado en T-CONTs.

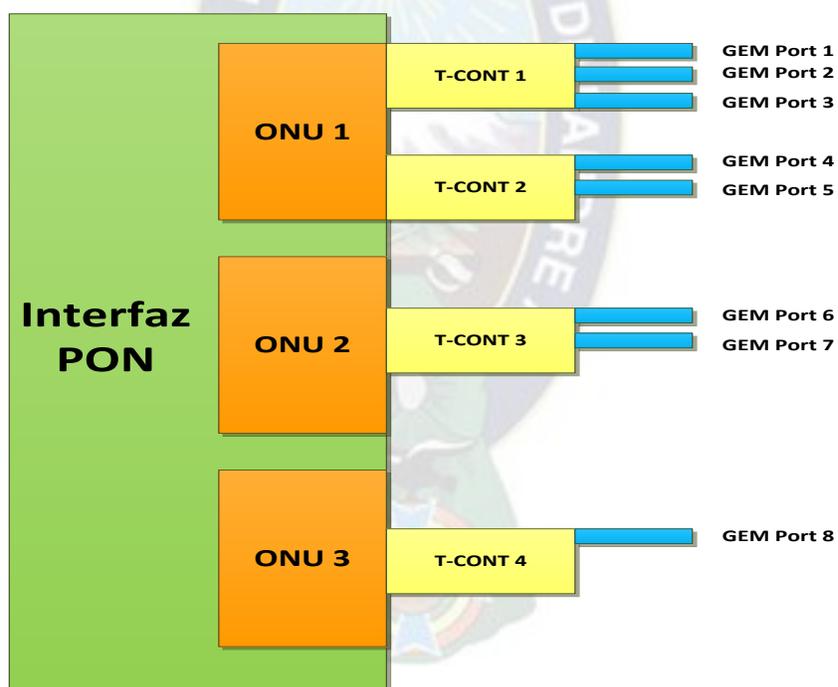


Figura 2.40 Esquema puertos GEM y T-CONT

Fuente: Elaboración propia en base a la información de (Keiser, 2006)

Como vemos en la figura 2.40, el tráfico de los distintos servicios se transmite usando diferentes puertos. Los diferentes puertos GEM se transmiten en subida utilizando T-CONT, un T-CONT puede llevar tráfico de uno o varios puertos GEM.

En bajada, es controlado por la OLT, que también tiene definido puertos GEM. El tráfico se multiplexa por puerto GEM. En subida la gestión es distribuida entre la OLT y la ONT. La OLT distribuye el ancho de banda en asignaciones a T-CONTs, y es la ONT la encargada de combinar los diferentes puertos GEM dentro de las asignaciones de los T-CONTs.

2.6.7 DBA

La asignación del ancho de banda es dinámica, pues no todos los usuarios necesitan toda su velocidad máxima, y como se sabe, la asignación de ancho de banda fija es ineficiente. Con DBA, la OLT evalúa en tiempo real las necesidades de ancho de banda de las ONTs y además asigna de forma adecuada la capacidad de la red. De acuerdo con esto, se definen 5 tipos de T-CONT que a su vez definirán 4 tipos de ancho de banda, ya que el quinto tipo de T-CONT se define para todos los tipos de ancho de banda.

- Tipo 1: El T-CONT se corresponde con asignaciones de ancho de banda fijo y se usa solamente para servicios que son sensibles a los retardos, como servicios de voz.
- Tipo 2: T-CONT corresponde con ancho de banda garantizado y se utiliza principalmente para servicios de video y datos con alta prioridad.
- Tipo 3: Corresponde con ancho de banda no garantizado y se utiliza también para servicios de video y de datos con alta prioridad, el ancho de banda no está garantizado.
- Tipo 4: corresponde con el tipo “best-effort” y se usa para servicios de datos y servicios de baja prioridad.
- Tipo 5: es la mezcla de tipos T-CONT, e incluye todos los tipos de ancho de banda y servicios portadores.

2.6.8 OAM

La operación, administración y gestión (OAM) de las redes GPON se realiza siguiendo tres métodos:

- OAM embebido: se proporciona a través de algunos campos en las tramas de subida y bajada.
- PLOAM: es un canal de comunicación establecido dentro de la trama GTC para enviar mensajes entre la OLT y ONT.
- OMCI: el protocolo (Management and control Interfaces) es el protocolo estándar de GPON para el control por parte de la OLT de las ONTs. Este protocolo permite:
 - Establecer y liberar conexiones en la ONT
 - Gestionar puertos físicos de la ONT
 - Solicitar información de configuración y estadística de rendimiento
 - Informar al operador del sistema de eventos como cortes de fibra

2.6.9 Códigos de Línea, Corrección de Errores y Seguridad

- **Códigos de línea:** también llamado codificación de línea, se entiende como las diferentes maneras de representar los unos y ceros que componen una señal digital para adaptarla eficientemente a un medio de transmisión antes de enviarla. Entre las propiedades deseables de los códigos de línea están la: auto sincronización, que nos indica que el código debe tener información de temporización de tal manera que pueda ser sincronizable; baja probabilidad de error de bits, con esto se puede diseñar receptores para recuperar datos binarios con una baja probabilidad de error de bits, cuando la señal de datos de entrada se corrompe por el ruido; por último el ancho de banda del canal de transmisión debe ser pequeño lo que posibilita la transmisión de la

señal. En la siguiente figura mostramos algunos códigos de línea más usados en transmisión digital.

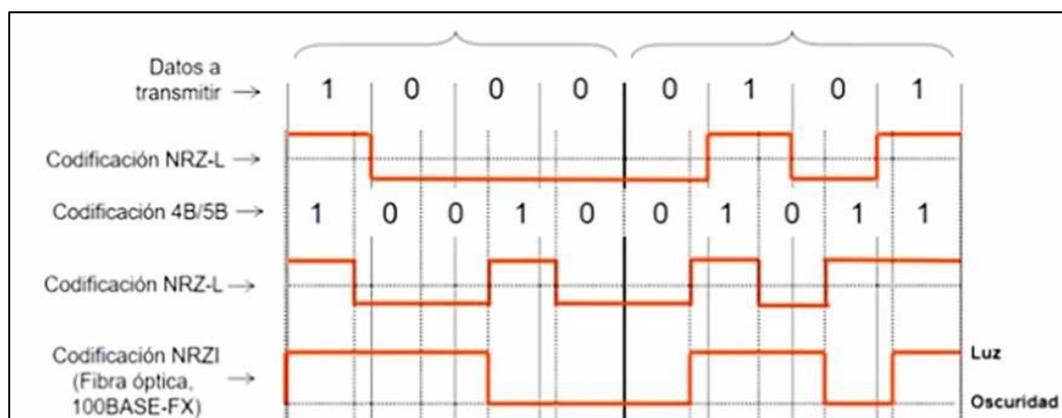


Figura 2.41 Codificaciones en Línea más comunes

Fuente: Elaboración propia

- **Código NRZ: No return to Zero**, este código es el que permite de forma frecuente y fácil la transmisión de señales digitales mediante el uso de un nivel diferente de tensión para cada uno de los bits, este código no es autoincronizante, su ventaja es que al utilizar pulsos de larga duración, requiere menor ancho de banda que otros sistemas. Entre sus características está: son fáciles de implementar, uso eficaz de ancho de banda, inmune a ruidos y errores y capacidad de detección de errores.

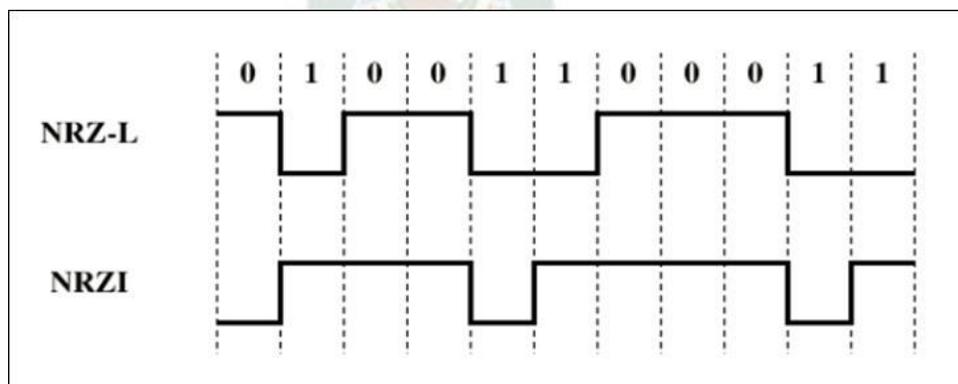


Figura 2.42 Código NRZ-L y NRZI

En base a la figura 2.42, podemos indicar que en la codificación NRZ-L, el 0 representa el nivel alto y el 1 el nivel bajo, en cambio en NRZ-I, que es la codificación usada en fibra óptica, el 0 no produce transmisión y el 1 envía una transición a nivel positivo y negativo.

- **Codificación 8B/10B:** es un esquema de codificación que consiste en transformar cada cadena de 8 bits en una cadena de 10 bits antes de realizar la transmisión, teniendo en cuenta que no puede haber más de cinco ceros o cinco unos seguidos. Gracias a esta codificación, no es necesario disponer de un reloj tan preciso.
- **Codificación 64B/66B:** este tipo de codificación que sigue un enfoque diferente a la anterior codificación mencionada, pues en lugar de usar tablas de código, utiliza aleatorización, esto permitirá que los datos codificados aparezcan al azar con transiciones frecuentes pero descifrables por el receptor.

Para comprender mejor las codificaciones anteriores vamos a explicar en qué consiste la codificación **4B/5B**, ya que las codificaciones posteriores se basan en el mismo concepto. De este código se hacen dos listas, una con bits agrupados de 5 en 5 de todas las formas posibles, es decir, ($2^5=32$ grupos) y otra en grupos de 4 bits de todas las formas posibles ($2^4=16$ grupos). De los 32 grupos de 5 bits se eligen 16 que se hacen corresponder con los grupos de 4 bits, se evitan entre otros los grupos “00000”, “11111”, “10000” y otros más.

Tabla 2.8

Tabla de Codificación 4B/5B

Codigo 4B/5B			
Grupos utilizados		Grupos utilizados	
Grupos 4 bits	Grupo 5 bits	Grupos 4 bits	Grupo 5 bits
0000	11110	IDLE	11111
0001	01001	J	11000
0010	10100	K	10001
0011	10101	T	01101
0100	01010	R	00111
0101	01011	S	11001
0110	01110	QUIET	00000
0111	01111	HALT	00100
1000	10010	No usado	00110
1001	10011	No usado	01000
1010	10110	No usado	01100
1011	10111	No usado	10000
1100	11010	No usado	00001
1101	11011	No usado	00010
1110	11100	No usado	00011
1111	11101	No usado	00101

Fuente: Elaboracion Propia

Los bits a transmitir se agrupan de 4 en 4 y cada grupo se traduce en el correspondiente grupo de 5 bits según la tabla. Al resultado obtenido se le aplica luego el código de línea correspondiente al medio físico (NRZI o MLT-3) y se envía.

Como vemos en la tabla 2.8, de esas posibles combinaciones hay muchas que no se usan y, las que si se utilizan son para casos especiales y no para datos de usuario. El medio de transmisión por ejemplo puede utilizar esas combinaciones para indicar que se realizara una transmisión, además como máximo nos puede llegar a caer solo 4 unos seguidos y no más como el caso de la combinación “01111”. Y para visualizar la gráfica en un diagrama de tiempos, podemos observar la figura 2.4, donde se tiene la codificación 4B/5B.

- **Corrección de errores FEC:** FEC (Forward error Correction), la recomendación G.984.2 especifica el uso de FEC, el cual es un sistema de control de errores para la

transmisión de datos, donde el emisor añade datos redundantes a sus mensajes, conocido como código de corrección de errores. Según Ara Shams & Hasnat Kabir (2012), en esta técnica se transmite información redundante junto con la información original, si alguna parte de la información se pierde o se recibe con errores, la información redundante se utiliza para reconstruir los datos. Esta información redundante es pequeña, por lo que no usa mucho ancho de banda adicional. La aplicación de FEC en GPON es deseable ya que la alta velocidad de datos reduce el presupuesto óptico de dos formas:

- Alta velocidad de datos reduce la sensibilidad del receptor ya que entre más ancho de banda se tenga, se introduce más ruido
- Los efectos de la dispersión cromática son mayores a altas velocidades, lo que resulta en una mayor degradación de la potencia a lo largo de la ruta óptica.

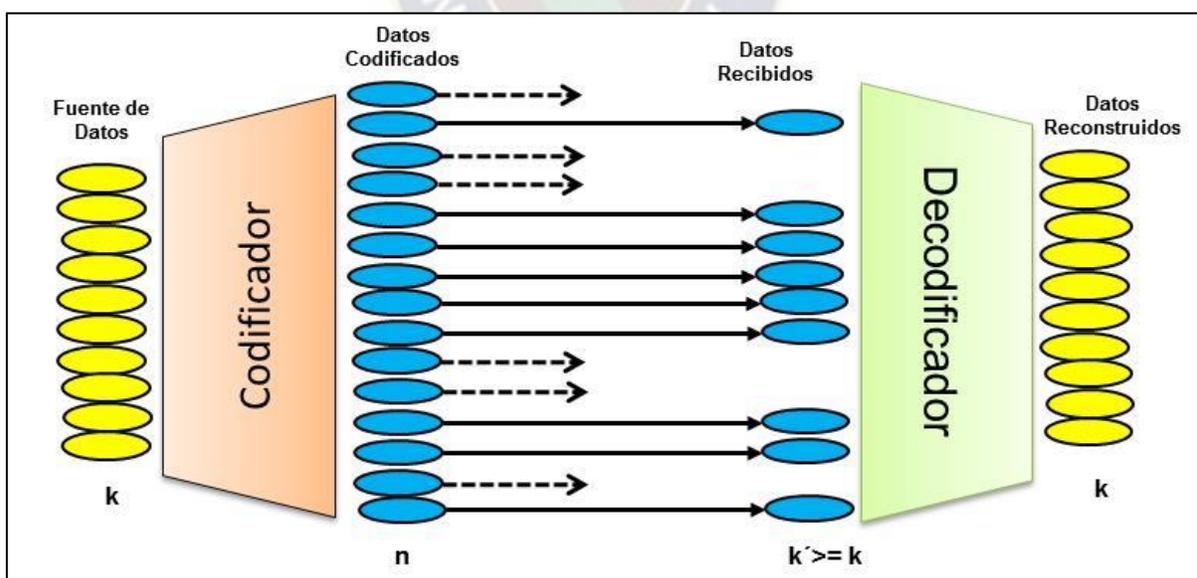


Figura 2.43 Diagrama de bloques de la operación de Forward Error Correction (FEC)

Fuente: Elaboración propia en base a la información de (Ara Shams & Hasnat Kabir, 2012)

Como se muestra en la figura 2.43, el FEC codifica k paquetes con $(n-k)$ paquetes redundantes para formar un bloque FEC con los n paquetes en el remitente. Entonces, el FEC puede tolerar la pérdida de $(n-k)$ paquetes en las redes y recuperar los k paquetes con la ayuda del decodificador del bloque FEC en el receptor. Es ventajoso que los códigos que introducen una gran cantidad de redundancia transmitan relativamente poca información por bit de código individual, porque reduce la probabilidad de que todos los datos originales se borren durante la transmisión. FEC tiene otras ventajas como que evita problemas de multidifusión, a veces no es necesario un canal de retroalimentación, tiene una ruta de retardo larga y es una transmisión unidireccional.

- **AES (Advanced Encryption Standard):** es un protocolo más seguro introducido con la llegada del estándar WPA2. AES tiene un tamaño de bloque fijo de 128 bits y un tamaño clave de 128, 192 o 256 bits.

2.7 Planificación, Procedimiento y Recomendaciones de Diseño de una Red FTTH

En este punto realizaremos una descripción del procedimiento de planificación y recomendaciones para el diseño e implementación de una red GPON/FTTH, cumpliendo los parámetros de calidad y bajo costo sobre una infraestructura. Para esto realizaremos un estudio de las recomendaciones que se requieren a la hora de diseñar una red FTTH.

2.7.1 Planificación y Diseño de una red FTTH

Para llevar a cabo un despliegue de la red debemos diferenciar o dividir la red en dos partes:

- La cabecera de Red, donde se encuentran los elementos activos de la red.
- La red de Planta externa, formado por los elementos pasivos de una red GPON /FTTH, que ya describimos en una sección anterior.

Para el proceso de planificación y diseño de la red debemos empezar explicando las tareas que nos permiten conseguir la información necesaria para la correcta planificación de la red,

posteriormente expondremos en dos secciones diferentes, el diseño de la red de planta externa y diseño de la cabecera de red.

2.7.1.1 Planificación de la Red

Para realizar una planificación de una red FTTH debemos basarnos en una metodología que se basa en el estudio crítico del estado del arte en áreas de la planificación y diseño de redes FTTH en combinación con redes GPON, al término del cual se expondrá la propuesta que sustentara el presente trabajo.

Es necesario la búsqueda de información y replanteo obteniendo datos necesarios que nos permitan el despliegue de la red y la toma de decisiones en función a los resultados obtenidos, previamente se debe analizar la zona, estudios de mercado que nos demuestren la viabilidad del proyecto y aceptación del producto en la zona a desplegar.

Cortes Castillo (2016), menciona que debemos tomar en cuenta la planificación de redes, servicios prestados, se consideran las topologías de redes, el número de usuarios, la distribución de bloques, puntos de referencia para el trazado e instalación de la fibra óptica y la distribución de splitters de primer y segundo nivel.

La planificación de la red se lleva adelante considerando aspectos relacionados con el área geográfica, elementos de red, servicio a brindar, infraestructura tecnológica, arquitecturas y técnicas. Para el diseño de la red se toma en cuenta el diseño del nodo de acceso, considerar la cantidad de puertos, cantidad de tarjetas por puerto, nodos de acceso, etc. (Cortes Castillo, 2016).

2.7.1.2 Análisis Geográfico y Demográfico de la Zona

Para esto es necesario el estudio estadístico para estimar un impacto que tendrá el producto en el usuario final así como el análisis de la composición geográfica del lugar y de las características constructivas para determinar los elementos de la zona. Pues según menciona Cortes Castillo

(2016), las redes indistintamente de como este configurada su infraestructura como un sistema y considerando una serie de elementos propios, debe garantizar antes y despues un correcto funcionamiento.

Sin embargo, para brindar y mantener los servicios a nivel de las redes FTTH, es importante contar con un plano o planimetria geográfica o topográfica del lugar, donde se pueda esquematizar las distribuciones por zonas y servicios que seran implementados y atendidos por el proveedor de servicios (Cortes Castillo, 2016).

2.7.1.2.1 Estudio Sociocultural – Estadístico

Debemos conocer el número aproximado de potenciales consumidores del servicio y la distribución en la zona, esta información es esencial para el diseño de la red; obtener estos datos generalmente se hace a través de un estudio socio-estadístico que nos pueda aportar datos reales sobre el índice de penetración en los usuarios finales. Las encuestas realizadas de manera presencial o remota a través de llamadas telefónicas ayudan a obtener una estimación porcentual y obtener buenos resultados (Lozano Blanco, 2014).

2.7.1.2.2 Geografía y Características Constructivas de la Zona

Uno de los aspectos a considerar es la geografía de la zona, las construcciones e infraestructura de la misma, datos que se obtienen realizando una visita física al sector donde se desplegara la red conocido como “Site Survey”, con este conocimiento en la zona de despliegue podrá determinarse la decisión correcta de donde se implantara la cabecera de la red, la red de distribución y la red de dispersión. A continuación daremos referencia a los aspectos más relevantes que serán empleados en el diseño de la red:

- **Topología y Concentración de Viviendas:** Según Lozano Blanco (2014), es necesario conocer si la zona es de alta densidad poblacional o se trata de una zona rural

dispersa. Además se debe obtener información sobre el tipo de edificaciones que existen en el lugar como edificios, casas residenciales, bloque de viviendas, etc.

- **Número de viviendas Por Edificio Residencial y oficinas:** este dato es relevante en el caso de una zona urbana o rural que cuenta con varias construcciones multifamiliares (edificios), pues conociendo estos datos se podrán determinar el tipo de despliegue e instalación que se realizara y la red se dimensionara de un modo más óptimo (Lozano Blanco, 2014).
- **Distribución de infraestructura de telecomunicaciones (planta externa):** en función a este parámetro se definirá si el despliegue de la red hacia los usuarios se realizara por medio de canalizaciones subterráneas o por vía aérea (Lozano Blanco, 2014).
- **Existencia de una central de Telecomunicaciones próxima:** la existencia de alguna central de telecomunicaciones que permitiera compartir su espacio con equipos de un nuevo operador sería un factor importante a considerar, ya que su influencia en el diseño de la nueva red sería bastante, pues se convertiría en el origen de la misma (Lozano Blanco, 2014).

2.7.1.3 Análisis de los Datos Obtenidos

Con la información recopilada de los aspectos anteriores, podremos determinar los siguientes parámetros de despliegue de la red como lo menciona Lozano Blanco (2014):

- Los datos de concentración de viviendas, infraestructura y topología de la zona determinara el tipo de arquitectura de red a emplear así como la clase de servicio que se ofrecerá en cada caso.
- La distribución de las canalizaciones e infraestructura de telecomunicaciones en el exterior y la existencia o no de una central de Telecomunicaciones en la zona de

despliegue determinaran la ubicación de la cabecera como de los nodos en los que se dividirá la red.

- Al conocer el índice de penetración del servicio a través del estudio estadístico, nos permitirá determinar el método de despliegue de última milla y tener un aproximado de los equipos (pasivos y activos) que serán necesarios para el despliegue de la red de manera eficiente y escalable.

2.7.1.4 Permisos

Otro de los aspectos que se deben considerar al momento de realizar un diseño y planificación de una red GPON/FTTH es la obtención de permisos, pues es un factor que podría retrasar la puesta en obra. Son destacables los siguientes:

- Permiso de operación e instalación de red de fibra óptica de las autoridades que regulan este tema de las telecomunicaciones, en el caso de Bolivia regirse bajo la Ley General de Telecomunicaciones, tecnologías de Información y Comunicación. Es así que en el artículo 36 que se refiere a la “Otorgación de licencias en el área Rural” de la ley 164 Ley General de telecomunicaciones, tecnologías de información y comunicación menciona:

I. “Para la operación de redes públicas y provisión de servicios de telecomunicaciones y tecnologías de información y comunicación en el área rural, se podrá obtener licencia bajo el procedimiento de otorgación directa, conforme al reglamento”.

II. “Cualquier persona individual o colectiva, legalmente establecida en el país, interesada en operar redes y proveer servicios de telecomunicaciones y tecnologías de información y comunicación en el área rural, deberá presentar una solicitud a la

Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes, acompañando los requisitos e información mínima de acuerdo a lo establecido en reglamento”.

III. “Por su carácter social, la operación de redes públicas y provisión de servicios de telecomunicaciones en el área rural, están exentas del pago de tasas y derechos de asignación y uso de frecuencias y de los aportes al financiamiento de los proyectos de telecomunicaciones orientados al acceso universal de las telecomunicaciones y tecnologías de información y comunicación”.

- Permiso de la Comunidad de vecinos para la instalación de la red de última milla y los cables de paso.
- Permiso otorgado por las autoridades de la ciudad, zona o comunidad pública para ocupar espacios de la vía pública, postación, etc.

2.7.2 Criterios de Diseño para Redes FTTH

El valor del índice de penetración indica el número de abonados potenciales que se tendrá cuando se haya implementado la red de fibra y ya se cuente con los servicios ofertados, lo que no quiere decir que el despliegue de la red se haga solo para ese porcentaje de las viviendas en la zona donde se desplegara, no es así. Según Lozano Blanco (2014), el diseño de la red se debe realizar para una penetración del 100%, existiendo disponibilidad para cualquier abonado que habite en cualquier lugar de una vivienda. Según las recomendaciones de expertos en el tema es muy recomendable dejar fibras ópticas de reserva en el despliegue, esto para conexiones futuras por aumento en la demanda o ampliaciones de la red. En función a los datos arrojados en la fase de planificación y replanteo, el criterio puede ser muy diferente.

2.7.2.1 Áreas con densidad Elevada de viviendas multifamiliar

Generalmente son aquellas que se extienden en un radio de 100 a 1000 metros y con un número elevado de viviendas, estas áreas son frecuentes en las ciudades o núcleos urbanos medianos.

En este tipo de zonas, las redes de alimentación y distribución suelen ir canalizados en ductos subterráneos, donde los cables de fibra tienen una gran cantidad de hilos ópticos.

Estos ductos subterráneos albergan diferentes tipos de cable de fibra que pertenecen a las redes de alimentación y distribución, existen ductos de distintas pulgadas donde se emplean tubos PVC. Dentro de esta red de distribución también se tiene y son de gran utilidad las arquetas y cámaras de registro que son ubicados estratégicamente a lo largo de la red que se usan para instalar las cajas de empalme y splitters.

No debemos olvidarnos de los armarios de distribución que son colocados a la intemperie donde también se realizan las conexiones de fibras, así como la ubicación de los splitters; estos se usan para ahorrar espacio en las cámaras subterráneas.

2.7.2.2 Áreas Rurales de Escasa Población

Lozano Blanco (2014) refiere que son zonas donde existen viviendas unifamiliares con una densidad de edificaciones baja. En estas áreas las redes de distribución y alimentación suelen desplegarse por vía aérea a través de postación. Se selecciona cables multifibra especiales para el despliegue. En este contexto las cajas de terminación óptica suele ser mucho más pequeña que en el caso anterior, ya que los usuarios finales están alejados el uno del otro y sería más costoso llegar desde una caja terminal óptica (CTO) a un cliente muy lejano, lo que dificultaría los trabajos



Figura 2.44. Despliegue aéreo de la red de Fibra Óptica

Fuente: Recuperado de (Lozano Blanco, 2014)

2.7.2.3 Áreas Industriales

Aquí la gran problemática es la distancia que existe entre los usuarios potenciales, que es mayor que en las zonas rurales. El despliegue suele ser canalizado pues generalmente las industrias tienen una conexión punto a punto y el costo por el servicio es mayor en este tipo de escenarios. En caso de no disponer de canalización hasta estas industrias, se realiza técnicas de micro – zanjas, donde se instala los cables en el interior de estas realizadas sobre asfalto, hormigón o suelo (Lozano Blanco, 2014).



Figura 2.45. Ejemplos de despliegue para zonas Industriales.

Fuente: Recuperado de (Vaca, 2015)

2.7.2.4 Descripción de un Despliegue de RED

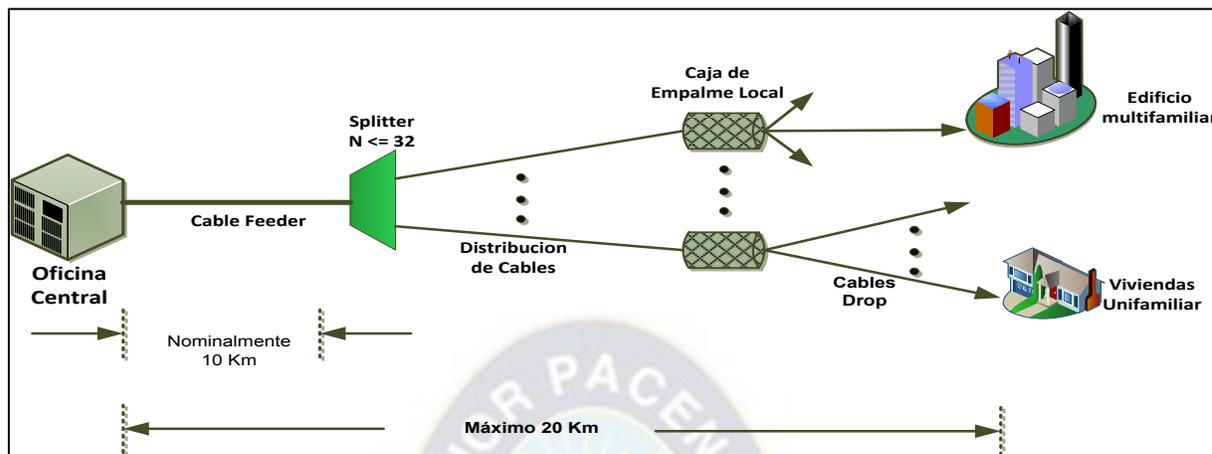


Figura 2.46. Arquitectura general de una red FTTH

Fuente: Elaboración propia en base a información recuperada de (Keiser, 2006)

En la figura 2.39 se observa que el enlace que se tiene de la oficina central hasta el divisor óptico se conoce como red de alimentación o feeder. El Splitter puede servir para más de 8 usuarios y generalmente se encuentra a 10 o 20 km de la central. Los cables de distribución se originan en el splitter y a partir de ahí se conectan los usuarios directamente a un cable de fibra múltiple que se ubica en una caja de empalme o de acceso terminal, desde donde se logra la acometida hacia los usuarios finales.

2.7.2.4.1 Ubicación de Splitters Ópticos

Una de las consideraciones a la hora de diseñar una red GPON/FTTH es la ubicación de los divisores de potencia óptica o Splitters, pues tiene un impacto sobre el costo de instalación inicial de la red además del gasto de operación y complejidad de la misma. La decisión de ubicación del splitter dependerá del lugar donde se desplegara la red, es decir, si se trata de una zona urbana o rural, ya que el despliegue es diferente en ambos casos.

Según Keiser (2006), existen dos tipos arquitectura de red, la centralizada y la distribuida. Existen numerosas configuraciones en esta arquitectura, por ejemplo el primer punto de splitteo puede variar de tamaño y ser de 1x2, 1x4 y 1x8, y los tamaños de splitteo secundarios típicos son 1x4 a 1x16. La principal característica es minimizar la cantidad de cable óptico que se requiere para la red feeder, de distribución y cables drop, lo que nos permite un ahorro en costos de la planta externa de la red.

Keiser (2006) manifiesta que un despliegue en campo, el cable de alimentación contendrá múltiples fibras para enlazar la OLT de la oficina central a los splitters de la red. Como podemos apreciar en la figura 2.47, los splitters se ubican generalmente en el mismo gabinete desde el cual se realiza la distribución a los usuarios de la zona de despliegue. Podemos apreciar que existe K fibras en la red de alimentación, típicamente mayor de la que hay en las fibras de distribución representadas por la letra M , la razón, permitir un crecimiento de la red y proporcionar fibras adicionales a otras redes independientes.

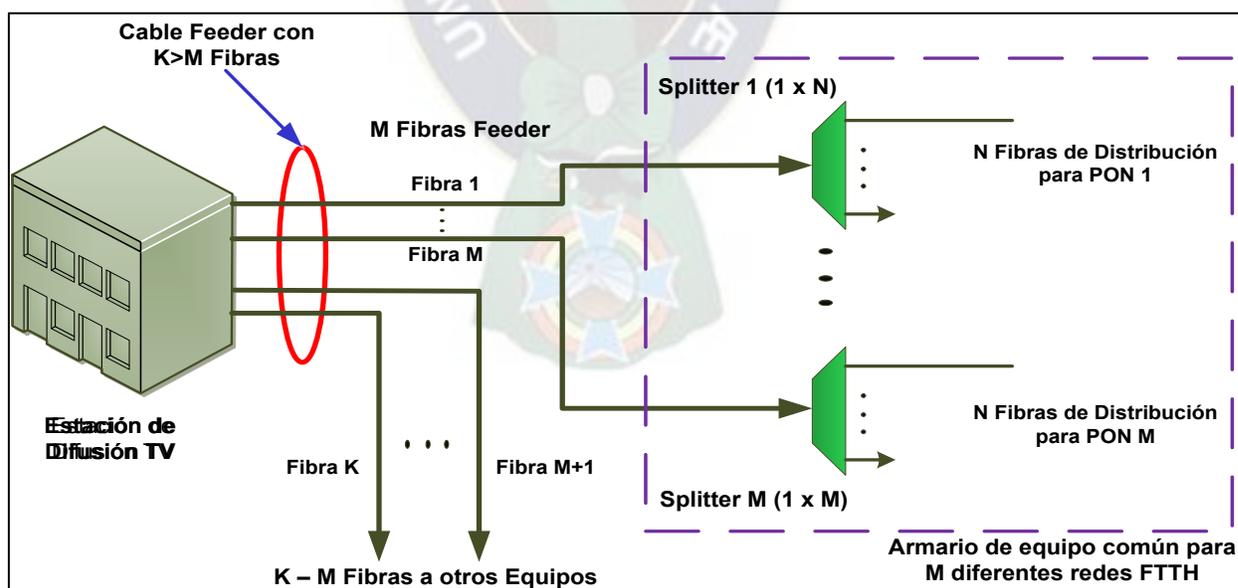


Figura 2.47. Ubicación de múltiples Splitters en Gabinete

Fuente: Elaboración Propia en Base a información recuperada de (Keiser, 2006)

2.7.2.5 Opciones de Energía Local

Una de las características más esenciales de una red GPON/FTTH es que el servicio debe ser altamente confiable y siempre disponible, puesto que la red no transporta energía eléctrica, en cuanto a los servicios de telefonía, se requiere sistemas de energía con respaldo cerca de las instalaciones del cliente si es posible. Según manifiesta Keiser (2006), un requisito estándar es que ante un corte de energía eléctrica, el sistema debe tener la capacidad de ocho horas de respaldo de energía operativa. En el caso de las ONTs la fuente de energía local se puede ubicar en las instalaciones del cliente o en un lugar que este cercano al grupo de viviendas o edificaciones, cosa que generalmente no ocurre.

Considerando que las ONTs se encuentran dentro de las instalaciones del cliente, el tema de la energización no tiene ningún inconveniente puesto que las tomas de energía están cerca y no es necesario que el proveedor cree una red de alimentación compleja y costosa, esta ventaja permite que el servicio se implemente rápidamente y a un bajo costo por usuario.

2.7.2.6 Servicios y Aplicaciones

2.7.2.6.1 Requerimiento de ancho de Banda

Los proveedores tienen el desafío de ofrecer servicios emergentes que requieren gran ancho de banda, entre ellos podemos mencionar: HDTV, telefonía IP, datos, etc. En la tabla 2.9 se enumera los anchos de banda para algunos de estos servicios para un hogar, vemos que los proveedores deben ser capaces de brindar anchos de banda suficientes para aplicaciones y servicios más comunes que puede ofrecer una red GPON/FTTH.

Tabla 2.9

Requerimientos de Ancho de Banda de servicios hogar común

Servicio	Necesidad de ancho de Banda (Mbps)
Canales HDTV	5
Canales de TV digital estándar	2
Internet	4
Total	11

Fuente Elaboración propia en base a la información recuperada de (Keiser, 2006)

2.7.2.6.2 Servicio de Video

El servicio de video es el envío de contenido multimedia a uno o más espectadores pasivos, también se tiene archivos de contenido multimedia almacenados al cual puede acceder el usuario gracias a la red, un canal HDTV codificado con MPEG2 demanda un mayor ancho de banda en la red; si un usuario en cada una de las salidas desea ver un canal en alta definición de 5 Mbps, no podrá hacerlo en la longitud de onda de 1490 nm, lo que impulsa a la necesidad de utilizar la longitud de 1550 nm para este servicio.

Como podemos observar en la figura 2.48, el equipo de video ubicado en la oficina central es un transmisor de cabecera que recibe las señales de TV analógicas o digitales de manera directa desde un estudio o a través de un enlace satelital. Este es un amplificador óptico que aumenta el nivel de la señal antes de enviarlo por la red feeder de la red; la amplificación de la señal es necesaria para tener una imagen clara en el usuario final, la potencia debe ser al menos de 5 dBm en el receptor (Keiser, 2006).

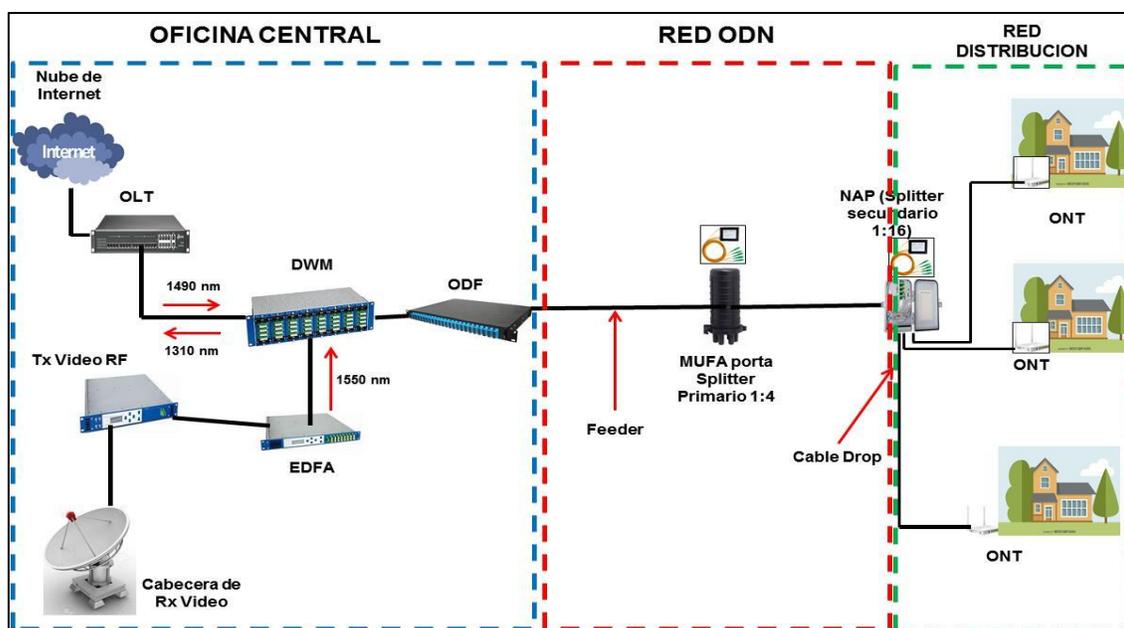


Figura 2.48 Interfaces con equipos relacionados con video en la oficina central

Fuente: Elaboración propia

2.7.2.6.3 Extensión de WDM en la Red GPON

Las redes FTTH como cualquier tecnología van mejorando debido a la demanda cada vez mayor de los servicios denominados “Triple Play”, entre estas mejoras se encuentra la multiplexación por división de longitud de onda. Dado que una red FTTH estándar de tres longitudes de onda satisface demandas de 100 Mbps por suscriptor, una posible mejora es usar más longitudes de onda para crear una WDM-PON.

La idea de este método es hacer uso de una longitud de onda separada para cada ONT de transmisión, de tal manera que la ONT pueda enviar información continuamente a través de la fibra en upstream sin esperar un intervalo de tiempo de transmisión asignado. Una solución costosa es utilizar un láser sintonizable en las ONT, pero por el bajo costo de estos equipos y que además es determinante en las implementaciones de la red, lamentablemente no es muy factible,

por tanto el desafío es implementar una WDM-PON con una fuente óptica de alto rendimiento y bajo costo (Keiser, 2006).

2.7.2.7 *Requerimientos de Sistema*

Según menciona Keiser (2006), los siguientes requerimientos son necesarios para analizar un enlace:

- Distancia de transmisión
- Número y tipos de splitters
- Rango de datos o ancho de banda
- Número de canales de longitud de onda
- Presupuesto de atenuación óptica
- Margen de potencia óptica deseable para el enlace

En la siguiente tabla se enumera los componentes pasivos y activos que se requieren para cumplir con un enlace en la red GPON/FTTH.

Tabla 2.10.

Tipos y Características de Componentes usados en un diseño de Red Óptica

Componente	Tipo	Características de uso
Fibras Ópticas	Monomodo o Multimodo	Atenuación, dispersión, tolerancia SBS
Cables Ópticos	Aéreo, ductado o subterráneo	Recuento de fibras, segmento de aplicación FTTH
Fuente de Luz	LED, DFB Laser, o FP laser	Velocidad de modulación, potencia de salida, longitud de onda, ancho espectral, coste
Fotodetectores	Pin o APD	Sensibilidad y respuesta
Conectores	Simple o múltiple canal	Pérdida, tamaño, tipo de montaje
Splitter Óptico	Basado en fibra o PLC	Tamaño (1 × N), pérdida de inserción, empaquetado
Componentes Pasivos	Filtros ópticos y acopladores de poder	Respuesta de longitud de onda, pérdida, tamaño, costo, fiabilidad
Transceivers (OLT,ONT o ONU)	Exterior o interior	Resistencia ambiental, tamaño, costo, confiabilidad, uso de energía eléctrica

Fuente: Elaboración propia en base a la información recuperada de (Keiser, 2006)

Pero además, se debe considerar equipos y materiales que están relacionados con la red como gabinetes electrónicos, fuentes de alimentación e instrumentos para las pruebas de certificación, en la tabla 2.11 se enumera también alguno de estos elementos y sus características.

Tabla 2.11

Características de equipos y materiales relacionados para el diseño de enlaces FTTH

Componente	Tipo	Características y uso
Instrumentos de testeo	Probador de BER, OTDR, analizador de espectro, medidor de potencia	Potencia óptica, rango de longitud de onda, portabilidad, coste, fiabilidad
Gabinetes	Aéreo, sobre la tierra o subterráneo; interior o exterior	Robustez medioambiental, tamaño, coste, fiabilidad
Suministros de energía	Interior o Exterior	Tamaño, costo, confiabilidad, batería de respaldo
Cable Ductos	Macro o mini ducto	Material, tamaño, coste, fiabilidad

Fuente: Elaboración propia en base a información recuperada de (Keiser, 2006)

➤ *Margen de Sistema*

También llamado margen de pérdida, es un factor de seguridad de la potencia óptica para el diseño de los enlaces, implica la adición de decibelios a los requerimientos de energía para compensar la degradación de la señal, el cual es resultado de atenuaciones por distancia, degradación de los componentes del enlace, pérdida de los conectores o empalmes, etc.

Según Keiser (2006), la recomendación UIT-T G957 especifica que se debe tener un margen del sistema que este en 3 a 4.8 dB entre el transmisor y receptor.

En el diseño de un sistema de telecomunicaciones convencional, generalmente se agrega un margen de 3 a 10 dB, esto dependiendo de los requerimientos de la aplicación, número de reparaciones y costo del sistema. Una regla de diseño aceptada es que los márgenes de pérdida de presupuesto no deben ser mayores a 3 dB. Por tanto, se usan márgenes bajos en GPON, ya que

las distancias son cortas y hay menos componentes activos que en las redes metro de larga distancia (Keiser, 2006).

➤ ***Presupuesto de Potencia***

Una de las consideraciones para calcular el presupuesto de energía es elegir la longitud de onda de transmisión y después seleccionar los componentes que operan en dicha región. Por lo descrito en anteriores secciones vimos que FTTH opera en tres longitudes de onda principales que son: 1310, 1490 y 1550 *nm*. Al momento de realizar un presupuesto de potencia es necesario hacerlas para estas longitudes, la razón principal es que la atenuación es diferente en cada una y la sensibilidad del receptor es distinta en las direcciones de upstream y downstream pues las velocidades de transmisión no son las mismas.

En la figura 2.49 tenemos un caso hipotético de un enlace FTTH entre una OLT y una ONT, vemos que hay cuatro conectores dentro de la red-enlace, un Splitter central, N empalmes que se ubican a lo largo de la ruta del cable y acopladores WDM en la OLT y ONT. La potencia óptica que llega al fotodetector depende de la cantidad de luz acoplada en la fibra menos las pérdidas que se generan a lo largo de la red. En este caso cada una de las pérdidas se expresa en decibelios como:

$$Perdida = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Dónde:

P_{in} y P_{out} son las potencias ópticas de entrada y salida respectivamente. El presupuesto de pérdida en el enlace considera la disminución de potencia óptica total P_T que existe entre la fuente de luz y el fotodetector, y esta pérdida es a causa de la atenuación del cable, pérdida en conectores y empalmes así como de los demás componentes del sistema.

Por tanto, guiándonos de la figura 2.49, si P_S es la fuente de potencia óptica que ingresa al acoplador WDM en la OLT y P_R es la sensibilidad mínima del receptor necesaria para una relación señal/Ruido en la ONT, entonces:

$$P_T = P_S - P_R$$

$$P_T = n \times (\text{perdida de conectores}) + \delta x L + N \times (\text{perdida de empalme}) + \text{perdida de Splitter} + \text{Margen de sistema}$$

Ecuación 2.7

Donde δ es la atenuación de la fibra en dB/Km y L es la longitud del enlace; como señalamos en una sección anterior, el margen del sistema puede ser alrededor de 3 dB.

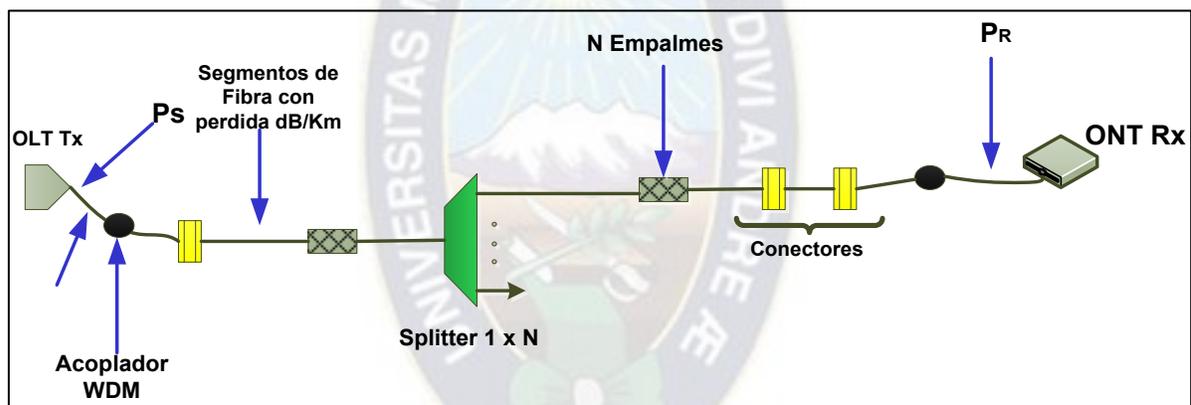


Figura 2.49. Pérdidas en un enlace hipotético FTTH entre un OLT y un ONT

Fuente: Elaboración propia en base a información recuperada de (Keiser, 2006)

2.7.2.8 Esquemas de Protección de Red

Según indica Keiser (2006) la recomendación UIT –T G.983.5 describe funciones necesarias para permitir mejoras y protección de la red y así poder brindar servicios más confiables. Como se aprecia en la figura 2.50, existen tres arquitecturas denotadas por A, B y C. En el caso del tipo A, solo la fibra óptica está protegida, pues la protección traslada parte de la carga de

reconfiguración del enlace de protección operacional al equipo de transmisión, lo que significa que el procedimiento de la determinación de rango debe realizarse nuevamente después de que ocurra un cambio en el tipo A.

En el esquema de tipo B vemos que existe OLT duplicados en la oficina central, y cada una de ellas está conectada al splitter óptico con una fibra independiente. Una de las OLT se designa como dispositivo principal de operación y la otra sirve como backup, lo que nos da a entender que si la ruta de fibra activa se interrumpe o la OLT principal falla el sistema cambia a la OLT de respaldo.

Por ultimo en el esquema tipo C la red GPON usa un respaldo redundante, es decir tanto la OLT principal como la de respaldo están funcionando dentro de la red, lo que permite que en caso de existir alguna falla de una de ellas el sistema realiza una conmutación en un tiempo de 50 ms especificado en redes SONET y SDH. Además, las ONT deberán elegir la señal alternativa en caso de pérdida de la principal, en función de la calidad de la señal recibida. En conclusión, el esquema C puede proteger contra fallas de la red de alimentación (feeder), red de distribución o cables de bajada o en la OLT u ONT.

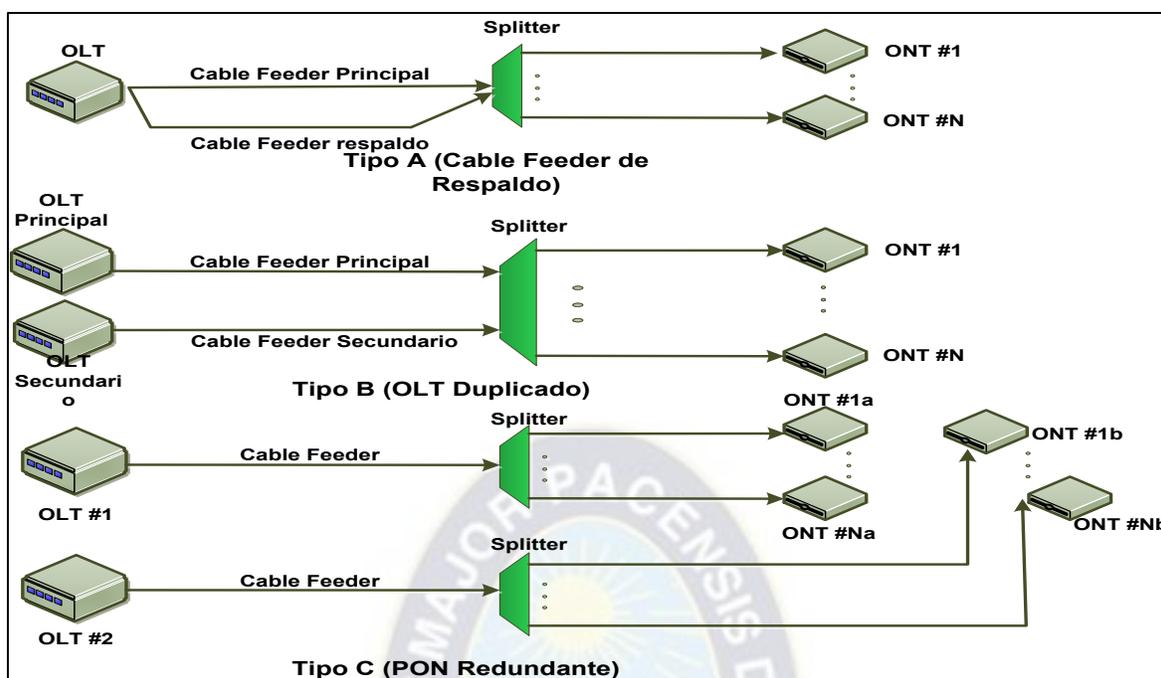


Figura 2.50. Esquemas básicos de protección de redes FTTH

Fuente: Elaboración Propia en base a la información (Keiser, 2006)

2.8 Pruebas de Certificación

Cuando se realiza un despliegue de red GPON/FTTH, la operación y mantenimiento requieren técnicas de medición para verificar que la misma esté funcionando correctamente. Una red GPON al presentar un splitter óptico pasivo requiere de instrumentos de prueba y medición especiales, estos deben ser capaces de medir el rendimiento del enlace de fibra bidireccional que transporta simultáneamente tres longitudes de onda.

Los instrumentos para una certificación de la red deben medir el nivel de potencia óptica en varios puntos de la red. Estos incluyen medidores de potencia óptica, fuentes de luz que emiten en las tres longitudes de onda, indicadores de fallas visuales, reflectómetros ópticos en el dominio del tiempo (OTDR), etc.

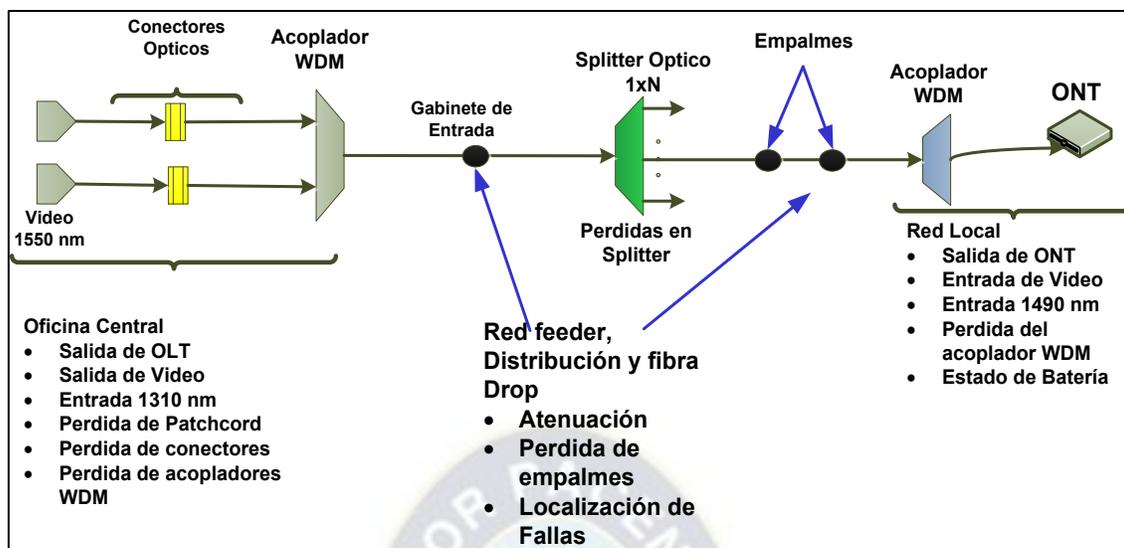


Figura 2.51. Puntos en una red FTTP de los parámetros de prueba más importantes

Fuente: Elaboración Propia en Base a la información recuperada de (Keiser, 2006)

En la figura 2.51 se muestra puntos muy relevantes que deben ser sometidos a prueba en una red FTTH, dichas pruebas ópticas son realizadas para verificar que la red y el equipo de transmisión en cada extremo cumplan con las especificaciones de diseño.

2.8.1 Instrumentos de Prueba Básicos

Estos instrumentos nos permiten realizar una variedad de mediciones en la red con solo presionar un botón después de que el encargado de la certificación haya ingresado los parámetros a probar en el rango de medición deseado. Estos equipos van desde elementos portátiles para su uso en el campo hasta sofisticados equipos de montaje en bastidor para aplicaciones de oficina. Los instrumentos portátiles deben ser resistentes para mantener mediciones confiables y precisas en condiciones ambientales extremas. En la tabla 2.12 podemos apreciar algunos de estos que son usados para el despliegue, operación y mantenimiento de una red GPON.

Tabla 2.12

Algunos instrumentos de prueba de sistemas ópticos ampliamente utilizados para PON y sus funciones

Instrumentos de prueba	Función
Medidor de Potencia Óptica	Mide la potencia óptica en una banda de longitud de onda seleccionada
Indicador Visual de Fallas (VFL)	Utiliza la luz visible para dar una rápida indicación de una ruptura en una fibra óptica
Instrumento de Campo OTDR	Mide la atenuación, la longitud, las pérdidas de los conectores y empalmes, y los niveles de reflectancia; ayuda a localizar las roturas de fibras
Atenuador de potencia óptica	Reduce el nivel de potencia para evitar que se dañe el instrumento o para evitar la distorsión de la sobrecarga en las mediciones
Sistema óptico de prueba multifuncional	Los instrumentos de fábrica o de campo con instrumentos intercambiables módulos para realizar una variedad de mediciones
Tester de pérdida de retorno óptico	Mide la potencia inversa total en relación con el total potencia de avance en un punto concreto
Analizador de espectro óptico (OSA)	Mide la potencia óptica en función de la longitud de onda
Equipo de prueba de BER	Utiliza máscaras de patrón de ojos estándar para evaluar ella capacidad de manejo de datos de un enlace óptico

Fuente: Elaboración propia en base a información adaptada de (Keiser, 2006)

2.8.1.1 Medidor de Potencia Óptica

Tiene la función de realizar medidas de potencia óptica sobre una banda de paso espectral, generalmente podría tener las siguientes bandas de operación: 1260 a 1360 *nm* para mediciones a 1310 *nm*, 1480 a 1500 *nm* para mediciones a 1490 *nm* y 1540 a 1565 *nm* para mediciones a 1550 *nm*. Este instrumento es usado ampliamente durante el proceso de implementación, operación y mantenimiento de la red GPON/FTTH.

Los medidores de potencia hacen uso de fotodetectores, por lo general las salidas del medidor se dan en dBm como (0 dBm= 1 mW) o dBμ (0 dBμ= 1 μW). En la figura 2.52 se muestra un equipo para uso en redes FTTH, y en la figura 2.53 podemos apreciar gráficamente los puntos más importantes al momento de realizar las mediciones con este equipo tanto para las configuraciones de la red, solución de problemas o durante el despliegue, donde pueden incluir:

- Niveles de transmisión $P_{T(ONT)}$ desde una ONT o $P_{T(OLT)}$ desde la OLT.
- Nivel de señal recibido $P_{R(ONT)}$ de un ONT o $P_{R(OLT)}$ de un OLT.
- Niveles de potencia en la entrada y salida del Splitter $P_{S(in)}$ o $P_{S(out)}$



Figura 2.52. Power Meter para redes FTTH

Fuente: Recuperado de (Keiser, 2006)

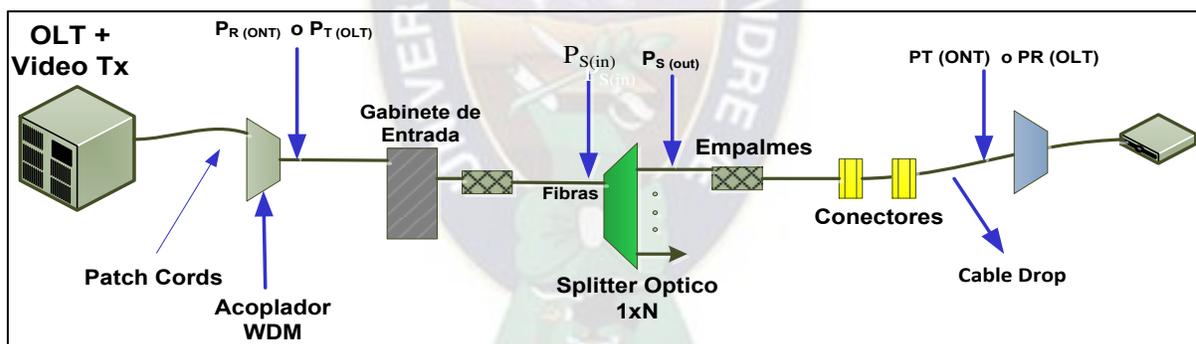


Figura 2.53. Puntos más Relevantes para realizar mediciones con Power Meter dentro de la red GPON/FTTH

Fuente: Elaboración propia en base a la información adaptada de (Keiser, 2006)

2.8.1.2 Reflectómetro Óptico en Dominio de Tiempo (OTDR)

Un OTDR es un instrumento versátil que se usa para evaluar las características de un enlace de fibra óptica; localiza fallas o anomalías dentro de una red; mide parámetros como la atenuación de la fibra, la longitud, pérdidas en conectores y empalmes y nivel de reflectancia de la luz.

Funciona mediante el lanzamiento de pulsos de luz en un extremo de la fibra, así va detectando y analizando la amplitud y características de la red. El equipo cuenta con un módulo de adquisición y procesamiento de datos, una unidad de almacenamiento de información y una pantalla. En la figura 2.54 se muestra un trazado típico que se puede visualizar en un OTDR, en ella se tiene una escala vertical logarítmica y mide la señal de reflejada en decibelios, en cambio el eje horizontal denota la distancia entre el instrumento y el punto de medición de la fibra.

Entre los eventos que podemos visualizar en el OTDR están:

- Un pulso largo como resultado de la reflexión de Fresnel en el extremo de la entrada.
- Una señal de ruido como resultado de la dispersión de Rayleigh al final del punto de medición.
- Picos o curvas abruptas por la pérdida óptica en los conectores o uniones mecánicas dentro de la red
- Picos positivos en el extremo más alejado de la fibra, en empalmes e imperfecciones.

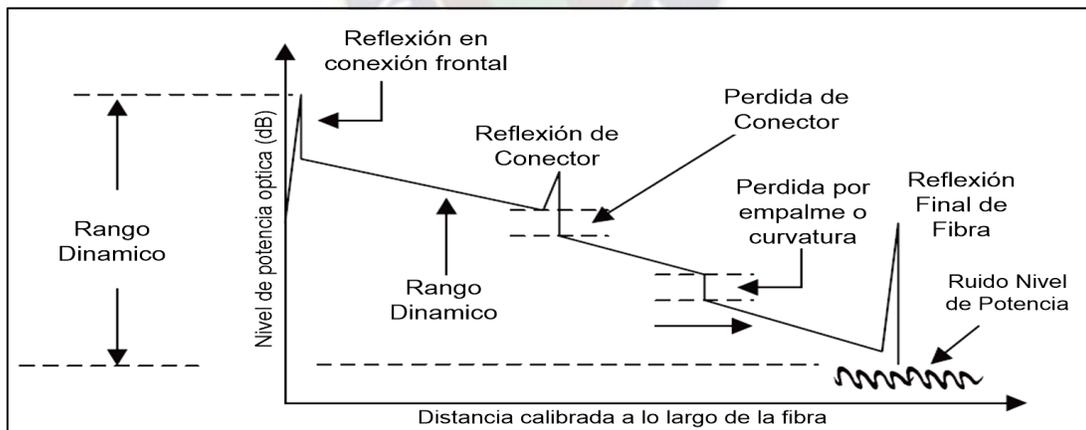


Figura 2.54. Trazo representativa de potencia óptica reflejada y retro dispersada como se muestra en una pantalla OTDR características de traza.

Fuente: Elaboración Propia en base a la información de (Keiser, 2006)

Otro de los parámetros que se deben tomar en cuenta al momento de realizar las mediciones con el OTDR es la “Zona Muerta”, que no es más que la distancia sobre la cual el fotodetector en un OTDR se satura momentáneamente después de medir una reflexión. Esta zona de atenuación nos indica a que distancia debe recuperarse el fotodetector en un OTDR luego de un evento reflexivo antes de que este pueda detectar un empalme, esta longitud típicamente varía entre 10 a 25 metros. Sin embargo, en la actualidad existen proveedores de equipos OTDR que emplean una longitud especial de fibra que se denomina “supresor de pulso óptico”, lo que reduce la zona muerta de modo que la detección de anomalías dentro de una red muy corta es posible.

2.8.1.3 Localizador Visual de Fallas (VFL)

Instrumento parecido a una linterna pero que utiliza una fuente de luz láser visible para detectar eventos tales como una rotura de fibra, curvaturas cerradas en la fibra o conectores mal acoplados. Este equipo emite una luz dentro de la fibra de color rojo a una potencia de 1 mW, el cual puede ser lanzado de manera constante o intermitente y permite que el usuario detecte visualmente un problema hasta en 5 km; es útil para encontrar fallas dentro de la zona muerta de un OTDR.

2.8.2 Pruebas de Red FTTH

Las pruebas en la red son necesarias para que se cumplan con las especificaciones de diseño, como se observa en la figura 2.55, se deben realizar mediciones generales entre la OLT en la oficina central y la ONT en las instalaciones del cliente. Estas pruebas o mediciones incluyen:

- Prueba 1, caracterización individual de los enlaces en la oficina central como en el cable de salida de la planta.
- Prueba 2, verificar que las pérdidas de extremo a extremo bidireccionales se satisfaga.

- Prueba 3, medir la pérdida de los conectores, empalmes de fibra y acopladores de longitud de onda.
- Prueba 4, verificar que la ONT reciba los niveles de señal óptica adecuados desde la OLT y del equipo de video de la oficina central.
- Prueba 5, verificar que la OLT reciba los niveles de señal óptica de cada ONT en longitud de 1310 nm.

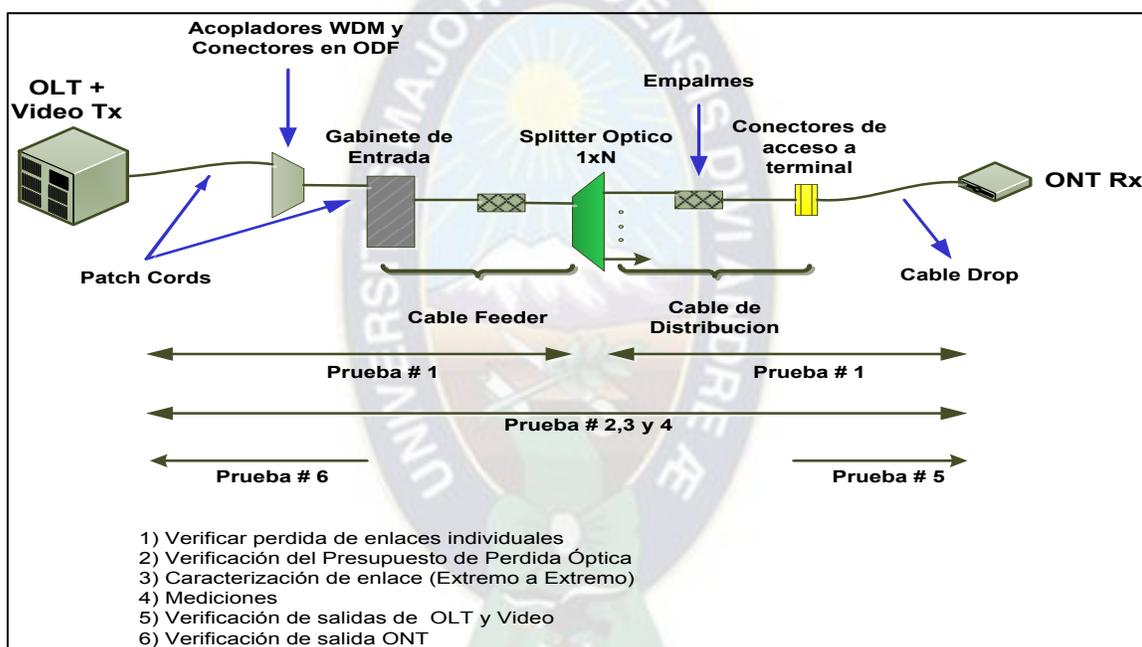


Figura 2.55. Mediciones generales entre la OLT en la oficina central y la ONT en las instalaciones del cliente.

Fuente: Elaboración propia en base a la información de (Keiser, 2006)

CAPITULO III

INGENIERIA DEL PROYECTO

3.1 Situación de Telecomunicaciones Yungueña

Telecomunicación Yungueña, es una empresa legalmente establecida y autorizada por la ATT para brindar servicio de TV cable en la Localidad de Coripata. Actualmente la empresa tiene implementado una red CATV en esta localidad.

La red desplegada por Telecomunicaciones Yungueña está conformada por una red unidireccional de cable coaxial, donde la señal es amplificada cada 280 metros y distribuida al usuario final a través de TAPs de 4 y 8 salidas; actualmente la empresa va llegando aproximadamente a los 500 usuarios, con un plan de 40 canales entre locales e internacionales.

Su red se compone de antenas y receptores, conversores y moduladores, los cuales se encuentran ubicados en la cabecera de la red. Su red troncal está compuesta de un cable coaxial de un diámetro mayor al cable tradicional, esto para reducir las atenuaciones en todo su trayecto; posee una arquitectura tipo árbol, además de contar con una cascada de amplificadores.

La red CATV, tiene una arquitectura tradicional compuesta por un sistema de antenas, una cabecera de red, red troncal y la red de distribución; cada una de ellas las describiremos a continuación.

➤ Sistema de Antenas

Está constituido por un conjunto de antenas receptoras que son destinadas a recibir señales satelitales. Actualmente, cuenta con 4 antenas de recepción, de donde la empresa obtiene la grilla de canales a ser distribuidos a los usuarios finales, entre las cuales podemos mencionar, proveedores de TV satelital como la ABE, de la cual saca la grilla de canales locales, Intersatelital, empresa con la que rescindió contrato y por ahora solo hace recepción de los canales libres de donde se obtiene la grilla de canales internacionales y por ultimo Entel Tv.

➤ **Cabecera de Red**

La empresa Telecomunicaciones Yungueña cuenta en su cabecera con un conjunto de equipos para distribuir su servicio. Una vez que las señales de TV son captadas, estas pasan a través de un modulador de Señal de Vídeo de la marca PDI, en donde convierte la señal de video a un canal (a escoger) de VHF y UHF de televisión convencional y entonces la envía junto con otras señales diferentes por el mismo cable coaxial en un canal distinto después de agruparlas en el combinador de canales para formar la señal compuesta que se enviara a la red de distribución. Además la empresa también cuenta con un transmisor óptico con el cual se hicieron pruebas piloto y actualmente manda señal de TV a una zona que se encuentra a una distancia de 2 Kilómetros aproximadamente a través de fibra óptica.

➤ **Red De Transporte o Troncal**

La red troncal está formada por un solo cable coaxial troncal de un diámetro mayor al cable coaxial tradicional (RG6). Se utilizan los llamados amplificadores troncales con el fin de tener un mismo nivel de señal en todo lo largo de la red incluso en el punto más lejano.

➤ **Red de Distribución**

Su red de distribución utiliza cable coaxial tradicional RG59 de 75 ohmios, la distribución se hace a través de TAPs de 4 u 8 salidas que son distribuidas en casi un 70% de la localidad de Coripata.

En la figura 3.1 podemos apreciar el despliegue de Red CATV que tiene la empresa Telecomunicaciones Yungueña en la localidad de Coripata, donde se observa la distribución de postes en el lugar, ubicación de los amplificadores de señal y la distribución de TAPs que en algunos sectores se encuentra ubicado en cada poste.

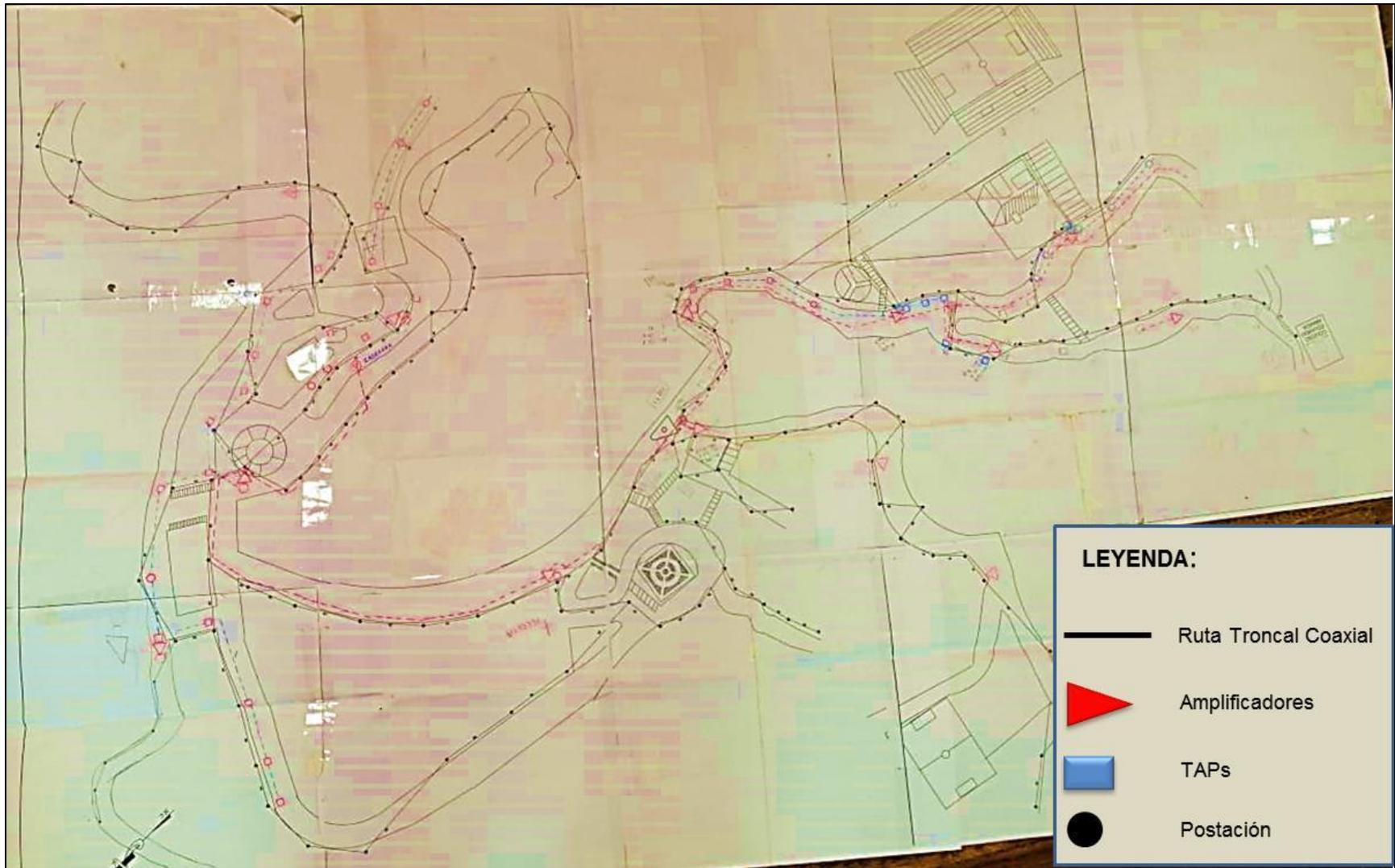


Figura 3.1 Mapa de despliegue Red CATV en la localidad de Coripata

Fuente: Telecomunicaciones Yungueña

3.2 Diseño de la red GPON/FTTH

En este capítulo detallaremos el proceso para el diseño de la red GPON/FTTH para la localidad de Coripata. El proyecto tiene el propósito de brindar a la empresa Telecomunicaciones Yungueña una opción para el mejoramiento de su red y extender la cobertura de sus servicios a la población de Coripata y comunidades aledañas para brindar un servicio de calidad al usuario final.

3.3 Área a cubrir con GPON/FTTH

El municipio de Coripata, es la segunda sección de la Provincia Nor Yungas del departamento de La Paz, localizada a 116 Km de la Sede de Gobierno, según el último censo nacional del año 2012 cuenta con una población de 17,586 habitantes. Se localiza en las estribaciones sub andinas de la Cordillera Real. El cantón Coripata, cuenta con 23 comunidades de las cuales en la capital y localidades aledañas se iniciara el estudio para el diseño de la red GPON/FTTH. La población de Coripata se encuentra en un crecimiento exponencial, lo que hace que el proyecto sea atractivo. Al estar alejada de la ciudad de La Paz, la localidad solo cuenta con un servicio de internet móvil 3G por parte de las empresas Entel S.A. y Telecel (TIGO).

Como se ve en la figura 3.2, el área de cobertura que se extrajo del Google Earth comprende 6 comunidades que son: Coripata, Santa Bárbara, Santa Gertrudis, Coscoma, Chillamani y Anacuri; siendo Coripata la zona principal para el despliegue de la red.

Gracias al compromiso que tuvo la empresa Telecomunicaciones Yungueña para facilitarnos el acceso a la información y apoyarnos en el desarrollo del proyecto, se evitó la realización de una encuesta y un estudio de demanda del servicio como generalmente ocurre.

Telecomunicaciones Yungueña es la única empresa que brinda servicio de TV cable en esta localidad y su próxima meta es brindar el servicio de Internet, es por ello que tiene la necesidad de contar con un diseño de una red de fibra óptica para cumplir con ese objetivo.

El servicio de TV cable es muy requerido en esta localidad y al momento de realizar el Site Survey en la zona pudimos evidenciar la falta de puertos de distribución en algunas zonas y disponibilidad para nuevos usuarios. Esta es una de las razones por que la empresa solicito ayuda para el diseño de una red de fibra óptica que sea capaz de transportar y distribuir los servicios de TV (video) y datos a través de un solo medio y llegar a algunas comunidades colindantes con Coripata.

Basándonos en el último censo que se realizó en nuestro país, y analizando las proyecciones de crecimiento poblacional del lugar, nos permiten determinar que una implementación del diseño de la red GPON/FTTH en esta localidad es un negocio rentable, pues según los datos estadísticos de la INE que están reflejados en la tabla 3.1 vemos que existe un total de 1431 viviendas habitadas el año 2011 donde se desea desplegar la red.

Paralelamente, en la tabla 3.2 apreciamos la demanda que existe por la población de Coripata para el servicio de Internet, datos que fueron facilitados por la empresa Telecomunicaciones Yungueña. Según estos datos se tiene un aproximado de 305 clientes potenciales a la espera del servicio de internet y tv cable con los cuales se espera contar cuando la red GPON/FTTH esté operando.

Este dato es muy importante ya que nos brinda una base para iniciar con el diseño del proyecto y tener una idea de la capacidad que se manejara en cuanto al ancho de banda y el dimensionamiento que debe tener la red. Por último, con el *site survey* se tiene una idea de la forma de distribución que se implementara en esta localidad pues, se verifico que en 5 de las 6 comunidades donde se piensa desplegar la red existe una alta densidad de viviendas contiguas, lo que nos facilitara la elección de los puntos de distribución a través de las NAPs.

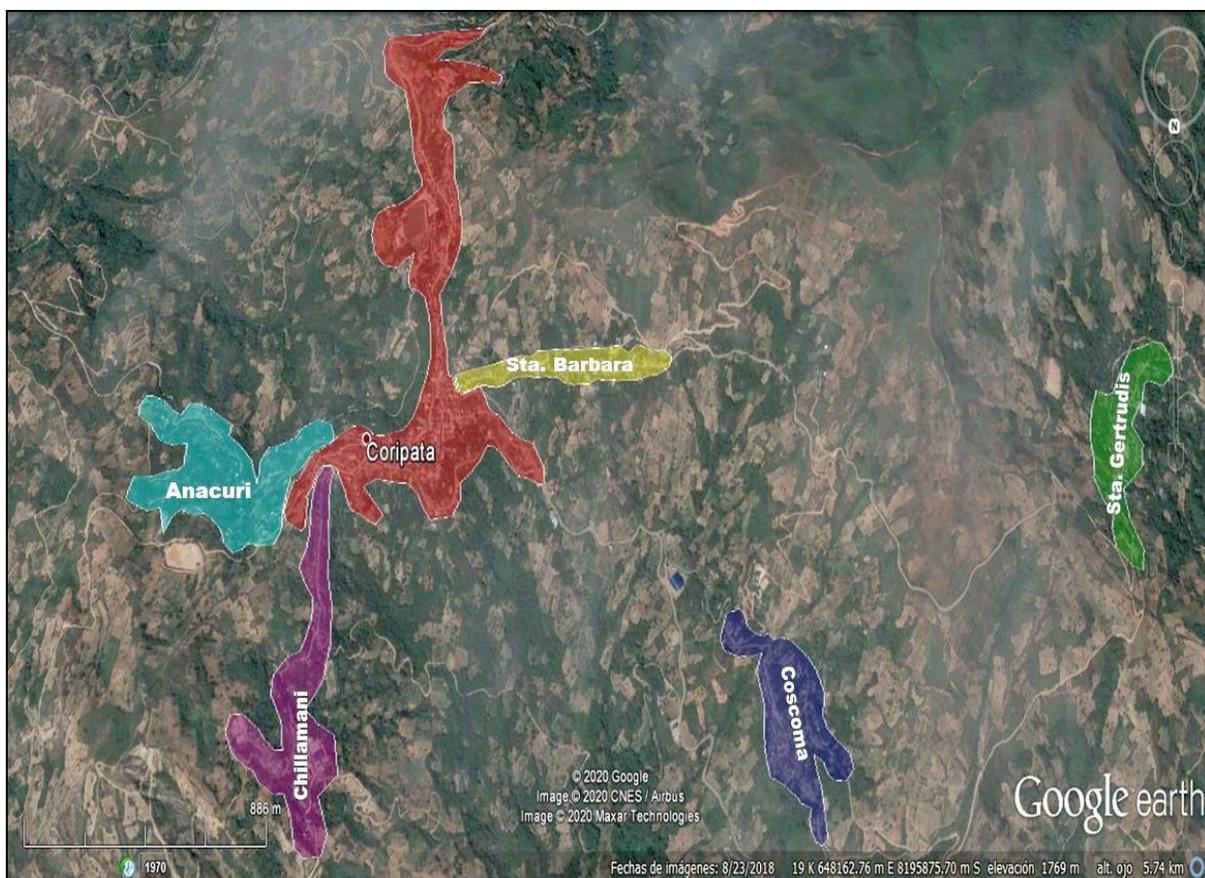


Figura 3.2. Comunidades consideradas para el proyecto GPON/FTTH en la Localidad de Coripata

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.1

Número de viviendas según censo 2011 en las zonas de despliegue de RED GPON/FTTH

Zona	Número de viviendas
Coripata	700
Anacuri	99
Santa Bárbara	90
Chillamani	213
Coscoma	150
Santa Gertrudis	179
TOTAL Viviendas	1431

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2

Clientes potenciales para servicios de internet y TV cable (Datos proporcionados por la empresa Telecomunicaciones Yungueña)

Zona	Potenciales clientes
Coripata	150
Anacuri	15
Santa Bárbara	20
Chillamani	25
Coscoma	50
Santa Gertrudis	45
TOTAL CLIENTES POTENCIALES	305

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Penetración de la Red GPON en la localidad de Coripata

Para determinar la penetración del despliegue y cobertura de la red, en primera instancia se tomó el valor que maneja la empresa Entel SA, cuyo porcentaje de penetración en sus áreas de despliegue es del 25 al 30 %, ya que Entel debe competir con otras empresas donde generalmente se tiene de 2 a 3 operadores, además considerando que en las áreas urbanas el tema de solicitud del servicio tiene una alta demanda.

Telecomunicaciones Yungueña es la única empresa legalmente establecida en este sector para brindar servicio en la localidad de Coripata, se manejara un porcentaje similar de penetración basándonos en datos que nos proporcionó la empresa, tomando en cuenta la rentabilidad que debe tener el proyecto y la recuperación en menor tiempo de los recursos invertidos para la construcción de la red óptica.

Manejando datos estadísticos recuperados del Instituto Nacional de Estadística que son reflejados en la tabla 3.1 y tomando en cuenta el dato de los potenciales clientes, vemos que la penetración inicial del proyecto será del 21,31 %, valor que representa a 305 clientes potenciales.

Este valor fue proporcionado por la empresa Telecomunicaciones Yungueña, la misma refleja los cliente potenciales que requerirían el servicio en cuanto la red ya este desplegada y operativa.

Para nuestro diseño final incrementaremos y se manejara un porcentaje del 30 % de penetración considerando que con el tiempo la población y la demanda del servicio se incrementarían. Otro de los factores que nos deciden tomar el valor de 30 % fue las nuevas políticas de educación virtual que seguramente serán implementados por el tema de la pandemia mundial (Covid 19). El incremento del 8.69 % representa una cantidad de 124.3 usuarios más, donde hablaríamos ya no de 305 clientes sino de 429.3 usuarios para los servicios de Internet y TV cable.

Se detallara la implementación más óptima de la red en una primera etapa hasta alcanzar el diseño final de la red, pues se tomara en cuenta detalles como: costo de implementación, costo de operación y recuperación de la inversión.

El proyecto traerá beneficios para la empresa Telecomunicaciones Yungueña y para la población de Coripata, pues al brindar los servicios de TV cable (video) e Internet no solo se brinda un tipo de distracción a los usuarios, sino que también permite desarrollar habilidades y valores positivas, aumentar su curiosidad, estimular su desarrollo, aumentar su creatividad e imaginación entre otros beneficios.

Por tanto, el 30 % de la penetración considera un total de 429.3 usuarios potenciales de un total de 1431 viviendas habitadas en esta localidad de Coripata.

3.4 Diseño Lógico - Genérico de la Red

Uno de los requerimientos en redes GPON es el uso de niveles jerárquicos de splitters en sus diseños. El presente proyecto presentara una arquitectura de red que se compone de dos niveles de splitteo, uno primario de 1:4 y/o 1:8, y otro secundario de 1:16 y/o 1:8, dando una relación de división de 1:64 abonados por puerto PON y topología multipunto.

Esta topología es la más recomendable debido a su alcance y escalabilidad para cubrir áreas mayores utilizando una menor cantidad de recursos con cables de fibra óptica, lo que nos reduce costos al momento de realizar la implementación.

El diagrama lógico de la red se puede apreciar de mejor manera en la figura 3.3. En este diagrama vemos que se usara equipo OLT, ubicado en la cabecera de la red en Coripata, y se encontrara cerca de la red principal de fibra óptica de las empresas ENTEL y TIGO. Desde la oficina central se realizara el despliegue de la red a las 6 zonas descritas anteriormente mediante una red de fibra óptica.

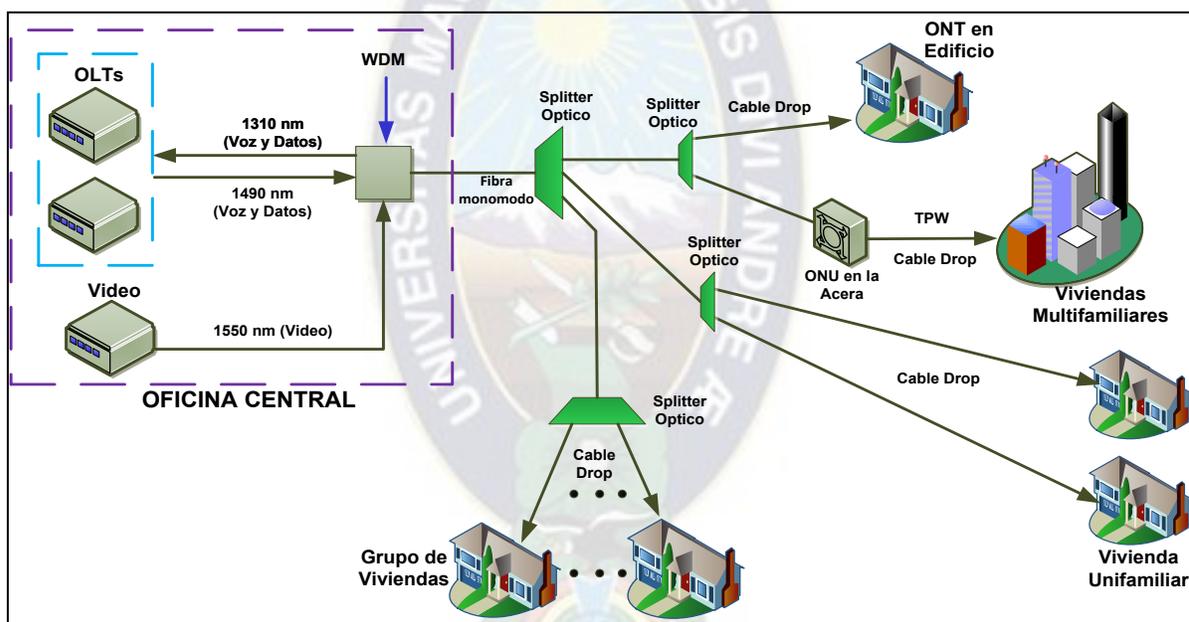


Figura 3.3. Diagrama Lógico de la red GPON/FTTH

Fuente: Elaboración propia

Algo que se debe considerar a la hora de realizar un diseño, es tomar en cuenta las pérdidas elevadas que se pueden alcanzar en las redes de fibra óptica si no se realiza un diseño adecuado basados en la normativa internacional UIT-T, principalmente por la presencia de los splitters que atenúan la potencia de recepción final, por esto se debe realizar un análisis de pérdidas totales tanto para downstream y upstream de la red.

3.4.1 Topología De Red GPON/FTTH a Utilizar

El diseño de la red óptica se basa en una topología de red tipo árbol como se observa en la figura 3.3, ya que optimiza la red ODN (Optical Distribution Network) y se basa en la topología que maneja la empresa ENTEL SA.

La red de fibra óptica será distribuida en forma de ramificaciones en un solo sentido, y el dimensionamiento de quipos solo abarca desde la OLT, el equipo WDM, y ONTs.

Describiendo algunos aspectos y rasgos importantes podemos mencionar:

- El punto central de nuestra interconexión será la OLT y el nodo se ubicara en la cabecera CATV de Coripata.
- Cada zona será abastecida por uno o más splitters primarios mismos que serán instalados en puntos específicos, la zona de color rojo que es la más extensa y requerirá al menos 3, pues tiene la mayor parte de la población y viviendas, además de contar con entidades financieras, hoteles, alojamientos, locales, etc.
- Los OLTs alimentaran a cada splitter primario, entregara sus hilos a través de tres cables troncales de fibra que llegara hasta cada uno de los splitters primarios desde donde se distribuirá a las NAPs en cada zona. La distribución se realizara desde el ODF principal hacia las NAPs y de ahí a los usuarios finales cuya configuración se explicara más adelante.
- Cada splitter primario a su vez entregara sus hilos a distintos splitters secundarios, y a partir de ello se establecerán los enlaces a las ONTs.
- La red feeder, la red de distribución y acometida se implementara por tendido aéreo.

La red de acceso que se empleara para el despliegue hasta el usuario final será la FTTH, se podría considerar también el uso de una red FTTB que permite el acceso a edificios, pero considerando que en la zona no cuenta con este tipo de construcciones, solo se implementara este tipo de red de acceso.

3.5 Diseño físico de la red

Como vimos, una red GPON permite proveer servicio en un rango nominal máximo de 20 km. Coripata y las demás zonas están dentro de este rango, sin embargo, debido a su crecimiento se ha decidido dividir en 6 zonas en las que se considera que habrá diferente nivel de demanda en lo que respecta a los servicios. Estas zonas son:

- Santa Gertrudis - Zona 1 (verde): en esta zona lo más destacable son las viviendas unifamiliares y pequeños negocios, las personas de este sector son productores de la hoja de coca y agricultores.
- Coscoma - Zona 2 (azul): en esta zona también encontramos algunos pequeños negocios y viviendas unifamiliares y al igual que la zona 1, la población también es productor de la hoja de coca, agricultura y crianza de animales.
- Santa Bárbara – Zona 3 (amarillo): Aquí la población está conformada por algunos alojamientos, viviendas unifamiliares y negocios pequeños como tiendas.
- Chillamani – Zona 4 (violeta): La zona cuenta con una unidad educativa y el centro de salud central de la localidad de Coripata, es una de las zonas con más población de Coripata, contando con alojamientos, viviendas multifamiliares y negocios. La mayor parte de la población está dedicada a la producción y comercialización de la hoja de coca.

- Anacuri – Zona 5 (celeste): esta zona está constituida por viviendas dispersas que dificultan una distribución adecuada del servicio, existen viviendas unifamiliares y algunas pequeñas tiendas.
- Coripata-Zona 6 (Rojo): En esta zona se encuentra la mayor parte de la población de Coripata, en ella podemos encontrar, viviendas unifamiliares, mercados, entidades financieras, terminal de buses, centro de salud, una unidad educativa y varios negocios que tienen una tendencia a crecimiento.

La figura 3.4 detalla las 6 zonas donde se desplegara el diseño de la red GPON / FTTH en la localidad de Coripata.



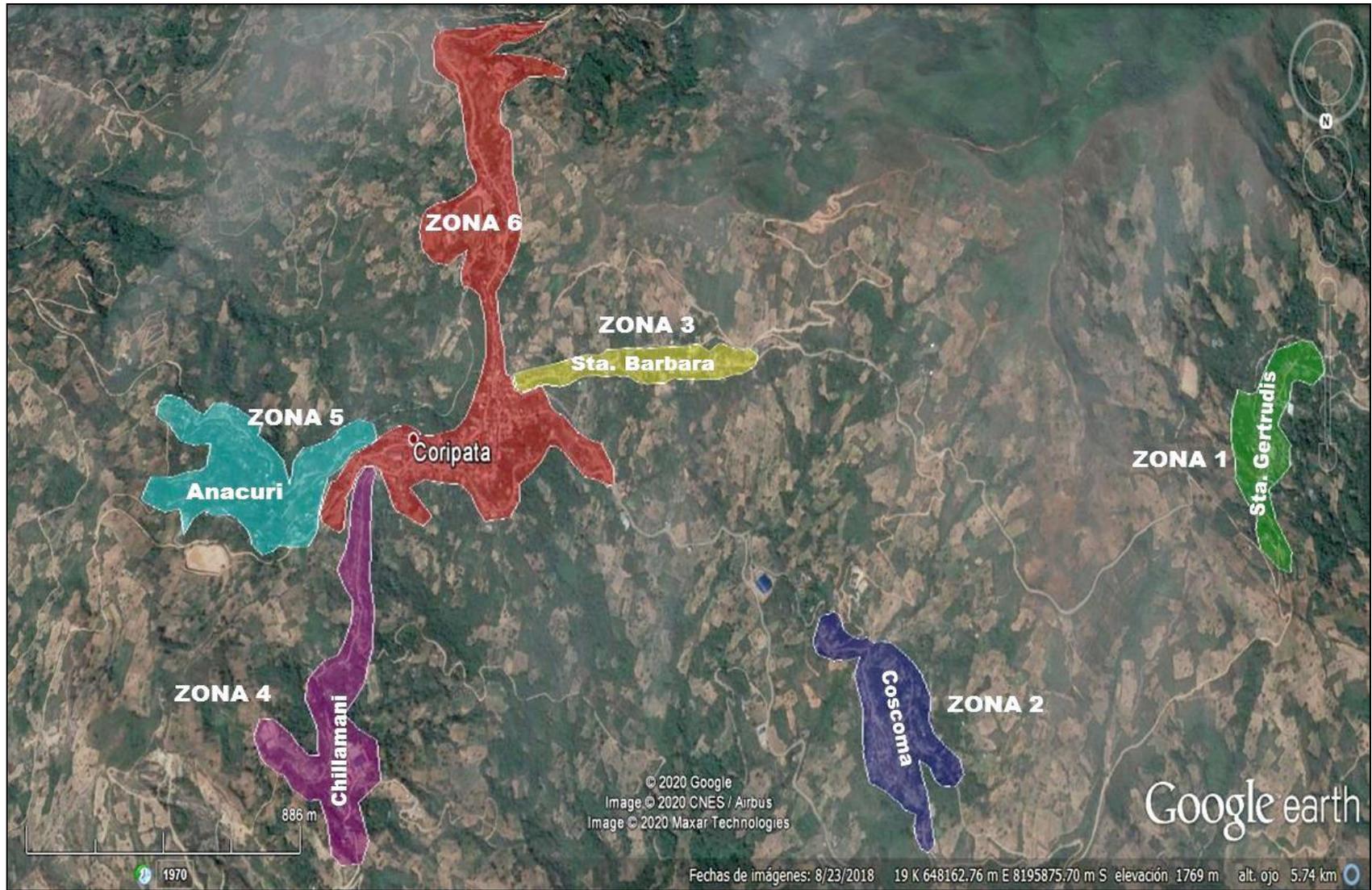


Figura 3.4. Zonas consideradas para el despliegue de la red GPON/FTTH

Fuente: Elaboración propia

3.5.1 Ubicación del Nodo de la Red

El nodo principal será ubicado en la cabecera de la Red CATV, en un domicilio de dos plantas que tiene varios negocios y habitaciones que sirven para alojar a los visitantes y donde se ubica la oficina de la empresa Telecomunicaciones Yungueña. En este nodo se ubicara todos los equipos que son necesarios para la distribución del servicio, equipos activos y pasivos como: OLTs, Switches, equipos WDM y el ODF principal para el despliegue de la red.

En la figura 3.5 vemos la ubicación geográfica del nodo principal en la localidad de Coripata, misma que con la ayuda del Google Earth se encuentra en las coordenadas: (**Latitud: -16.314050° y Longitud -67.605737°**), desde este punto se realizara la distribución óptica en forma ramificada a cada una de las zonas en donde se desplegara la red.

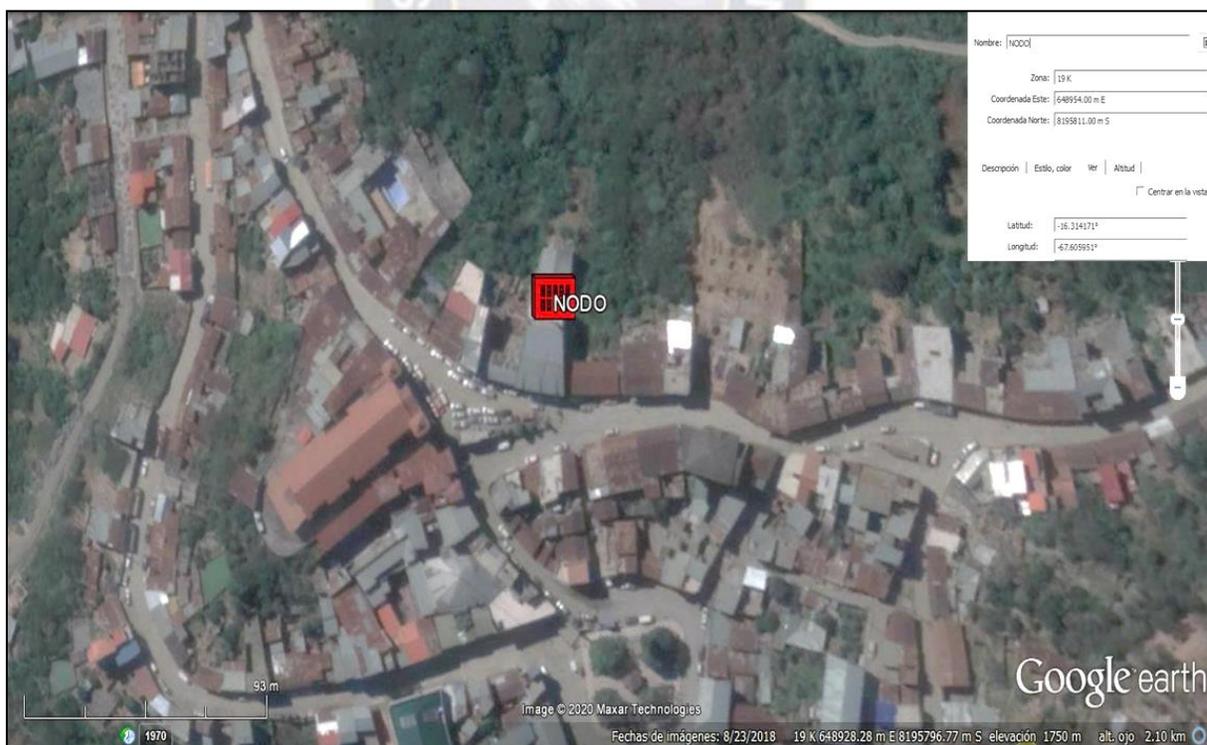


Figura 3.5. Ubicación del nodo principal de la red GPON (Coripata)

Fuente: elaboración propia

El nodo está ubicado estratégicamente en el sector y albergara los siguientes elementos:

- 1 Racks de 42 Unidades
- ODF
- Equipo OLT
- Alimentación Eléctrica
- Switches y routers

3.5.2 Selección de rutas

3.5.2.1 Consideraciones

Para la elección de ruta, se considera lo siguiente:

- Elegir una ruta cercana a los sitios donde se brindara el servicio, que permita optimizar recursos, ya sea en el tendido de fibra, los materiales para despliegue de la red y equipos activos.
- Tomar en cuenta los factores ambientales ya que se realizaran trabajos con fibra óptica y se necesitan un buen ambiente, libre de polvo, agua, entre otros factores externo que se deben considerarse para el diseño.
- Evitar trayectos peligrosos considerando las no linealidades de las calles y ciertos obstáculos que se puedan presentar, esto para evitar accidentes personales.

3.5.3 Análisis de rutas

A nivel de planta externa, la selección de las rutas es un parámetro relevante para tener un buen diseño de la red GPON/FTTH, pues bajo este escenario la ruta debe converger con la localización de los clientes que posee la empresa, además, a futuro permitir expandir la red de forma ordenada sin tener problemas de escalamiento, evitando realizar un nuevo tendido de cables de fibra óptica por el mismo lugar.

El tendido de la fibra óptica será del tipo aéreo, donde la disponibilidad de postes y la geografía en el sector conlleva a verificar cual es la ruta más idónea y la localización favorable para el tendido y ubicación de las cajas de distribución, de tal manera que la ruta seleccionada necesariamente tendrá que utilizar los postes de propiedad del municipio y, en otros casos, plantar nuevos postes propios de la empresa Telecomunicaciones Yungueña, para una mejor distribución y despliegue de la red.

La figura 3.6 ilustra geográficamente las zonas y rutas más importantes del tendido de fibra óptica, debemos notar que se sigue la trayectoria de las vías y caminos del sector.



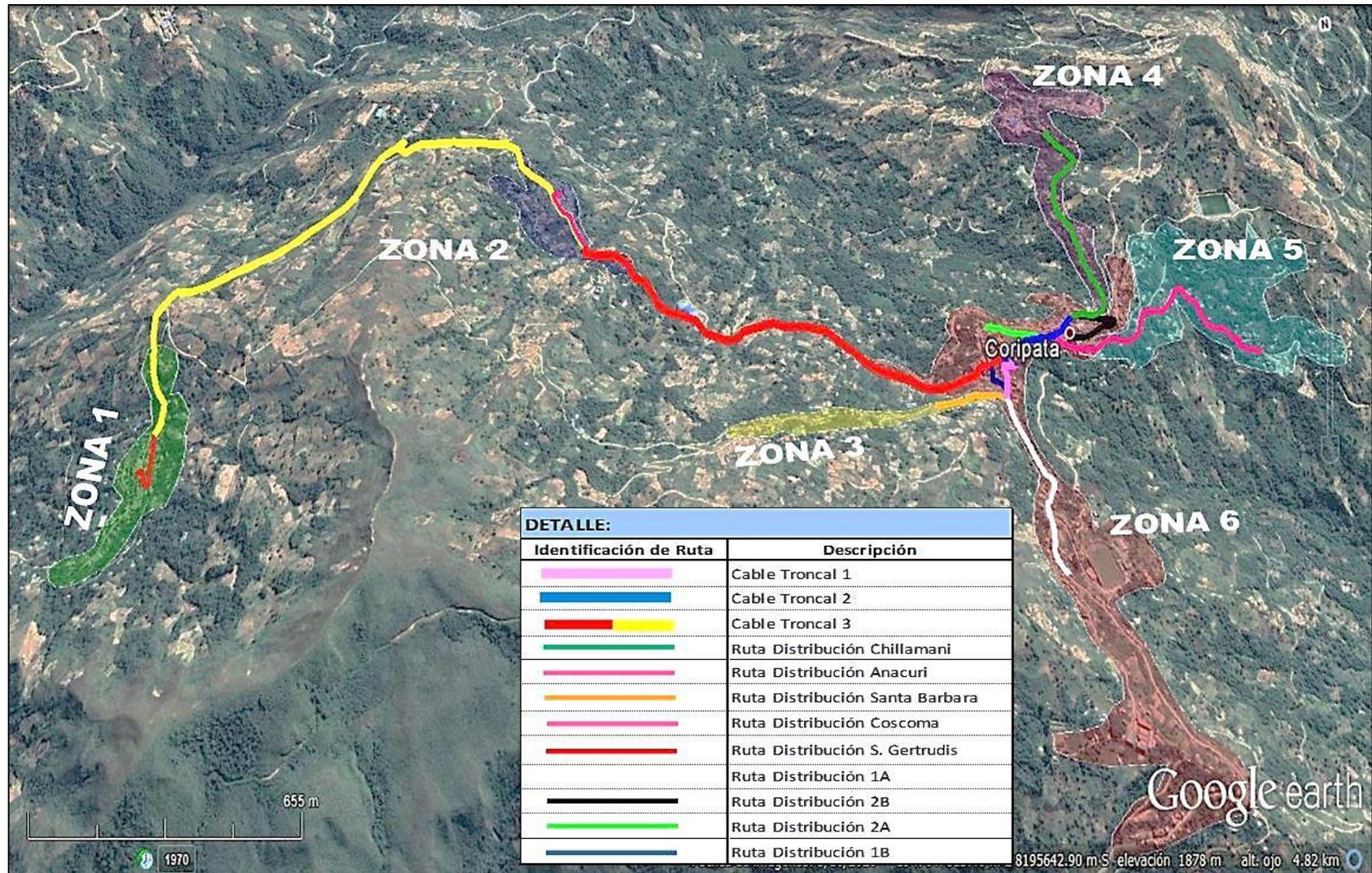


Figura 3.6. Rutas troncales y distribución de fibra óptica

Fuente: Elaboración propia

3.5.4 Proyecciones Futuras

Dentro de estas 6 zonas, es posible insertar dentro de la red más Splitters que abastezcan de servicio a nuevos usuarios en dichas comunidades, siempre tomando en cuenta que en ningún caso se superara el rango de distancia que la tecnología GPON permite, por lo que no se considera la posibilidad de implementar amplificadores o un nuevo OLT que se conecte a la red anterior para extender la red.

3.6 Elementos a considerar en el diseño

La topología de la red GPON/FTTH está compuesto de OLTs, donde se encuentran los puertos GPON que se conectan al ODF para la distribución del servicio a través de los cables troncales de fibra óptica. En la localidad de Coripata haremos uso de un cable de 6 y 12 hilos para la red feeder, esto para abaratar costos; mismos que conectarán el ODF con las Muflas porta splitter, desde ahí será distribuido a través de cables de menor capacidad de hilos de fibra, generalmente en rutas sub troncales con capacidad de 4, 6 o 12 hilos.

Para llegar a los usuarios finales se realizarán las divisiones ópticas a través de splitters secundarios y, desde ahí se llegará hasta los usuarios finales a través de acometidas de cable óptico del tipo Drop.

A continuación se presenta algunas de las consideraciones que serán tomadas para nuestro diseño.

- **Ancho de banda disponible en cada puerto GPON y ancho de banda por servicios:** sabiendo que se tiene 2,5 Gbps disponibles para bajada y 1,25 Gbps para subida, se debe considerar que el ancho de banda disponible de la fibra óptica troncal correspondiente deberá repartirse entre la cantidad de usuarios que se manejara a través de ella. El ancho de banda (AB) total es igual al número de usuarios multiplicado por

el **AB** promedio de un usuario. Esto se debe hacer tomando en cuenta los usuarios potenciales que podrán ser atendidos por la red, por tanto es indispensable considerar el máximo número de clientes que puede llegar a cubrir cada fibra, independientemente de los servicios que actualmente están siendo conectados de manera efectiva

- **Relación de Splitteo máxima:** la relación de división a utilizar en nuestro diseño será de 1:64. Si bien, en teoría es posible utilizar una relación de división máxima de 1:128, esta relación no se utiliza porque el diseño de la red debe ser flexible y posibilitar el incremento de la velocidad por usuario en caso de ser necesario.
- **Ubicación de los Splitters:** es conveniente que los splitters con mayor relación de división se coloquen más cerca de los clientes con el objetivo de utilizar cables de menor capacidad en la red de distribución y así reducir los costos en materiales (cables, splitter, NAP, etc). Debido a la topología adoptada en el diseño en nuestra red, se trata de Splitters distribuidos en forma de cascada, desde donde se alimentaran las diferentes NAPs y posteriormente a las ONTs.
- **Capacidad:** debemos garantizar que el diseño de la red sea fácilmente escalable con el objetivo de dimensionar la capacidad de la red con una visión para un crecimiento futuro, es recomendable dejar reservas de fibras en los splitters del ultimo nivel. Al tomar en cuenta estas consideraciones para el cálculo del ancho de banda, se evitaran posibles problemas de saturación de la red.
- **Alcance máximo de la red:** la distancia máxima que puede alcanzar la ODN es de 20 Km para las redes FTTH. Debemos tomar en consideración el margen de potencia que existe entre el equipo de la oficina central OLT y el ONT, ya que este alcance se ve

limitado por todas las pérdidas que se agregan en el despliegue de la red por los elementos utilizados.

- **Fibra óptica para implementación de red:** según el estándar ITU-T G.984, recomienda el uso de fibras G.652D por ser más compatible y apropiada para el funcionamiento de las redes GPON. Pero debemos considerar que este tipo de fibra (G.652D) es relativamente costoso, su pérdida es de 0.35 – 0.4 dB/Km y tiene una mayor capacidad de transmisión que permite alcanzar grandes distancias sin necesidad de regeneración de la señal por su baja atenuación, logrando de esta manera una transmisión a una velocidad de hasta 10 Gbps.

3.6.1 Dimensionamiento de enlaces y capacidad de Red

La potencialidad de clientes es de 305 usuarios que representaría como vimos un 21, 31% de la cantidad de viviendas habitadas que existen en esta localidad según el último censo. De esta manera, tomando como base este dato, se decide incrementar el dimensionamiento al 30% que representa un total de 429.3 clientes, considerando que con el tiempo se incrementara la solicitud de servicio de internet y que guarda relación con la cantidad de clientes que dispone la actualmente la empresa Telecomunicaciones Yungueña que son aproximadamente entre 450 y 500 usuarios.

3.6.1.1 *Calculo de número de puertos PON en OLT*

La OLT es el equipo más importante dentro de una red GPON, por lo que deberá cumplir con todos los requerimientos y servir como interfaz entre el nodo central (cabecera) y la red de acceso. La cabecera de red estará ubicado físicamente en el rack de la oficina central en Coripata, donde soportara 64 clientes por puerto PON y, al considerar que cada OLT cuenta con 8 puertos GPON se tendrá 512 clientes por equipo; es decir, soportara hasta 512 conexiones. Sin embargo,

para el presente caso y por optimizar recursos físicos, el número de puertos que realmente se usara con relación a los clientes finales proyectados viene dado por la ecuación 3.1:

$$\text{Numero de puertos GPON} = \frac{429.3 \text{ clientes}}{64 \text{ clientes/puerto}} = 6,71 \rightarrow 7 \text{ puertos}$$

Ecuación 3.1.

Por tanto la OLT deberá contar al menos con 7 puertos GPON aproximadamente para poder brindar servicio a nuestros potenciales clientes al 30 % de penetración.

3.7 Diseño de la ODN (Red de Distribución Óptica)

Según el estándar ITUT-T G.984 en el inciso 5, referente a la arquitectura de la red de acceso óptico, señala que la Red de Distribución Óptica (ODN) se considera como uno de las partes más importantes e imprescindibles del diseño, debido a que esta sección es donde se encuentra el mayor índice de atenuación (dB) de toda la red.

La Red ODN está conformada por varios cables Feeder que se extiende desde el ODF hasta cada uno de los splitters primarios distribuidos en todas las zonas de despliegue de la red. Los splitters primarios serán de 1:4 y 1:8, para luego ser distribuido por un conjunto de cables de distribución sub troncales hasta las NAPs.

En este caso la selección del tipo de fibra para nuestra red ODN dependerá del tipo de infraestructura de distribución que existe en el sector. Realizando la visita y análisis del tendido que existe en el lugar, vemos que el tendido que tiene la empresa Telecomunicaciones Yungueña es netamente aéreo, en la zona no existe una saturación de cableado, por tanto la red de distribución será únicamente aérea haciendo uso de postes del sector, y haciendo uso del cable de fibra ADSS.

Debemos mencionar no obstante que, para realizar una distribución canalizada se requiere de una canalización en toda la zona, misma que conllevaría a un gasto excesivo y resultaría poco rentable.

Tomando en cuenta el número de cajas que se instalaran en cada ruta, los cables de la red de distribución deben tener la capacidad de albergar como mínimo los hilos necesarios para instalar dichas cajas, además debe considerarse dejar hilos de reserva en caso de mantenimiento según la ruta correspondiente.

3.7.1 Asignación de Puertos en Bandeja ODF (Optical Distribution Fiber)

El ODF se ubicara el rack de 42 unidades y de 19” en el nodo principal, para centralizar la interconexión y derivación de los cables de fibra; principalmente, organiza las fibras ópticas para interconectar de mejor manera el OLT y los splitters de primer nivel.

El armado del ODF será acorde con la distribución del número de fibras ópticas necesarias para desplegar la red, los hilos ópticos serán colocados en los acopladores dúplex, ordenados e identificados según su respectivo código de colores. En la figura 3.7 podemos apreciar la manera en que será distribuido los hilos de fibra óptica de la red troncal en el ODF, donde se identifica la ubicación de los tubetes o buffer de los 3 cables troncales de 6 y 12 hilos.



Figura 3.7.ODF con la distribución de buffer e hilos de FO

Fuente: elaboración propia

3.7.2 Red de Alimentación (Feeder)

En el caso de nuestra red feeder, el cableado ira por tendido aéreo al igual que los cables de distribución. La capacidad del cable, en número de hilos, debe permitir albergar un mínimo de 6 hilos necesarios para cumplir la demanda, sin embargo, es recomendable el uso de una capacidad mayor en caso de presentarse algún.

En el proyecto, la red de alimentación está conformada por tres rutas troncales que atraviesan la localidad de Coripata. En cuanto a los cables de fibra óptica que se usara para la red de alimentación haremos uso de: un cable de 6 y dos de 12 hilos que representan las tres rutas troncales de distribución a las diferentes zonas de la localidad de Coripata.

3.7.3 Determinación de las áreas de distribución

En la figura 3.8 podemos apreciar las zonas de distribución y la localización de las muflas proyectadas que es un total de 6, además de la nomenclatura asignada para cada una de las zonas (MF-SG1, MF-COS1, MF-CO1, MF-CO2, MF-CO3 y MF-EMP). En esta figura, también notamos las rutas de la red feeder que saldrá desde el ODF principal en el Nodo de Coripata y alimentara a las muflas de las demás zonas.

La cantidad de hilos proyectados en la red de distribución serán divididos de manera equitativa para cada zona, siempre considerando reservas y proyecciones futuras para nuevos abonados.

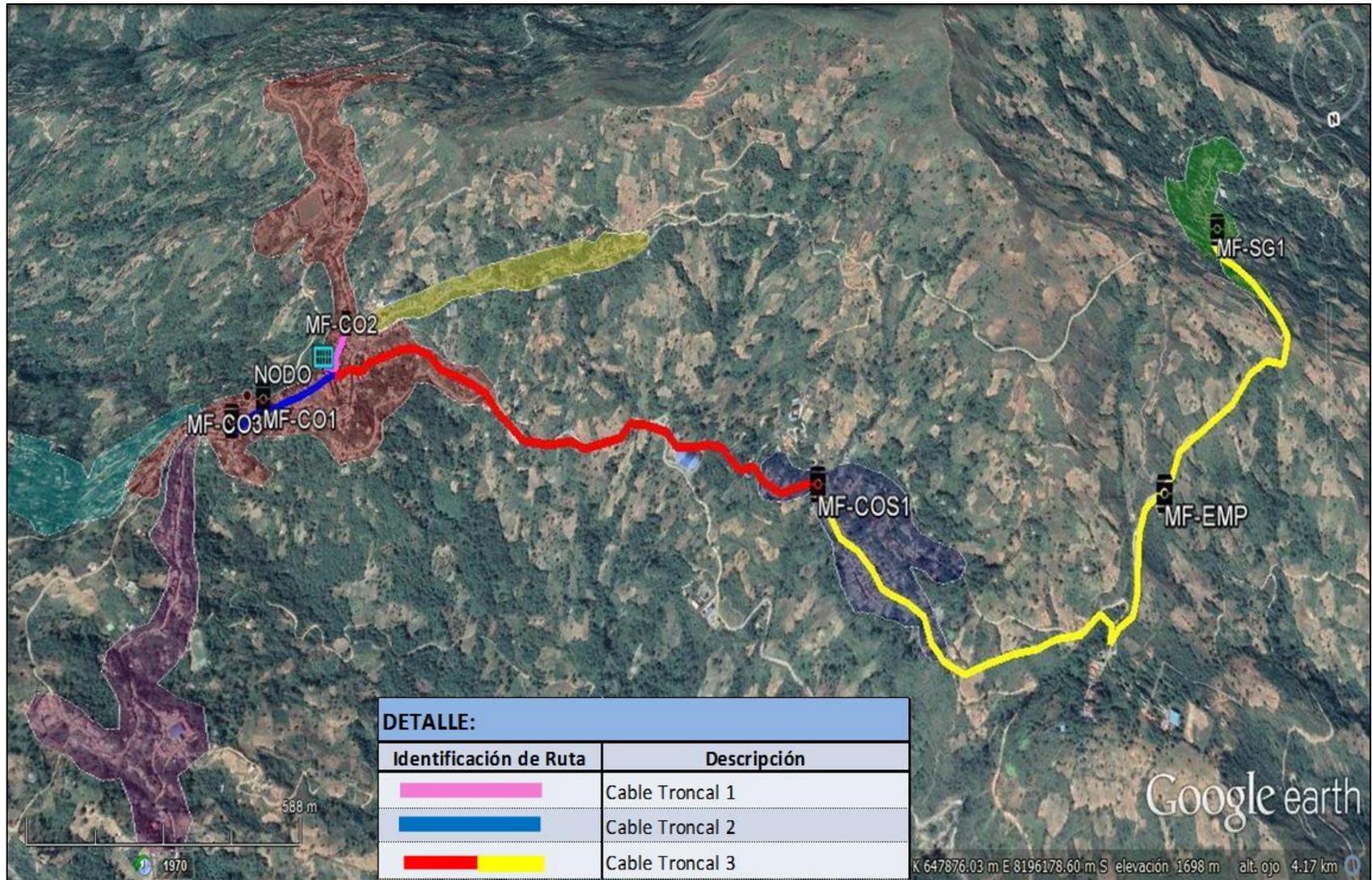


Figura 3.8. Rutas de cable troncal y distribución de Muflas

Fuente: Elaboración Propia

3.7.4 Dimensionamiento de Splitters

3.7.4.1 Dimensionamiento y asignación de Splitters

Como indicamos en un apartado anterior, los puertos del OLT GPON tienen una capacidad máxima de 128 clientes, pero por el tema de recomendaciones y siguiendo las normas y escalabilidad solo se usara para dar servicio a 64 clientes, por tanto, para cubrir este número de clientes ya habiendo analizado las características de cada una de las zonas se presenta la tabla 3.3, donde se refleja la relación de los splitters que se manejara en el primer nivel y en el segundo nivel.

Tabla 3.3

Relación de Splitters

Primer Nivel (Primario)	Segundo Nivel (Secundario)
1:4	1:16
1:4	1:8

Fuente: Elaboración propia

La elección de este tipo de relación fue porque mientras menos niveles de división se tenga en la red de despliegue, existe una mayor facilidad de mantenimiento y operación del medio de transmisión, pero a la vez también existe desventajas como el incremento en el nivel de las pérdidas por inserción ya que incrementa el número de clientes en un mismo splitter. Para el diseño se considera hasta dos niveles de división distribuidos de forma punto-multipunto o en cascada, ya que de esta manera se conseguirá mejores resultados en relación a las pérdidas por inserción sin sobredimensionar la red.

Para dejar en claro la elección de los splitters 1:4, 1:8 y 1:16 en lugar de los splitters 1:64 es:

- Nos permite seguir expandiendo la red para cubrir a futuro la demanda de clientes en el sector.
- Al ubicarse en solo dos niveles de división las pérdidas por inserción son mínimas con respecto a un solo nivel de división con el splitter 1:64, por ejemplo en caso de cubrir 64 de 80 clientes, sería necesario colocar un segundo nivel de splitteo, causando más pérdida por inserción en comparación al splitter 1:8 o 1:4..

Con todo esto se realiza el dimensionamiento de los splitters de primera etapa y los secundarios, según la cantidad de usuarios potenciales por zona, tomando en cuenta el 30 % de penetración que se consideró para este proyecto.

En la tabla 3.4 apreciamos la cantidad de clientes por zona tomando en cuenta la penetración del 30%.

Tabla 3.4

Cantidad de usuarios potencial por zona al 30% de penetración

Zona	Número de viviendas	Clientes aproximados con penetración del 30%	Total Clientes
Coripata	700	210	210
Anacuri	99	29.7	30
Santa Bárbara	90	27	27
Chillamani	213	63.9	64
Coscoma	150	45	45
Santa Gertrudis	179	53.7	54
Total		429.3	430

Fuente: Elaboración Propia

3.7.4.2 *Dimensionamiento de hilos de fibra y splitter por zonas*

Para realizar el dimensionamiento de la cantidad de splitters en el nivel secundario y con ello en el primer nivel emplearemos la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ hilos de FO} / N^{\circ} \text{ Splitter 1er nivel} = \frac{N^{\circ} \text{ de cliente}}{64 \frac{\text{cliente}}{\text{hilo}}}$$

Ecuación 3.2

$$\text{Numero Splitters 2}^{\circ} \text{ nivel} = \frac{N^{\circ} \text{ de cliente}}{16 \text{ u } 8}$$

Ecuación 3.3

Considerando la ecuación 3.2 y ecuación 3.3 se elabora la siguiente tabla del dimensionamiento requerido por zonas para el número de hilos de fibra y splitters de primer y segundo nivel basándonos en la cantidad de clientes proyectados al 30 % según la tabla 3.4.

Tabla 3.5

Dimensionamiento de hilos de fibra y splitters requeridos para cada zona

Zona	N° de Usuarios proyectados al 30%	Numero de hilos FO	Numero de splitter 1er nivel	Numero de Splitters 2do nivel	
Santa Gertrudis -Z1	53.7	0.84	1	3.36	3
Coscoma -Z2	45	0.70	1	2.81	3
Santa Bárbara -Z3	27	0.42	1	1.69	2
Chillamani -Z4	63.9	1.00	1	3.99	4
Anacuri - Z5	29.7	0.46	1	3.71	4
Coripata - Z6	210	3.28	3	13.13	13

Fuente: Elaboración propia

➤ Resúmen

En base a la tabla 3.5 se realiza un resumen del total de hilos de fibra óptica requeridos, cantidad de splitter de primer y segundo nivel así como el nivel de splitteo para cada zona.

Tabla 3.6

Resumen de total de hilos de fibra requeridos y cantidad de splitters de primer y segundo nivel

Zona	Cantidad de Hilos de FO	Tipo de Splitter 1er nivel	Cantidad de Splitter 1er nivel	Tipo Splitter 2do nivel	Cantidad de Splitter 2do nivel	Total Final
Santa Gertrudis - Z1	1	1:4	1	1:16	3	
Coscoma - Z2	1	1:4	1	1:16	3	
Santa Barbara - Z3	1	1:4	1	1:16	2	
Chillamani - Z4	1	1:4	1	1:16	4	
Anacuri - Z5	1	1:4	1	1:8	4	
Coripata - Z6	3	1:4	3	1:16	13	
Total hilos de FO	8					8
Total Splitters 1:4			8			8
Total Splitters 1:8			0		4	4
Total Splitters 1:16					25	25

Fuente: Elaboración propia

En resumen, para el despliegue de nuestra red GPON/FTHH necesitaremos 8 hilos de fibra óptica que representa 8 puertos GPON que se necesitarán para cubrir nuestro porcentaje de penetración. Se requerirá de 8 splitters primarios de 1:4. Para la segunda etapa de división se requerirá de un total de 4 splitters de 1:8 y 25 splitters de 1:16 haciendo un total de 29 splitters secundarios dispuestos para la distribución hacia los suscriptores.

Con estos datos se determina la cantidad de hilos que se usarán y el tipo de cable de fibra óptica para realizar la distribución de los NAPs necesarios. Para entender mejor el dimensionamiento de splitters primarios y secundarios por cada zona, podemos apreciar el diagrama 1, donde vemos lo descrito anteriormente.

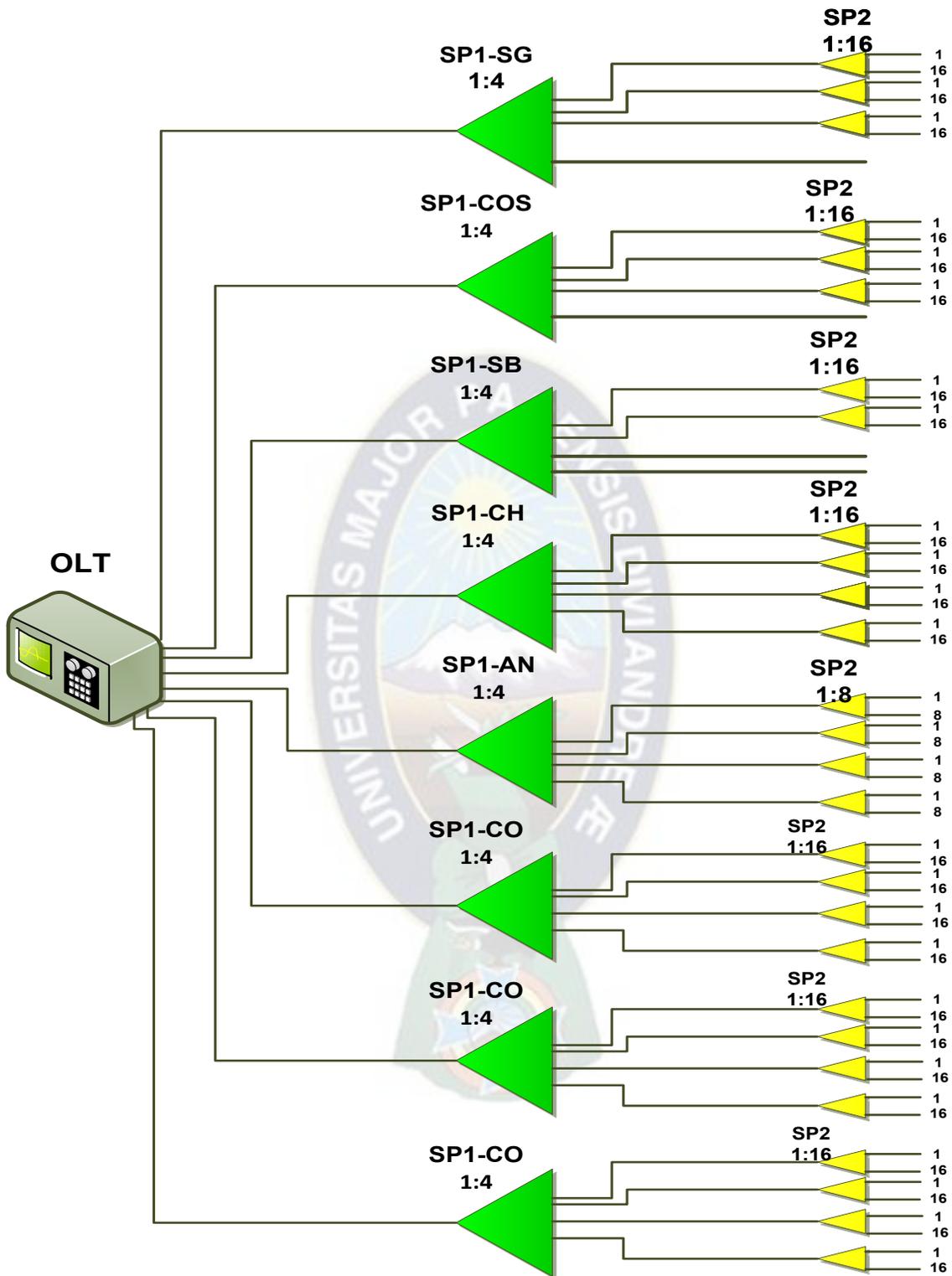


Diagrama 1. Diagrama de distribución de splitters primarios y secundarios por zona

Fuente: Elaboración propia

3.7.4.3 *Splitters primarios*

Los Splitters primarios irán ubicados en las muflas porta Splitter desde donde se realizara la distribución hacia las NAPs de distribución, mismos que tienen una capacidad de 1:4 y no son conectorizados, es decir, los hilos de la extensión de feeder se conectan a los hilos principales de los splitters primarios mediante fusión, cosa que ocurre también entre los hilos secundarios de los splitters e hilos de los cables de distribución. Más adelante se tendrá una tabla de las asignaciones de los hilos para cada Splitter primario además del tipo de cable de red Troncal que se usara y del cual se realiza la derivación.

3.7.4.4 *Splitters secundarios*

Estos splitters secundarios deben contener 16 clientes por caja y en la zona de Anacuri solo contendrá 8 clientes por caja NAP, así se garantizara la penetración del 30 % que se planteó a un inicio del proyecto.

Para esta distribución se tomó como referencia los potenciales usuarios con las que cuenta ya la empresa Telecomunicaciones Yungueña, además de la cantidad de viviendas que existe en cada zona.

Por ejemplo, según nuestro diagrama 1, las zonas: Santa Gertrudis, Coscoma, Santa Bárbara, Chillamani y Coripata tendran un splitter de 1:4 y 1:16 para cubrir la demanda de usuario de estos sectores, en la zona Anacuri se colocara splitters de 1:4 y 1:8 para cubrir la demanda de usuarios, mismos que por su topografía se encuentran dispersos.

Si se sobrepasa el número de usuarios o existe una alta demanda, sería necesario realizar una ampliación colocando más NAPs realizando derivaciones desde algunas cajas principales o directamente de las muflas porta splitter.

En base a este análisis de proyección, en el programa Google Earth, se planifico habilitar el número de cajas de distribución suficientes para cubrir la demanda inicial y cumplir con la

penetración proyectada. En la Tabla 3.7 se puede apreciar el resumen del número de los splitters secundarios proyectados por zona.

Tabla 3.7

Resumen del número de splitters secundarios proyectados en cada zona

Descripción	Datos
Numero de Splitters Secundarios Zona 1	3
Numero de Splitters Secundarios Zona 2	3
Numero de Splitters Secundarios Zona 3	2
Numero de Splitters Secundarios Zona 4	4
Numero de Splitters Secundarios Zona 5	4
Numero de Splitters Secundarios Zona 6	13

Fuente: Elaboración propia

3.8 Asignación - Distribución de Splitters Primarios y Secundarios en la Red de Fibra Óptica

Como mencionamos, los divisores ópticos estarán ubicados en puntos estratégicos dentro de las zonas de cobertura, mismas que serán instalados en postes, protegidos por cajas o pequeños armarios de distribución aéreos (Muflas y NAPs). Se usara la técnica de splitters en cascada, ya que presenta menores costos de despliegue por cliente.

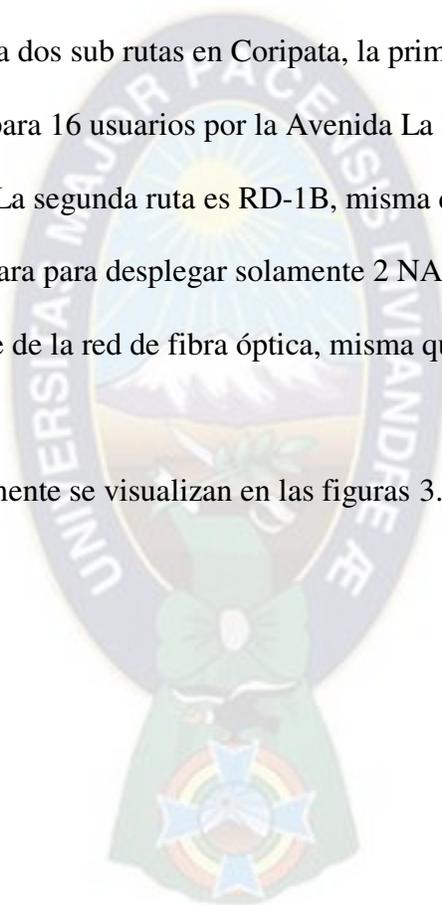
A continuación, se realizara una descripción detallada de la asignación y distribución de splitters primarios y secundarios por zona de cobertura, misma se realiza tomando en cuenta las rutas troncales con las que se cuenta para abarcar la totalidad de la red de fibra en la localidad de Coripata.

3.8.1 Asignación - Distribución de Splitters Primarios y Secundarios (Ruta de Distribución Troncal 1)

La ruta de distribución Troncal 1 comprende dos zonas, Santa Bárbara y Coripata. Ambos comparten esta ruta hasta la mufla MF-CO2 donde se tiene los splitters primarios. La ruta de Santa Bárbara la denominamos RD-SB (Ruta de Distribución Santa Bárbara) que solamente despliega dos NAPs para 16 usuarios.

La mufla MF-CO2 despliega dos sub rutas en Coripata, la primera ruta se denomina RD-1A misma que despliega 3 NAPs para 16 usuarios por la Avenida La Paz o hacia el lado de la Cancha principal de Coripata. La segunda ruta es RD-1B, misma que comparte dos salidas del splitter primario de Santa Bárbara para desplegar solamente 2 NAPs para 16 usuarios con la ruta más corta de todo el despliegue de la red de fibra óptica, misma que se dirige hacia la plaza principal de Coripata.

Las rutas descritas anteriormente se visualizan en las figuras 3.9 y 3.10 respectivamente.



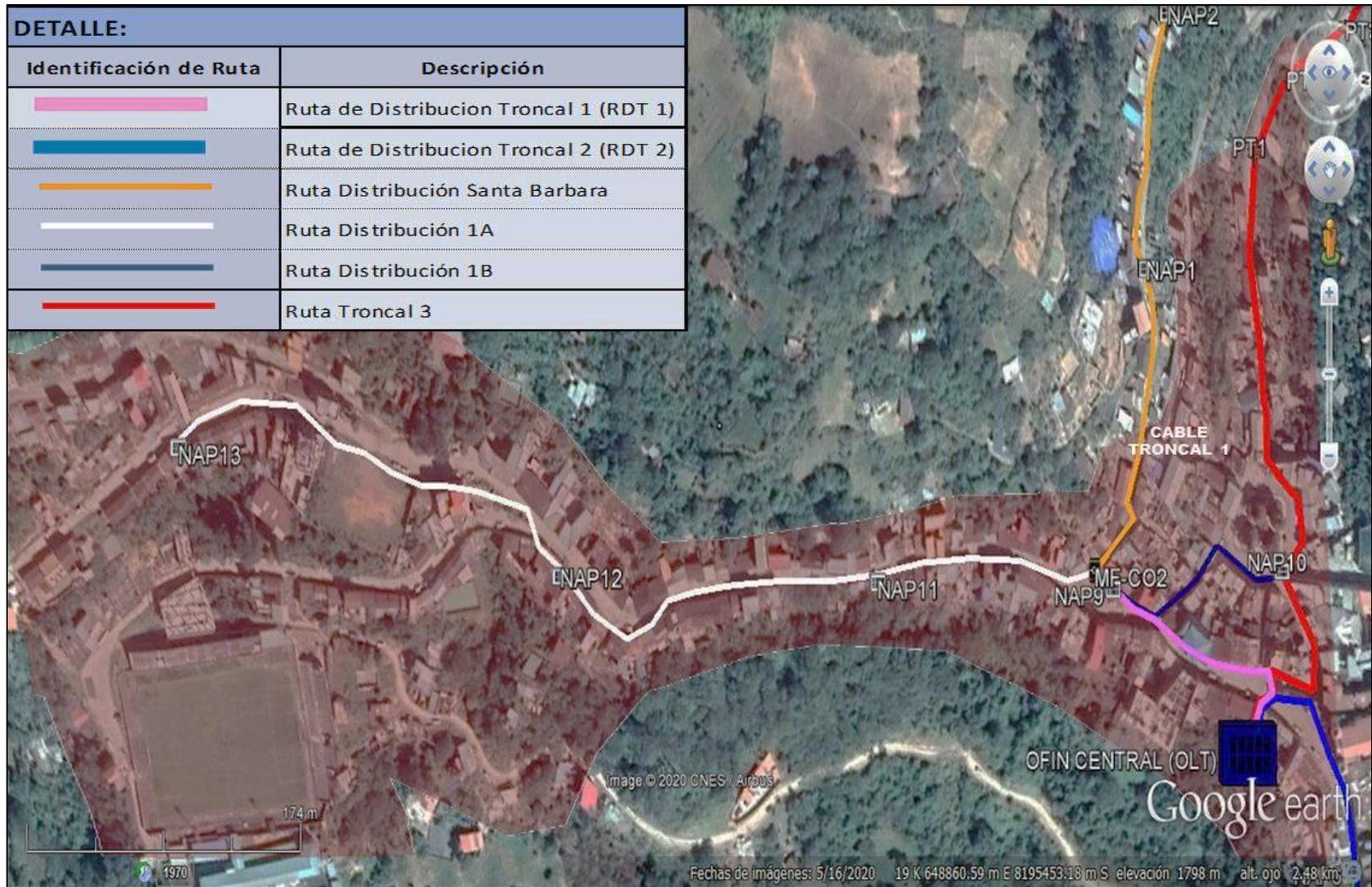


Figura 3.9. Rutas de distribución de NAPs (Coripata –Zona 6)

Fuente: Elaboración propia

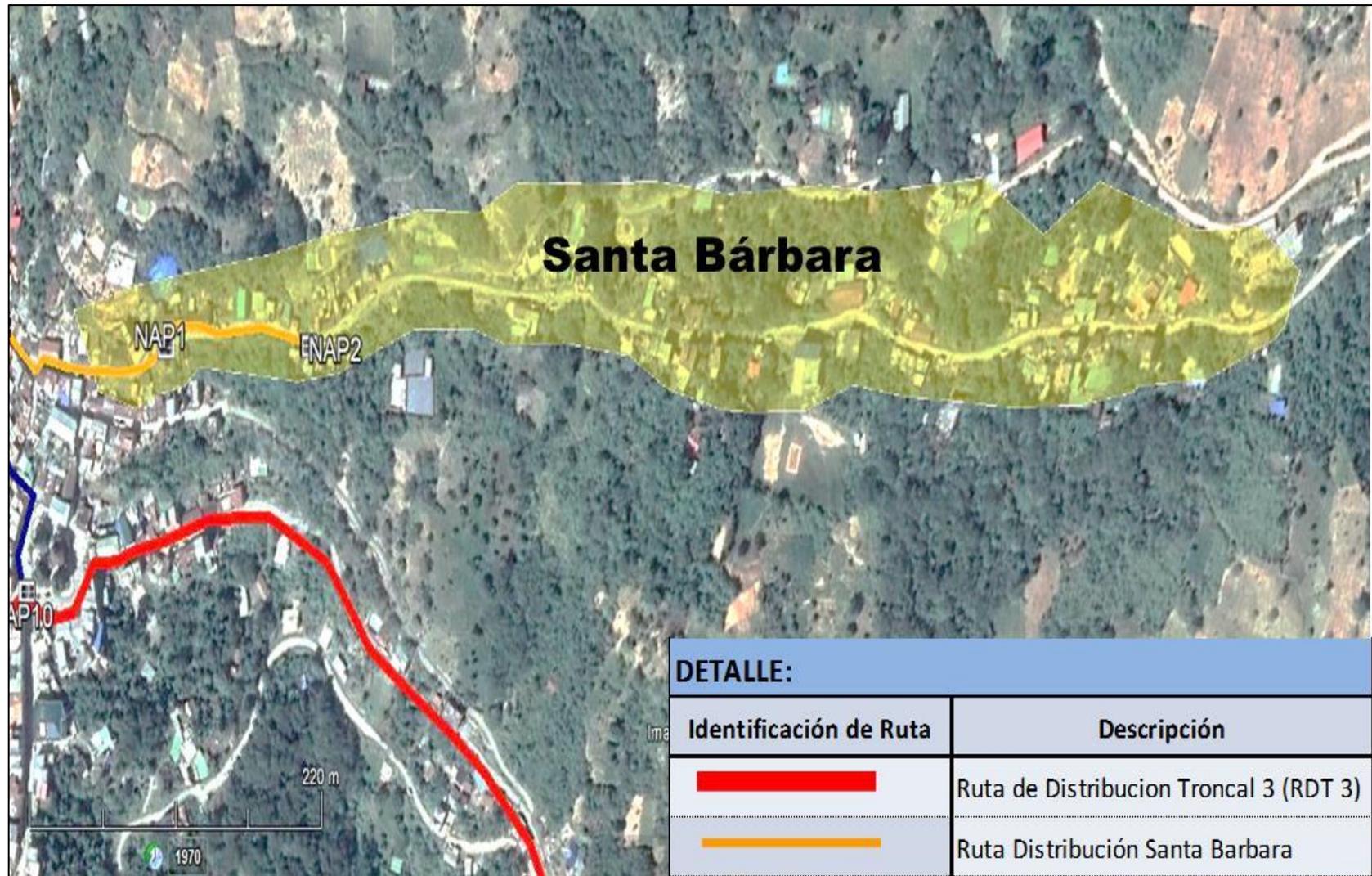


Figura 3.10. Ruta de distribución de NAPs (S. Bárbara - Zona 3)

Fuente: Elaboración propia

3.8.2 Asignación - Distribución de Splitters Primarios y Secundarios (Ruta de Distribución Troncal 2)

La ruta de distribución Troncal 2 comprende tres zonas: Coripata, Chillamani y Anacuri. Esta Ruta Troncal presenta dos muflas porta splitter primarios, la primera mufla denominada MF-CO1 contendrá dos splitters primarios de 1:4, una de ellas a través de las rutas de despliegue distribuirá 4 NAPs a la zona de Coripata, misma que en la figura 3.11 se identifica de color (Verde) y a esta ruta se denominó RD-2A. La otra ruta que se desplegara desde esta mufla será hacia la zona de Anacuri, donde la ruta denominada RD-AN distribuye 4 NAPs cada uno para 8 usuarios finales en esta zona identificada de un color (Rosado) en la figura 3.13.

La otra mufla que contiene esta ruta troncal se asignó con el nombre de MF-CO3 contendrá dos splitters primarios de 1:4. La primera ruta que se deriva de esta mufla se dirige hacia la zona de Chillamani y la otra ruta de distribución denominada RD-2B cubre una parte de la zona de Coripata misma que despliega 4 NAPs cada una para 16 usuarios finales. Esta ruta de distribución de los NAPs se la observa en la figura 3.11 identificada de color (Negro).

Por último, la segunda ruta de distribución de esta mufla MF-CO3 se dirige hacia la zona de Chillamani. Esta zona cuenta con 4 NAPs de 1:16 por la ruta denominada RD-CH y se identifica de un color (Verde oscuro) en la figura 3.12.

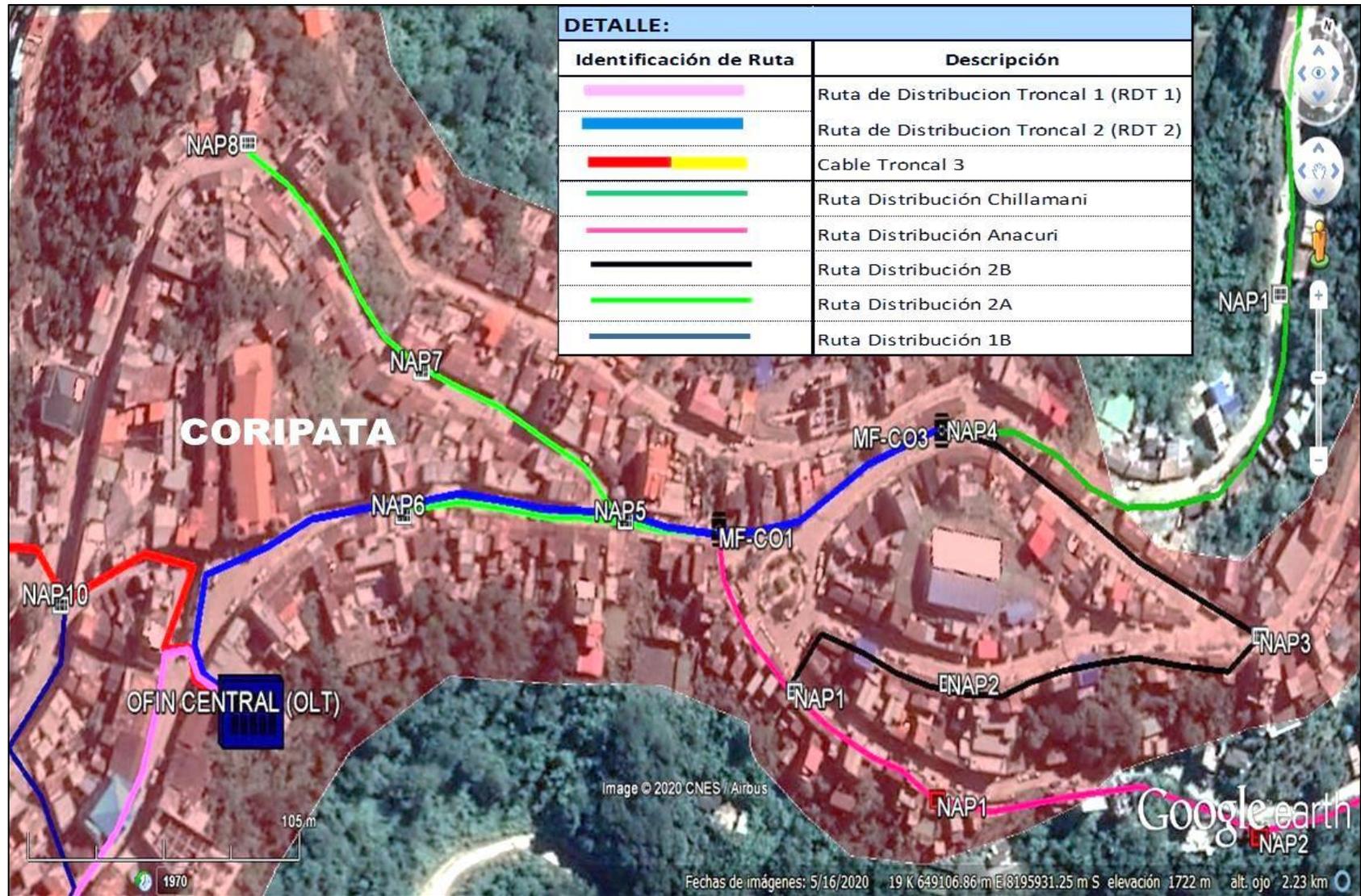


Figura 3.11. Rutas de Distribución de NAPs (Coripata - Zona 6)

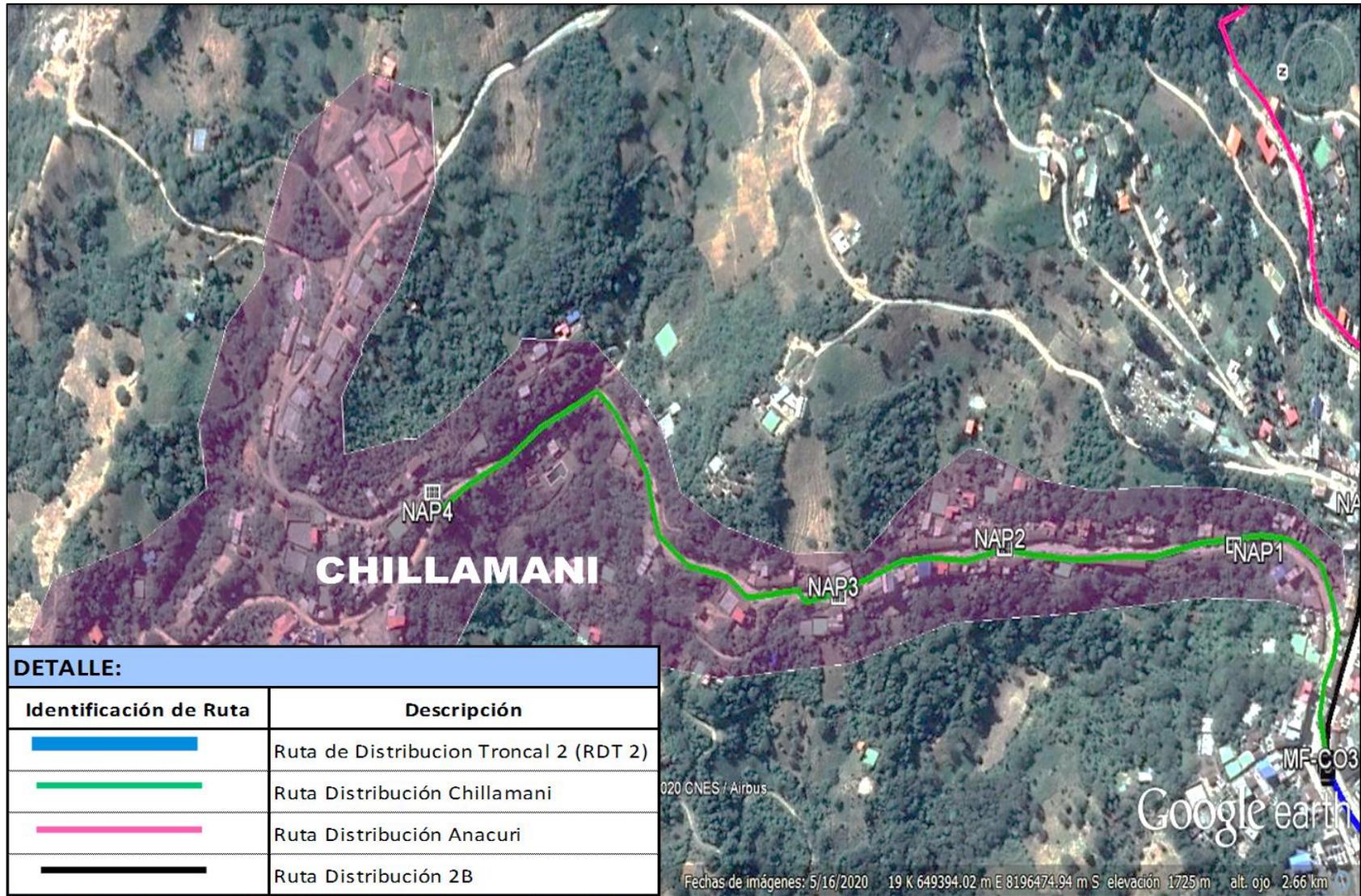


Figura 3.12 Ruta de distribución de NAPs (Chillamani -Zona 4)

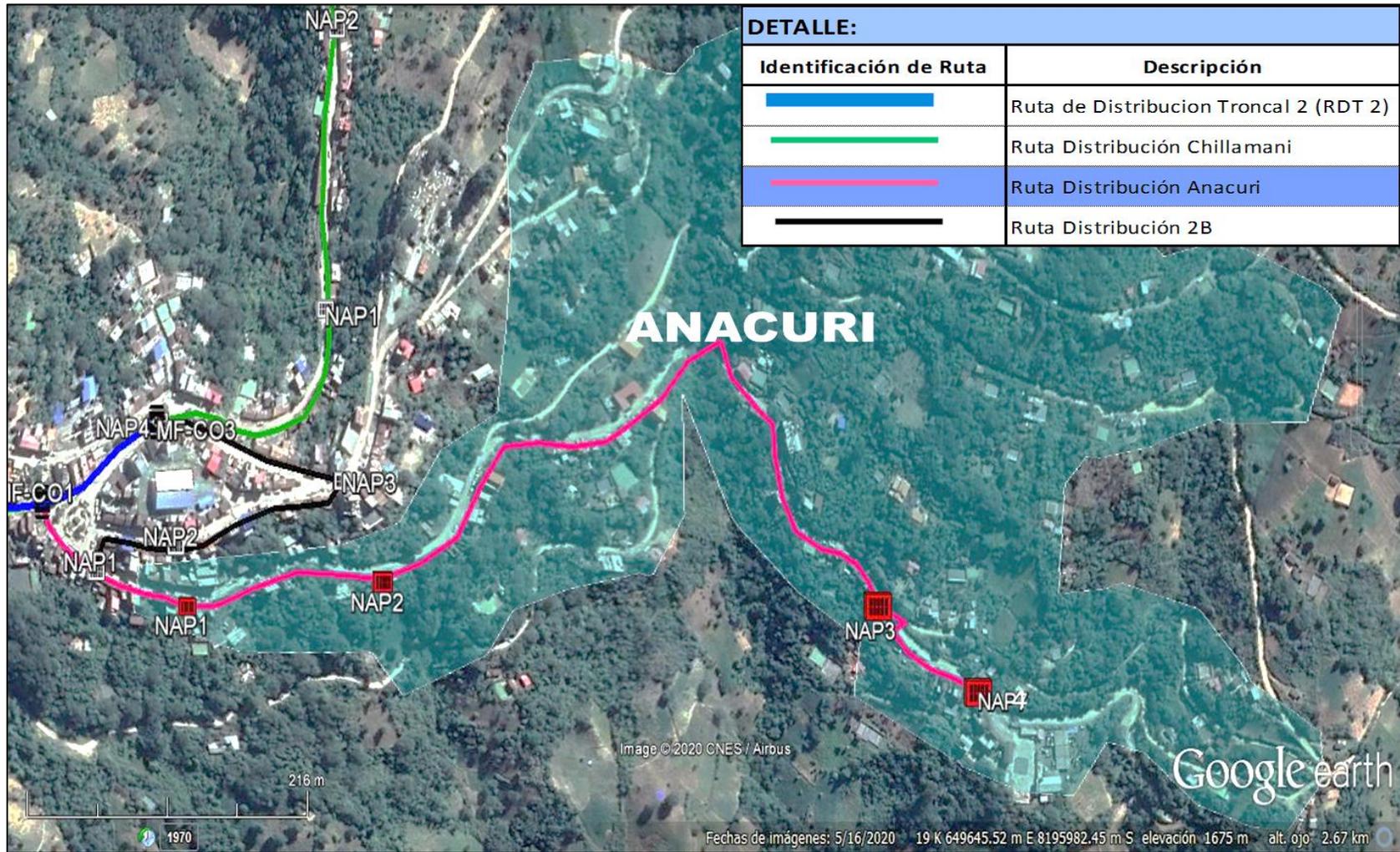


Figura 3.13. Ruta de Distribución de NAPs (Anacuri - Zona 5)

En la Tabla 3.10 tenemos la asignación del puerto GPON y ODF junto con el tipo de cable óptico ADSS que se usara para esta ruta troncal 2, que como vemos se trata de un cable de 12 hilos. También podemos ver la asignación de los hilos ópticos de cada tubete para los splitters primarios.

En la Tabla 3.11 vemos la asignación de los puertos en bandeja ODF, el tipo de cable óptico ADSS para la distribución en las zonas 4, 5 y 6 y por último la asignación de los colores de tubete e hilos ópticos para cada NAP que representa un splitter secundario de 1:16. Vemos que para la distribución de las NAPs a las zonas de Chillamani, Anacuri y Coripata se usara un cable óptico ADSS de 6 hilos.

Tabla 3.10

Distribución de splitters primarios para la Ruta de Distribución Troncal 2

Puerto GPON OLT	Puerto en ODF	Zona	Buffer (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Hilo de fibra (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Splitter Primario	Tipo de Cable FO ADSS (Feeder)	ID de Cable ADSS (Feeder)
G0/3	13	Chillamani	AZUL	azul	1:4	ADSS 12	RDT - 2
G0/4	14	Coripata		naranja	1:4		
G0/5	19	Anacuri	NARANJA	azul	1:4		
G0/6	20	Coripata		naranja	1:4		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11
Distribución de splitters secundarios para la Ruta de Distribución Troncal 2

Puerto en ODF	Zona	Buffer o tubo (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Hilo de FO (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Splitter Primario	Tipo de Cable FO ADSS (Feeder)	ID de Ruta Troncal	Splitter Secundario	Buffer o tubo (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Hilo de FO (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Tipo de Cable FO ADSS (Distribucion)	ID de Ruta	Numero usuarios por NAP		
13	Chillamani	AZUL	azul	1:4	ADSS 12	RDT - 2	1:16	BLANCO	azul	ADSS 6	RD - CH	16		
							1:16		naranja			16		
							1:16		verde			16		
							1:16		café			16		
14	Coripata		naranja	1:4			1:16	BLANCO	azul	ADSS 6	RD - 2B	16		
							1:16		naranja			16		
							1:16		verde			16		
							1:16		café			16		
15			verde											
16			café											
17			gris											
18			blanco											
19	Anacuri		NARANJA	azul			1:4	1:8	BLANCO	azul	ADSS 6	RD - AN	8	
								1:8		naranja			8	
								1:8		verde			8	
								1:8		café			8	
20	Coripata			naranja			1:4	1:16	BLANCO	azul	ADSS 6	RD - 2A	16	
								1:16		naranja			16	
		1:16			verde	16								
		1:16			café	16								
21		verde												
22		café												
23		gris												
24		blanco												

Fuente: Elaboración propia

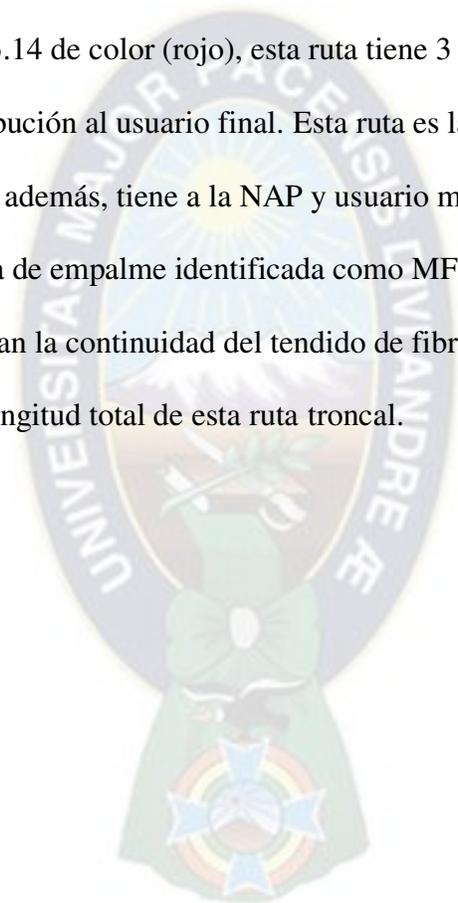
3.8.3 Asignación - Distribución de Splitters Primarios y Secundarios (Ruta de Distribución Troncal 3)

La ruta de distribución Troncal 3 está desplegada con un cable óptico ADSS de 6 hilos, misma que sale directamente desde el ODF ubicado en la cabecera de Red en Coripata y va a lo largo de la ruta vial hacia las zonas de Coscoma y Santa Gertrudis. Esta ruta troncal cuenta con tres muflas a lo largo de su trayecto, una mufla de empalme denominado MF-EMP y dos muflas porta splitters primarios, una para la zona de Coscoma y otra para la zona de Santa Gertrudis, ambas con un splitter de 1:4.

La mufla ubicada en la zona de Coscoma se identifica como MF-COS1, desde donde se despliega una ruta de distribución identificada como RD-COS, que contiene 3 NAPs con splitters de 1:16 para la distribución al usuario final. Esta ruta puede observarse en la figura 3.15 identificada de color (Rosado).

La mufla de la zona Santa Gertrudis se identifica como MF-SG misma que portara un splitter primario de 1:4. Desde este elemento se deriva una ruta de distribución con un cable de 6 hilos como se observa en la figura 3.14 de color (rojo), esta ruta tiene 3 NAPs cada una con un splitter secundario de 1:16 para distribución al usuario final. Esta ruta es la más larga, misma que describiremos más adelante y, además, tiene a la NAP y usuario más lejano.

Por último se tiene la mufla de empalme identificada como MF-EMP que albergara las fusiones ópticas que representan la continuidad del tendido de fibra con otro tramo, misma que se ubicara casi a la mitad de la longitud total de esta ruta troncal.



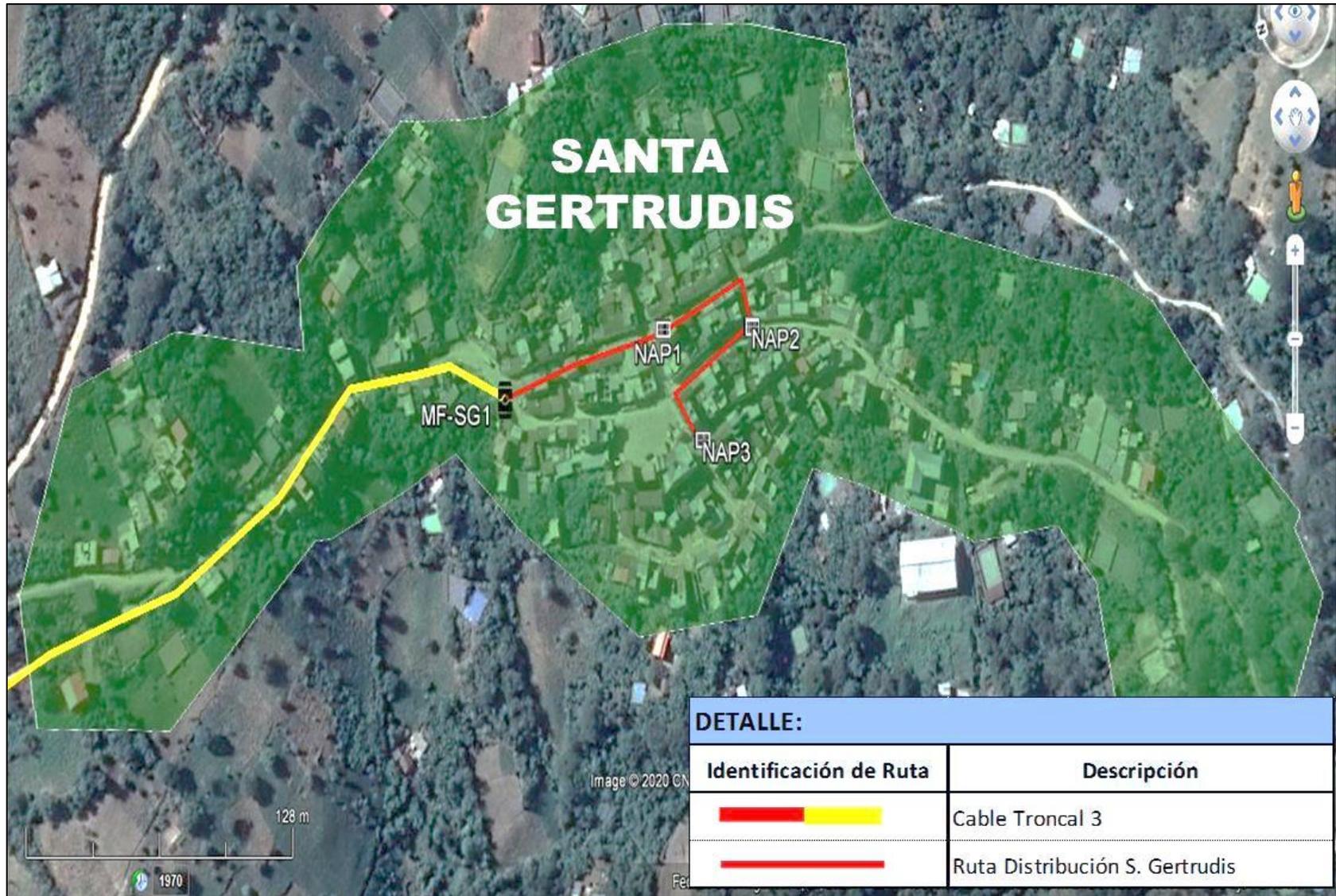


Figura 3.14 .Rutas de distribución de NAPs (S. Gertrudis-Zona 1)

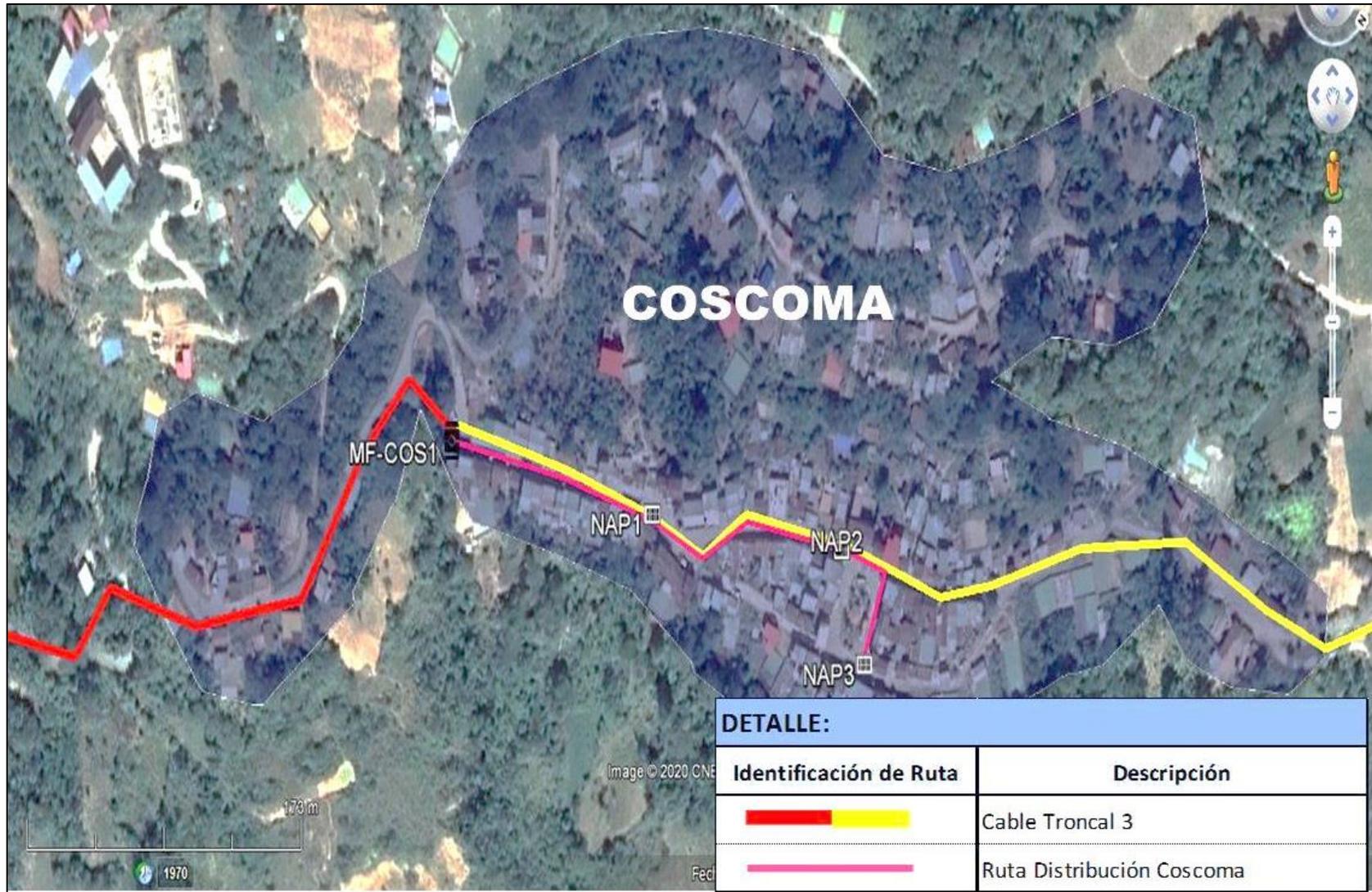


Figura 3.15. Rutas de distribución de NAPs (Coscoma- Zona 2)

Tabla 3.12

Distribución de splitters primarios para la Ruta de Distribución Troncal 3

Puerto GPON OLT	Puerto en ODF	Zona	Buffer (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Hilo de fibra (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Splitter Primario	Tipo de Cable FO ADSS (Feeder)	ID de Cable ADSS (Feeder)
G0/7	25	Santa Gertrudis	BLANCO	azul	1:4	ADSS 6	RDT-3
G0/8	26	Coscoma		café	1:4		

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.12 tenemos la asignación del puerto GPON y puerto ODF que se usara para la distribución del servicio a las últimas dos zonas que son: Santa Gertrudis y Coscoma. Indicar que se hace uso de los 3 primeros hilos del cable de fibra óptica de 6 hilos (Troncal) para la asignación de los splitters primarios 1:4 de la zona de Coscoma, y los últimos 3 hilos se asignan para los splitters primarios de la zona Santa Gertrudis, haciendo un total de 6. Observamos que cada una de estas zonas solo emplea un splitter primario y los hilos ópticos azul y café respectivamente.

En la Tabla 3.13 tenemos la asignación de los puertos en el ODF, el tipo de cable óptico ADSS empleado para la distribución de las NAPs y los hilos respectivos a usarse en cada zona. Cada una tendrá una ruta de distribución, en el caso de Coscoma la misma abarca 3 NAPS de 1:16 con un cable de 6 hilos y de la misma manera en la zona de Santa Gertrudis. Ambas zonas tienen como reserva una salida del splitter 1:4 el cual servirá para futuras ampliaciones de la red o para otros 16 usuarios que se beneficiaran del servicio de Internet y video.

Tabla 3.13

Distribución de splitters secundarios para la Ruta de Distribución Troncal 3

Puerto en ODF	Zona	Buffer o tubo (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Hilo de FO (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Splitter Primario	Tipo de Cable FO ADSS (Feeder)	ID de Ruta Troncal	Splitter Secundario	Buffer o tubo (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Hilo de FO (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Tipo de Cable FO ADSS (Distribucion)	ID de Ruta	Numero usuarios por NAP			
25	S. Gertrudis	BLANCO	azul	1:4	ADSS 6	RDT - 3	1:16	BLANCO	azul	ADSS 6	RD-SG	16			
			1:16				naranja		16						
			1:16				verde		16						
	1:16														
26			naranja												
27			verde												
28	Coscoma	BLANCO	café	1:4	ADSS 6	RDT - 3	1:16	BLANCO	azul	ADSS 6	RD-COS	16			
			1:16				naranja		16						
			1:16				verde		16						
	1:16														
29			gris												
30			blanco												

Fuente: Elaboración propia

En resumen, en las tablas 3.14 y 3.15 se muestra la distribución de splitters primarios que se usara en el diseño de manera global, donde se identifica el número de puerto GPON que se usara en cada zona, así como el puerto ODF desde donde se realizara el enlace a través de los cables troncales (Feeder) hacia los splitters primarios.

También se observa la asignación de los buffers de la fibra para cada zona a cubrir y los hilos de fibra que se usara en cada splitter. La cantidad de usuarios que se cubrirá con el dimensionamiento realizado es de 432 usuarios.

Los splitters secundarios son en total 29 y cada uno representa una NAP de distribución, de esta manera se cubrirán el total de clientes potenciales al 30 % de penetración.

Tabla 3.14

Distribución total de Splitters Primarios

N°	Puerto GPON OLT	Puerto en ODF	Zona	Buffer (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Hilo de fibra (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Splitter Primario	Tipo de Cable FO ADSS (Feeder)	ID de Cable ADSS (Feeder)
1	G0/1	1	Santa Barbara/Coripata	AZUL	azul	1:4	ADSS 12	RDT-1
2	G0/2	2	Coripata		naranja	1:4		
3	G0/3	13	Chillamani	AZUL	azul	1:4	ADSS 12	RDT - 2
4	G0/4	14	Coripata		naranja	1:4		
5	G0/5	19	Anacuri	NARANJA	azul	1:4		
6	G0/6	20	Coripata		naranja	1:4		
7	G0/7	25	Santa Gertrudis	BLANCO	azul	1:4	ADSS 6	RDT-3
8	G0/8	26	Coscoma		café	1:4		

Fuente: Elaboración propia



Tabla 3.15

Tabla de Distribución total de Splitters Primarios y Secundarios

Puerto en ODF	Zona	Buffer o tubo (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Hilo de FO (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Splitter Primario	Tipo de Cable FO ADSS (Feeder)	ID de Ruta Troncal	Splitter Secundario	Buffer o tubo (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Hilo de FO (FO ADSS 6 o 12 hilos)	Tipo de Cable FO ADSS (Distribucion)	ID de Ruta	Numero usuarios por NAP															
1	Santa Barbara/Coripata	AZUL	azul	1:4	ADSS 12	RDT - 1	1:16	BLANCO	azul	ADSS 6	RD - SB	16															
			1:16				naranja		16																		
			1:16				azul		16																		
2	Coripata		AZUL	naranja			1:4	ADSS 12	RDT - 1	1:16	BLANCO	naranja	ADSS 6	RD - 1B	16												
				1:16						azul		16															
				1:16						naranja		16															
3				AZUL			verde				ADSS 12	RDT - 1			ADSS 6	RD - 1A	16										
4							café						16														
5							gris						16														
6							blanco						16														
7							azul						16														
8							naranja						16														
9		verde				16																					
10		café				16																					
11		gris				16																					
12		blanco			16																						
13	Chillamani	AZUL	azul		1:4	ADSS 12	RDT - 2	1:16	BLANCO	azul			ADSS 6	RD - CH			16										
14	Coripata		naranja					1:4		1:16							BLANCO	naranja	ADSS 6	verde	RD-2B	16					
			1:16	café						16																	
			1:16	azul	16																						
15			AZUL	verde				ADSS 12	RDT - 2			ADSS 6	RD - 2A	16													
16				café						16																	
17				gris						16																	
18				blanco						16																	
19	Anacuri			NARANJA	azul					1:4	ADSS 12			RDT - 2	1:8	BLANCO	azul	ADSS 6	RD - AN	8							
20	Coripata				naranja										1:4		1:8			BLANCO	naranja	ADSS 6	verde	RD - 2A	16		
					1:8												café				8						
					1:16					azul						16											
21		NARANJA			verde		ADSS 12			RDT - 2							ADSS 6	RD - 2A	16								
22					café										16												
23					gris										16												
24					blanco										16												
25	S. Gertrudis		BLANCO		azul	1:4		ADSS 6	RDT - 3			1:16	BLANCO		azul	ADSS 6			RD-SG1	16							
26					naranja							1:4			1:16					BLANCO	naranja	ADSS 6	verde	RD-COS1	16		
					1:16										café						16						
					1:16	azul							16														
27				BLANCO	verde						ADSS 6	RDT - 3			ADSS 6	RD-COS1			16								
28	Coscoma				café	1:4							1:16	BLANCO					naranja	ADSS 6	verde	RD-COS1	16				
29					gris								1:4						1:16		BLANCO		café	ADSS 6	verde	RD-COS1	16
30					blanco														1:4				1:16		BLANCO		azul
TOTAL USUARIOS														432													

Fuente: Elaboración propia

3.9 Consideraciones Acerca de las Rutas de Distribución

En cuanto a las rutas de cada una de las zonas establecidas, debemos considerar la ubicación de una NAP por cada área de dispersión proyectada. Sin embargo, debemos tomar en cuenta algunos aspectos en cuanto a las normativas de construcción de redes de telecomunicaciones, entre las que podemos destacar:

- La ruta del enlace se establecerá a través de postación con la que se cuenta en esta localidad, y que en algunos casos deberá ser nueva y plantada por la empresa Telecomunicaciones Yungueña.
- La altura máxima del tendido de cable de fibra deberá ser al menos de 4 metros sobre el nivel del suelo considerando también una altura de 5 metros como mínimo en los cruces de calle; en el proyecto se trató de evitar algunos lugares que son cruces de calle.
- Al momento de realizar el tendido del cable se debe considerar que desde el extremo superior del poste, las líneas deben estar colocadas en el siguiente orden: líneas de alta tensión, líneas de media tensión, líneas de baja tensión y redes de comunicaciones, generalmente como ocurre en las ciudades y zonas urbanas, dejando como mínimo una separación de 60 cm entre la red eléctrica y la de Telecomunicaciones (Recomendable).
- En cuanto a las rutas trazadas, los postes deben soportar la instalación de nuevos herrajes y NAPs.
- Se debe tomar en cuenta que no se puede saturar los ingresos de cable en las muflas troncales.

3.10 Análisis de distancias (OLT- Splitters primarios, Splitters primarios - Splitters secundarios)

En cuanto al análisis de las distancias desde el OLT a los splitters primarios, mencionar que se tratan de distancias aproximadas basándonos en medidas logradas a partir del programa Google Earth y Autocad.

En la tabla 3.16 apreciamos las distancias respectivas aproximadas que se tiene desde la OLT ubicado en el nodo principal de Coripata hasta cada uno de los splitters de primer nivel en cada zona de cobertura.

Tabla 3.16

Distancias de OLT a Splitters Primarios

Zona	Splitter Primario	Distancia ODF a Splitters Primario (m)	Ubicación de Splitter	ID de Ruta
Z1	1:4	4410	MF-SG1	RDT-3
Z2	1:4	1850	MF- COS1	RDT-3
Z3	1:4	188	MF - CO2	RDT - 1
Z4	1:4	386	MF - CO3	RDT - 2
	1:4			
Z5	1:4	278	MF - CO1	RDT - 2
Z6	1:4	188	MF - CO2	RDT - 1
	1:4			
	1:4	278	MF - CO1	RDT - 2
	1:4	386	MF - CO3	RDT - 2
Distancia Total (m)		5262		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.17 tenemos las distancias que existen de los splitters primarios a los splitters secundarios. Las distancias individuales de los 29 splitters que se usaran para el despliegue y las distancias más largas en las que se encuentran las NAPs dentro de cada área de cobertura, que generalmente son las que se encuentran en los extremos de los cables de distribución de la ruta troncal. La distancia total representa la longitud total de los cables de la ruta troncal y de

distribución, misma que tiene una longitud de 8691 metros para el cable ADSS de 6 hilos y de 574 metros en el caso del cable ADSS de 12 hilos, misma que se requiere para el despliegue de la red en la localidad de Coripata sin considerar los vanos.

Tabla 3.17

Distancia de Splitters primarios a splitters secundarios

Zona	Splitter Primario	ID de Ruta Troncal (Feeder)	Longitud Ruta Troncal FO ADSS 6 o 12 hilos desde ODF (m)	Tipo de Cable FO ADSS	ID ruta FO ADSS 6 o 12 (Distribucion)	Tipo de Cable FO ADSS	Longitud Ruta (Distribucion) (m)	Longitud Total (m)
Z1	1:4	RDT - 3	4410	ADSS 6	RD-SG	ADSS 6	249	
Z2	1:4				RD - COS	ADSS 6	312	
Z3	1:4	RDT - 1	188	ADSS 12	RD - SB	ADSS 6	284	
Z4	1:4	RDT - 2	386	ADSS 12	RD - CH	ADSS 6	938	
Z5	1:4		278		RD - AN	ADSS 6	995	
Z6	1:4	RDT - 1	188	ADSS 12	RD - 1A	ADSS 6	609	
	1:4				RD - 1B		154	
	1:4	RDT - 2	278	ADSS 12	RD - 2A	ADSS 6	355	
	1:4		386		RD - 2B	ADSS 6	385	
SUB TOTAL FO ADSS 6 (m)			4410				4281	8691
SUB TOTAL FO ADSS 12 (m)			574					574

Fuente: Elaboración propia

3.11 Medición de tramos y tendido de Fibra

Este proceso de medición de rutas generalmente es uno de los pasos más importantes en el diseño de la red, debido a que las medidas exactas determinaran la cantidad total de cable total a emplearse, así como la cantidad de material necesario para la implementación de la red, mismos que serán reflejados en el volumen total del proyecto. Para poder realizar este procedimiento es necesarios el uso de herramientas que nos permita determinar las distancias de poste a poste, distancias que normalmente oscilan entre los 40 a 50 metros, que en el caso de nuestro proyecto y

por las características del lugar en algunos casos oscilan entre los 60, 70 y 80 metros de distancia entre postes a lo largo de algunas rutas.

Para realizar estas mediciones, es necesario el uso de planos de apoyo del lugar, esto con el fin de reconocer la ruta de los cables y levantar la información necesaria para la elaboración del proyecto final.

Luego de conocer las distancias aproximadas en la sección anterior y de realizar un “Site Survey” en los lugares donde se realizara el despliegue de la red, se tiene la siguiente tabla de información. En la tabla 3.18 y la tabla 3.19 vemos las longitudes aproximadas de las rutas de cable troncal y distribución en cada zona, considerando las reservas o vanos que se dejaron en todo el trayecto de las rutas según las observaciones que se realizaron en sitio, considerando cruces, lugares propensos a sufrir corte o caída de árboles, etc.

Tabla 3.18

Longitud aproximada total de rutas troncales de FO con vanos

Longitud aproximada de rutas troncales de cable de FO ADSS de 6 o 12 hilos					
Ruta troncal feeder	Id de Cable Feeder- ADSS de 6 o 12 hilos	Longitud Aproximada (m)	Numero de Vanos de 15 metros	Numero de Vanos de 20 metros	Longitud total (m)
Ruta Troncal	RDT - 1	188	2		218
Ruta Troncal	RDT - 2	386		2	426
Ruta Troncal	RDT - 3	4410		15	4710
Longitud total ADSS 6					4710
Longitud total ADSS 12					644

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.19

Longitud de cable de FO ADSS de 6 hilos aproximado para distribución en Zonas con Vanos

Longitud cable de FO ADSS de 6 hilos aproximada para distribución					
Zona de Distribucion	Id de Cable Distribucion - ADSS 6 hilos	Longitud Aproximada (m)	Numero de Vanos de 20 metros	Numero de Vanos de 15 metros	Longitud total (m)
Santa Gertrudis	RD-SG	249	2		289
Coscoma	RD-COS	312		2	342
Santa Barbara	RD-SB	284	1		907
Chillamani	RD-CH	938	4		1018
Anacuri	RD-AN	995	4		1075
Coripata	RD-1A	609	3		669
	RD-1B	154	0		154
	RD-2A	355	1		375
	RD-2B	385	1		405
Total					5234

Fuente: Elaboración propia

En resumen, en la tabla 3.20 se muestra la longitud total aproximada del cable ADSS de 6 y 12 hilos incluyendo los vanos.

Tabla 3.20

Longitud total aproximada de cable ADSS de 6 y 12 hilos incluyendo vanos

Longitud aproximada total de cable de FO ADSS de 6 y 12 hilos			
Tipo de cable ADSS	Longitud Ruta Troncal (m)	Longitud Ruta de Distribucion (m)	Longitud Total (m)
ADSS de 6 hilos	4710	5234	9944
ADSS de 12 hilos	644	0	644

Fuente: Elaboración propia

3.12 Red de dispersión

El cable seleccionado para la distribución desde las cajas NAP hasta los clientes finales será del tipo DROP aéreo con capacidad de 2 hilos. En este proyecto se tomó en cuenta un tramo promedio de 200 metros por cliente para el cálculo de pérdidas correspondientes.

3.13 Tipo de Fibra Óptica para tendido aéreo

Básicamente el tipo de fibra óptica a utilizar para nuestro tendido aéreo será:

- Cable ADSS (All Dielectric Self Supported): es un cable auto soportado ideal para instalaciones FTTH aéreas, tiene un alto número de fibras y puede reducir el costo de la última milla para despliegue de fibra hasta el hogar utilizando cable aéreo. Su característica principal es no tener ni una sola parte metálica, de ahí su nombre; este tipo de fibra será del tipo loose tube, en la figura 3.16 podemos observar el tipo de cable ADSS.

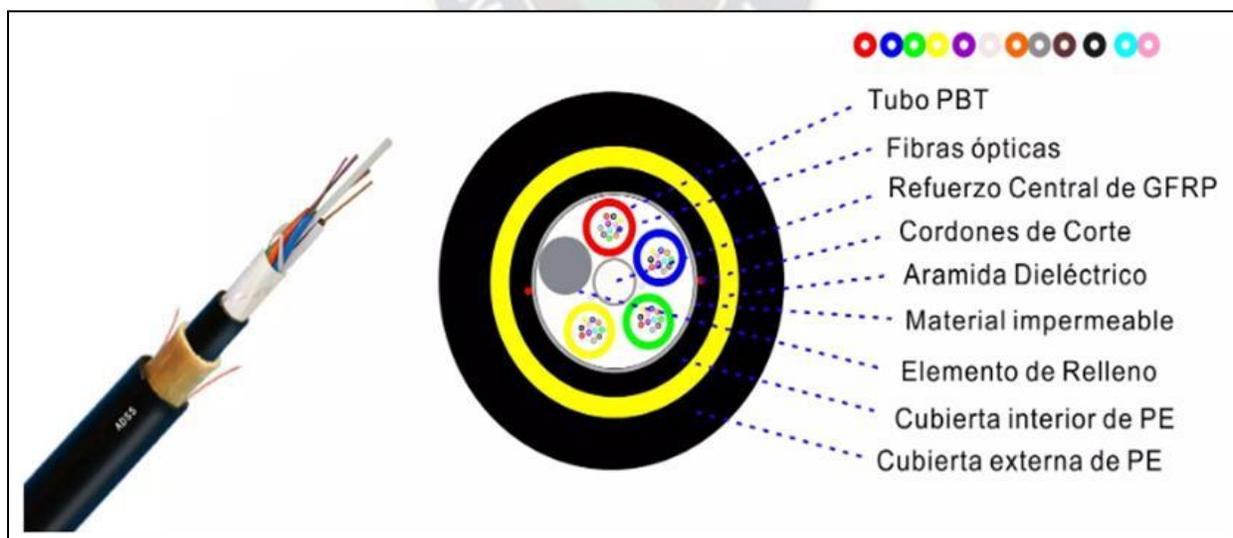


Figura 3.16. Cable aéreo ADSS

Fuente: Recuperado de (Vaca, 2015)

Al tratarse de un tipo de tendido aéreo, se seleccionara un cable del tipo ADSS con características loose Tube, donde la fibra óptica se encuentra dentro de un recubrimiento secundario exterior que por lo general es de plástico. Este tipo de cables es ideal para tendido aéreo a través de postes debido a su inmunidad a interferencias eléctricas y su resistencia.

La fibra usada será de 6 y 12 hilos G.652D, misma que consta de 1 y 2 buffers o tubos y cada uno de ellos cuenta con 6 hilos. La red de última milla se realizara haciendo uso de la fibra óptica (Drop) de 2 hilos G.657A.

3.14 Punto de Acceso de Red (NAP)

Se usaran NAPs de 3 entradas para cable ADSS, 25 NAPs de 16 salidas y 4 NAPs de 8 salidas para distribución. Cada una albergara un splitter secundario de 1:8 y 1:16.

Estos elementos pasivos deben ser ubicados en lugares con alta densidad de vivienda y potencialidad de usuarios, por tanto para nuestro despliegue necesitaremos 29 NAPs para la distribución, mismas que serán ubicadas estratégicamente en los postes cercanos a la ruta de distribución.

3.15 Roseta Óptica

Nuestro proyecto necesitara de 432 rosetas ópticas, que serán instaladas en el interior de los hogares y desde donde se realizara la conexión a las ONTs, integrándose de esta manera con la red ODN.

Finalmente en la tabla 3.21 presentamos un resumen del dimensionamiento de los equipos y elementos de la red de acceso GPON.

Tabla 3.21

Resumen del dimensionamiento de equipos y elementos de la red GPON para servicio de internet

Componente	Cantidad	Ubicación
OLTs con 8 Puertos GPON	1	Cabecera Coripata
ONTs	432	Vivienda usuario
Splitters primarios 1:4	8	Puntos estratégicos de áreas a cubrir
Splitters secundarios 1:8	4	Zonas de cobertura
Splitters secundarios 1:16	25	Zonas de cobertura
Distribuidor Óptico ODF	1	Cabecera Coripata
Cable de FO ADSS G.652D de 6 hilos (Long. Aprox.(m))	9944	Red troncal y distribución
Cable de FO ADSS G.652D de 12 hilos(Long. Aprox. (m))	644	Red troncal y distribución
Cable de FO SM DROP G.652 de 2 hilos	No definido	Red de acceso
Mufas de empalme	6	Postes de las rutas troncales
Cajas de distribución NAP	29	Postes de zonas de cobertura
Rosetas Ópticas	432	Viviendas de usuarios

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.22 presentamos los elementos activos que son necesarios para proveer el servicio de internet y TV (video) a través de la red, debemos mencionar que los costos se incrementan ya que se debe agregar a la red GPON/FTTH estos elementos para tal propósito. Por ejemplo se debe agregar el multiplexador DWM, Transmisor Óptico de 1550 nm y ONTs con salida RF para proveer el servicio de TV.

Tabla 3.22

Elemento activos necesarios de la red GPON para servicio de internet y TV

Componente	Cantidad	Ubicación
Multiplexador DWM	1	Nodo Coripata
Transmisor/Modulador Optico de 1550 nm	1	Nodo Coripata
ONTs con salida RF	432	Vivienda usuario

Fuente: Elaboración propia

Los elementos pasivos de infraestructura para la operación de la red GPON/FTTH como: pigtailes con pulido APC, patchcord de fibra, adaptadores dúplex, cinta para etiquetado, herrajes entre otros elementos serán considerados a nivel de costos en otra sección para realizar el respectivo presupuesto referencial que tendría el proyecto con una implementación.

3.16 Herrajería para tendido aéreo

El tema de la herrajería usada en las redes de telecomunicaciones en lo general afecta en gran medida al precio durante una implementación, debido a la cantidad de elementos que se usan, sumando a los costos de adquisición y la mano de obra que significan. Una elección errónea de estos elementos reflejaría un desempeño no adecuado de la red, es por ello que su importancia es de considerar al momento de seleccionar el tipo de herraje.

Para el tendido aéreo es necesario ferretería con el cual se realiza la sujeción del cable, entre los principales elementos tenemos: tipo poste duplo, poste terminal, poste de paso y cruceta de reserva

3.16.1 Herrajes definidos por zona

Los herrajes a utilizar en cada tramo se verificaron en sitio, una vez realizado el trazado y ubicación de la postación en las zonas de Coripata. Como resultado tenemos los datos reflejados en las tablas 3.23, 3.24, 3.25, 3.26, 3.27, 3.28 y 3.29, donde se tiene el tipo de herraje a utilizar en las diferentes zonas donde se realizara el despliegue de la red. Debemos aclarar que los herrajes de retención del tipo Terminal se identifican en las tablas como: HTT, el duplo como HTD y el de paso como HTP, esto dependiendo del número de brazos extensores que posee dicho herraje.

Tabla 3.23

Herrajería y preformado para la zona 1 (Santa Gertrudis)

N° de poste	Herrajes Zona 1				Preformado
	HTT	HTD	HTP	Cruceta de Reserva	
PSG1		1			2
PSG2			1		
PSG3		1		1	2
PSG4			1		
PSG5		1			2
PSG6			1	1	
PSG7					
PSG8		1			2
PSG9		1			2
PSG10		1			2
PSG22		1		1	2
PSG21	1				1
TOTAL	1	7	3	3	15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24

Herrajería y preformado para la zona 2 (Coscoma)

N° de poste	Herrajes Zona 2				Preformado
	HTT	HTD	HTP	Cruceta de Reserva	
PTC1		1	1		2
PTC2		2			4
PTC3			2	1	
PTC4		1	1	1	2
PTC5		1	1	1	2
PTC6			1		
PTC7		1			2
PTC8			1		
PTC9		1			2
PTC10			1		
PTC11					
PTC12					
PTC13	1				1
TOTAL	1	7	8	3	15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25

Herrajería y preformado para la zona 3 (Santa Bárbara

N° de poste	Herrajes Zona 3				Preformado
	HTT	HTD	HTP	Cruceta de Reserva	
PS1			1		
PS2		1			2
PS3		1			2
PS7			1		
PS8					
PS9			1		
PS10		1			2
PS11		1			2
PS12		1			2
PS13			1	1	
PS14		1			2
PS15			1		
PS16	1				1
TOTAL	1	6	5	1	13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26

Herrajería y preformado para la zona 4 (Chillamani)

N° de poste	Herrajes Zona 4				Preformado
	HTT	HTD	HTP	Cruceta de Reserva	
PC0			1		
PC1		1		1	2
PC2			1		
PC3			1		
PC4			1		
PC5		1			2
PC6			1		
PC7			1		
PC8					
PC9		1			2
PC10			1		
PC11			1		
PC12					
PC13			1	1	
PC14			1		
PC15		1			2
PC16			1		
PC17		1			2
PC18			1		
PC19			1		
PC20		1			2
PC21	1		1		1
PC22	1			1	1
PC23		1			2
PC24			1		
PC25			1		
PC26		1			2
PC27			1		
PC28		1			2
PC29			1		
PC30					
PC31		1			2
PC32					
PC33			1		
PC34		1		1	2
PC35			1		
PC36		1			2
PC37	1				1
TOTAL	3	12	20	4	27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.27
Herrajería y preformado para la zona 5 (Anacuri)

N° de poste	Herrajes Zona 5				Preformado
	HTT	HTD	HTP	Cruceta Reserva	
PA1	1	1			3
PA2			1		
PA3					
PA4			1		
PA5		1			2
PA7			1		
PA8					
PA9			1		
PA10		1		1	2
PA11			1		
PA12		1			2
PA13					
PA14			1		
PA15			1		
PA16		1			2
PA17					
PA18			1		
PA19					
PA20			1		
PA21			1		
PA22		1			2
PA23			1	1	
PA24					
PA25		1			2
PA26			1		
PA27			1		
PA28		1			2
PA29			1		
PA30			1		
PA31		1			2
PA32			1		
PA33		1			2
PA34		1			2
PA35	1			1	1
PA37			1		
PA38					
PA39			1		
PA40	1				1
TOTAL	3	11	18	3	25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.28

Herrajería y preformado para la zona 6 (Coripata)

N° de poste	Herrajes Zona 6			Crucecita Reserva	Preformado
	HTT	HTD	HTP		
P - 10	1				1
P - 12			1		
P - 13		1			2
P - 14			1		
P - 15		1			2
P - 17					
P - 18					
P - 39			1	1	
P - 40					
P - 41			1		
P - 42		1			2
P - 54			1		
P - 55		1			2
P - 56			1		
P - 57		1		1	2
P - 58			1		
P - 59		1			2
P - 60			1		
P - 61					
P - 62			1		
P - 63			1		
P - 64		1			2
P - 65					
P - 66			1	1	
P - 67			1		
P - 68		1			2
P - 69		2			4
P - 70		1	1		2
P - 72					
P - 73		1	1	1	2
P - 74			1		
P - 75		1			2
P - 76			1		
P - 77		2		1	4
P - 78		3			6
P - 79		1		1	2
P - 80		1		1	2
P - 81			1		
P - 82		1			2
P - 83			1		
P - 84	1		1		1
P - 85		1	1		2
P - 86					
P - 87			2		
P - 88			1		
P - 89	1	2			5
P - 90			2	1	
P - 91		2			4
P - 92			1		
P - 93		1			2
P - 94					
P - 95			1		
P - 96	1	1			3
P - 97					
P - 98			1		
P - 99					
P - 100			1		
P - 101		1			2
P - 102			1	1	
P - 103					
P - 104			1		
P - 105		1			2
P - 106					
P - 107			1		
P - 108			1		
P - 109		1			2
P - 110			1		
P - 111					
P - 112			1		
P - 113		1			2
P - 114	1				1
P - 115			1	1	
P - 116					
P - 117			1		
P1A	1				1
P2A			1		
P3A	1	1			3
P4A			1		
P5A		1		1	2
P6A			1		
P7A		1			2
P8A			1		
P9A		1			2
P10A			1		
P11A					
P12A					
P13A			1		
P14A					
P15A			1		
P16A					
P17A		1			2
P - 1B			1		
P - 2B					
P - 3B			1	1	
P - 4B					
P - 5B			1		
P - 6B		1			2
P - 7B			1		
P - 8B					
P - 9B			1		
P - 10B		1			2
P - 11B			1		
P - 12B	1				1
P1E		1			2
P2E		1			2
TOTAL	8	41	50	12	90

Tabla 3.29

Herrajería y preformado para la ruta Coripata - Coscoma - S. Gertrudis

N° de poste	Herrajes Zona Ruta Coripata-Coscoma-S.Gertrudis				Preformado
	HTT	HTD	HTP	Cruceta de Reserva	
PT1		1			2
PT2			1		
PT3			1		
PT4		1			2
PT5			1		
PT6		1			2
PT7			1		
PT8			1		
PT9		1			2
PT10			1		
PT11		1			2
PT12		1		1	2
PT13			1		
PT14		1			2
PT15		1			2
PT16			1		
PT17		1			2
PT18		1		1	2
PT19			1		
PT20			1		
PT21		1			2
PT22			1	1	
PT23		1			2
PT24		1			2
PT25			1		
PT26		1			2
PT27			1		
PT28		1		1	2
PT29	1	1			3
PT30			2		
PT31		1		1	2
PT32		1			2
PT33			1		
PT34			1		
PT35		1			2
PT36			1		
PT37		1		1	2
PT38		1			2
PT39		1			2
PT40		1			2
PT41			1	1	
PT42		1			2
PT43			1		
PT44			1		
PT45		1			2
PT46	1				1
PT47		1		1	2
PT48			1		
PT49		1			2
PT50			1		
PT51			1		
PT52			1	1	
PT53			1		
PT54		1			2
PT55		1			2
PT56		1			2
PT57			1	1	
PT58		1			2
PT59			1		
PT60			1		
TOTAL	2	31	29	10	64

Fuente: Elaboración propia

En resumen, en la tabla 3.30 presentamos el total de la herrajería necesaria para una implementación de la red GPON en la localidad de Coripata en las 6 zonas consideradas para el despliegue de la red.

Tabla 3.30

Volumen total de Herrajería necesaria para implementación de red

Elemento	Cantidad
Herraje de retencion Terminal para fibra ADSS (HTT)	19
Herraje de retencion Duplo para fibra ADSS (HTD)	115
Herraje de retencion Paso para fibra ADSS (HTP)	133
Cruceta de Reserva	36
Preformado helicoidal para fibra ADSS	249

Fuente: Elaboración propia

3.17 Estimación del requerimiento de ancho de banda y tráfico de la red

Las redes GPON son redes multiservicio que están orientadas a implementar el servicio “triple Play” y otros servicios, por lo que es importante establecer y asegurar anchos de banda para evitar el sobredimensionamiento de la red de acceso. En nuestro proyecto no se hará una implementación de un servicio “triple Play”, pues nuestra red es solo para brindar el servicio de Televisión por cable (video) y Datos (Internet). Para esto es necesario determinar el ancho de banda que un cliente podría solicitar para acceder a los servicios que se proveerá a través de la red.

En la tabla 3.31 podemos observar los valores del ancho de banda tanto de subida como de bajada que se requieren y se ofrecerán a través de la red GPON/FTTH como son Televisión e internet, y así obtener el ancho de banda por cliente.

Tabla 3.31

Ancho de banda necesario por cliente para servicio de internet

Servicios		Ancho de Banda (Mbps)			
		Subida		Bajada	
Internet	Acceso Internet	0.512	1.024	2	5
Televisión	Canales SDTV	0.064	0.64	2	3
	Canales HDTV	0,64		5	6
TOTAL (Internet + SDTV)		0.512	1.66	4	8
TOTAL (Internet + HDTV)		0.512	1.66	7	11

Fuente: Elaboración Propia

Un punto fundamental es la cantidad máxima de clientes por acceso GPON, en el caso de nuestro proyecto se determinó que se brindara servicio a 64 clientes por cada puerto GPON. Cada puerto tiene una capacidad de 2.5 Gbps, misma que se compartirá entre todos los clientes conectados a ese puerto. Por tanto, nuestro ancho de banda (AB) promedio por cliente tanto para bajada (downstream) y subida (upstream) la calculamos a continuación mediante la ecuación 3.4 y 3.5 respectivamente.

$$AB = \frac{2,5 \text{ Gbps}}{64 \text{ clientes}} = 0,03906 \text{ Gbps} = 39,06 \text{ Mbps/cliente}$$

Ecuación 3.4

$$AB = \frac{1,25 \text{ Gbps}}{64 \text{ clientes}} = 0,01953 \text{ Gbps} = 19,53 \text{ Mbps/cliente}$$

Ecuación 3.5

Según los cálculos, el ancho de banda por cliente GPON es de 39.06 Mbps, por tanto basándonos en la tabla 3.31, los servicios de internet y televisión nos determinaron un ancho de banda aproximado por cliente de 0.512 Mbps a 1.66 Mbps en upstream y de 4 Mbps a 11 Mbps en downstream mismos que se encuentran por debajo del ancho de banda por cliente GPON

calculado anteriormente, lo que garantiza que nuestra red estará trabajando a un rendimiento óptimo para cada uno de los usuarios. En la tabla 3.32 observamos el resumen de los cálculos realizados.

Tabla 3.32

Ancho de banda por cliente GPON (Resumen)

Ancho de Banda GPON (Gbps)		Ancho de Banda promedio por cliente en Mbps
		1:64
Downstream	2.5	39.06
Upstream	1.25	19.53

Fuente: Elaboración Propia

3.17.1 Capacidad necesaria de Red

Para dimensionar el ancho de banda promedio que debería soportar nuestra red para la transmisión del servicio de Internet, se debe tomar en cuenta el número de clientes además del ancho de banda que requiere cada uno. Según lo proyectado, en cuanto a la penetración que se manejara en la Localidad de Coripata al 30 %, este valor representa a 430 clientes, donde cada uno de ellos requiere un mínimo de 1,66 Mbps en subida y de 6 Mbps en bajada al acceder a los servicios simultáneamente; con esta información podemos calcular la capacidad mínima de la red, que la determinamos a continuación.

$$\text{Capacidad total(minima)} = 430 \times 1,66 \text{ Mbps} = 713.8 \text{ Mbps} \rightarrow \text{Subida}$$

$$\text{Capacidad total(minima)} = 430 \times 7 \text{ Mbps} = 3010 \text{ Mbps} \rightarrow \text{Bajada}$$

Los valores calculados corresponden a la capacidad de la red con un 100% de ocupación al mismo tiempo, generalmente en la práctica estos valores se ven reducidos a un 50 %, ya que no todos los clientes acceden simultáneamente a los servicios y sobre todo, porque no usan todos

los servicios en una misma proporción. Si consideramos que solo el 50% de los usuarios está navegando en la hora pico nuestro ancho de banda efectivo sería de 1505 Mbps. La justificación de este porcentaje se basa en el siguiente análisis con respecto al uso de los servicios de internet y televisión en los hogares, donde las relaciones de proporcionalidad establecidas son directas.

3.18 Presupuesto del Enlace Óptico

Dentro de un proyecto de diseño es fundamental la elaboración de un presupuesto de enlace óptico, pues es necesario conocer la dimensión de las pérdidas proyectadas en la red para prever el comportamiento que tendrá el enlace cuando se encuentre en funcionamiento.

Una de las recomendaciones para el correcto funcionamiento de la red, es el establecimiento de un límite de 28 dBm de pérdida total en el enlace, considerando una ventana de 3 dBm de seguridad para posibles deterioros futuros en la red, es decir; el valor límite recomendado para calcular el presupuesto óptico de una red GPON es de 25 dBm.

En el diseño de la red GPON se debe considerar que los enlaces de corta distancia tienen un nivel mínimo requerido de pérdidas, esto debido a que los umbrales de funcionamiento se encuentran alrededor de los -28 dBm (para OLT) y de -27 dBm (para ONT) refiriéndose a su sensibilidad mínima y bordean los -8 dBm para sobrecarga mínima; además que la potencia máxima de emisión, tanto para OLT como para el ONT es de + 5 dBm.

Con estas consideraciones, se debe garantizar que la potencia recibida se encuentre dentro de los límites establecidos, con pérdidas que superen los 13 dBm y no superen los 28 dBm.

A continuación se realiza el cálculo para la menor y la mayor distancia entre la OLT y un usuario final, considerando las pérdidas por atenuación en los tramos de feeder, distribución y dispersión. Los valores referenciales para las pérdidas en las muflas, NAP, splitter, así como las

fusiones y conectores usados en el ODF de la central y NAP final se ven resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 3.33

Pérdidas típicas en los elementos de red

Parámetro	Valor
Coeficiente de atenuación fibra monomodo G.652D	1310 nm < 0,35 dB/Km
	1490 nm < 0,3 dB/Km
	1550 nm < 0,25 dB/Km
Perdida por conector óptico (Campo)	0,6 dB
Perdida por splitter 1x4	7.2/7.4 dB
Perdida por splitter 1x8	10,5/10,7 dB
Perdida por splitter 1x16	13.5/13,7 dB
Perdida por Patchcord	0,3 dB
Perdida por empalme de fusion	0,1 dB
Margen de seguridad	3,0 dB
Distancia usuario más lejano	4,999 Km
Distancia usuario más cercano	0,372 Km

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de pérdida de potencia, se propone dos escenarios distintos, mismos que consisten en medir las variables sobre el cliente que se encuentra más lejos desde la ubicación de la OLT y sobre el cliente que se encuentra más cerca con respecto a la OLT. De esta manera se podrá realizar una comparación de ambos resultados, considerando el peor y mejor escenario en cuanto a las distancias utilizadas por el cable de fibra óptica. El margen de seguridad que se tomara en cuenta en el diseño será de 3 dBm.

3.18.1 Cálculo de pérdidas en la NAP más cercana

En esta NAP, la distancia total del feeder o cable troncal de 12 hilos que alimenta este elemento es de 218 metros considerando los vanos de reserva y, la longitud del cable de distribución a la que se encuentra esta NAP es de 16 metros; se considera entonces, el valor de la longitud del cable feeder como del cable de distribución, es decir un total de 234 metros como se observa en la figura 3.17.

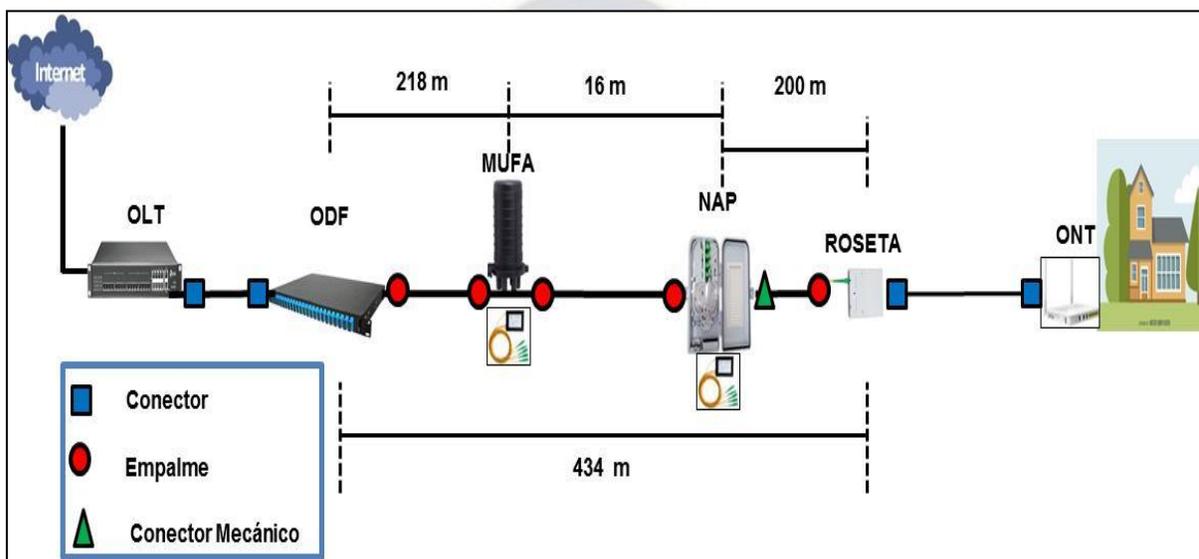


Figura 3.17. Esquema de la NAP más cercana

La distancia menor corresponde a la NAP 9 de la zona de Coripata, se consideró una distancia promedio de 200 metros para la red de dispersión (acometida) con lo que tenemos una longitud total de 434 metros. En la tabla 3.34 se muestra el cálculo para el tramo medible de la NAP cercana incluyendo los valores de dispersión por el cable drop.

Tabla 3.34

Cálculo de las pérdidas en la NAP cercana

Presupuesto Optico				
Elemento de la red de FO		Perdida típica (dB)	Cantidad	Pérdida Total (dB)
Conectores		0.5	4	2
Empalmes de fusión		0.1	5	0.5
Conector Armado en campo		0.6	1	0.6
Splitter 1:4		7.2/7.4	1	7.4
Splitter 1:16		13.5/13.7	1	13.7
Longitud de FO	1310 nm	0.35 dB/Km	0.434 Km	0.152
	1550 nm	0.25 dB/Km	0.434 Km	0.108
Subtotal (dB)				24.46
Margen de seguridad (dB)				3
Total (dB)				27.46

Fuente: Elaboración propia

3.18.2 Cálculo de pérdidas en la NAP más Lejana

Para el cálculo se realiza la misma consideración respecto al tamaño del feeder principal de 12 hilos, debemos recalcar que este tramo es un enlace desde el nodo de Coripata hasta la zona de Santa Gertrudis. La longitud de este tramo considerando las reservas en todo el trayecto es de una longitud aproximada de 4710 metros. En cuanto a la longitud del tramo del cable de distribución este tiene 289 metros en su punto más lejano; por último se considera una distancia del cable drop de 200 metros en promedio al igual que se realizó en la NAP cercana, dando un total de 5199 metros de longitud. Mencionar que este tramo el cable feeder tendrá dos puntos de empalme en todo su recorrido hasta llegar a la zona de Santa Gertrudis, esta consideración es en el peor de los casos, Con todo lo descrito, se tiene el siguiente cálculo y representación de este tramo lejano que se visualiza en la figura 3.18.

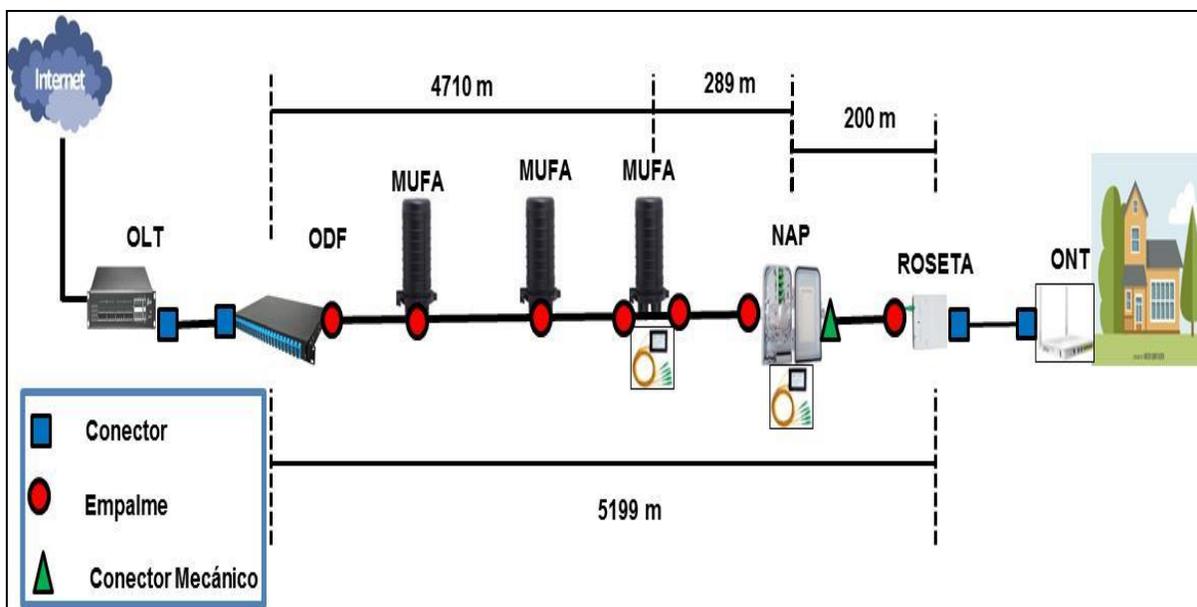


FIGURA 3.18. Esquema de la NAP más lejana

En la tabla 3.35 se muestra el cálculo para el tramo medible de la NAP más lejana incluyendo valores de dispersión por el cable Drop, este elemento se trata de la NAP 3 de la zona Santa Gertrudis.

Tabla 3.35

Cálculo de las pérdidas en la NAP más lejana

Presupuesto Óptico			
Elemento de la red de FO		Perdida típica (dB)	Pérdida Total (dB)
Conectores		0.5	2
Empalmes de fusión		0.1	0.7
Conector Armado en campo		0.6	0.6
Splitter 1:4		7.2/7.4	7.4
Splitter 1:16		13.5/13.7	13.7
Longitud de FO	1310 nm	0.35 dB/Km	1.82
	1550 nm	0.25 dB/Km	1.29
Subtotal (dB)			27.51
Margen de seguridad (dB)			3
Total (dB)			30.51

Fuente: Elaboración propia

Vemos que los valores calculados superan el valor mínimo establecido de 13 dB, por lo que se asegura que los equipos no sufrirán una carga excesiva de potencia que llegue a afectar su funcionamiento, esto referente a las ONTs y OLT.

3.19 Balance Óptico de potencia de Recepción

El balance de potencias permite conocer si los equipos van a soportar la señal que se transmite en el sistema, evitando daños en los mismos o generando sobrecarga de potencia.

Para el diseño propuesto, es indispensable conocer la potencia de recepción de los equipos, este parámetro depende de la potencia de transmisión de los equipos y de las pérdidas generadas en la red de acceso FTTH.

Por tanto, para el cálculo del balance óptico se tendrá que cumplir con la relación de la ecuación 3.6.

$$PRx \leq PTx - \alpha_{TOTAL}$$

Ecuación 3.6

Dónde:

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

P_{Tx} : Potencia del transmisor óptico (dB)

α_{TOTAL} : Valor total de pérdidas

Por otro lado, la norma UIT-T G.984.2 Clase B+ especifica el valor de la sensibilidad de recepción para este tipo de equipos, como se indica en la tabla 3.36.

Tabla 3.36

Parámetros ópticos según recomendación UIT-T G.984.2 Clase B+

UIT-T G.984.2 Class B+		
Parámetro	Downstream	Upstream
Ventana de Transmision	1480- 1550 nm	1260 - 1360 nm
Longitud de onda central	Tx: 1490 nm	Rx: 1310 nm
Velocidad de transmision	2.5 Gbps	1.25 Gbps
Potencia de transmision	+0.5 dBm a +5 dBm	
Sensibilidad minima de recepcion	- 28 dB	
Sobrecarga minima	-8 dB	
Distancia maxima de transmision	20 Km	
Margen de seguridad	3 dB	

Fuente: Elaboración propia en base a la información de (Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T), 2019)

Los cálculos se realizan de igual forma considerando los escenarios ya mencionados, es decir, tanto para el cliente más lejano como para el más cercano con respecto a la OLT.

3.19.1 Escenario 1: Cliente más lejano

Para calcular la potencia de recepción en el equipo ONT del cliente más lejano con respecto a la OLT, se debe considerar la pérdida de potencia total que se registra en la transmisión de datos hasta llegar al equipo de recepción, el cual es de 30.51 dB, teniendo en cuenta este valor se calcula la potencia de recepción mediante la ecuación 3.6.

$$PRx \leq PTx - \alpha TOTAL$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 5 \text{ dBm} - 30.51 \text{ dB}$$

$$\mathbf{-28 \text{ dBm} \leq -25.51 \text{ dBm}}$$

Una vez realizado el cálculo, se puede evidenciar que la potencia de recepción que se registra sobre el abonado más lejano a la OLT es de -25.51 dBm , cuyo valor demuestra que la potencia

recibida en el ONT aún se encuentra dentro del margen de sensibilidad de recepción del equipo receptor, es decir por encima de -28 dBm.

Así, se puede mencionar que el ONT del cliente en la zona Santa Gertrudis consigue procesar los bits enviados desde la OLT y viceversa a través de la red óptica sin mayores pérdidas de datos.

3.19.2 Escenario 2: Cliente más cercano

En este escenario, para el cálculo de la potencia de recepción se toma en cuenta la pérdida de potencia total registrada para este cliente, la misma que según la tabla 3.34 es de 27.46 dB, procediendo con el cálculo mediante la ecuación 3.6, tenemos:

$$\begin{aligned}
 PR_x &\leq PT_x - \alpha_{TOTAL} \\
 -28 \text{ dBm} &\leq 5 \text{ dBm} - 27.46 \text{ dB} \\
 \mathbf{-28 \text{ dBm} &\leq \mathbf{-22.46 \text{ dBm}}
 \end{aligned}$$

Este valor de -22.46 dBm indica que la potencia de recepción se encuentra por encima de la sensibilidad del equipo receptor del cliente.

Por consiguiente, los valores obtenidos de pérdida total permiten de forma orientativa conocer el balance de potencias del sistema del presente diseño y comprobar que los equipos seleccionados sean los óptimos para realizar el enlace óptico. Estos equipos deberán presentar una sensibilidad que se ajuste al margen permitido por este análisis de pérdidas, de tal manera que permanezca un nivel aceptable de diferencia entre los que soportan dichos equipos. Como vemos, ninguno de los casos contemplados para la red del presente diseño sobrepasa los valores que establece la norma, ni los valores del rango de sensibilidad dados por el fabricante del equipo, que a su vez están acorde con la recomendación UIT-T G.984.2 clase B+; es decir de -28 dBm.

3.20 Red GPON Componentes y características

En las tablas 3.37 y 3.38 tenemos las características que se requieren y deben cumplir cada uno de los elementos o componentes activos en la red de acceso GPON para un correcto desempeño.

Tabla 3.37

Características necesarias de los elementos activos para la red GPON (Proyecto)

Equipo	Características
OLT	<ul style="list-style-type: none"> * Operar bajo el cumplimiento del estándar UIT - T G 984.X * Mínimo 2 puertos GPON con una tasa de splitteo 1:128. * Mínimo 2 puertos uplink 1 GE (Gigabit Ethernet) para conexión con módulo SFP a un nodo de acceso de la red MPLS/IP de las redes de Entel y Telecel. * Tasa de transmisión de 2.5 Gbps para bajada y 1.25 Gbps para subida. * Trabajar con WDM para operar en longitudes de 1310-1490 nm. * Detector óptico de transmisión DL (Injection Laser Diode). * Sensibilidad de recepción según la clase B+: -28 dBm * Potencia de transmisión según clase B+: +5 dBm * Tarjeta de administración remota bajo protocolos SNMP, Telnet, SSH, CLI que permitan configurar a los clientes en cada puerto GPON según el servicio contratado y monitorear el tráfico respectivo y detección de fallas en la red * Tarjeta de alimentación eléctrica de 110- 220 V AC.
ONT	<ul style="list-style-type: none"> * Generalmente la misma marca del equipo OLT. * Operar bajo el cumplimiento del estándar UIT - T G 984.X * 1 puerto GPON para conectar la fibra óptica proveniente de la red de distribución. * Puertos LAN o fast Ethernet para acceder al internet, conectando una PC con cable de red RJ-45. * 1 puerto o salida RF para acceder a la televisión con conector coaxial(Opcional) * Operación en longitudes de onda de 1310, 1490 nm. * Distancia aproximada de 100 m para transmisiones a través de cable de red. * Detector óptico de recepción: APD (Avalanche photo Diode). * Sensibilidad de recepción según clase B+: -28 dBm. * Potencia de transmisión según clase B+: +5 dBm. * Tarjeta de alimentación eléctrica a 12 v y 0,5 A AC/DC.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.38

Características de elementos pasivos para la red GPON (Proyecto)

Elemento de RED	Características	
ODF	<ul style="list-style-type: none"> * Fibra óptica de trabajo monomodo (Red. UIT-T G.652D). * Patchcord de conexión SC-SC. * Capacidad de conexión de 48 hilos. * Ambiente de instalación par interior. * Ubicación de instalación rack de 19”. 	
Fibra Optica	Cable	<ul style="list-style-type: none"> * Numero de hilos por cable, rutas troncales (Feeder) de 6 hilos y 12 hilos y 2 hilos para acometida(Drop). * Operar cumpliendo las recomendaciones UIT-T G:652D para la troncal y distribución y la UIT_T G.652A para acometida * Rango de longitud de operación de 1310 nm a 1625 nm. * Atenuación < 0.4 dB/Km a 1310 nm y < 0.30 dB/Km a 1550 nm. * Tendido aéreo.
	Hilo	<ul style="list-style-type: none"> * Tipo de fibra monomodo (SM). * Operación en longitud de onda de 1310 y 1550 nm. * Operar de acuerdo al cumplimiento de la recomendación UIT-T G.652D * Diámetro del núcleo 8.6 micras a 9.2 micras. * Diámetro de Cladding 125 micras. * Perdida máxima por macro curvatura de 0.1 dB a 1625 nm.
Splitter	<ul style="list-style-type: none"> * Splitter de división 1x4 , 1x 8 y 1x16 para cada nivel asignado. * Conectorización mediante SC simplex. * Operar en longitudes de onda de 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm. * Perdidas de inserción 7.1 dB para 1x4, 10.5 dB para 1x8 y 13.7 dB para 1x16. * Ambientes de instalación externa en cajas de dispersión y distribución. 	
Muflas de empalme	<ul style="list-style-type: none"> * Mufa tipo domo para tendido de fibra óptica. * Mínimo 2 puertos oval para ingreso de cables de fibra óptica troncales. * Capacidad de empalme de 48 hilos. * Ambiente de instalación externa (Postes). * Instalación aérea. 	
NAPs	<ul style="list-style-type: none"> * Capacidad para 4, 16, 24 hilos. * 3 puertos de entrada mínima. * Ambiente de instalación externo * Numero de casetes 2 para splitters 1x8 * Conectorización con SC simplex. 	
Roseta Optica	<ul style="list-style-type: none"> * De material plastico con tapa desmontable. * Ambiente de instalacion interno. * Tipo de conector SC simplex. * Maximo 2 puertos, 1 para conexión con el ONT y otro para adaptador optico tipo SC o LC. 	

Fuente: Elaboración Propia

3.21 Equipamiento a Utilizar en el Diseño de la Red

Durante el diseño de la red GPON/FTTH como vimos anteriormente, se debe tener en consideración muchos elementos que nos permitirán realizar un diseño óptimo y funcional acorde a las normas o estándares internacionales.

Conociendo el dimensionamiento de puertos e hilos de la red troncal y de los splitters en cada zona, procedemos a la descripción y selección de los mejores equipos que permitan un desempeño correcto de la red diseñada, equipos como la OLT y ONT que se sitúa en los hogares de los usuarios, la elección de los mejores splitters primarios y secundarios que se desplegaran en la red, muflas, NAPs y rosetas que nos permitirán una mejor distribución del servicio a los usuarios finales y proteger los hilos de fibra que permiten la comunicación.

3.21.1 OLT

En la actualidad existen muchos proveedores de equipos OLT como son Huawei, ZTE, Cisco, Motorola, TP-Link, UBIQUITI, etc. Ya que la red que se diseñara es nueva y no se basa en la mejora de otra red que ya tenga un dispositivo específico de OLT, se elegirá el que sea más óptimo en cuanto a funcionalidad y costo-beneficio para el despliegue de la red.

El OLT, está conformado por una serie de tarjetas o módulos y otros elementos que se describirán a continuación.

➤ Módulos para OLT



Figura 3.19. OLT estándar para redes GPON

Una OLT está conformada por varios elementos que permiten su funcionamiento, entre ellas:

- **Tarjeta de Poder:** este módulo es la fuente de alimentación del OLT el cual es de 48v DC, entre las funciones que cumple este módulo de poder está el limitar corriente para la alimentación y detectar si existe una potencia de entrada y fallas las cuales son monitoreadas y, en caso de existir algún problema dar una alerta mediante una alarma.
- **Módulo de control:** permite el control y gestión del sistema, realiza funciones de enrutamiento, el acceso es local y remoto a través de este módulo que cuenta con un puerto Ethernet o serial.
- **Módulo de servicio:** es la interfaz de la red GPON propiamente dicha, sus puertos son la interfaz que trabaja con la ONT pasando por toda la red ODN para brindar acceso y servicio. En el proyecto la OLT utilizada es de 8 puertos PON.
- **Módulo de uplink:** este módulo permite el enlace de uplink o ascendente para la OLT, donde podemos encontrar puertos SFP opto/eléctrico en sincronización de reloj Ethernet.

A continuación se presenta tres marcas de equipos activos OLTs que son: YOTC, TP- Link y UBIQUITI cuyas especificaciones técnicas de los modelos YOTC G1000, TP-Link P1200-08 y Ufiber GPON OLT (UBIQUITI) se presentan en la tabla 3.39.

Debemos enfatizar que los equipos activos (**OLTs – ONTs**) y los elementos pasivos (**NAPs, Splitters, Muflas, etc**) que son considerados para el diseño del proyecto, son presentados a modo de **referencia** para la empresa Telecomunicaciones Yungueña, en caso de una posible implementación y operación de la red diseñada, se deja a criterio de la empresa la consideración del uso o no de estos equipos y elementos o únicamente considerar los **costos referenciales** que se presentan en la sección de análisis de costos del proyecto y optar por adquirir otros equipos más económicos.

Tabla 3.39

Especificaciones técnicas de equipos OLT

Especificaciones Técnicas de Equipos OLT			
	OLT TP-Link P1200-8	OLT YOTC G1000	Ufiber GPON OLT (UBIQUITI)
			
Características Generales			
Estandar	ITU-T G.984.X	ITU-T G.984.X	ITU-T G.984
Velocidad GPON	2.488 Gbps downstream 1.244 Gbps upstream	2.5 Gbps downstream 1.2 Gbps upstream	2.488 Gbps downstream 1.244 Gbps upstream
Relacion de Splitteo	1:128	1:128	1:128
Distancia de Transmision	Max. 20 km	Max. 20 km	Max. 20 km
Tipos de DBA	5 DBA Types	5 DBA Types	8 DBA Types
Puertos PON	8	8	8
Usuarios por tarjeta LIM (Line Interface Module)	1024 (1:128), 256 (1:32), 512 (1:64)	1024 (1:128), 256 (1:32), 512 (1:64)	1024 (1:128), 256 (1:32), 512 (1:64)
Capacidad de usuarios	1024	1024	1024
Puertos Uplink	8 GE (Gigabit Ethernet) para uso con modulos SFP/8*1000Mbps	8 *GE (Gigabit Ethernet) para uso con modulos SFP/8*1000Mbps	8 *GPON (Gigabit Ethernet) 2*1G/10G SFP
Modo de Operación	Dual IPv4/IPv6 (Soporta Switch capa 3)	Dual IPv4/IPv6 (Soporta Switch capa 3)	Dual IPv4/IPv6
Dimensiones x RU (Rack Unit)	391 mm (W) x 440 mm (D)x 1 RU	200 mm (W) x 442 mm (D)x 1 RU	285.6 mm (W) x 442.4 mm (D)x 43.7 mm
Características Funcionales			
Longitud de onda	Rx: 1310 nm (voz y datos) Tx: 1490 nm (voz y datos)	Rx: 1310 nm (voz y datos) Tx: 1490 nm (voz y datos)	Rx: 1310 nm (voz y datos) Tx: 1490 nm (voz y datos)
Tasa de Transmision	Asimetrica: 2.5 / 1.25 Gbps (down/up)	Asimetrica: 2.488 / 1.244 Gbps (down/up)	Asimetrica: 2.488 / 1.244 Gbps (down/up)
Características opticas			
Transmision	Clase B+: 1.5 dBm - 5dBm Clase C: 3 dBm - 7dBm	Clase B+: 1 dBm - 5dBm Clase C: 3 dBm - 8dBm	Clase B+: 1.5 dBm - 5dBm
Recepcion	Clase B+: -28 dBm Clase C+: -30 dBm	Clase B+: -8 -> -28 dBm Clase C+: -30 dBm	Clase B+: -8 -> -28 dBm
Características Electricas y temperatura			
Rango de Voltaje	AC: 90 - 240 V, 50 - 60 Hz DC: 36 V - 72 V	AC: 90 - 264 VDC: 47 - 63 Hz	AC: 100-240 VDC: 38-54 V
Temperatura ambiente	- 40 °C -> 85 °C	- 40 °C -> 75 °C	- 10 °C -> 45 °C
Protocolos y aplicaciones			
Administracion local y remota	<ul style="list-style-type: none"> • Telnet • SSH • CLI • GUI • EMS management console 	<ul style="list-style-type: none"> • SNMP • Telnet • CLI 	<ul style="list-style-type: none"> 1 * Ethernet for Out-of-Band Management 1 * RJ45 Serial Console Port
Enrutamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Estatico • Dinamico: RIP, OSPFv2 	<ul style="list-style-type: none"> • Estatico • Dinamico: RIP, OSPFv2 	<ul style="list-style-type: none"> • Estatico • Dinamico: RIP, OSPFv2
Seguridad	Encriptacion: 128 AES	Encriptacion: 128 AES	***
Aplicación	Redes FTTN,FTTB,FTTH	Redes FTTN,FTTB,FTTH	Redes FTTN,FTTB,FTTH

Fuente: Elaboración propia

En la sección de anexos, se muestra las hojas técnicas de estos equipos OLT para más información en cuanto a las características técnicas de los equipos

3.21.2 ONTs

El equipo ONT generalmente debe ser del mismo fabricante que el equipo OLT, debido a que no existe interoperabilidad entre equipos de otras marcas. Por tanto, en la siguiente tabla se muestra el resumen de las características técnicas de los equipos ONT de las marcas: ONT TP-Link TX-6610, ONT YOTC M2-0400, UF-LOCO Ubiquiti y V-SOL V2802WT que es compatible con la marca TP-LINK y cuenta con salida RF para redes GPON. En la sección de los anexos, se detallaran las especificaciones técnicas de los equipos ONT para más información.

Tabla 3.40

Especificaciones técnicas de equipos ONTs

Especificaciones Técnicas Equipos ONT				
	ONT TP-Link TX-6610	ONT YOTC M2-0400	ONT YOTC M2-0400	V-SOL V2802WT
				
Características Generales				
Estándar GPON	ITU G.984.1, ITU G.984.2, ITU G.984.3 and ITU G.984.4	ITU G.984.1, ITU G.984.2, ITU G.984.3 and ITU G.984.4	ITU G.984.1, ITU G.984.2, ITU G.984.3 and ITU G.984.4	ITU G.984.X
Tipo de Conectores	1 SC/APC	1 SC/PC	1 SC/APC	1 SC/APC (Señal WDM)
TX / RX	0 --> +5 dBm / < -30dBm Saturacion: -8dBm	0 --> +5 dBm / < -28dBm	0 --> +5 dBm / < -28dBm	0 --> +5 dBm / < -28dBm Saturacion: -8dBm
Wifi /CATV	No / No	No / No	No / No	SI / SI
Dimensiones	106.9 mm (W) x 102.7 mm (D) x 37.9 mm (H)	115 mm (W) x 85 mm (D) x 24 mm (H)	77 mm (W) x 77 mm (D) x 28 mm (H)	185 mm (W) x 120 mm (D) x 34 mm (H)
Puertos de Servicio	• 1 puerto RJ45 LAN 10/100/1000 Mbps • 1 puerto WAN GPON	• 4 puertos FE RJ45 • 1 puerto WAN GPON	• 1 puertos ETH RJ45 LAN • 1 puerto WAN GPON	• 1 puerto RJ45 LAN 10/100/1000 Mbps • 1 puerto WAN GPON
Características Funcionales				
Longitud de onda	• 1310 nm Up (voz y datos) • 1490 nm Down (voz y datos)	• 1310 nm Up (voz y datos) • 1490 nm Down (voz y datos)	• 1310 nm Up (voz y datos) • 1490 nm Down (voz y datos)	• 1310 nm Up (voz y datos) • 1490 nm Down (voz y datos) • 1550 nm Down (TV)
Características Eléctricas y de Temperatura				
Temperatura Ambiente	-5 °C -> 50 °C	-5 °C -> 55 °C	-10 °C -> 45 °C	0 °C -> 50 °C
Rango de voltaje	9 V DC/0.6 A	12 V DC/1 A	24 V DC/0.3 A	12 V DC/1 A
Protocolos y Aplicaciones				
Administración local y remota	Telnet, HTTP, SNMP, IGMPv2v3	Telnet, HTTP, TFTP, SNMP, IGMPv2	Telnet, HTTP, SNMP, IGMPv2	Telnet, HTTP, SNMP
Seguridad	Encriptación: 128 AES Packet filter based on VLAN	Encriptación: 128 AES	Encriptación: 128 AES Packet filter based on VLAN	WEP, WPA-PSK, WPA-TKIP, WPA2 AES, 802.11i
Aplicación	Redes GPON/FTTH	Redes GPON/FTTH	Redes GPON/FTTH	Redes GPON/FTTH

Fuente: Elaboración propia

3.21.3 Rack

El rack es una estructura metálica que está destinada para albergar equipos activos o pasivos, en este caso se dispondrá de uno de 42 unidades para la instalación de la OLT, ODF de 48 puertos, WDM, transmisores ópticos y enrutadores en su respectiva unidad, donde llega la fibra óptica troncal con capacidad de 6 o 12 hilos.

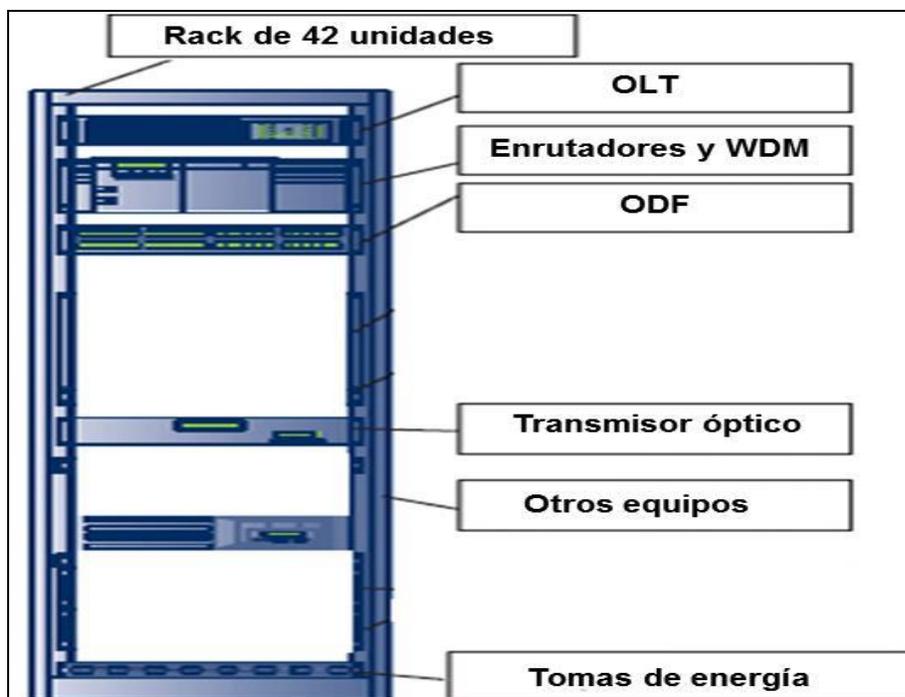


Figura 3.20. Racks de 30 unidades para albergar al ODF y OLT

Fuente: Elaboración propia

3.21.4 ODF (Optical Distribution Fiber)

El organizador de fibra óptica se ubicará como vimos en un apartado anterior en el rack de 42 unidades y de 19" en el nodo principal, para centralizar la interconexión y derivación de los cables de fibra; principalmente, organiza las fibras ópticas para interconectar de mejor manera el OLT y los splitters de primer nivel.

En la figura 3.21 apreciamos el ODF de 48 puertos SC donde se ordenan los hilos de la red feeder en casetes de ordenamiento.

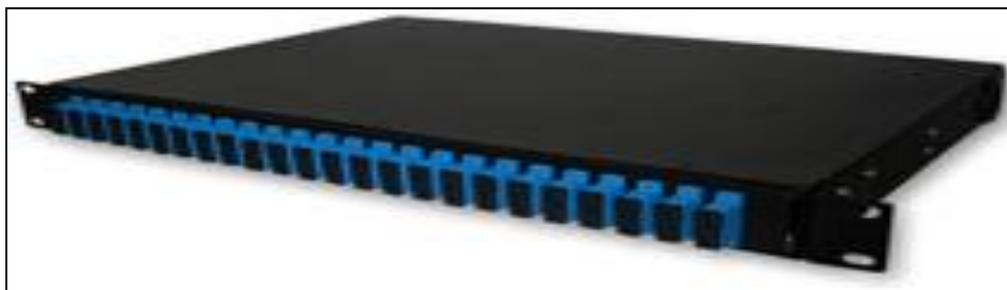


Figura 3.21. ODF de 48 puertos.

A continuación se detalla las especificaciones técnicas del ODF que se instalara en el nodo de Coripata.

Tabla 3.41

Especificaciones técnicas del ODF a emplear

Especificaciones Tecnicas ODF	
Manufactura FIBREFAB	
	
Fibra optica de trabajo	Monomodo (UIT-T G.652D)
Tipo de conector y adaptador	Patchcords SC-SC, SC-LC, pictails SC/APC
Tipo de acoplador	SC
Capacidad de conexiones	48 hilos
Numero de Cassetes	4 (Para ordenamiento de los hilos y fusion)
Ambiente de instalacion	Interna (Indoor) en Rack 19" 2RU
Estructura	Chasis metalico IP20
Dimensiones	436 mm x 437 mm x 5.3, mm
Aplicación	Diseñado para uso en oficinas centrales remotas y en locales de redes LAN que usan instalaciones de fibra optica

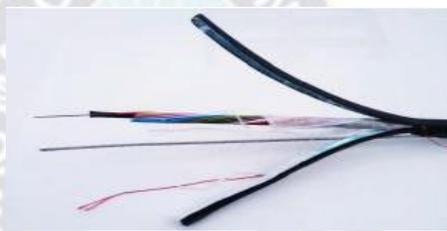
Fuente: Elaboración propia

3.21.5 Fibra Óptica

Respecto al cable de fibra óptica que se empleara para el tendido, usaremos un cable de fibra siguiendo las normas internaciones UIT-T G652D. El tendido del cable se realizara en todo el recorrido o ruta de la red, ya sea en la parte troncal (feeder) y distribución, así como en la acometida (Drop).

Tabla 3.42

Especificaciones técnicas de cable de fibra óptica de 6 y 12 hilos

Especificaciones Técnicas de Cable de Fibra Óptica	
	
Tipo de Cable	ADSS
Tipo de Fibra optica	Monomodo
Normas Aplicables	Recomendación UIT-T G.652D y G.657A1
Numero de hilos de fibra	2, 6 y 12 hilos en codificacion de colores
Coeficiente de atenuacion optica	1310 nm - 1625 nm \leq 0,40 dB/km 1530 nm - 1565 nm \leq 0,30 dB/km
Coeficiente de dispersion cromatica	0,092 ps/(nm x km)
Coeficiente PMD	\leq 0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
Temperatura de operaci3n	-20 a 65 °C
Tipo de instalacion	Exterior (Outdoor) para tendido aereo
Aplicaci3n	Conexiones domesticas, redes de acceso FTTH, cableados internos FTTx

Fuente: elaboraci3n Propia

4.2.1.5 Splitters

En la tabla 3.43 presentamos las especificaciones t3cnicas de los Splitters que fueron facilitadas por un proveedor de productos de la empresa DIGICORP que son de la marca

UFIBER, las mismas se pueden encontrar en el siguiente Link:

<https://www.digicorp.com.bo/brand-detail.html?UBIQUITI> .

Tabla 3.43

Especificaciones técnicas de los Splitters

Especificaciones Técnicas de Splitters			
	UFIBER SPLITTER-4	UFIBER SPLITTER-8	UFIBER SPLITTER-16
			
Características Generales			
Tecnología de fabricación	PLC	PLC	PLC
Relación de división	1x4	1x8	1x16
Tipo de conector	• Con pulido APC: SC/APC	• Con pulido APC: SC/APC	• Con pulido APC: SC/APC
Características Funcionales			
Longitud de onda	1260 nm -> 1650 nm	1260 nm -> 1650 nm	1260 nm -> 1650 nm
Características Ópticas			
Perdida por inserción (dB)	≤ 7,5	≤ 10,03	≤ 13,5
Características de temperatura			
Temperatura de funcionamiento	-20 /70 °C, -40 / 85 °C	-20 /70 °C, -40 / 85 °C	-20 /70 °C, -40 / 85 °C
Aplicaciones			
Escenarios de despliegue	Redes FTTN, FTTB, FTTH	Redes FTTN, FTTB, FTTH	Redes FTTN, FTTB, FTTH

Fuente: Elaboración propia

3.22 Mufas de Empalme

En el mercado podemos encontrar mufas de distintos tamaños, pero por lo general existen mufas de dos tipos: Domo y Lineal con una capacidad de albergar de 12 hasta 144 fusiones de fibra, en la figura 3.22 se presenta un ejemplo de una manga de empalme tipo lineal y tipo Domo para las instalaciones.

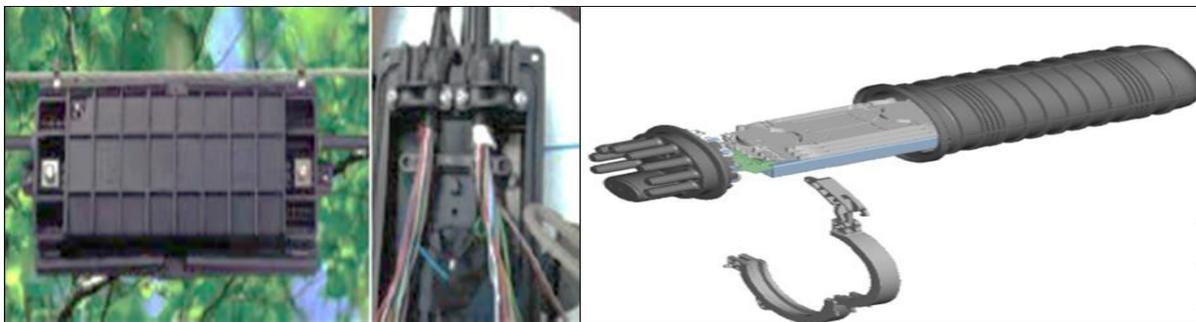


Figura 3.22. Mufa de empalme tipo lineal (izquierda) y tipo domo (derecha)

Fuente: imagen recuperada de: (Vaca, 2015)

En el diseño se utilizarán 6 muflas de empalme porta splitters para el tendido y sangrado de la fibra óptica en las rutas troncales y sub troncales, estas serán instaladas en los postes respectivos hasta llegar a las cajas de distribución (NAPs).

A continuación en la tabla 3.44 se detalla las especificaciones técnicas de las muflas que se usaran en el tendido de la red óptica.

Tabla 3.44

Especificaciones técnicas de muflas

Especificaciones Tecnicas muflas de empalme		
	FSB - 9062 dLux	906 - 1 NINGBO
		
Características Generales		
Tipo de Mufa	Domo	Domo
Capacidad de empalme	12, 24, 48 hilos	12, 24, 48,
Cantidad de puertos de cable	4 puertos redondos	4 puertos
Numero de bandejas (cassetes de empalme)	3 para 12 fusiones en bandeja	2 para 24 conexiones en bandeja
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Incluye llave • Cinta vulcanizante • Bandejas para 12 fusiones 	<ul style="list-style-type: none"> • Kit de herramientas especiales
Construccion	hermetica y resistente	hermetica y resistente a rayos UV
Temperatura de soporte	****	****
Tipo de instalacion	<ul style="list-style-type: none"> • Aereos (postes) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aereos (postes) • Pared
Aplicación	Redes FTTx / GPON	Redes FTTx / GPON

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones obtenidas

3.23 Punto de Acceso de Red (NAP)

Las NAPs son los puntos o cajas que nos permitirán la distribución del servicio a los usuarios finales, pues nos permiten el enlace entre la red de distribución y la última milla. Están diseñadas para permitir el direccionamiento de los hilos de fibra óptica en el tendido de la red de acceso y alojar a los splitters de segundo nivel, protegiéndolos de los agentes externos.

Para nuestro despliegue de red GPON/FTTH dentro de las 6 zonas de cobertura necesitaremos 29 NAPs.

En la siguiente tabla presentamos las características técnicas de este elemento que será empleado en el despliegue de red diseñado.

Tabla 3.45

Características Técnicas de NAPs para despliegue de red óptica

Especificaciones Tecnicas Cajas de Distribucion			
	EFON	GRANDWAY	FiberHome
			
Características Generales			
Tipo de fibra	Monomodo y Multimodo	Monomodo y Multimodo	Monomodo y Multimodo
Capacidad	12 hilos	24 hilos	48 hilos
Numero de puertos de entrada de cable	2 puertos: Cada puerto para 1 cable con un maximo de 12 mm 8 puertos: cada puerto para 1 cable con un maximo de 4 mm	2 puertos: Cada puerto para 1 cable con un maximo de 12 mm 16 puertos: cada puerto para 1 cable con un maximo de 4 mm	3 puertos: Cada puerto para 1 cable con un maximo de 12 mm 16 puertos: cada puerto para 1 cable con un maximo de 4 mm
Bandejas de empalme	1 bandeja (12 empalmes)	1 bandeja (24 empalmes)	1 bandeja (24 empalmes)
PLC Splitter	1x4, 1x8,	1x4, 1x8, 1x16	1x4, 1x8, 1x16
Tipo de Conectorizacion	SC/APC simple	SC/APC simple	SC/APC simple
Ambiente de instalacion	Externo para pared o montaje en poste	Externo para pared o montaje en poste	Externo para pared o montaje en poste
Aplicación	Redes de acceso FTTH, CATV, LAN	Redes de acceso FTTH, CATV, LAN	Redes de acceso FTTH, CATV, LAN

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones obtenidas

3.24 Roseta Óptica

La roseta óptica nos permite resguardar la fusión o conectorización de la fibra de acceso o cable de acometida con el patchcord de fibra que se conecta hasta la ONT, este elemento está diseñado para un montaje en la pared al interior de la vivienda del usuario. En la tabla 3.46 presentamos las características necesarias de la roseta a emplearse en el diseño de la red óptica.

Indicar que en nuestro proyecto se necesitara un total de 432 rosetas ópticas.

Tabla 3.46

Características técnicas de la roseta óptica

Especificaciones Técnicas de Roseta Optica	
Marca	NINGBO
	
Características Generales	
Tipo de fibra	Fibra estandar UIT.G.652D con radios de curvatura de hasta 30mm y G.657.A1
Tipo del conector	SC simplex,
Tipo de Pulido	PC, APC
Slots	2 acopladores SC simplex
Material de construccion	Plastico ABS con tapa superior desmontable
Accesorios	pigtail, adaptador y tubillo para proteccion
Dimenciones	106 mm(L) x 83 mm(A) x 24mm (P)
Ambiente de instalacion	Indoor
Aplicación	Redes FTTH

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones obtenidas

3.25 Configuración de equipos

Como cualquier empresa, Telecomunicaciones Yungueña presenta una estricta política de seguridad y privacidad con relación a la configuración de sus equipos de red. Por esta razón, en este apartado presentaremos una guía/ejemplo de configuración de la OLT y ONT usando los comandos básicos con CLI. Para esto usaremos como ejemplo el equipo TP-Link P1200-08

(OLT) y TP-Link TX-6610 (ONT) que son usados para redes GPON. Las OLT de este modelo cuentan con 8 puertos GPON y cada puerto puede alimentar hasta 64 ONTs, siendo la capacidad del equipo de hasta 512 clientes. Este dispositivo se conecta a un router de la red Backbone y por el otro sigue el trayecto hasta los ONTs ubicados en los clientes finales. Por tanto, a continuación se presenta una configuración básica de estos equipos.

3.25.1 Configuración Básica de equipos GPON (OLT Y ONT)

La OLT TP-Link P1200-08 GPON tiene dos maneras de administración o configuración, una es mediante la línea de comandos (CLI) y la otra manera es mediante la interfaz gráfica (EMS).

- Acceso al equipo

The diagram shows a TP-Link P1200-08 GPON OLT device. A red box highlights the console port. Below the device, two connection diagrams are shown: one for the MGMT port (blue RJ45) and one for the Console port (blue RJ45 to DB 9 console cable). To the right of the device, technical specifications are listed: Band Rate: 9600, Data Bit: 8, Parity Check: NO, Stop Bit: 1, Flow Control: NO.

MGMT port :

```
C:\>telnet
192.168.1.100
OLT>username: root
Password: (admin x defecto)
OLT>enable
OLT#
```

Console port:

```
OLT>username:
OLT>username: root
Password: (admin x defecto)
OLT>enable
OLT#
```

Figura 3.23. Configuración mediante línea de comandos (CLI)

Como ya indicamos, existen dos maneras de administrar el equipo como se ve en la figura 3.23, una manera es mediante MGMT port y la otra manera es mediante puerto de consola. Vemos que el nombre de usuario en ambos casos es *root*, la contraseña por defecto es *admin* y la manera de acceder al modo de configuración privilegiada es el comando *enable*.

➤ *OLT – Configuración CLI*

Para comprender mejor la configuración básica de un usuario y los parámetros necesarios para la distribución del servicio, pondremos como ejemplo la siguiente configuración de un plan de datos que se refleja en la tabla 3.47, además en el diagrama 2 observaremos los pasos que se deben seguir para una adecuada configuración mediante la línea de comandos.

Tabla 3.47

Clasificación de Servicios para configuración de mediante línea de comandos

Plan de Datos	
Clasificación de servicios	Datos
DBA Profile	profile ID: 10
	Profile Type: Type 4
	Maximum Bandwidth: 10 Mbit/s
Line Profile	Profile ID: 10
	T-CON ID: 1
	Internet Access Service GEM Port ID: 1
Service Profile	Service Profile: 10
	ONT Capacity: 1 Eth Port
Configuración de red	PON port: port 1
	Ethernet Port: Port 9
	VLAN 100 for internet access

Fuente: Elaboración propia

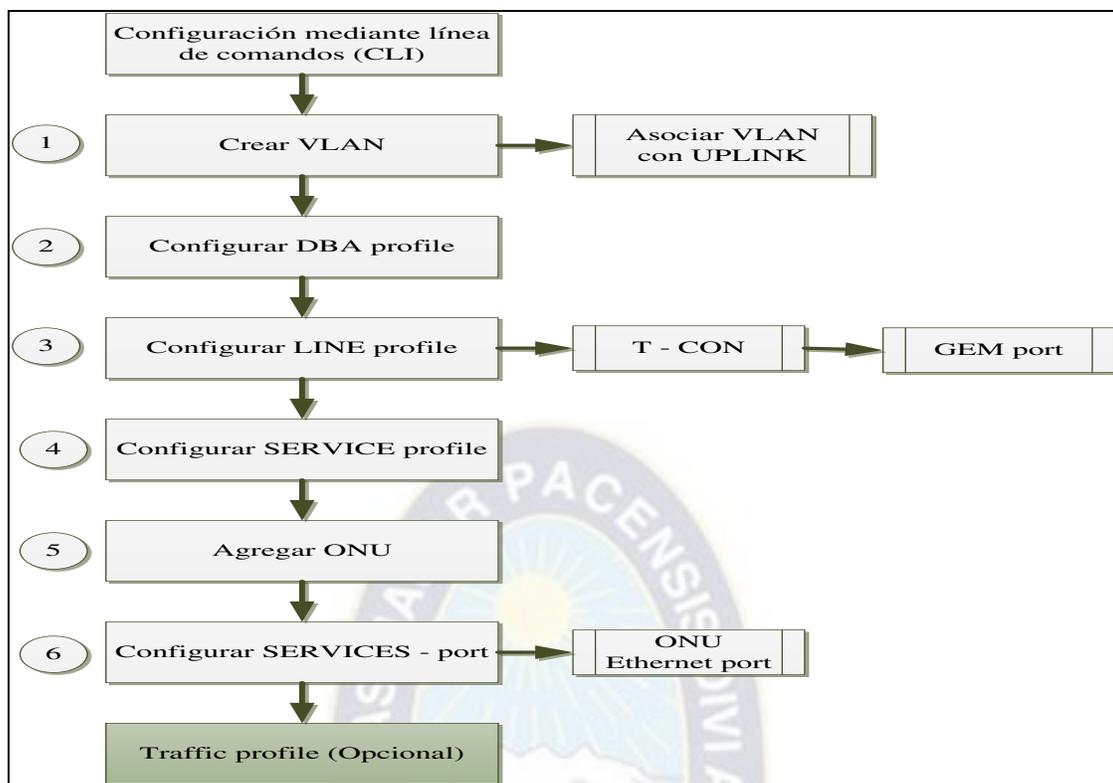


Diagrama 2. Pasos para la configuración de plan de datos en la OLT

Si nos basamos en el diagrama 1, vemos que para una configuración básica existen 6 pasos que se deben realizar. Por tanto tenemos:

- **Paso 1:** Debemos crear una VLAN, que debemos asociarla a un uplink al puerto que proveerá los servicios, en este caso solo se realizara una configuración para servicio de internet como ejemplo.
- **Paso 2:** Configurar el DBA profile, donde se realiza la configuración del ancho de banda que tendrán los usuarios de manera individual.
- **Paso 3:** Configuración del LINE profile, viene a ser la configuración de los servicio que se transmitirán a través de la red de fibra óptica, que básicamente se configura el T-CON (Transmission Container) y el GEM port que van asociados a las VLAN que se crearan y cargaran.

- **Paso 4:** Configurar el SERVICE profile, es cada una de las ONTs que deseamos tener y la cantidad de puertos que van a manejar, es decir, un Template que se maneja en las ONTs.
- **Paso 5:** Agregar ONT, es donde se realiza la agregación y autorización de las ONTs.
- **Paso 6:** Configurar SERVICES port, aquí se configura los puertos de comunicación de la ONT.

➤ Configuración de VLANs

Paso1: Crear VLAN y asociarla

```

OLT> enable
OLT# config
OLT(config)# vlan 100
OLT(config)# interface ge
OLT(interface-ge)# vlan access 9 100
OLT(interface-ge)# exit

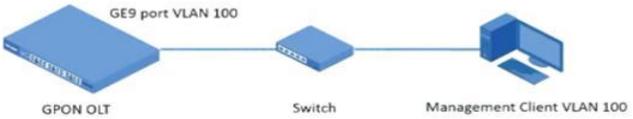
```

Para asignarle una IP de gestión InBand a la OLT

```

OLT(config)# interface vlanif 100
OLT(interface-vlanif-100)# ip address 172.16.1.200 255.255.255.0
OLT(interface-vlanif-100)# exit

```



Configurar un puerto GE para acceder a la LAN.

Figura 3.24. Configuración de VLANs en OLT

Como vemos en la figura 3.24, una vez conectados mediante el cable de consola y haciendo uso del software *Hyperterminal* para acceder al modo de configuración súper usuario, solo debemos emitir el comando *enable* y posteriormente introducir el comando *config* para empezar a realizar la configuración en el equipo OLT.

Una vez hecho esto procedemos a la configuración de la VLAN 100 con el comando *vlan 100*, realizamos la configuración de un puerto Ethernet GE con el comando *interface ge*. Generamos una vlan de acceso con el comando *vlan Access 9 100* y salimos del modo de configuración. Con

estos parámetros logramos que a través del puerto número 9 de GE pasara la VLAN 100 para otorgar los servicios de internet.

Dentro de las configuraciones también podemos asignar una dirección IP a nuestra VLAN con los siguientes comandos, debemos ingresar a la vlan con el comando *interface vlanif 100*, una vez dentro de la configuración de parámetros dentro de la vlan procedemos a asignar la dirección IP con el comando *ip address 172.16.1.200 255.255.255.0*; una vez introducido el comando salimos de la interfaz de configuración con el comando *exit*.

➤ Configuración de “DBA Profile”

Paso 2: Crear “DBA Profile”

```

OLT(config)# dba-profile profile-id 10 profile-name DBA-10
OLT(dba-profile-0)# type4 max 20480
OLT(dba-profile-0)# commit //Hace que las configuraciones tengan efecto
OLT(dba-profile-0)# exit

```

BW	T-CONT (DBA Profile Mode)				
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Fijo BW	X				X
Asegurado BW		Y	Y		Y
Maximo BW	Z=X	Z=Y	Z>Y	Z	Z ≥ X+Y
Aplicación	FIJO Adecuado para servicios muy sensibles a la latencia y requieren QoS --EJ: VOIP	Adecuado para el servicio que no es sensible a la fluctuación de retardo (jitter) - EJ: IPTV	Adecuado para el servicio que tiene ráfagas de tráfico, generalmente - descarga P2P	Adecuado para el servicio que no es sensible a la latencia y al jitter: Permite tomar BW disponible. EJ: Web	Configuración de combinación, similar al tipo 3.

X: Bandwidth FIJO Y: Bandwidth ASEGURADO Z: Bandwidth MAXIMO © 2015 HP-Link, Inc. Confidential information. Not for distribution or reproduction.

Figura 3.25 .Comandos para configuración de DBA Profile

Para comenzar, el DBA profile tiene 5 tipos que son: Tipo 1, Tipo2, Tipo 3, Tipo 4 y Tipo 5.

Realizando una breve descripción del DBA profile, podemos indicar:

- Tipo 1, nos brinda un ancho de banda fijo, mismo que está pensado para servicios muy sensibles a la latencia como telefonía IP o un servicio dedicado.

- Tipo 2, nos brinda un tipo de ancho de banda asegurado, mismo que está pensado para servicios de IPTV que es muy sensible a fluctuaciones y no es tan dedicado como telefonía IP.
- Tipo 3, es más como un servicio demanda, ya que el ancho de banda es el mayor que podemos usar, generalmente para servicios punto a punto.
- Tipo 4, este tipo es adecuado para el servicio que no es tan sensible a la latencia y al jitter, es más para la parte de navegación Web.
- Tipo 5, nos permite configurar un ancho de banda fijo o asegurar un ancho de banda adicional y sumar ambos anchos de banda.

Con todo esto, pasamos a realizar la descripción de los comandos de configuración. Para la misma ingresamos a la configuración de la OLT con el comando *config*, posteriormente ingresamos el comando *dba profile profile-id 10 profile-name DBA-10*, esta línea de comando nos indica que estamos creando el DBA profile 10 y le asignamos además un nombre para identificación en el último comando. Después procedemos a asignar el tipo de configuración 4 para servicios Web y asignar un ancho de banda con el comando *type4 max 20480*, en una nueva línea introducimos el comando *commit* que nos permite que las configuraciones tengan efecto.

➤ Configuración de “Line Profile”

Paso 3: Crear “Line Profile”

```

OLT(config)# ont-lineprofile profile-id 10 profile-name Line-10 // Nombre Opcional
OLT(ont-lineprofile-10)# tcont 1 dba-profile-id 10 // Asocia el T-CONT
OLT(ont-lineprofile-10)# gem add 1 tcont 1 // Crear GEM Port y asociarlo T-CONT
OLT(ont-lineprofile-10)# gem mapping 1 1 vlan 100 // Vincular GEM port con VLAN
OLT(ont-lineprofile-10)# commit
OLT(ont-lineprofile-10)# exit

```

El “Ont-LineProfile” describe la relación entre el T-CONT a su DBA-Profile y la asignación entre el puerto GEM y el lado ONT.
Se utiliza para configurar la relación con DBA, T-CONT, GEM Port y VLAN.

Figura 3.26. Comandos para configuración de Line Profile

El tercer paso para la configuración es el “Line Profile” que como vimos, es básicamente como se va configurar la comunicación por medio de la fibra óptica para la transmisión de los servicios; como vemos en la figura 3.26, introducimos el comando `# ont-lineprofile profile-id 10 profile-name Line-10`, con este comando asociamos el profile 10 a la ONT y asignamos un nombre de identificación remarcado en negrita. Este comando además nos indica que estamos en la line profile 10 como podemos observar. Introducimos el comando `tcont 1 dba-profile-id 10`, este comando nos permite crear el *transmisión container 1* y asociarlo al *dba-profile-id 10*. Seguido a esto debemos crear el GEM port y asociarlo al T-CONT 1, esto se realiza con el comando `gem add 1 tcont`, por ultimo debemos vincular la GEM port creada con la VLAN, esto lo realizamos con el comando `gem mapping 1 1 vlan 100`, esto permite mapear el GEM con la vlan; introducimos el comando `commit` para guardar la configuración.

➤ **Configuración de “Service profile”**



```
Paso 4: Crear Service Profile
OLT(config)# ont-srvprofile profile-id 10 profile-name Srv-10
OLT(ont-srvprofile-10)# ont-port eth 1 // ONU TX-6610 tiene solo 1 Puerto Ethernet
OLT(ont-srvprofile-10)# commit
OLT(ont-srvprofile-10)# exit
```

Figura 3.27. Comandos para configuración de Service Profile

Para crear el service profile, lo que hacemos es crear un tipo de configuración para cada tipo de ONT, en nuestro caso como ejemplo crearemos el service profile 10, además indicaremos que la ONT tendrá un solo puerto Ethernet, esto por el modelo de que estamos empleando como ejemplo. La configuración se la realiza con el comando `ont-srvprofile profile-id 10 profile-name`

Srv-10, con esto creamos el service profile; con el comando *ont-port eth 1* asignamos el puerto de la ONT y guardamos la configuración introduciendo el comando *commit*

➤ **Agregar la ONT a la OLT**

Paso 5: Agregar la ONU a la OLT

```

OLT(config)# interface gpon
OLT(interface-gpon)# ont autofind 1 enable //Habilitar autofind sobre el puerto GPON
OLT(interface-gpon)# show ont autofind 1 detail //Muestra las ONU encontradas en el GPON

OLT(interface-gpon)# ont add 1 1 sn-auth TPLXXXXXXXX ont-lineprofile-id 10 ont-srvprofile-id 10 //Agregar y autenticar la ONU encontrada en el puerto GPON
OLT(interface-gpon)# exit

```

Figura 3.28. Comandos para agregar ONT a la OLT

Aquí ya realizamos la configuración de la línea GPON, lo primero que debemos hacer es habilitar el autodescubrimiento de la línea GPON, esto lo realizamos con el comando *ont autofind 1 enable*, este comando lo habilita en el puerto PON 1 que es el que nosotros configuramos y usamos, esto lo debemos hacer en cada uno de los 8 puertos con los que cuenta nuestro equipo OLT. Posteriormente introducimos el comando *show ont autofind 1 detail*, este comando nos permite mostrar los ONTs con sus números de serie que tenemos en esa línea en el equipo GPON en el puerto 1. Cuando descubramos el número de serie de nuestra ONT debemos copiarlo para agregarlo con el comando *ont add 1 1 sn-auth TPLXXXXXXXX ont-lineprofile-id 10 ont-srvprofile-id 10*. Este comando nos indica que agregaremos la ONT 1 al puerto 1 y autorizamos el número de serie de nuestro equipo dentro del profile *ID 10* y le indicamos que la service profile es de la ONU de un puerto.

➤ **Configuración puerto PON para servicio**

```

Paso 6: Configuración Puerto PON para Servicio

OLT(config)# interface gpon
OLT(interface-gpon)# vlan mode 1 hybrid //configurar GPON puerto 1 como hybrid
OLT(interface-gpon)# vlan hybrid 1 tagged 100 // Tagear el puerto 1 GPON para VLAN
100

OLT(interface-gpon)# ont port native-vlan 1 1 eth 1 vlan 100//Configurar el puerto
ethernet de la ONU native-vlan 100
OLT(interface-gpon)# exit
OLT(config)# save //Salvar la configuración

```

Figura 3.29. Configuración de puerto PON para servicio

Dentro del puerto GPON debemos hacer una confinación para que el puerto sepa qué tipo de servicio llevara hacia las ONT, entonces para esto debemos ingresar a la interfaz GPON con el comando *interface gpon*, una vez dentro de la interfaz debemos configurar el puerto 1 GPON como hibrido, para esto usaremos el comando *vlan mode 1 hybrid*, posteriormente con el comando *vlan hybrid 1 tagged 100*, hacemos que el puerto 1 con configuración hibrida vaya taguada a la vlan 100, de esta manera vinculamos un puerto Ethernet de determinada vlan a un puerto PON con un determinado GEM port a nuestra vlan, es decir conectar las tramas Ethernet a nuestras tramas PON. Por ultimo realizamos la configuración para que el puerto Ethernet de la ONT se asocie a una vlan nativa 100 con el comando *ont port native-vlan 1 1 eth 1 vlan 100*, con esto decimos que el puerto de la ONT nativa vlan 1 del puerto 1 ethernet 1 sea asignado a la vlan 100.

CAPITULO 4

ANALISIS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO PARA EL DESARROLLO DE RED

4.1 Introducción

Tomando en cuenta las especificaciones técnicas de los equipos y elementos activos y pasivos entre las diferentes marcas de fabricantes que fueron presentados como referencia, se realiza la descripción, comparación y análisis de **costos referenciales** de cada uno de ellos, y proceder con la respectiva selección de estos de acuerdo con la mejor alternativa técnico-económica para una implementación de la red de acceso GPON/FTTH.

El análisis y estimación de costos se realiza en base a precios referenciales obtenidos en el mercado nacional de algunos proveedores de la ciudad de La Paz y Santa Cruz, mismos que disponen de distintas soluciones en equipos e insumos de diferentes marcas para redes de fibra óptica GPON/ FTTH. En el apartado de los anexos se adjuntara las cotizaciones con los precios referenciales obtenidos de algunos proveedores. Gracias a este análisis, la Empresa Telecomunicaciones Yungueña contara con un presupuesto referencial del costo de la red GPON y con ello tendrá la opción de realizar un presupuesto de inversión y tomar decisiones para una implementación de la red en la Localidad de Coripata.

El análisis y estimación de costos constituye uno de los aspectos centrales a considerar por la importancia en la determinación de la rentabilidad del proyecto, así como los elementos sujetos a valorización como desembolsos del proyecto.

Por tanto, este capítulo reflejara los elementos activos y pasivos que deberán ser capaces de brindar el servicio que se desea en esta localidad y determinar si el proyecto es viable para la obtención de beneficios en términos de recuperación de la inversión.

4.2 Costo de elementos Activos y Pasivos

4.2.1 Costo de elementos Activos

En la tabla 4.1 se presenta la comparación de los costos referenciales de los equipos activos OLT y ONT.

Tabla 4.1

Costos Referenciales de los elementos activos

Elemento Activo	Marca del Producto							
	TP-Link		YOTC		UBIQUITI		V SOL	
OLT	P1200-8	15500 Bs.	G1000	34800 Bs.	Ufiber GPON	17000 Bs.	**	**
ONT	TX-6610	298 Bs.	M2-0400	350 Bs.	UF-LOCO Ufiber	550 Bs.	V2802WT	410 Bs.

4.2.2 Costo de elementos Pasivos

Tabla 4.2

Costos referenciales de elementos pasivos de la red óptica

Elemento Pasivo		Marca del Producto	
		FIBREFAB	
ODF	46 puertos SC/APC, SM pigtail 2 m.	600 Bs.	
		XXX	
Fibra Optica	Cable G.652D 6 hilos	4 Bs.	
	Cable G.652D 12 hilos	8 Bs.	
	Cable G.657A1 Drop 2 hilos	1 Bs.	
		GRANDWAY	UFIBER
Splitters	PLC Splitter 1x4 Conector SC/PC, 1.5M, SM	200 Bs.	120 Bs.
Splitters	PLC Splitter 1x8 Conector SC/PC, 1.5M, SM	300 Bs.	150 Bs.
Splitters	PLC Splitter 1x16 Conector SC/PC, 1.5M, SM	500 Bs.	280 Bs.
		dLux	NINGBO
Muflas de Empalme	Manga Vertical de 48 hilos	269 Bs.	265 Bs.
		GRANDWAY	FiberHome
NAPs	1 PLC Splitter 1x16 SC/PC/APC	440 Bs.	370 Bs.
		NINGBO	
Roseta Optica	Caja terminal de 2 puertos FTTH	35 Bs.	
		NINGBO	FIBREFAB
Pictails Opticos	SC/APC de 1 metro	15 Bs.	20 Bs.
		NINGBO	GRANDWAY
Patchcords Opticos	SC- SC / APC Simplex Monomodo	20 Bs	25 Bs
Acopladores	SC/APC	3.5 Bs	
Herraje de retencion	Ferreteria Tipo Terminal	96 Bs.	
Herraje de retencion	Ferreteria Tipo Duplo	185 Bs	
Herraje de retencion	Ferreteria tipo Paso	46 Bs.	
Cruceta de Reserva	Juego de Cruceta	125 Bs	

En la tabla 4.2 se presenta los costos referenciales de cada uno de los elementos pasivos de acuerdo con la comparación técnica previamente realizada entre los fabricantes.

4.2.3 Selección de Componentes Activos y Pasivos

Realizado la comparación de los costos referenciales y especificaciones técnicas, procedemos a realizar un análisis para seleccionar las mejores alternativas de los elementos activos y pasivos para el diseño de la red de acceso GPON. Para esto tomaremos como base las consideraciones de evaluación y calificación técnica – económica que generalmente ocurre en una licitación. En las siguientes tablas consideraremos los aspectos técnicos más relevantes que son necesarios a considerar en un equipo pasivo y activo para una implementación de la red en la localidad de Coripata, mismos que serán calificados bajo el sistema de “cumple” o no “cumple”. Posteriormente, se realizara la evaluación técnica y, el criterio de calificación económico será el factor que nos ayude a decidir la elección de los elementos de red.

Debemos enfatizar que este análisis y evaluación técnica-económica es en base a los equipos activos y elementos pasivos que son presentados a modo de referencia en este proyecto, misma que servirá como base a la empresa Telecomunicaciones Yungueña para evaluar un presupuesto de inversión y considerar una implementación de la red en la Localidad de Coripata.

Con todas estas consideraciones y aclaraciones, se presenta dos tablas, una considerando equipos activos y otra de los elementos pasivos para su evaluación técnico-económico.

Tabla 4.3
Especificaciones técnico-económicas para elección del equipo OLT

ESPECIFICACIONES TECNICAS Y ECONOMICAS DE ELEMENTOS OPTICOS ACTIVOS			
OLT - OPTICAL LINE TERMINAL	OLT TP - LINK P1200	OLT YOTC G1000	Ufiber GPON OLT
DESCRIPCION			
CHASIS			
19 pulgadas tension de alimentacion: 220 VAC; 48 VDC	Cumple	Cumple	Cumple
CONDICIONES AMBIENTALES DE OPERACIÓN			
Temperatura de operación -20° C a + 50°C	Cumple	Cumple	No Cumple
Humedad relativa 85%			Cumple
TARJETAS UPLINK			
8* puertos PON (GE) para soporte con modulos SFP	Cumple	Cumple	Cumple
TARJETAS DE LINEA			
Interfaz GPON por tarjeta 8 puertos			Cumple
Split Ratio por interfaz(Puerto) de 1/64			Cumple
Interfaz GPON debe soportar modulos SFP de clase B+ y C			No Cumple
Velocidades Upstream/Downstream por puerto GPON: 1.25/2.5 Gbps			Cumple
Configuración de ancho de banda (Downstream) en OLT desde 2 Mbps hasta 2.5 Gbps			Cumple
Configuración de ancho de banda en cada puerto físico (Ethernet) del equipo de usuario (ONT/ONU) por tipo de Servicio.	Cumple	Cumple	Cumple
La interfaces GPON deben soportar los siguientes estándares:			
ITU-T G.984.1			Cumple
ITU-T G.984.2 CLASS B+			Cumple
ITU-T G.984.2 CLASS C			No Cumple
ITU-T G.984.3 PMD			Cumple
ITU-T G.984.4			Cumple
ITU-T G.984.5			Cumple
PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN			
Protocolos de comunicación ONT - OLT			
IEEE 802.1d - Bridging	Cumple	Cumple	Cumple
IEEE 802.1q - VLAN tagging			
IEEE 802.3ad Link Aggregation (en Uplink)			
RSTP Rapid Spanning Tree Protocol para puertos FE/GE/10GE			
PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN DE USUARIO			
PPPoE	Cumple	Cumple	Cumple
IPoE			
PROTOCOLOS DE ADMINISTRACION			
SSH	Cumple	Cumple	Cumple
SNMP			
MODO DE OPERACIÓN			
IPv4	Cumple	Cumple	Cumple
IPv6			
GESTION Y ADMINISTRACION			
*SNMP para gestion			
*Interfaces de gestion/Administracion			
*CLI (Linea de Comandos)			
*GUI (Grafic User Interface)	Cumple	Cumple	Cumple
DISPONIBILIDAD Y REDUNDANCIA DEL EQUIPO			
*La re-inicialización automática del OLT ante cortes de energía, sin pérdida de la configuración.	Cumple	Cumple	Cumple
*El equipo debe soportar mecanismos de seguridad que garanticen la integridad de la información de configuración ante cualquier falla.			
CONFIGURACION DE VLAN			
*El equipo debe permitir configurar en cada VLAN simple y VLAN stack un servicio en particular (Internet, POTS, VoIP, IPTV, VoD, entre otros).	Cumple	Cumple	Cumple
*Creación, configuración y activación de 4096 VLAN simples y 4096 VLAN stack según el estándar IEEE 802.1ad			
SEGURIDAD EN EL EQUIPO OLT			
El equipo ofertado debe tener mecanismos activos para prevenir y evitar ataques de:			
Negación de servicios	Cumple	Cumple	Cumple
Broadcast Storm			
COSTO DEL EQUIPO			
*Precio bajo	Cumple	No Cumple	Cumple
CAPACITACION			
Capacitacion(teorico-Practico) con personal certificado o acreditado referente a la configuracion, operacion/mantenimiento, gestion/administracion.	Cumple	Cumple	Cumple
GARANTIA y SOPORTE TECNICO			
*Garantía de 1 o 2 años	Cumple	Cumple	Cumple
*Soporte tecnico durante el periodo de garantia			
REPUESTOS			
Disponibilidad de repuestos por parte del proveedor por el periodo de garantia	Cumple	Cumple	Cumple
TIEMPO DE PROVISION			
30 dias a partir de la solicitud	Cumple	Cumple	Cumple

Tabla 4.4
Especificaciones técnico-económicas para elección del equipo ONT

ESPECIFICACIONES TECNICAS Y ECONOMICAS DE ELEMENTOS OPTICOS ACTIVOS				
ONT - OPTICAL NETWORK TERMINAL	ONT TP-LINK TX-6610	ONT YOTC M2-0400	UF-LOCO Ufiber	V SOL V2802WT
DESCRIPCION				
ESTANDAR				
UIT G.984.2	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
CONDICIONES AMBIENTALES DE OPERACIÓN				
Temperatura de operación -20° C a + 50°C	Cumple	Cumple	No Cumple	No Cumple
Humedad relativa 85%			Cumple	Cumple
PUERTOS E INTERFACES				
Minimamente: GPON Clase B+ 10/100/1000 (RJ 45)	1 puerto 1 puerto Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1 puerto RF	No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple
VLANs, CAPA 2 y ROUTING				
Ethernet bridging/switching				
Configuración VLAN ID por Puerto				
VLAN Switching				
Velocidades Upstream/Downstream por puerto GPON: 1.25/2.5 Gbps				
Control de tormentas de Broadcast	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
PPPoE con obtención de DNS automática en VLAN independiente				
Configuración estática de IPs y DNS				
NAT (Network Address Protocol/Network Address Port Translation)				
DHCP Server con pool de direcciones LAN				
GESTION				
*OMCI (ONT Management and Control Interface) esta gestión de forma remota con acceso a realizar el 100% de las configuraciones. *SNMP (Simple Network Management Protocol)	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
MODO DE OPERACIÓN				
IPv4	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
IPv6				
COSTO DEL EQUIPO				
*Precio bajo	Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple
CAPACITACION				
Capacitacion(teorico-Practico) con personal certificado o acreditado referente	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
GARANTIA y SOPORTE TECNICO				
*Garantía de 1 año	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
*Soporte tecnico durante el periodo de garantía				
ACCESORIOS				
Patchcord SM terminales SC/APC	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
TIEMPO DE PROVISION				
30 días a partir de la solicitud	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.5
Especificaciones técnico-económicas para elección de los elementos pasivos

ESPECIFICACIONES TECNICAS Y ECONOMICAS DE ELEMENTOS OPTICOS PASIVOS						
MARCAS	FIBREFAB	Ufiber	NINGBO	dLux	GRANDWAY	FIBER HOME
DESCRIPCION						
ODF						
instalacion para Rack de 19" Soporte de 48 hilos y fusiones con pictail SC/APC Chasis metalico IP20 4 cassettes de ordenamiento	Cumple	***	***	***	No Cumple	No Cumple
SPLITTERS						
longitud de onda 1260 nm -> 1650 nm Con pulido SC/APC Temperatura de operacion -40° C a + 80°C Perdidas por insercion dB: Splitter 1:4 --> < 7.5 Splitter 1:8 --> < 10.03 Splitter 1:16 --> < 13.5	***	Cumple	***	***	Cumple	***
MUFLAS						
Tipo DOMO Capacidad de empalme 24 hilos minimamente 4 puertos para cable optico minimamente Cinta vulcanizante, kit de herramientas y accesorios tipo de instalacion aerea	***	Cumpe	Cumple	Cumple	***	***
CAJAS DE DISTRIBUCION (NAP)						
Tipo de fibra Monomodo Capacidad para 24 hilos de FO Bandeja minimamente para 12 empalmes 3 puertos de entrada para cable de FO y 16 puertos de salida	***	***	***	Cumple	Cumple	Cumple
ROSETA						
Tipo de fibra estandar UIT G.652 D 2 acopladores SC simplex Material Plastico con tapa desmontable	***	***	Cumple	***	***	***
PICTAILS						
Conector con pulido SC/APC 1 metro de longitud	Cumple	***	Cumple	***	***	***
FERRETERIA PARA TENDIDO (DUPLO)						
Cinturon BAP Malla ADSS Ancorage Guarda cabo					Cumple	
FERRETERIA PARA TENDIDO (PASO)						
Cinturon BAP Caja Dielectrica					Cumple	
FERRETERIA PARA TENDIDO (TERMINAL)						
Cinturon BAP Ancorage Malla ADSS					Cumple	
FERRETERIA PARA TENDIDO (CRUCETA DE RESERVA)						
Cinturon BAP Cruceta de reserva					Cumple	

Fuente: Elaboración propia

- Basándonos en la tabla 4.3, vemos que 2 de los 3 OLTs cumplen con las especificaciones técnico-económicas que se necesita el diseño. En nuestro caso seleccionamos el **OLT TP-Link P1200-8**, la elección de este equipo se lo determina por el tema costo, además que este equipo bastaría para cumplir y cubrir los 432 clientes.
- Respecto a la ONT, las 4 marcas de los equipos cumplen con las características mínimas requeridas para el diseño, en nuestro caso, basándonos en la tabla 4.4 seleccionamos el equipo ONT **TP LINK TX-6610** o **ONT V SOL V2802WT**, misma que es compatible con la OLT de la marca TP-Link, además de cumplir con la interoperabilidad, cuenta con una salida RF para el servicio de TV misma que es necesario para brindar el servicio de TV Cable e Internet a través de un solo equipo, además de contar con WIFI muy necesario para los dispositivos finales de los usuarios como Laptops o celulares.
- Con respecto a los splitters podemos verificar en la tabla 4.5 que ambas cumplen con los parámetros técnicos, pero para nuestro diseño se elige la marca **UFIBER**, el cual nos proveerá un splitter externo con tecnología PLC a menor costo y cumpliendo con la necesidades técnicas y de prestación en cuanto a pérdidas de inserción y retorno.
- En cuanto a las características de las muflas de empalme se opta por usar las de la marca **dLux**, pues este elemento es hermética y ofrece gran capacidad de administración de tubos holgados y empalmes de fibra óptica, además este elemento tiene más accesorios que las otras marcas.
- Respecto a las cajas de distribución o NAPs, se selecciona la marca **FiberHome**, porque cumple con los requerimientos técnico-económicos para la red de distribución. Su costo es menor en comparación con la marca GRANDWAY y dLux.

- Respecto a las rosetas ópticas, la única marca cotizada fue **NINGBO**, esta se ajusta a las necesidades del requerimiento en cuanto al tipo de conector y a la cantidad de posiciones.
- En cuanto a los pictails, se elige los de la marca NINGBO, pues además de ser económica, cumple con los requerimientos que se reflejan en la tabla 4.5.
- Por último, en cuanto a la herrajería de sujeción, se requiere los kits mencionados en la tabla 4.5. Solo se consiguió una sola cotización que cumple con los requerimientos necesarios para los herrajes tipo Duplo, Terminal, Paso y crucetas de reserva.

4.3 Análisis de Costos de Inversión (CAPEX)

CAPEX, se refiere a los costos de capital, es decir reflejan los costos en los que una organización incurre para obtener un beneficio futuro, adquiriendo o mejorando sus equipos o activos fijos.

En el proyecto se considera el costo de materiales y la mano de obra necesaria para la implementación de la red de fibra óptica.

En la tabla 4.6 se presenta todos los gastos en cuanto a equipos activos y pasivos para el despliegue de la red óptica al 30 % de penetración para la cual fue diseñada. Esta tabla refleja el gasto total que demandaría nuestro diseño para los 432 usuarios finales de las 6 zonas consideradas para el despliegue de la red óptica GPON/FTTH.

Mencionar nuevamente que los precios mostrados en las siguientes tablas referentes a los costos en equipos activos y elementos pasivos son netamente referenciales, mismos que fueron obtenidas de algunos proveedores en el mercado nacional y la empresa Telecomunicaciones

Yungueña decidirá si considera los mismos o no o solo los empleara como una base para su propio análisis económico en caso de una implementación del diseño propuesto en este proyecto.

Tabla 4.6

CAPEX del material de despliegue para la Red GPON/FTTH en las 6 zonas

COSTO DE CAPITAL (CAPEX)				
I-	COSTO DE PLANTA EXTERNA FO - RED ODN	Cantidad	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL
	Fibra Optica 12 hilos	644	8	5152
	Fibra Optica 6 hilos	9341	4	37364
	Cable Drop de 4 hilos (puede llegarse a Operación)	0	0	0
	Cable Drop de 2 hilos (puede llegarse a Operación)	21000	1	21000
	Cable Drop de 1 hilos	0	0.8	0
	Muflas de Empalme	6	269	1614
	Bandejas Opticas (ODF)	1	600	600
	NAPs	29	370	10730
	Splitter 1x4	8	120	960
	Splitter 1x8	4	150	600
	Splitter 1x16	25	280	7000
	Cajas de Terminacion/Rosetas	432	30	12960
	Pictails SC-APC	432	15	6480
	Patchcord SC/APC	200	20	4000
	Acopladores SC/APC	200	3.5	700
	Ferreteria tipo Terminal	19	96	1824
	Ferreteria tipo Duplo	115	185	21275
	Ferreteria tipo Paso	133	46	6118
	Cruceta de Reserva	36	125	4500
	SUBTOTAL -COSTOS DE PLANTA FO - RED ODN			142877
II	COSTO DE EQUIPOS GPON			
	OLTs TP-link 8 puertos	1	15500	15500
	OLT Ubiquiti 4 puertos	0	10300	0
	ONTs (Internet) TP Link	432	298	128736
	ONTs (Internet- WiFi-CATV) V SOL V2802WT	0	410	0
	Router WiFi	432	100	43200
	SUBTOTAL- COSTO DE EQUIPOS GPON			187436
III	COSTOS DE EQUIPOS NODO INTERNET			
	Router Principal	1	2100	2100
	Switch Gestionable	1	1500	1500
	SUBTOTAL - COSTO DE EQUIPOS NODO INTERNET			3600
TOTAL COSTO DE CAPITAL (Bs)				333913
TOTAL COSTO DE CAPITAL (\$us)				47701.857

Fuente: Elaboración propia

Como vemos, el presupuesto económico de los materiales necesarios para que la red FTTH implementada al 30% de penetración es de **333 913 Bs**, o el equivalente a **47 701.857 \$ dólares**.

Este monto es demasiado alto para que una empresa del área rural la ejecute en una sola fase, es por esto que se plantea un despliegue de una primera etapa, misma que se presenta en la tabla

4.7, la misma refleja el CAPEX del monto de implementación de la red óptica al 54.86%, es decir para las zonas de Coripata y Santa Bárbara, que equivale a un total de 237 clientes.

Tabla 4.7

CAPEX para implementación en primera etapa de despliegue para las zonas de Coripata y Santa Bárbara

COSTO DE CAPITAL (CAPEX) 1RA ETAPA CORIPATA - SANTA BARBARA				
I-	COSTO DE PLANTA EXTERNA FO - RED ODN	Cantidad	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL
	Fibra Optica 12 hilos	644	8	5152
	Fibra Optica 6 hilos	1907	4	7628
	Cable Drop de 4 hilos (puede llegarse a Operación)	0	0	0
	Cable Drop de 2 hilos (puede llegarse a Operación)	12000	1	12000
	Cable Drop de 1 hilos	0	0.8	0
	Muflas de Empalme	3	269	807
	Bandejas Opticas (ODF)	1	600	600
	NAPs	15	370	5550
	Splitter 1x4	4	120	480
	Splitter 1x8	0	150	0
	Splitter 1x16	15	280	4200
	Cajas de Terminacion/Rosetas	237	30	7110
	Pictails SC-APC	150	15	2250
	Patchcord SC/APC	150	20	3000
	Acopladores SC/APC	200	3.5	700
	Ferreteria tipo Terminal	7	96	672
	Ferreteria tipo Duplo	41	185	7585
	Ferreteria tipo Paso	45	46	2070
	Cruceta de Reserva	10	125	1250
	SUBTOTAL -COSTOS DE PLANTA FO - RED ODN			61054
II-	COSTO DE EQUIPOS GPON			
	OLTs TP-link 8 puertos	1	15500	15500
	OLT Ubiquiti 4 puertos	0	10300	0
	ONTs (Internet) TP Link	237	298	70626
	ONTs (Internet y WiFi) ZTE, Huawei otra Marca	0	0	0
	Router WiFi	150	100	15000
	SUBTOTAL- COSTO DE EQUIPOS GPON			101126
III-	COSTOS DE EQUIPOS NODO INTERNET			
	Router Principal	1	2100	2100
	Switch Gestionable	1	1500	1500
	SUBTOTAL - COSTO DE EQUIPOS NODO INTERNET			3600
TOTAL COSTO DE CAPITAL (Bs)				165780
TOTAL COSTO DE CAPITAL (\$us)				23682.85714

Fuente: Elaboración propia

Vemos que el monto total se reduce a prácticamente la mitad del despliegue al 100%, es decir, **165 780 Bs.** equivalente a **23 682.86 \$ dólares**. Observamos que los equipos pasivos siguen sumando los montos más altos para la implementación de la red, seguido de la red ODN.

4.4 Análisis de Costos de Operación (OPEX)

OPEX (Operational Expenditures), se define como la totalidad de los gastos operacionales en que se debe incurrir para llevar a cabo un servicio diseñado. Dentro de ella se incluye la comercialización, materiales, personal, tiempos e imprevistos con los que se diseñó el proyecto.

En la tabla 4.8 se presenta los gastos operacionales del proyecto.

Tabla 4.8

Evaluación de costos de operación del proyecto (OPEX)

COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX)			
Pago de Personal (Mensual)	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	Precio Parcial (Bs)
Salario Mensual dos tecnicos 1/2 tiempo	2	1100	2200
Salario mensual 1 administrativo	1	2200	2200
Sub Total - Gasto Personal (Empleado)			4400
Pago de Servicios (Mensual)			
Transporte - gasolina	1	400	400
Servicio Internet Mensual TIGO 250 Megas	1	3000	3000
Servicio Internet Mensual ENTEL 250 Megas	1	2652	2652
Alquiler de Instalaciones	2	1100	2200
Servicio Luz	1	350	350
Alquiler de postes	0	0	0
Sub Total - Gastos Servicios			8602
Gastos Material Mensual			
Cable Drop 1 hilos en metros	0	1	0
pigtail de fibra SC-APC	10	15	150
Patchcord de fibra SC-APC	10	20	200
Router Wifi	10	100	1000
Sub Total - Gasto Material			1350
TOTAL - COSTO DE OPERACIÓN CON MATERIAL INSTALACIÓN			14352
TOTAL - COSTO DE OPERACIÓN SIN MATERIAL INSTALACIÓN			13002

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.8 se refleja los costos necesarios para la operación de la Red, no existe arrendamiento de postación por parte de la empresa Telecomunicaciones Yungueña, por lo que no se considera dentro de los costos de operación. En esta tabla se maneja dos costos parciales: un costo de operación con los materiales de instalación y otra sin materiales de instalación. En cuanto a los montos para el pago del servicio de Internet a los proveedores, no son precios

oficiales ya que la empresa podría llegar a otros acuerdos con estos ISP, pero de manera referencial y para nuestro análisis se considera dichos montos que están dentro de los márgenes que se espera, mismas que incidirán en el análisis de costos como se verá más adelante.

En cuanto al material de instalación, esta es mínima, ya que según podemos ver en la tabla 4.7 (CAPEX), se realiza la compra de la mayor parte de los materiales.

Sobre los trabajos de mantenimiento, se recomienda un presupuesto anual constante, mismas que pueden ser variables y están relacionados con averías que se puedan producir, puesto que no todos los años se producen las mismas averías ni de la misma gravedad. De forma aproximada podemos decir que el coste anual de mantenimiento es proporcional al costo de los elementos de la red, en nuestro caso los elementos de la red ODN (pasivos) y equipos de la cabecera (activos). En este proyecto manejaremos un valor del 3 % destinado a mantenimiento de la red óptica de manera anual, en teoría se sugiere entre un 2% y 5% del coste de equipos y montaje.

Es así, que en el siguiente apartado analizaremos los ingresos y egresos anuales y con ellos verificaremos si el proyecto y la inversión van a producir una tasa de retorno de capital o por el contrario el proyecto debería ser rechazado.

4.5 Análisis de Ingresos y Egresos Anuales

Tomando como base las tablas de CAPEX y OPEX, analizamos los ingresos y egresos anuales por un periodo de 2 a 3 años. Como indicamos anteriormente, con estos valores determinaremos si el proyecto es viable o se rechaza. Para determinar si la inversión es rentable o no, debemos tener en cuenta ciertos índices técnico-económicos que nos brindaran la información del capital invertido y nos ayudaran a establecer su potencial y si este se ajusta o no a la estrategia de negocio de la empresa. Para esto, debemos tener en cuenta 3 indicadores técnico-económicos, el PRI (Periodo de Recuperación de Inversión), el VAN (Valor Actual Neto) y la TIR (Tasa Interna de Retorno).

➤ **Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)**

PRI es un indicador que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que el flujo neto efectivo de una inversión recupere su inversión inicial. Cuanto más corto sea el periodo de recuperación más atractivo será el proyecto para los inversionistas o el operador. Para calcular este periodo usaremos la siguiente ecuación:

$$\text{PRI} = \frac{\text{Inversion}}{\text{Flujo de efectivo anual}}$$

Ecuación 4.1

La desventaja de este indicador, es que ignora los flujos netos de efectivo más allá del periodo de recuperación, por lo que es un buen indicador a corto plazo pero no del total, ya que también ignora el valor del dinero en el tiempo al no aplicar una tasa de descuento o coste de capital.

➤ **Valor Actual Neto (VAN)**

El VAN es el método más empleado a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo, nos permite determinar si una inversión cumple con el objetivo financiero que es maximizar la inversión. Este valor nos permite determinar si la inversión va incrementar o reducir el valor del operador, en este caso de la Empresa Telecomunicaciones Yungueña.

Este valor depende de las variables como: la inversión inicial (C_0), los flujos netos efectivos, la tasa de descuento (r) y el número de periodos que dura la explotación de la infraestructura de Red (n), misma que viene determinada por la siguiente expresión:

$$\text{VAN} = C_0 + \frac{\text{Flujo efectivo año 1}}{(1+r)^1} + \frac{\text{Flujo efectivo año 2}}{(1+r)^2} + \dots + \frac{\text{Flujo efectivo año } n}{(1+r)^n}$$

Ecuación 4.2

La tasa de descuento es la tasa de retorno requerida sobre una inversión, y viene fijada por las políticas inversionistas de cada operador, en el caso de nuestro proyecto, haremos uso de una tasa de retorno del 5.5% que es la que ofrecen la mayoría de las entidades financieras en este momento.

Un VAN positivo significa que la inversión va a producir una tasa de retorno del capital superior a la esperada por el operador, mientras que una VAN negativa significa que la tasa de retorno es inferior a la esperada y por tanto el proyecto debería ser rechazado.

➤ **Tasa Interna de Retorno (TIR)**

TIR es la tasa que iguala el VAN a cero. Se trata de una tasa crítica de rentabilidad al compararse con la tasa mínima de rendimiento requerida por el operador para un proyecto de inversión. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento, indica que se tendrá un rendimiento mayor al mínimo requerido y por tanto el proyecto de inversión resulta provechoso, pero si TIR es menor que la tasa de descuento el proyecto se debe rechazar.

Este valor viene determinada por la siguiente expresión:

$$\sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujo de efectivo año } t}{(1+r)^t} = C_0; \text{ o lo que es lo mismo VAN} = 0$$

Ecuación 4.3

En las siguientes tablas vemos los flujos de ingresos y egresos totales anuales, donde figura la: capital de inversión inicial, ingresos, egresos, y la ganancia total, en base a estas tablas procederemos a realizar los cálculos de la VAN y TIR para ver la factibilidad del proyecto.

Como vemos en las tablas 4.9, durante el primer año se tendrá un ingreso neto negativo, pues durante este periodo se estima la instalación de 144 usuarios durante todo ese año. Durante este primer periodo se tendrá un gasto de operación por un monto de **156 024 Bs.** misma que no incluye los materiales de instalación.

Durante el segundo año de operación, ya se tiene un ingreso neto positivo por un valor de **134616 Bs.** en este periodo, a partir del primer mes se realiza un gasto de operación incluyendo materiales de instalación por un monto mensual de **Bs. 14 352** a lo largo de 8 meses, posteriormente se retorna al gasto de operación sin materiales de instalación por los últimos 4 meses de ese segundo año. Por último, durante el tercer año de operación se tiene un ingreso neto de: **Bs. 156 816.**

Tabla 4.10

Ganancias anuales totales por un periodo de 3 años de operación.

Ganancias Total Anual							
Año	Ingresos Pago de Servicio (110 Bs) (Bs)	Ingresos por costo de Instalacion (250 Bs) (Bs)	Ingresos Sub Totales (Bs)	Egresos con Material de Instalacion (Bs)	Egresos Sin Material de Instalacion (Bs)	Mantenimiento de Red 3% de Inv.	Ganancia Total Anual (Bs)
Año 1	102960	36000	138960	0	156024	0	-17064
Año 2	278190	23250	301440	114816	52008	4865.4	129750.6
7mo Mes/Año 3	182490	0	182490	0	91014	2838.15	88637.85
Año 3	312840	0	312840	0	156024	4865.4	151950.6

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la tabla 4.10, mencionar que se tomó un ingreso de pagos único por el servicio de 2 Mbps de velocidad por un costo de 110 bs como un servicio estándar, ya que los planes que se pretende ofrecer es de 2 Mbps y 5 Mbps, este último por un precio de 130 Bs.

aproximadamente. Es por eso, que se dispuso los ingresos por pago de servicio el precio más bajo para todos los usuarios en una primera etapa.

El costo de instalación único por servicio es de **250 Bs.** Con respecto a los gastos por mantenimiento, se maneja un 3% del capital total de los equipos y elementos utilizados en la red óptica que es un monto anual de **Bs 4 865.4.** Por último, a partir del tercer año de operación se estima una ganancia constante de **Bs. 151 950.6** anuales, esto porque solo se harán gastos de operación sin incluir costos de los materiales para instalación.

4.5.1 Cálculo de VAN

En base a las tablas anteriores y la ecuación 4.2, procedemos con el cálculo del VAN.

$$VAN = -165780 - \frac{17064}{(1 + 0.055)^1} + \frac{129750.6}{(1 + 0.055)^2} + \frac{88637.85}{(1 + 0.055)^3}$$

$$VAN = 10105.537 ; \text{VAN para 2 años y 7 meses}$$

$$VAN = -165780 - \frac{17064}{(1 + 0.055)^1} + \frac{129750.6}{(1 + 0.055)^2} + \frac{151950.6}{(1 + 0.055)^3}$$

$$VAN = 64023.539 ; \text{VAN 3 años}$$

Como vemos para un periodo de 2 años y 7 meses el VAN resulta positivo y tiene un valor de **10105.537**, lo que significa que la inversión va a producir una tasa de retorno del capital superior a la esperada por la empresa Telecomunicaciones Yungueña, por tanto el proyecto es viable, y será mucho mejor cuando ya se tenga 3 años de operación, pues vemos que el VAN es mayor.

4.5.2 Cálculo de TIR

En base a las tablas anteriores y la ecuación 4.3, procedemos con el cálculo del TIR.

$$\sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujo de efectivo año } t}{(1+r)^t} = C_0$$

$$\text{TIR} = -165780 - \frac{17064}{(1+r)^1} + \frac{129750.6}{(1+r)^2} + \frac{88637.85}{(1+r)^3} = 0$$

TIR = 8 % ; TIR para 2 años y 7 meses

$$\text{TIR} = -165780 - \frac{17064}{(1+r)^1} + \frac{129750.6}{(1+r)^2} + \frac{151950.6}{(1+r)^3} = 0$$

TIR = 19.46% ; TIR 3 años

Realizando los cálculos correspondientes el valor de TIR es de **8 %**, para 2 años y 7 meses de operación, pero si el cálculo se realiza para 3 años el valor es de **19.46 %**, lo que nos indica que el presente proyecto es muy viable y rentable para la empresa Telecomunicaciones Yungueña, ya que representa un valor de tasa de rentabilidad mucho mayor a la esperada.

Como vemos, la implementación de una primera fase del proyecto es viable y rentable a corto plazo, en cuanto a la ejecución de la 2da fase, queda sujeto a una evaluación por parte de la empresa Telecomunicaciones Yungueña considerando los resultados de la 1ra fase.

De todas maneras se incluye la siguiente tabla que refleja los costos necesarios para la implementación de una segunda fase, donde vemos que el monto es un poco menor a la primera fase. Esta segunda etapa beneficiaría a 195 usuarios con el servicio de internet, llegando a cubrir la totalidad de los 432 usuarios.

Indicar que en la tabla 4.11 se realiza la inclusión de la totalidad de equipos y material para el resto de los usuarios finales, que nos permitirá realizar cálculos con un OPEX sin incluir

materiales de instalación y con ello brindar más rentabilidad a esta segunda etapa si realizamos una análisis con los parámetros técnico-económicos como son el VAN y TIR.

Tabla 4.11

Costo de capital (CAPEX) para una segunda etapa de implementación de la red GPON/FTTH

COSTO DE CAPITAL (CAPEX) 2da ETAPA				
I-	COSTO DE PLANTA EXTERNA FO - RED ODN	Cantidad	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL
	Fibra Optica 12 hilos	0	8	0
	Fibra Optica 6 hilos	7434	4	29736
	Cable Drop de 4 hilos	0	0	0
	Cable Drop de 2 hilos	10000	1	10000
	Cable Drop de 1 hilos	0	0.8	0
	Muflas de Empalme	3	269	807
	Bandejas Opticas (ODF)	0	600	0
	NAPs	14	370	5180
	Splitter 1x4	4	120	480
	Splitter 1x8	4	150	600
	Splitter 1x16	10	280	2800
	Cajas de Terminacion/Rosetas	195	30	5850
	Pictails SC-APC	195	15	2925
	Patchcord SC/APC	195	20	3900
	Acopladores SC/APC	200	3.5	700
	Ferreteria tipo Terminal	12	96	1152
	Ferreteria tipo Duplo	74	185	13690
	Ferreteria tipo Paso	88	46	4048
	Cruceta de Reserva	26	125	3250
	SUBTOTAL -COSTOS DE PLANTA FO - RED ODN			85118
II	COSTO DE EQUIPOS GPON			
	OLTs TP-link 8 puertos	0	15500	0
	OLT Ubiquiti 4 puertos	0	10300	0
	ONTs (Internet) TP Link	195	298	58110
	ONTs (Internet y WiFi) ZTE, Huawei otra Marca	0	280	0
	Router WiFi	195	100	19500
	SUBTOTAL- COSTO DE EQUIPOS GPON			77610
III	COSTOS DE EQUIPOS NODO INTERNET			
	Router Principal	0	2100	0
	Switch Gestionable	0	1500	0
	SUBTOTAL - COSTO DE EQUIPOS NODO INTERNET			0
	TOTAL COSTO DE CAPITAL (Bs)			162728
	TOTAL COSTO DE CAPITAL (\$us)			23246.85714

Fuente: Elaboración propia

Debemos aclarar que todo este flujo y análisis económico del CAPEX, OPEX, VAN y TIR se realizaron con precios y costos referenciales no oficiales para que la empresa Telecomunicaciones Yungueña tenga una base de los recursos monetarios que se necesitan para una implementación del proyecto diseñado, tanto en una primera etapa como la segunda fase que estara sujeto a una evaluación por parte de la empresa considerando los resultados de la 1ra fase.

4.6 Análisis de Costos de Inversión (CAPEX) para Brindar los Servicios de TV Cable e Internet

A continuación, a través de las siguientes tablas se realizará el análisis del CAPEX, OPEX, VAN, TIR basado en los servicios de TV Cable e Internet brindados en simultaneo a través de la red de Fibra Óptica.

En la tabla 4.12 se presenta todos los gastos en cuanto a equipos activos y pasivos para el despliegue del diseño para los 432 usuarios finales de las 6 zonas consideradas para el despliegue de la red óptica GPON/FTTH, dichos montos y gastos presentados son referenciales.

Tabla 4.12

CAPEX del material de despliegue para la Red GPON/FTTH en las 6 zonas para el servicio de TV Cable e Internet

COSTO DE CAPITAL (CAPEX)				
I-	COSTO DE PLANTA EXTERNA FO - RED ODN	Cantidad	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL
	Fibra Optica 12 hilos	644	8	5152
	Fibra Optica 6 hilos	9341	4	37364
	Cable Drop de 4 hilos (puede llegarse a Operación)	0	0	0
	Cable Drop de 2 hilos (puede llegarse a Operación)	21000	1	21000
	Cable Drop de 1 hilos	0	0.8	0
	Muflas de Empalme	6	269	1614
	Bandejas Opticas (ODF)	1	600	600
	NAPs	29	370	10730
	Splitter 1x4	8	120	960
	Splitter 1x8	4	150	600
	Splitter 1x16	25	280	7000
	Cajas de Terminacion/Rosetas	432	30	12960
	Pictails SC-APC	432	15	6480
	Patchcord SC/APC	200	20	4000
	Acopladores SC/APC	200	3.5	700
	Ferreteria tipo Terminal	19	96	1824
	Ferreteria tipo Duplo	115	185	21275
	Ferreteria tipo Paso	133	46	6118
	Cruceta de Reserva	36	125	4500
	SUBTOTAL -COSTOS DE PLANTA FO - RED ODN			142877
II	COSTO DE EQUIPOS GPON			
	OLTs TP-link 8 puertos	1	15500	15500
	OLT Ubiquiti 4 puertos	0	10300	0
	ONTs (Internet) TP Link	0	298	0
	ONTs (Internet, Wifi y CATV) V SOL V2802WT	432	410	177120
	STB (Deco)	432	80	34560
	SUBTOTAL- COSTO DE EQUIPOS GPON			227180
III	COSTOS DE EQUIPOS NODO INTERNET			
	Router Principal	1	2100	2100
	Switch Gestionable	1	1500	1500
	SUBTOTAL - COSTO DE EQUIPOS NODO INTERNET			3600
	TOTAL COSTO DE CAPITAL (Bs)			373657
	TOTAL COSTO DE CAPITAL (\$us)			53379.571

Fuente: Elaboración propia

El presupuesto económico de los materiales necesarios para que la red FTTH implementada al

30% de penetración es **373 657 Bs**, o el equivalente a **53379.571 \$ dólares** para predisponer de ambos servicios.

Al igual que el análisis económico que se realizó anteriormente donde solo se brindaría el servicio de Internet, en este caso también se plantea dos etapas de implementación de la red. En esta primera etapa, misma que se presenta en la tabla 4.13, refleja el CAPEX del monto de implementación de la red óptica al 54.86%, es decir para las zonas de Coripata y Santa Bárbara, que equivale a un total de 237 clientes.

Tabla 4.13

CAPEX para implementación en primera etapa de despliegue para las zonas de Coripata y Santa Bárbara para los servicios de Tv Cable e Internet

COSTO DE CAPITAL (CAPEX) 1RA ETAPA CORIPATA - SANTA BARBARA				
I-	COSTO DE PLANTA EXTERNA FO - RED ODN	Cantidad	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL
	Fibra Optica 12 hilos	644	8	5152
	Fibra Optica 6 hilos	1907	4	7628
	Cable Drop de 4 hilos (puede llegarse a Operación)	0	0	0
	Cable Drop de 2 hilos (puede llegarse a Operación)	12000	1	12000
	Cable Drop de 1 hilos	0	0.8	0
	Muflas de Empalme	3	269	807
	Bandejas Opticas (ODF)	1	600	600
	NAPs	15	370	5550
	Splitter 1x4	4	120	480
	Splitter 1x8	0	150	0
	Splitter 1x16	15	280	4200
	Cajas de Terminacion/Rosetas	237	30	7110
	Pictails SC-APC	150	15	2250
	Patchcord SC/APC	150	20	3000
	Acopladores SC/APC	200	3.5	700
	Ferreteria tipo Terminal	7	96	672
	Ferreteria tipo Duplo	41	185	7585
	Ferreteria tipo Paso	45	46	2070
	Cruceta de Reserva	10	125	1250
	SUBTOTAL -COSTOS DE PLANTA FO - RED ODN			61054
II	COSTO DE EQUIPOS GPON			
	OLTs TP-link 8 puertos	1	15500	15500
	OLT Ubiquiti 4 puertos	0	10300	0
	ONTs (Internet) TP Link	0	298	0
	ONTs (Internet, Wifi y CATV) V SOL V2802WT	237	410	97170
	STB (Deco)	150	80	12000
	SUBTOTAL- COSTO DE EQUIPOS GPON			124670
III	COSTOS DE EQUIPOS NODO INTERNET			
	Router Principal	1	2100	2100
	Switch Gestionable	1	1500	1500
	SUBTOTAL - COSTO DE EQUIPOS NODO INTERNET			3600
	TOTAL COSTO DE CAPITAL (Bs)			189324
	TOTAL COSTO DE CAPITAL (\$us)			27046.28571

Fuente: Elaboración propia

Vemos que el monto total se reduce a prácticamente la mitad del despliegue al 100%, es decir, **189 324 Bs.** equivalente a **27046.28 \$ dólares.**

4.7 Análisis de Costos de Operación (OPEX)

En la tabla 4.14 se presenta los gastos operacionales del proyecto para los servicios de TV Cable e Internet. En cuanto a los montos para el pago del servicio de Internet a los proveedores, no son precios oficiales ya que la empresa podría llegar a otros acuerdos con estos (ISP), pero de manera referencial y para nuestro análisis se considera dichos montos que están dentro de los márgenes que se espera, mismas que incidirán en el análisis de costos como se verá más adelante.

Tabla 4.14

Evaluación de costos de operación del proyecto (OPEX)

COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX)			
Pago de Personal (Mensual)	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	Precio Parcial (Bs)
Salario Mensual dos tecnicos 1/2 tiempo	2	1100	2200
Salario mensual 1 administrativo	1	2200	2200
Sub Total - Gasto Personal (Empleado)			4400
Pago de Servicios (Mensual)			
Transporte - gasolina	1	400	400
Servicio Internet Mensual TIGO 250 Megas	1	3000	3000
Servicio Internet Mensual ENTEL 250 Megas	1	2652	2652
Servicio de TV cable	1	155	155
Alquiler de Instalaciones	2	1100	2200
Servicio Luz	1	350	350
Alquiler de postes	0	0	0
Sub Total - Gastos Servicios			8757
Gastos Material Mensual			
Cable Drop 1 hilos en metros	0	1	0
pigtail de fibra SC-APC	10	15	150
Patchcord de fibra SC-APC	10	20	200
STB (Deco)	10	80	800
Sub Total - Gasto Material			1150
TOTAL - COSTO DE OPERACIÓN C/ MATERIAL			14307
TOTAL - COSTO DE OPERACIÓN SIN MATERIAL INSTALACIÓN			13157

Fuente: Elaboración propia

4.8 Análisis de Ingresos y Egresos Anuales

Considerando las tablas de CAPEX y OPEX, analizamos los ingresos y egresos anuales por un periodo de 2 a 3 años. Con ello determinaremos si el proyecto es viable o se rechaza. Para esto, también tomaremos en cuenta los 2 indicadores técnico-económicos, el VAN (Valor Actual Neto) y la TIR (Tasa Interna de Retorno).

En las siguientes tablas vemos los flujos económicos anuales, en base a estas tablas procederemos a realizar los cálculos de la VAN y TIR para ver la factibilidad del proyecto.

Como vemos en las tablas 4.15 durante el primer año se tendrá un ingreso neto positivo, pues durante este periodo se estima la instalación de 144 usuarios. Durante este primer periodo se tendrá un gasto de operación por un monto de **157 884 Bs.** misma que no incluye los materiales de instalación.

Durante el segundo año de operación se tiene un ingreso neto positivo mayor por un valor de **235 516 Bs.** en este periodo, desde el primer mes se realiza un gasto de operación incluyendo materiales de instalación por un monto mensual de **Bs. 14 307** a lo largo de 8 meses, posteriormente se retorna al gasto de operación sin materiales de instalación por los últimos 4 meses de ese segundo año. Por último, durante el tercer año de operación se tiene un ingreso neto de **Bs. 268 716.**

Tabla 4.16

Ganancias total anual (Periodo de 3 años)

Ganancias Total Anual							
Año	Ingresos Pago de Servicio (150 Bs) (Bs)	Ingresos por costo de Instalacion (250 Bs) (Bs)	Ingresos Sub Totales (Bs)	Egresos con Material de Instalacion (Bs)	Egresos Sin Material de Instalacion (Bs)	Mantenimiento de Red 3% de Inv.	Ganancia Total Anual (Bs)
Año 1	140400	36000	176400	0	157884	0	18516
Año 2	379350	23250	402600	114456	52628	5679.72	229836.28
5to Mes/Año 3	177750	0	177750	0	65785	2839.86	109125.14
Año 3	426600	0	426600	0	157884	5679.72	263036.28

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la tabla 4.16, mencionar que se tomó un ingreso de pagos único por el servicio de 2 Mbps de velocidad por un costo de **110 Bs** como el plan más bajo, ya que los planes que se pretende ofrecer son de 2 Mbps y 5 Mbps. A esto debemos añadir el costo del servicio de TV Cable que actualmente es de 40 Bs, haciendo un total de **150 Bs.** por usuario cuyo costo sería el más bajo para todos los usuarios en una primera etapa.

El costo de instalación único por servicio es de **250 Bs.** Con respecto a los gastos por mantenimiento, se maneja también un 3% del capital total invertido haciendo un monto de **Bs. 56 789,72**

4.8.1 Cálculo de VAN

En base a las tablas anteriores y la ecuación 4.2, procedemos con el cálculo del VAN para un plan que contempla los servicios de TV Cable e Internet.

$$VAN = -189324 + \frac{18576}{(1 + 0.055)^1} + \frac{229836.28}{(1 + 0.055)^2}$$

$$VAN = 34\,723.67 \quad ; \text{VAN para 2 años}$$

$$VAN = -189324 + \frac{18576}{(1 + 0.055)^1} + \frac{229836.28}{(1 + 0.055)^2} + \frac{109125.14}{(1 + 0.055)^3}$$

$$VAN = 127\,656.13 \quad ; \text{VAN 2 años y 5 meses}$$

Como vemos para un periodo de 2 años el VAN resulta positivo con un valor de Bs. **38157.83**, lo que indica que en ese plazo estimado la empresa Telecomunicaciones Yungueña podrá recuperar la inversión y además tendrá más beneficio que una inversión de renta fija, por tanto el proyecto es viable.

4.8.2 Cálculo de TIR

En base a las tablas anteriores y la ecuación 4.3, procedemos con el cálculo del TIR.

$$TIR = -189324 + \frac{18576}{(1 + r)^1} + \frac{229836.28}{(1 + r)^2} = 0$$

$$TIR = 15\% \quad ; \text{TIR para 2 años}$$

$$TIR = -189324 + \frac{18576}{(1 + r)^1} + \frac{229836.28}{(1 + r)^2} + \frac{109125.14}{(1 + r)^3} = 0$$

$$TIR = 33\% \quad ; \text{TIR 2 años y 5 meses}$$

Realizando los cálculos correspondientes el valor de TIR es de **15 %**, para 2 años de operación, pero si el cálculo se realiza para 2 años y 5 meses el valor es de **33 %**, vemos que este valor es mayor al **5.5%**, lo que significa que el presente proyecto es muy viable y rentable para la empresa Telecomunicaciones Yungueña, ya que representa un valor de tasa de rentabilidad mucho mayor a la esperada.

Como vemos, la implementación de una primera fase del proyecto brindando los servicios de TV Cable e Internet es viable y rentable a corto plazo, en cuanto a la ejecución de la 2da fase, queda sujeto a una evaluación por parte de la empresa Telecomunicaciones Yungueña considerando los resultados de la 1ra fase.

Para consideración y conocimiento de la empresa en la tabla 4.17 se refleja los costos necesarios para la implementación de una segunda fase, donde vemos que el monto es casi similar a la primera. Esta segunda etapa beneficiaría a 195 usuarios con el servicio de TV Cable e Internet, llegando a cubrir la totalidad de los 432 usuarios.

Indicar que en la tabla 4.17 ya se realiza la inclusión de la totalidad de equipos y material para el resto de los usuarios finales, que nos permitirá realizar cálculos con un OPEX sin incluir materiales de instalación y con ello brindar más rentabilidad a esta segunda etapa si realizamos una análisis con los parámetros técnico-económicos como son el VAN y TIR.

Referente a todo este análisis, indicar que la empresa Telecomunicaciones Yungueña debe optar por el cobro del servicio de TV cable e Internet a un precio mayor a los **110 Bs**, esto para obtener beneficios mayores a la tasa de inversión usada para los cálculos. En caso de que la empresa decida optar por un monto menor a los **150 Bs**. la recuperación de la inversión será en un tiempo mucho mayor al calculado anteriormente, es decir, alrededor de los 3 años, además de que la tasa de retorno será mucho menor que el **15 %** calculado.

Por tanto, los cálculos y análisis realizados son datos referenciales para que la empresa Telecomunicaciones Yungueña tenga una idea clara de cómo debe realizar la inversión y la recuperación del capital invertido, que esta relacionado con el costo que la empresa decida cobrar por los servicios brindados, misma que se deja a consideración de la empresa.

Tabla 4.17

Costo de capital (CAPEX) para una segunda etapa de implementación de la red GPON/FTTH para los servicios de TV cable e Internet

COSTO DE CAPITAL (CAPEX) 2da ETAPA				
I-	COSTO DE PLANTA EXTERNA FO - RED ODN	Cantidad	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL
	Fibra Optica 12 hilos	0	8	0
	Fibra Optica 6 hilos	7434	4	29736
	Cable Drop de 4 hilos	0	0	0
	Cable Drop de 2 hilos	10000	1	10000
	Cable Drop de 1 hilos	0	0.8	0
	Muflas de Empalme	3	269	807
	Bandejas Opticas (ODF)	0	600	0
	NAPs	14	370	5180
	Splitter 1x4	4	120	480
	Splitter 1x8	4	150	600
	Splitter 1x16	10	280	2800
	Cajas de Terminacion/Rosetas	195	30	5850
	Pictails SC-APC	195	15	2925
	Patchcord SC/APC	195	20	3900
	Acopladores SC/APC	200	3.5	700
	Ferreteria tipo Terminal	12	96	1152
	Ferreteria tipo Duplo	74	185	13690
	Ferreteria tipo Paso	88	46	4048
	Cruceta de Reserva	26	125	3250
	SUBTOTAL -COSTOS DE PLANTA FO - RED ODN			85118
II	COSTO DE EQUIPOS GPON			
	OLTs TP-link 8 puertos	0	15500	0
	OLT Ubiquiti 4 puertos	0	10300	0
	ONTs (Internet) TP Link	0	298	0
	ONTs (Internet, Wifi y CATV) V SOL V2802WT	195	410	79950
	STB (Deco)	195	80	15600
	SUBTOTAL- COSTO DE EQUIPOS GPON			95550
III	COSTOS DE EQUIPOS NODO INTERNET			
	Router Principal	0	2100	0
	Switch Gestionable	0	1500	0
	SUBTOTAL - COSTO DE EQUIPOS NODO INTERNET			0
TOTAL COSTO DE CAPITAL (Bs)				180668
TOTAL COSTO DE CAPITAL (\$us)				25809.71429

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Del presente Proyecto de Grado se puede concluir:

- Se realizó el diseño de una red de fibra óptica GPON/FTTH, en base al estándar de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T G984.X) para la empresa Telecomunicaciones Yungueña, misma que ayudara a cubrir la demanda de TV cable (Video) y próximamente el servicio de Internet en la localidad de Coripata.
- En base al relevamiento en sitio, se determinó los requerimientos técnicos básicos necesarios para el diseño de la red GPON/FTTH, identificando las zonas con mayor cantidad de abonados y con alta densidad de viviendas tomando como base la información proporcionada por la Empresa Telecomunicaciones Yungueña, evitando de esta manera la realización de estudio de demanda del servicio en esta localidad.
- Se realizó el diseño de la Red de Distribución Óptica (ODN), misma que permite la convergencia de varios servicios de telecomunicaciones como TV Cable e Internet entre otros a través del mismo medio, alcanzando velocidades de transmisión y recepción de hasta 2.4 Gbps en downlink y 1.2 Gbps en uplink a diferencia de la red CATV con la que dispone actualmente la empresa Telecomunicaciones Yungueña.
- Se realizaron los cálculos del presupuesto óptico en base al estándar ITU-T G984, donde se determinó que la red puede tolerar pérdidas de hasta 28 dB para el usuario más lejano y sobrecarga de 8 dBm. Para el cálculo se consideró un margen de seguridad de 3 dB. En todo caso, la empresa debe considerar el uso de equipos que cumplan mínimamente la clase B+ de GPON.

- En cuanto a la elección, análisis y evaluación técnica-económica de los equipos pasivos y activos, estos son presentados a modo de referencia en este proyecto, puesto que la empresa decidirá el uso o no de los mismos para el despliegue de la red en caso de implementación, además la misma servirá como base a la empresa Telecomunicaciones Yungueña para evaluar un presupuesto de inversión y elección de los mejores equipos que ellos consideren adecuados.
- En cuanto al análisis económico del proyecto, CAPEX, OPEX, VAN y TIR se realizaron con precios y costos referenciales no oficiales para que la empresa Telecomunicaciones Yungueña tenga una base de los recursos monetarios que se necesitan para una implementación del proyecto diseñado, mismos fueron obtenidos del mercado local. Se verifico que el proyecto es viable, rentable y aceptable para una implementación, pues se demostró que existe una tasa de rentabilidad mayor a la esperada en su primera fase según los dos análisis realizados, y la segunda etapa estará sujeto a evaluación por parte de la empresa Telecomunicaciones Yungueña, considerando los resultados de la 1ra fase.

5.2 Recomendaciones

- Se debe tener mucho cuidado con la manipulación de la fibra óptica, ya que su núcleo y manto es típicamente de vidrio y someterla a tensiones y radios de curvatura muy extremos pueden ocasionar pérdidas o rotura de la fibra óptica y producir un corte del enlace.

- En el diseño de la red GPON se utilizaron conectores SC con pulido APC, estos conectores son de color verde y en el estándar GPON solo se utilizan este tipo de conectores, por tanto se recomienda usar este conector.
- Por el análisis económico, es recomendable adquirir la solución completa GPON (OLT- ONT de la marca TP- Link, por el tema de costos y la interoperabilidad entre equipos o equipos compatibles con la OLT TP-Link evaluando y realizando pruebas con ONTs de otros fabricantes más económicos.
- En relación al diseño, vemos que tener una redundancia de la red implicaría otros costos, que elevaría los costos de implementación de la red cerca al doble del monto que se plantea en el proyecto, lo que provocaría que el proyecto no sea rentable ni viable.
- Se recomienda implementar el proyecto en 2 fases: la primera solo con un 54.86% de la demanda potencial, que representa un total de 237 usuarios en las zonas de Coripata y Santa Bárbara, y la segunda fase abarcaría la totalidad de los 432 usuarios, misma que queda sujeta a una evaluación por parte de la empresa Telecomunicaciones Yungueña considerando los resultados obtenidos en la primera fase.
- Se debe tomar en cuenta la capacidad máxima que tenga el OLT para puertos PON y la sensibilidad máxima a pérdidas que se tenga entre el usuario más lejano y cercano, misma que no debe sobrepasar de 28 dB para su normal funcionamiento.

CAPITULO 6

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

6.1 Referencias

- Ara Shams, R., & Hasnat Kabir, M. (2012). Effect of Interleaved FEC Code on Wavelet Based MC-CDMA System with Alamouti STBC in Different Modulation Schemes. Rajshahi, Bangladesh: Department of Information and Communication Engineering. University Of Rajshahi.
- Castro Lechtaler, A. R., & Fusa, R. J. (1999). *Teleinformática para ingenieros en sistemas de información. II*. Barcelona: Reverte S.A.
- Campero, J. (mayo de 2009). Tecnologías de Comunicación (Apuntes de Clase). La Paz, Bolivia.
- Cortes Castillo, A. (2016). Planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios. *Prisma Tecnológico*, 20-25.
- Fernandez, J. L., & Gregorio, C. (abril de 2013). *Reflexión y Refracción de la Luz*. Obtenido de FISICALAB: <https://www.fisicalab.com/apartado/reflexion-refraccion-luz>
- Fonrouge, S. (4 de marzo de 2016). *FCEN*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/ondaselecmag/espectro-electromagnetico>
- Green, P. E. (2006). *FIBER TO THE HOME THE NEW EMPOWERMENT*. Obtenido de <https://epdf.pub/fiber-to-the-home-the-new-empowerment.html>
- Ishii, Y., & Yamashita, H. (6 de marzo de 2009). *Optical Access Transport System- GE-PON Platform*. Obtenido de <https://www.fujitsu.com/downloads/MAG/vol145-4/paper04.pdf>
- Keiser, G. (6 de febrero de 2006). *FTTX Concepts and Applications*. New Jersey, Estados Unidos: John Wiley & Sons. Obtenido de *FTTX Concepts and Applications*.

- Kramer, G. (22 de marzo de 2005). *Ethernet Passive Optical Networks*. Obtenido de https://books.google.com.bo/books?id=leTxSysNE_kC&pg=PA31&dq=GPON&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjnz7Wv3LnoAhWfF7kGHY3TBHU4ChDoAQhmMAc#v=onepage&q=point%20to%20point&f=false
- Lam, C. F. (2007). *Passive Optical Networks*. Obtenido de <https://epdf.pub/passive-optical-networks.html>
- Lozano Blanco, A. (2014). Estudio de las redes FTTH y despliegue de una red (Proyecto de Grado). Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- Ptolomeo. (s.f.). *Sistema de Comunicaciones Óptico*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/870/A5.pdf?sequence=5>
- Solutions FTTH. (Marzo de 2018). Tipos de Fibra Optica Capitulo I Monomodo. Quito, Ecuador.
- The Fiber Optic Association, Inc. (2014). Fibra óptica. California, USA.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Obtenido de https://books.google.com.bo/books?id=_2HCio8aZiQC&pg=PA435&dq=fibra+optica+de+indice+gradual&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwig66Hc87PoAhV_EbkGHR8eBAwQ6AEIJTAA#v=onepage&q=fibra%20optica%20de%20indice%20gradual&f=false
- Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T). (2008). *G.984.1 : Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/es>
- Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T). (febrero de 2008). *G.984.4 : Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4-200802-I/es>

Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T). (enero de 2014). *G.984.3 : Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3-201401-I/es>

Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T). (mayo de 2014). *G.984.5 : Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Banda de ampliación*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.5-201405-I/es>

Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T). (agosto de 2019). *G.984.2 : Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-201908-I/es>

Vaca, Y. (2015). Experto en Rede Opticas- Elementos de Red. Santa Cruz, Bolivia.

6.2 Bibliografía

Castro Lechtaler, A. R., & Fusa, R. J. (1999). *Teleinformática para ingenieros en sistemas de información. II*. Barcelona: Reverte S.A.

Campero, J. (mayo de 2009). *Tecnologías de Comunicación (Apuntes de Clase)*. La Paz, Bolivia.

Cortes Castillo, A. (2016). Planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios. *Prisma Tecnológico*, 20-25.

ESTELLER, J. M. (2018). *Técnicas y procesos en infraestructuras de telecomunicaciones*. Asturias: Paraninfo, SA.

Fernandez, J. L., & Gregorio, C. (abril de 2013). *Reflexión y Refracción de la Luz*. Obtenido de FISICALAB: <https://www.fisicalab.com/apartado/reflexion-refraccion-luz>

Fonrouge, S. (4 de marzo de 2016). *FCEN*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/ondaselecmag/espectro-electromagnetico>

- Gato Gutiérrez, F., & Mario, Á. (2016). *Sistemas de aeronaves de turbina: Tomo V*. Valencia: NoBooks Editorial.
- Green, P. E. (2006). *FIBER TO THE HOME THE NEW EMPOWERMENT*. Obtenido de <https://epdf.pub/fiber-to-the-home-the-new-empowerment.html>
- Heredia Ch., R., & Murillo, M. (septiembre de 2001). Modelaje y simulacion de un sensor de curvatura. Guayaquil, Ecuador.
- Huidobro Moya, J. M. (2014). *Telecomunicaciones. Tecnologías, Redes y Servicios. 2ª edición actualizada*. Madrid: Grupo RA-MA.
- Ishii, Y., & Yamashita, H. (6 de marzo de 2009). *Optical Access Transport System- GE-PON Platform*. Obtenido de <https://www.fujitsu.com/downloads/MAG/vol145-4/paper04.pdf>
- Keiser, G. (6 de febrero de 2006). *FTTX Concepts and Applications*. New Jersey, Estados Unidos: John Wiley & Sons. Obtenido de *FTTX Concepts and Applications*.
- Kramer, G. (22 de marzo de 2005). *Ethernet Passive Optical Networks*. Obtenido de https://books.google.com.bo/books?id=leTxSysNE_kC&pg=PA31&dq=GPON&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjnz7Wv3LnoAhWfF7kGHY3TBHU4ChDoAQhmMAc#v=onepage&q=point%20to%20point&f=false
- Lallukka , S., & Pertti, R. (2006). *Passive Optical Networks*. Obtenido de <https://epdf.pub/passive-optical-networks-transport-concepts.html>
- Lam, C. F. (2007). *Passive Optical Networks*. Obtenido de <https://epdf.pub/passive-optical-networks.html>
- Lozano Blanco, A. (2014). Estudio de las redes FTTH y despliegue de una red (Proyecto de Grado). Universidad de Sevilla. Sevilla, España.

- Prat, J. (2008). *Next-Generation FTTH Passive Optical Networks*. Obtenido de <https://epdf.pub/next-generation-ftth-passive-optical-networks-research-towards-unlimited-bandwid.html>
- Ptolomeo. (s.f.). *Sistema de Comunicaciones Óptico*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/870/A5.pdf?sequence=5>
- Solutions FTTX. (Marzo de 2018). *Tipos de Fibra Optica Capitulo I Monomodo*. Quito, Ecuador.
- The Fiber Optic Association, Inc. (2014). *Fibra óptica*. California, USA.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Obtenido de https://books.google.com.bo/books?id=_2HCio8aZiQC&pg=PA435&dq=fibra+optica+de+indice+gradual&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwig66Hc87PoAhV_EbkGHR8eBAwQ6AEIJTAA#v=onepage&q=fibra%20optica%20de%20indice%20gradual&f=false
- Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T). (2008). *G.984.1 : Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/es>
- Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T). (febrero de 2008). *G.984.4 : Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4-200802-I/es>
- Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T). (enero de 2014). *G.984.3 : Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3-201401-I/es>

Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T). (mayo de 2014). *G.984.5 : Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Banda de ampliación*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.5-201405-I/es>

Union Internacional De Telecomunicaciones (UIT - T). (agosto de 2019). *G.984.2 : Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-201908-I/es>

Vaca, Y. (2015). Experto en Rede Opticas- Elementos de Red. Santa Cruz, Bolivia.

ANEXOS

ANEXO 1: CARTA DE SOLICITUD PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA PARA LA EMPRESA TELECOMUNICACIONES YUNGUEÑA

La Paz, 23 de enero de 2020

Señor:
Abraham R. Choque Tacuña
Supervisor Técnico de Instalaciones
Empresa Wayra Networks

Presente.-

Ref.- Solicitud para el diseño de una red de fibra óptica para la localidad de Coripata

De mi consideración:

A través de la presente reciba un cordial saludo, al mismo tiempo desearle éxitos en las labores desempeñadas en la empresa Wayra Networks.

Me dirijo a usted de la manera más atenta para solicitar su colaboración en el **Diseño de una Red de Fibra Óptica para la empresa Telecomunicaciones Yungueña** en la localidad de Coripata, a la cual brindaron soporte técnico y proveyeron de materiales para la mejoría de la red que actualmente posee nuestra empresa Telecomunicaciones Yungueña, misma que está legalmente establecida y autorizada por la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes (ATT) para la distribución de TV cable en este sector.

Gracias a su conocimiento en redes de fibra óptica, recomendaciones y predisposición para con nosotros, es que solicitamos su apoyo para el diseño de una red de Fibra Óptica para nuestra empresa, a fin de cubrir la demanda de TV Cable y próximamente el servicio de internet en la localidad de Coripata y comunidades aledañas.

De nuestra parte, como empresa **Telecomunicaciones Yungueña**, nos comprometemos a colaborar y facilitar el acceso a toda información que requiera y sea necesaria para el desarrollo del proyecto, a fin de que este sea de aplicabilidad y vaya en beneficio de esta población yungueña.

Agradecemos desde ya la atención dispensada esperando una respuesta favorable a la solicitud y sin otro particular, nos despedimos, con las consideraciones más distinguidas

Atentamente,



Iván Petter Yupanqui Condori
Titular Propietario Telecomunicaciones Yungueña

**ANEXO 2: CARTA: DEMANDA DE LOS SERVICIO DE TV CABLE E INTERNET
EN CORIPATA PROPORCIONADA POR LA EMPRESA
TELECOMUNICACIONES YUNGUEÑA**

La Paz, 21 de febrero de 2020

Señor:
Abraham R. Choque Tacuña
Supervisor Técnico de Instalaciones
Empresa Wayra Networks

Presente.-

Ref.- Demanda de los servicio de TV Cable e Internet en Coripata

Estimado Abraham:

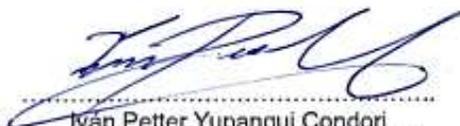
En base a lo conversado acerca de los datos sobre la demanda del servicio de TV cable e Internet que existe en el sector de Coripata, mismos que según nos comentó son necesarios para el dimensionamiento y diseño de la red de Fibra Óptica para nuestra empresa, le facilitamos los siguientes datos de potenciales clientes que se tienen en esta localidad para estos servicios mismas que corresponden en parte a clientes con los que ya cuenta la empresa.

- Coripata:
 - Av. Saturnino Guerra y calles aledañas = 80 clientes
 - Av. La Paz = 30 clientes
 - Calle La Unión y aledañas = 40 clientes
- Chillamani = 25 clientes
- Coscoma = 50 clientes
- Santa Barbara = 20 clientes
- Anacuri = 15 clientes
- Santa Gertrudis = 45 clientes

Referente a los precios que posiblemente se puedan manejar sobre el servicio de internet, pensamos que debería ser menor al que se ofrece en la ciudad de La Paz de alrededor de los 100 bs mensuales para un paquete mínimo.

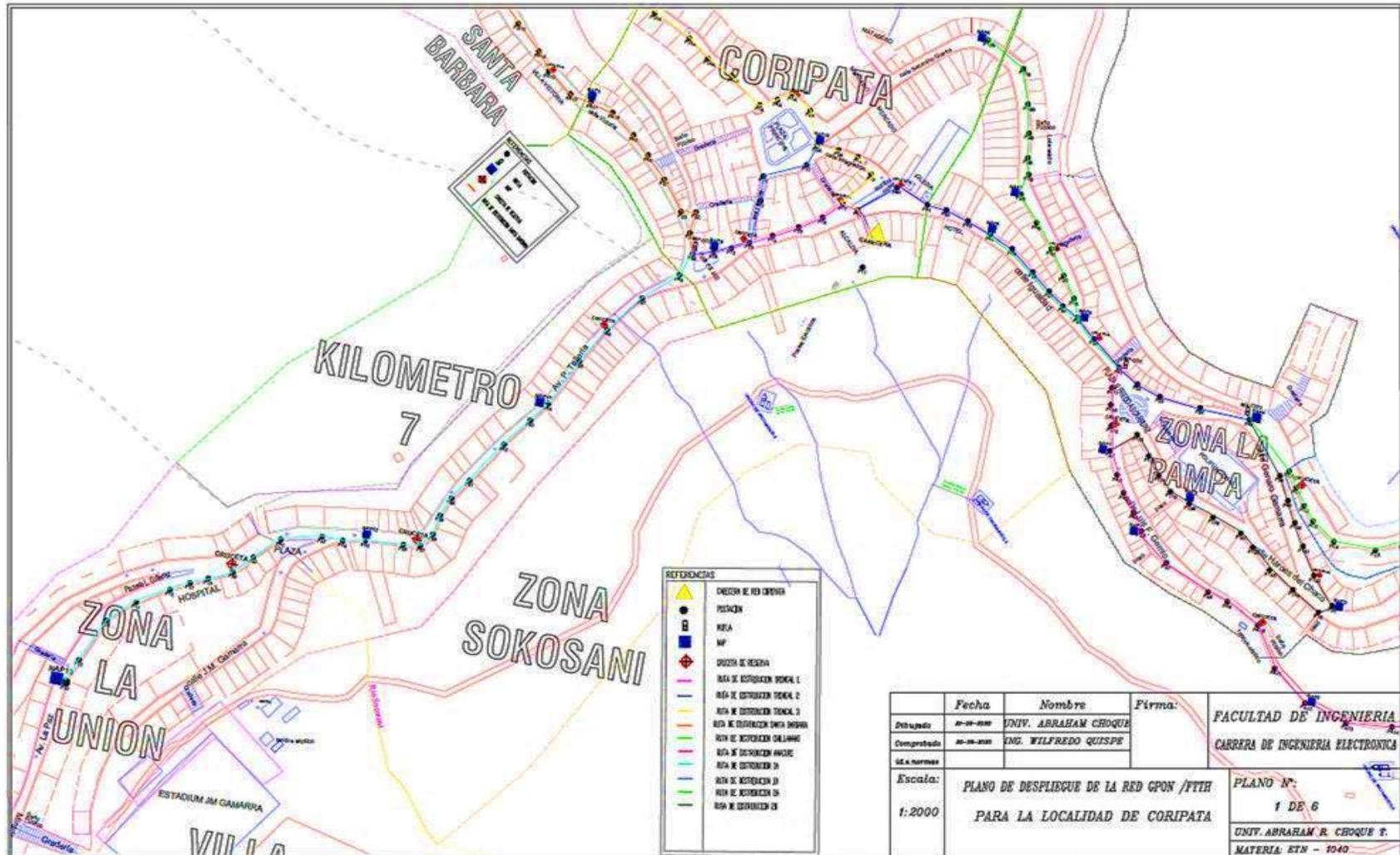
Esperamos que estos datos sean de gran ayuda para el diseño de la red, siempre dispuestos a facilitar cualquier otra información que requiera.

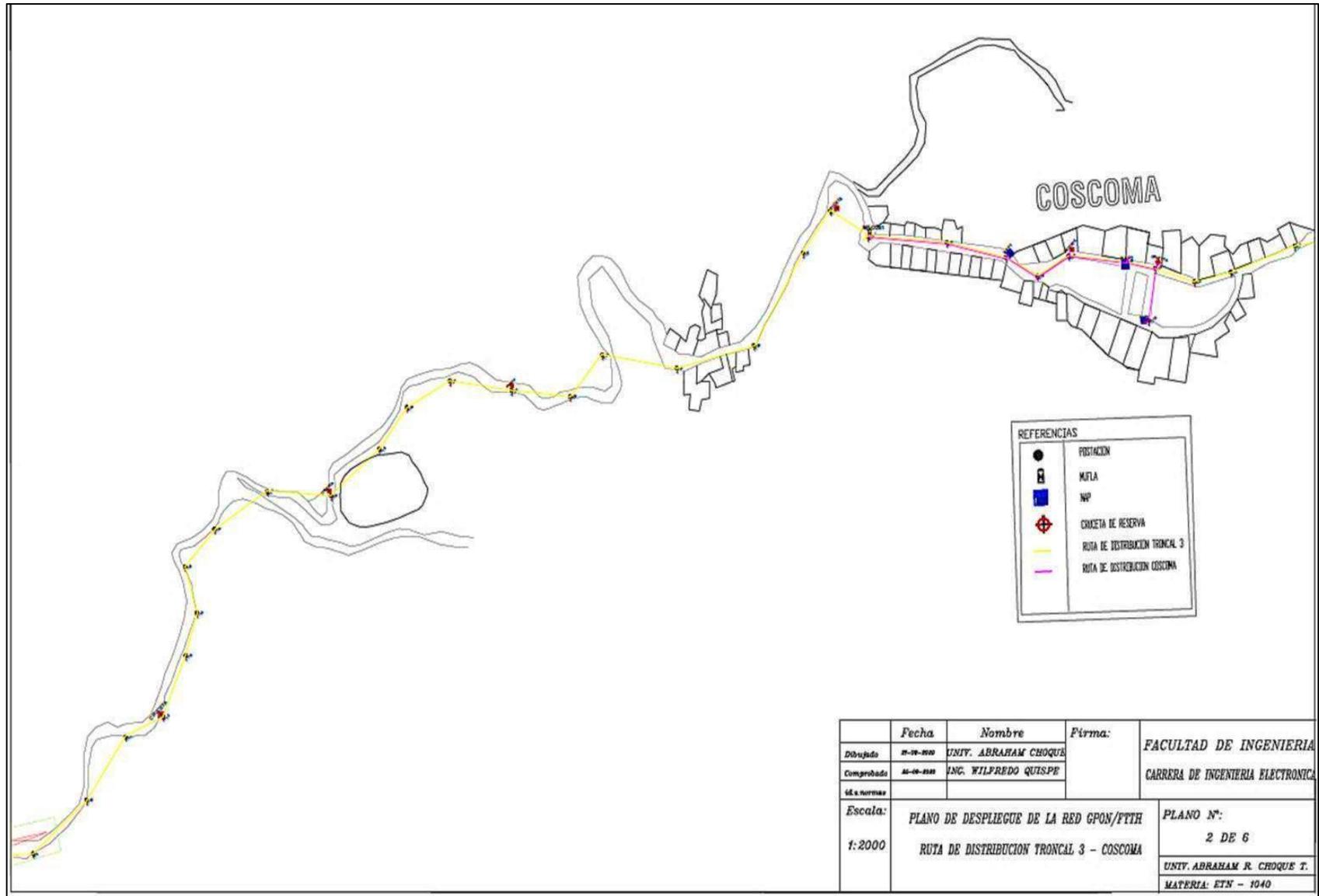
Atentamente,

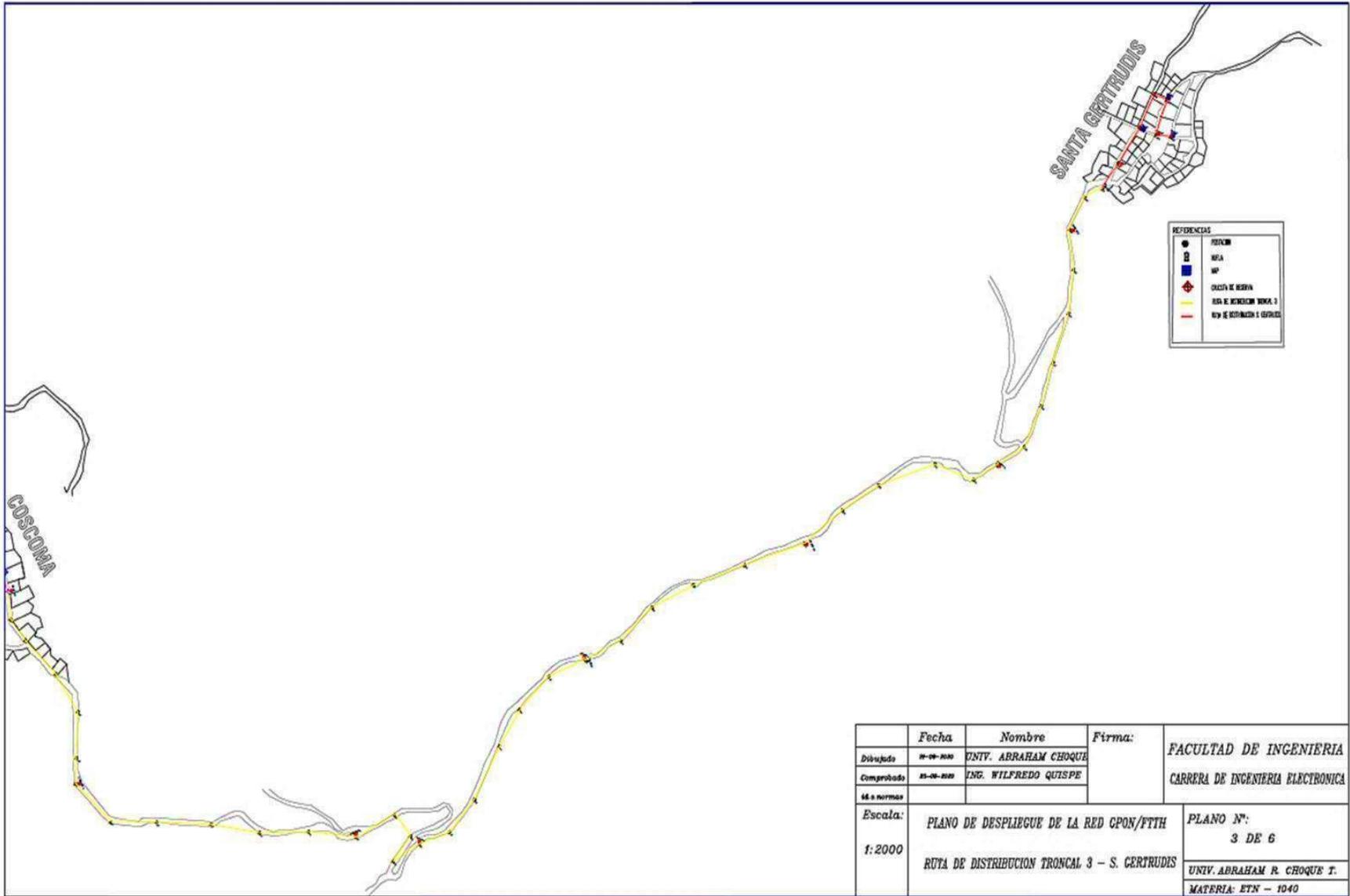


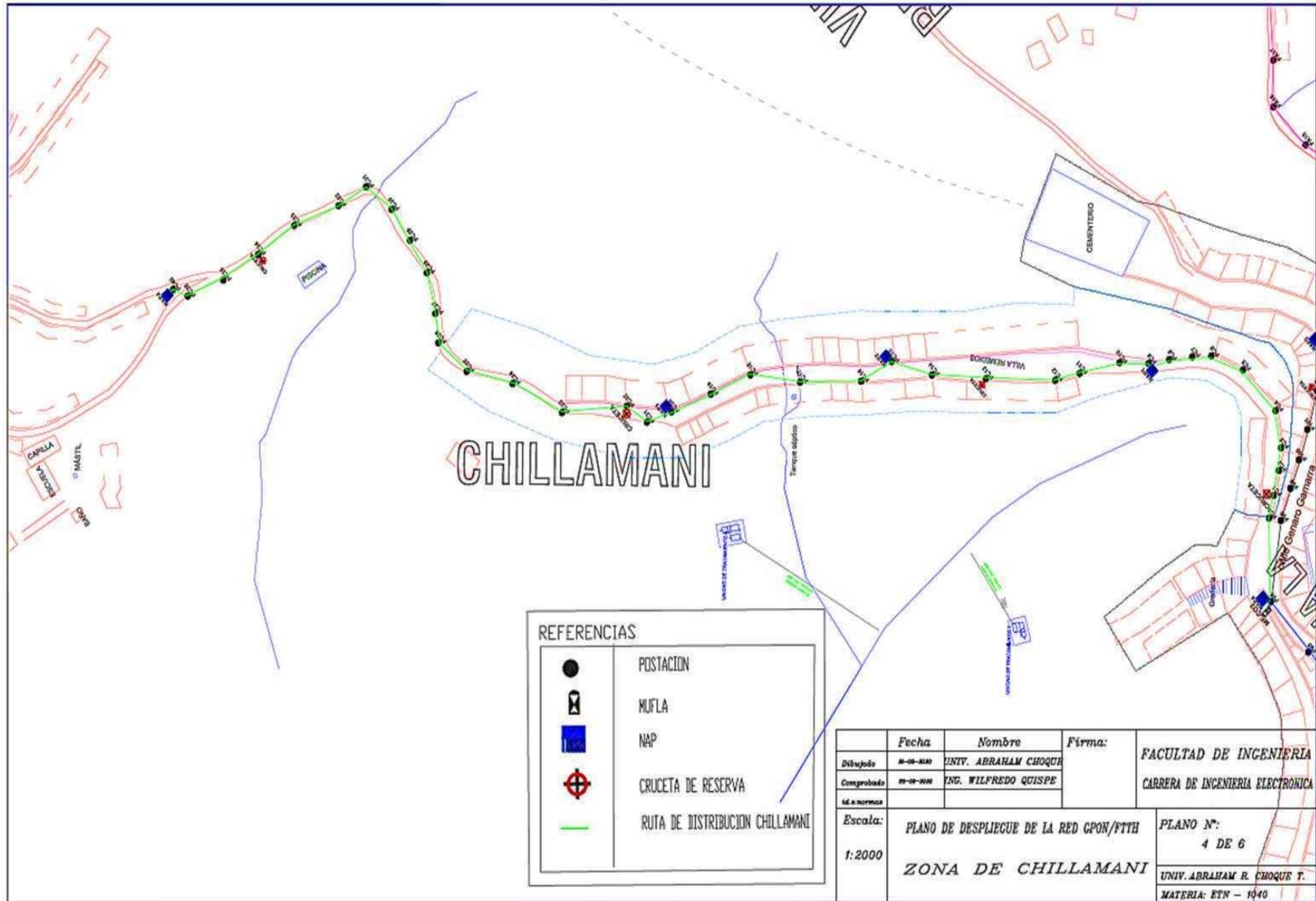
Ivan Petter Yupanqui Condori
Titular Propietario Telecomunicaciones Yungueña

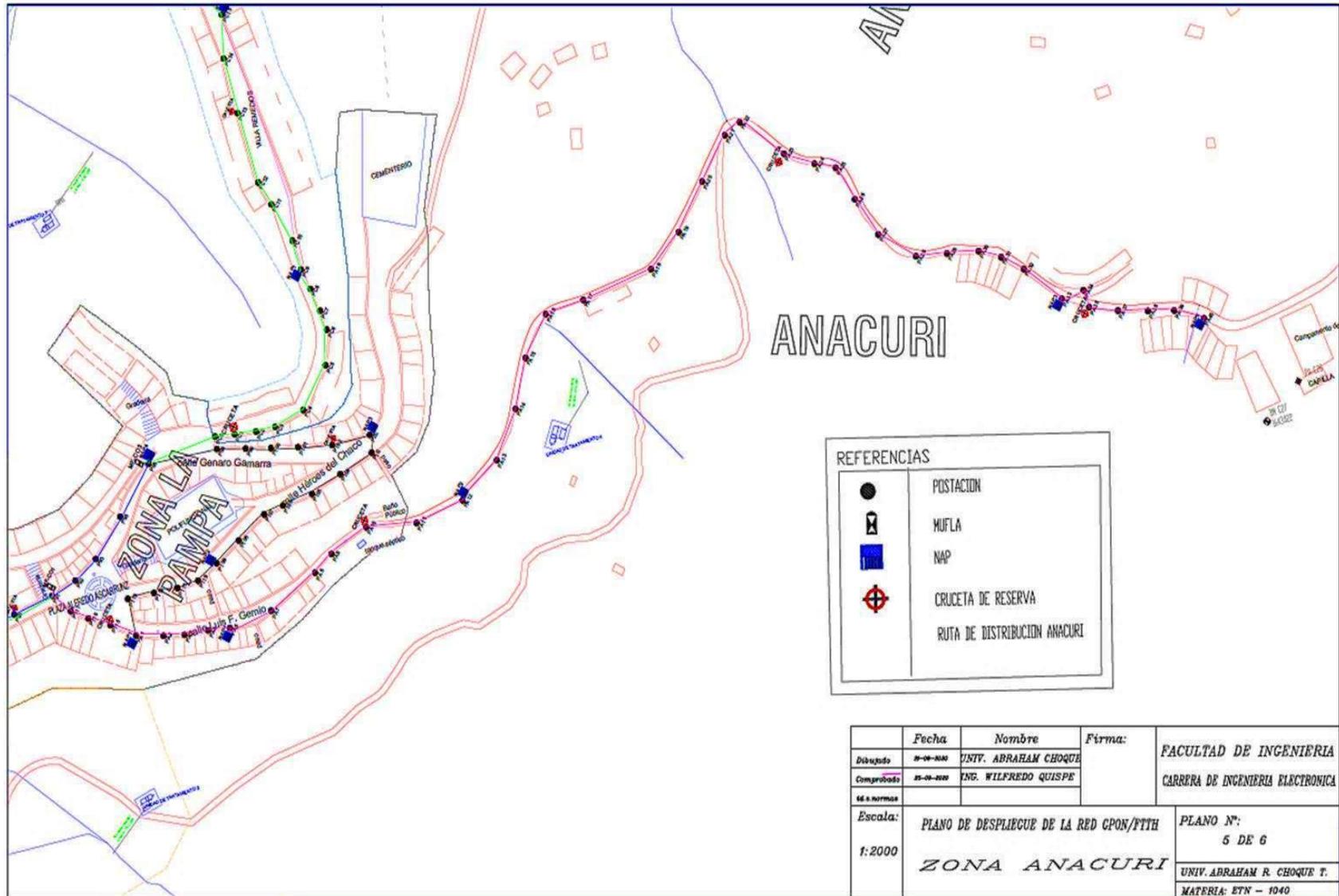
ANEXO 3: PLANOS CATASTRALES DE DESPLIEGUE DE LA RED GPON/FTTH EN LAS 6 ZONAS DE CORIPATA





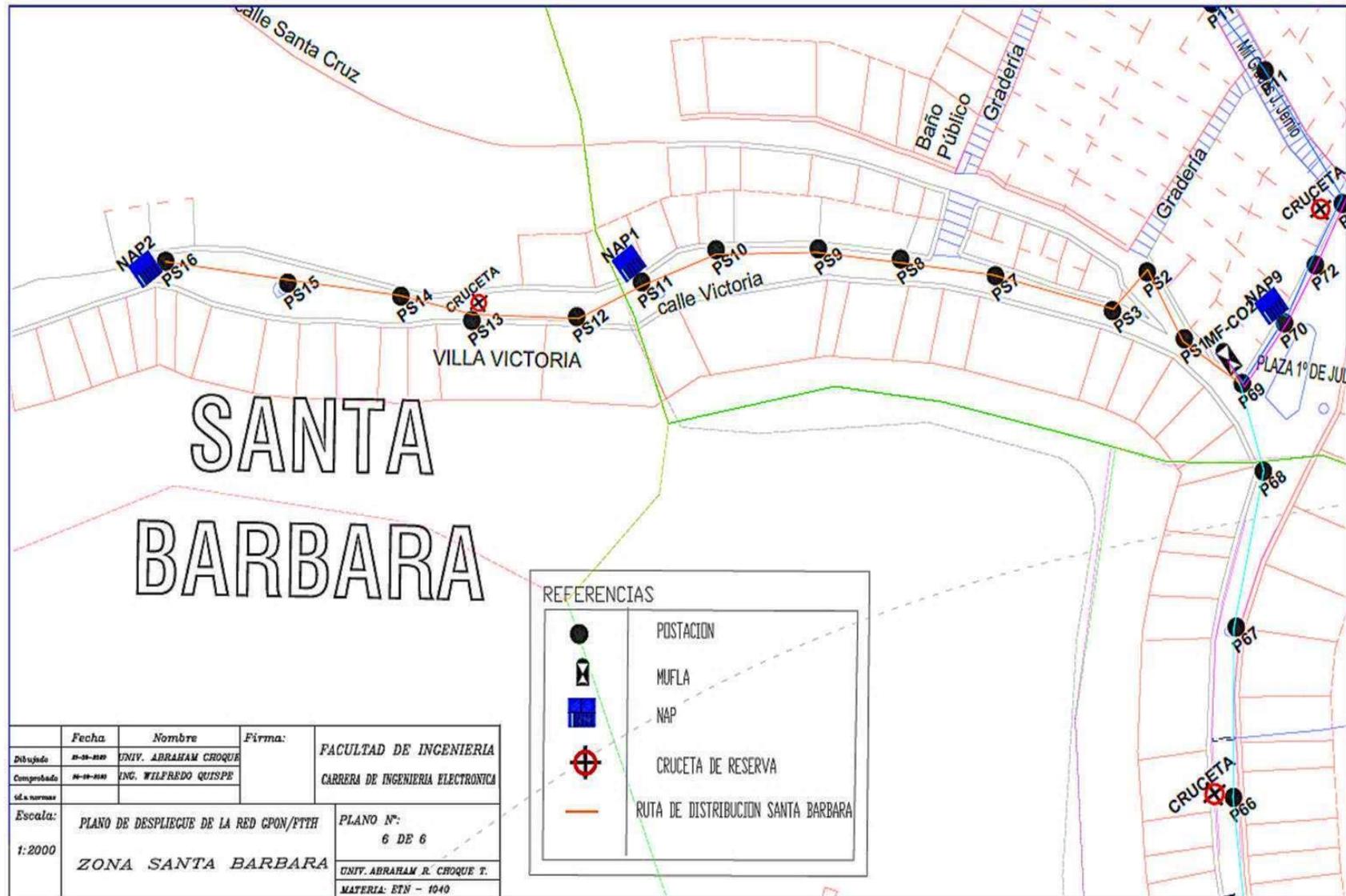






REFERENCIAS	
	POSTACION
	MUFLA
	NAP
	CRUCETA DE RESERVA
	RUTA DE DISTRIBUCION ANACURI

	Fecha	Nombre	Firma:	
Dibujado	09-09-2020	UNIV. ABRAHAM CHOQUE		FACULTAD DE INGENIERIA
Comprobado	09-09-2020	ING. WILFREDO QUISPE		CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA
66 a normas				
Escala:	PLANO DE DESPLIEGUE DE LA RED GPON/FTTH			PLANO N°:
f: 2000	ZONA ANACURI			5 DE 6
				UNIV. ABRAHAM R. CHOQUE T.
				MATERIA: ETN - 1040



ANEXO 4: CARACTERISTICAS TECNICAS Y PROFORMAS DE COTIZACIONES DE EQUIPOS ACTIVOS Y PASIVOS



8-port
GPON OLT

P1200-08

Compact high performance GPON OLT for medium and small operator



Specifications

Hardware Features	
Service Port	8 PON ports (SFP Slot)
Uplink Port	8 10/100/1000bps RJ45 ports
	8 1000Mbps SFP ports
Management Port	2 10G SFP+ ports (optional)
	1 Console port
Fan Quantity	1 100BASE-TX outband management port
	4
Redundancy Design	Dual power supply
	Support AC, DC, AC-DC power input
Power Supply	AC: 90V~240V, 50/60Hz
	DC: 36V~72V
Power consumption	Max 65W
Weight	4kg
Dimensions	440mm(L) x 391mm(W) x 44mm(H)
	Environment
Environment	Storage temperature: -40°C~85°C
	Operating Humidity: 5%~95% non-condensing
	Storage Humidity: 5%~95% non-condensing

GPON port attribute	
Splitting Ratio	1:128
Transmission distance	20km
Data rate	Downstream: 2.5Gbps
	Upstream: 1.25Gbps
Wavelength	Tx: 1490nm
	Rx: 1310nm
Interface type	SC/APC
Fiber type	9/125um SMF (Single Mode Fiber)
Tx power	Class B+ : 1.5dBm~3dBm
	Class C+ : 3dBm~7dBm
	Class E+ : -28dBm
Rx sensitivity	Class C+ : -30dBm
	Class E+ : -6dBm
Saturation power	Class B+ : -6dBm
	Class C+ : -12dBm

Características técnicas de la OLT TP-Link

Specifications

Software Features	
PON Features	Compatible with ITU-T G.984.x, G.988 standards
	Standard OMCi management function
	Support 1:128 splitting ratio for each PON port
	Support AES 128 encryption for uplink and downlink data transmission
	DBA algorithm, support 5 DBA types
	Support 128 DBA profiles
	Support 512 ONT line profiles
	Support 512 ONT service profiles
	ONU management (remote configuration, upgrade, monitor)
	ONU authentication
Port	Port configuration
	Speed and duplex mode configuration
	802.3x flow control configuration
	Broadcast/Multicast/Unicast storm control
	Port mirror

MAC Address	MAC address table: 32K
	Aging time configuration
	Support MAC address limits
Spanning Tree	Support 10K Static MAC address
	Support 256 black hole MAC address
	RSTP
LACP	Support 802.1ad link aggregation
	Maximum 16 trunk groups
	Maximum 16 ports per group
DHCP	Load balance based on S-MAC, D-MAC, S-IP, D-IP
	DHCP Client
VLAN	DHCP snooping
	VLAN ID: 1~4094
	2000 active VLANs
	Support 802.1q VLAN
	The ports support Access, Trunk and Hybrid mode
	Support PVID configuration
Support QinQ	
Support VLAN translation	

Specifications

Software Features	
Multicast	512 IGMP groups
	IGMPv1/v2 snooping
	IGMP fast leave
	IGMP snooping querier
QoS	Support 802.1p QoS
	4 priority queues
	Priority schedule mode: SP, WRR, SP+WRR
ACL	Support 4000 ACL rules
	Support basic ACL, advance ACL and link ACL
	Basic ACL: source IP
	Advance ACL: source IP, destination IP, source port, destination port, DSCP and IP message type
	Link ACL: source MAC, destination MAC, VLAN ID, Ethernet type
	Support 802.1p priority, VLAN ID, TOS, DSCP remark

Management & maintenance	Support CLI management
	Support EMS management based on SNMP
	Console port, Management port
	Inbound and outbound management
	Operation Status monitor
	3 levels account management
	Configuration backup and load
	Firmware upgrade through TFTP
Log management	
Real-time statistic	
OLT and ONT optical module diagnostics	

Características técnicas de la OLT TP-Link

1-Port Gigabit GPON ONT / TX-6610

Product Features

- Complies with ITU G.984.1, ITU G.984.2, ITU G.984.3 and ITU G.984.4 provides comprehensive GPON network compatibility
- Downstream rates of up to 2.488Gbps and upstream rates up to 1.244Gbps
- Fiber access and gigabit port provide incredibly fast transfer speeds
- Supports OMCI (ONT Management Control Interface) remote management



Specifications

Interface	GPON Standards	Button	Power Supply	Dimensions(W*D*H)
1 10/100/1000Mbps RJ45 Ports 1 SC/APC GPON Port	ITU-T G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4	1 Power On/Off Button 1 RESET Button	5VDC/0.5A	102.7 x 37.5 x 105.9mm
Security AES Encryption Packet Filter based on VLAN	IGMP IGMP v2/v3			

Características técnicas de la ONT TP-Link

7		ONU AC1200 WIFI*1 PUERTO GPON (SC/UPC)*4GE TX*2 POTS*4 ANTENAS EXTERNAS*CARCASA DE PLASTICO*DC12V/0,5A* MARCA: BDCOM INDUSTRIA: CHINA	1 UND	379,00
8		ONU N300 WIFI* 1 PUERTO GPON (SC/UPC)* GE TX*2 POTS*2 ANTENAS EXTERNAS*1 PUERTO RF*CARCASA DE PLASTICO*DC12V/0,5A* MARCA: V SOL INDUSTRIA: CHINA	1 UND	432,00
9		SWITCH S2528PB* 24 PUERTOS GIGA POE*4 PUERTOS SFP 100M/1000M*RJ45 PUERTO DE CONSOLA*VLAN* MARCA: BDCOM INDUSTRIA: CHINA	1 UND	2.627,00

Precio de ONT de la marca V SOL con salida RF

110	 UB-UF-OLT-4 	OLT GPON * 4 PUERTOS GPON SFP * 1 PUERTOS SFP+ * 1 ETH GIGABITS MANAGER * SOPORTA 512 ONU'S (128 POR GPON) * HASTA 20 KM POR GPON * RACKABLE		UND	12 MESES	Bs. 10.500
105	 UB-UF-LOCO	UPIBER LOCO*CFE GPON*WAN: SC/UP GPON * 1 ETH GIGABITS * THROUGHPUT 550Mbps * POE: 24V/0.3A(INCLUIDO) * COMPATIBLES CON OLT'S DE OTROS		UND	12 MESES	Bs. 550

Precio de OLT y ONT de la marca UBIQUITI

Importaciones Electronica Muruhuay S.R.L. R.U.C. N° 20172030611 CAL. PABLO BERMUDEZ NRO. 150 INTERIOR 10C Teléfonos : 426-6983 / 426-6432 / 426-3887					
COTIZACIÓN N° 01004638					
SEÑOR(ES) : ALANOCA LAURA VITO SANTOS DIRECCIÓN : CALLE ARTURO VALLE NRO. 3313 ZONA 16 DE JULIO - DESGUADERO - BOLIVIA - PUNO R.U.C. : 5472081 ATENCIÓN : VITO SANTOS ALANOCA LAURA		FECHA: 11/07/2020 TELÉFONO: CEDU: 5472061			
<i>Por medio de la presente, le hacemos llegar nuestra propuesta económica de acuerdo a lo solicitado :</i>					
CODIGO	DESCRIPCIÓN	U.M.	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
MZ1275-60V	EOC 1 MASTER, 1 ONU, 2TV RF, 2 TV+DATA 260 VOLTIOS 4254 /MIZU	UND	10.00	240.0000	2 400.00
MZ0452W2	EOC ESCLAVO CWFL 4FE (10/100 MBPS) AR 7411L CHIPSET / MZ0452W2/ MIZU	UND	100.00	39.5000	3 950.00
MZ0811S	OLT GPON 8 PON, 8 UPLINK SFP, 8 ETHERNET PORTS, 220V-48V / MIZU	UND	1.00	2 450.0000	2 450.00
MPFA-1550	F.O EDFA CAVDM 36DB (16SAL*210B)1540-1563NM(90-265V-48V) /MPFA/MIZU	UND	1.00	2 600.0000	2 600.00
MFT1550-E	F.O TRANSMISOR 1550 (28AL*100B)MODUL EXT 8BC13-18(90-265V-48V) /MFT1550/MIZU	UND	1.00	5 700.0000	5 700.00
MZDB0216A	FTTH CAJA DISTRIB. 2X16 SC/APC, OSPLITT.PLC 1X16 /MZDB0216A/F-16Q/ MIZU	UND	50.00	37.0000	1 850.00
MZDB0208R1	FTTH CAJA DISTRIB. 3X08 EXT. PSANG.C/SPLITT.PLC 1X8 /MZDB0208R1/F/ MIZU	UND	50.00	26.0000	1 300.00
MZPAN1A	FTTH CAJA TERMINAL INTERIOR, 2 PORT /MZPAN1A/ MIZU	UND	100.00	1.5000	150.00
MON-870-4S	F.O NODO LED EOC SR.JAGC4RF/870MHZ/26V /MON-870-4S.LED/MIZU	UND	10.00	240.0000	2 400.00
Precios expresados en DOLARES AMERICANOS e incluyen el I.G.V.				TOTAL : US\$ 22 800.00	
CONDICIONES COMERCIALES DE LA PROPUESTA :					
- Forma de pago : CONTADO - Propuesta económica es válida por 10 días. Sujeto a cambio de precios sin previo aviso y disponibilidad de stock. - Una vez verificado su depósito bancario, se procederá con el envío de la mercadería.					

Cotización de equipos GPON/FTTH realizado por la empresa Importaciones Electrónica Muruhuay S.R.L

SOLUCION GPON						
UFIBER OLT						
104	 UB-UF-SPLITTER-4 	UFIBER SPLITTER-4*DIVISOR OPTICO PLC 1X4 CON CONECTORES SC/APC *DISTINTOS NUMEROS DE CONECTORES DE SALIDA*LONGITUD DE ONDA 1260-1650 NM	 	UND	12 MESES	Bs. 120
104	 UB-UF-SPLITTER-8 	UFIBER SPLITTER-4*DIVISOR OPTICO PLC 1X8 CON CONECTORES SC/APC *DISTINTOS NUMEROS DE CONECTORES DE SALIDA*LONGITUD DE ONDA 1260-1650 NM*	 	UND	12 MESES	Bs. 150
104	 UB-UF-SPLITTER-16 	UFIBER SPLITTER-4*DIVISOR OPTICO PLC 1X16 CON CONECTORES SC/APC *DISTINTOS NUMEROS DE CONECTORES DE SALIDA*LONGITUD DE ONDA 1260-1650 NM*	 	UND	12 MESES	Bs. 280

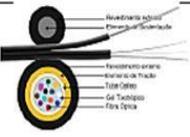
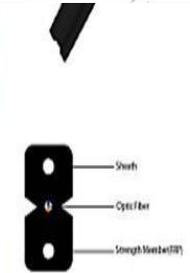
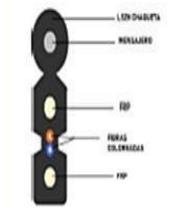
Precio de divisores ópticos (Splitters) marca UFIBER de 1:4/1:8/1:16

NP-LCAPC	NINGBO PIGTAIL LC APC, DE 1MT	NINGBO	15.00	
GPSC/APC	GRANDWAY PIGTAIL SC/APC, G657A1, 2MM, SM DE 5MT	GRANDWAY	27.00	
NSCSCAPCSYE2	NINGBO PATCH CORD SC-SC APC SIMPLEX MONOMODO DE 2 MT.	NINGBO	20.00	
NSCSCAPCSYE3	NINGBO PATCH CORD SC-SC APC SIMPLEX MONOMODO DE 3 MT.	NINGBO	25.00	
PC02MS7A	FH-NET PATCH CORD SC/APC, SM, SIMPLEX 2 MTS, G657A	FH-NET	63.00	
GSCPC-SCAPC	GRANDWAY PACTH CORD SC/PC-SC/APC, G657A1 SIMPLEX, SM DE 3MT	GRANDWAY	30.00	

Lista de precios de Pictail y Patchcords SC/APC monomodo

137	FSB-9063-2 dLux	MUFLA O CAJA DE EMPALMES RECTANGULAR *PARA EXTERIORES*3 ENTRADAS/3 SALIDAS*2 BANDEJAS PARA FUSION*DISEÑO ROBUSTO		6 MESES	Bs. 170,0
138	FSB-9063 dLux	MUFLA O CAJA DE EMPALME RECTANGULAR PARA EXTERIORES*3 ENTRADAS*3 SALIDAS* 1 BANDEJA (CASSETERA)*DISEÑO ROBUSTO*INCLUYE LLAVE Y VULCANIZANTE		6 MESES	Bs. 180,0
139	FSB-9062-2 dLux	MUFLA O CAJA DE EMPALMES RECTANGULAR *PARA EXTERIORES*4 ENTRADAS/4 SALIDAS*2 BANDEJAS PARA FUSION*DISEÑO ROBUSTO	 	6 MESES	 Bs. 260,0
140	FSB-9062 dLux	MUFLA O CAJA DE EMPALME RECTANGULAR * PARA EXTERIORES*4 ENTRADAS*4 SALIDAS*1 BANDEJA (CASSETERA)*DISEÑO ROBUSTO*INCLUYE LLAVE Y CINTA VULCANIZANTE		6 MESES	Bs. 269,0
141	FDP410D3 FiberHome	CAJA DE DISTRIBUCION DE FIBRA OPTICA FTTH (IP45) GPON* PERMITE MONTADO EN PARED O POSTE* CONFIG FLEXIBLE CON COMPONENTES INTERCAMBIABLES INTERVALO MEDIO Y RAMIFICACIÓN DIVISORES PREINSTALADOS 2PCS 1X8 O 1PC 1X16 IP65		12 MESES	Bs. 370,0

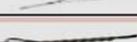
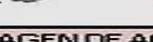
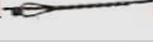
Lista de precios de NAPs y Muflas de empalme para GPON

ADSS-SM-24H-150	FIBRA OPTICA ADSS MONOMODO SM. DE 24 HILOS <ul style="list-style-type: none"> • SM. OS2 9/125 µm ADSS, G.652 • Span de hasta 150 Mts. • Doble recubrimiento 	EFON	17.00	
GYXTW-6B	NINGBO FIBRA OPTICA 6 HILOS MONOMODO (SM) <ul style="list-style-type: none"> • SM. 9/125 µm, G.652D • Cubierta metálica antiroedor • Diámetro externo del cable: 8mm ± 2mm 	NINGBO	10.00	
GYXTW-12B	NINGBO FIBRA OPTICA 12 HILOS MONOMODO (SM) <ul style="list-style-type: none"> • SM. 9/125 µm, G.652D • Cubierta metálica antiroedor • Diámetro externo del cable: 8mm ± 2mm 	NINGBO	15.00	
FO-SM-AS-UT-12F	NEXANS FIBRA OPTICA DROP DE 12 HILOS SM-AS-UT MONOMODO <ul style="list-style-type: none"> - Vano máximo de 80 mts. para tendido aéreo - Peso nominal: 36KGS/KM - Fuerza máxima de tracción: 1250N (127.46 kilogramo-fuerza) - Diámetro externo del cable: 6,0 mm 	NEXANS	6.50	
FO-SM-ASF8-12F	NEXANS FIBRA OPTICA DROP DE 12 HILOS SM-ASF8-12F MONOMODO CON MENSAJERO <ul style="list-style-type: none"> - Vano máximo de 80 mts. para tendido aéreo - Peso nominal: 45 ± 3 kg/km - Fuerza máxima de tracción: 1250N (127.46 kilogramo-fuerza) - Diámetro externo del cable: 5,30 ± 0,5 mm 	NEXANS	6.00	
NGJYXFCH-2B	NINGBO FO FTTH 2 HILOS G657A2 DROP CABLE CON MENSAJERO (1000MT) <ul style="list-style-type: none"> • SM. OS2 - FTTH - Con Mensajero • FTTH Tight Buffer DROP G.657A2 • Núcleo de 9/125 µm (micras) • Para las Longitudes de Onda (λ) 1310 nm 1550 nm 	NINGBO	1100.00	
GJXFH-2	FIBRA OPTICA, 2 HILOS MONOMODO, FTTH DROP G.657 - BOBINA DE 2000MTS SIN MENSAJERO <ul style="list-style-type: none"> • SM. OS2 - FTTH - Para Ductos Sin Mensajero • FTTH Tight Buffer DROP G.657 • Núcleo de 9/125 µm (micras) • Para las Longitudes de Onda (λ) 1310 nm 1550 nm 	NINGBO	2000.00	
GJXFH-4	FIBRA OPTICA MONOMODO (SM) 4 HILOS <ul style="list-style-type: none"> • SM. OS2 - FTTH - Para Ductos Sin Mensajero • FTTH Tight Buffer DROP G.657 • Núcleo de 9/125 µm (micras) • Para las Longitudes de Onda (λ) 1310 nm 1550 nm STOCK LIMITADO	NINGBO	2.00	

Lista de precios de cables de fibra óptica ADSS y Drop

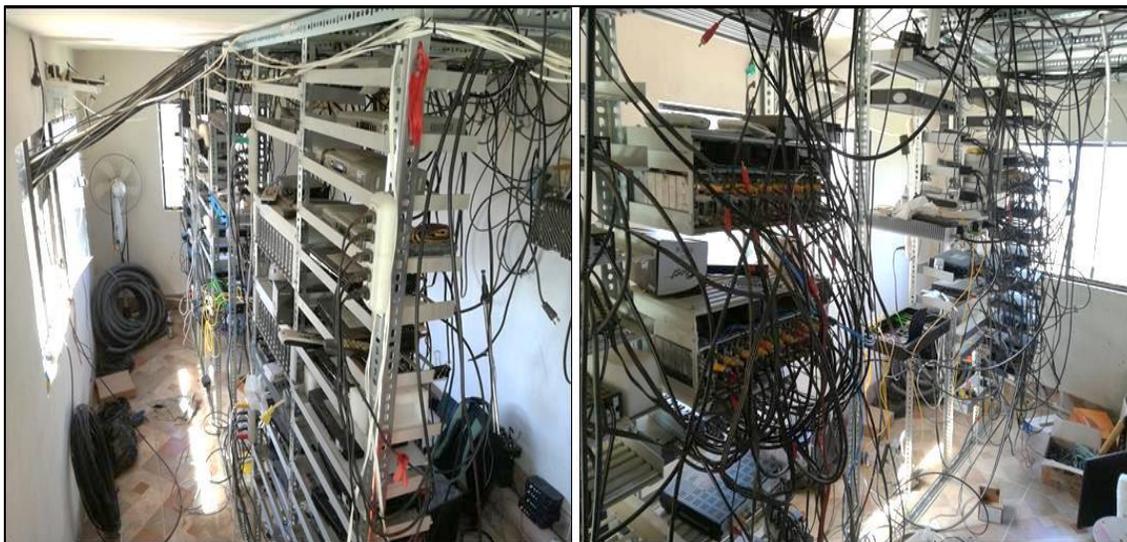
S07XXX00	BANDEJA MOVIL PARA FIBRA OPTICA "ODF" <ul style="list-style-type: none"> • 12 Puertos Duplex SC • Estructura de metal IP 20 • Alto 1U, Rackeable de 19" • Panel deslizable vacía sin acopladores 	FIBREFAB	600.00	
S09XXX00	BANDEJA MOVIL PARA FIBRA OPTICA "ODF" <ul style="list-style-type: none"> • 24 Puertos Duplex SC • Estructura de metal IP 20 • Alto 1U, Rackeable de 19" • Panel deslizable vacía sin acopladores 	FIBREFAB	600.00	
S03XXX00	BANDEJA MOVIL PARA FIBRA OPTICA "ODF" <ul style="list-style-type: none"> • 24 Puertos Simplex SC • Estructura de metal IP 20 • Alto 1U, Rackeable de 19" • Panel deslizable vacía sin acopladores 	FIBREFAB	600.00	

Lista de precios de bandejas ópticas de 24 y 48 hilos (ODF)

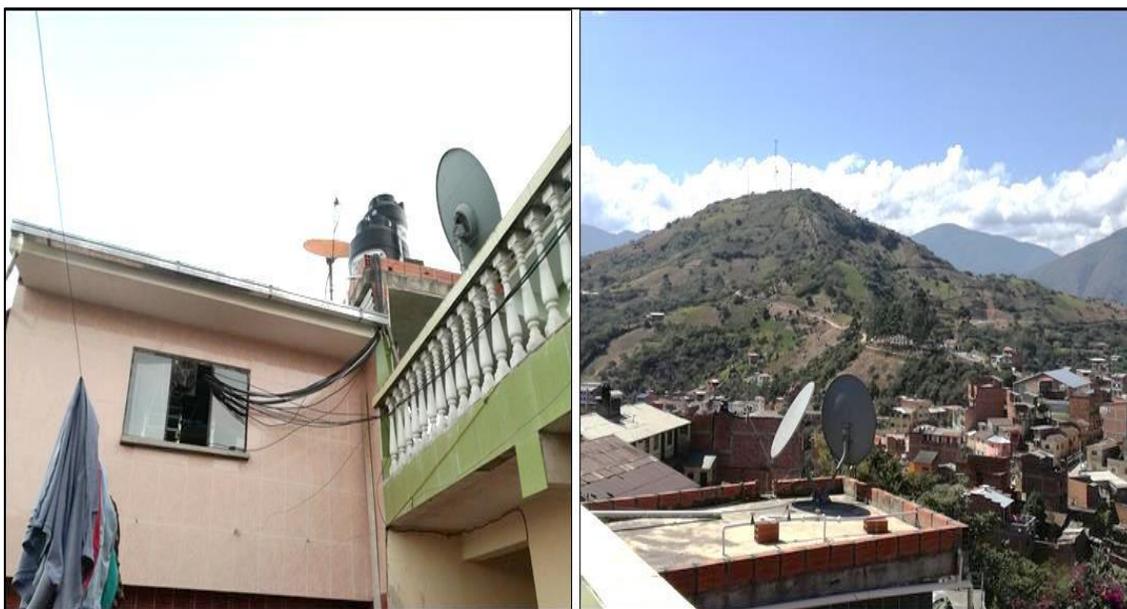
FERRETERÍA DUPLO		185 Bs	
ITEM	CANTIDAD	DETALLE	IMAGEN DE ACCESORIO
1	1	CINTURON BAP	
2	2	ANCORAGE M	
3	2	GUARDACA VO	
4	2	MALLAS ADSS	
FERRETERÍA PASO		46 bs	
ITEM	CANTIDAD	DETALLE	IMAGEN DE ACCESORIO
1	1	CINTURON BAP DE 0.30M	
2	1	CAJA DIELECTRICA	
FERRETERÍA JUEGO DE CRUCETA		125 Bs	
ITEM	CANTIDAD	DETALLE	IMAGEN DE ACCESORIO
1	1	CINTURON BAP	
2	1	ANCORAGE M	
3	1	Cruceta Reserva FO	
FERRETERÍA TERMINAL		96 Bs	
ITEM	CANTIDAD	DETALLE	IMAGEN DE ACCESORIO
1	1	CINTURON BAP	
2	1	ANCORAGE M	
4	1	MALLAS ADSS	
PRECIOS SIN FACTURA			

Proforma de cotización de herrajería de sujeción y paso.

ANEXO 4: FOTOGRAFIAS DE LA CABECERA CATV, POSTACION Y ZONAS PARA EL DESPLIEGUE DEL PROYECTO GPON/FTTH PARA LA EMPRESA TELECOMUNICACIONES YUNGUEÑA EN LA LOCALIDAD DE CORIPATA



Cabecera de Red CATV de la empresa Telecomunicaciones Yungueña



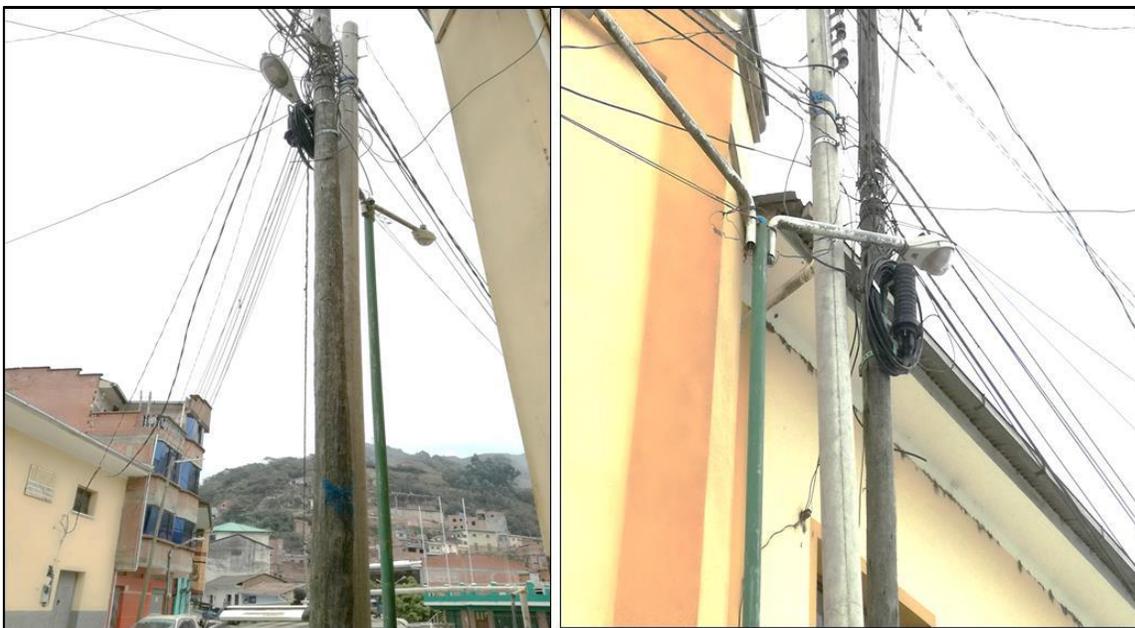
Banco de antenas para recepción de la grilla de 40 canales de la empresa Telecomunicaciones Yungueña.



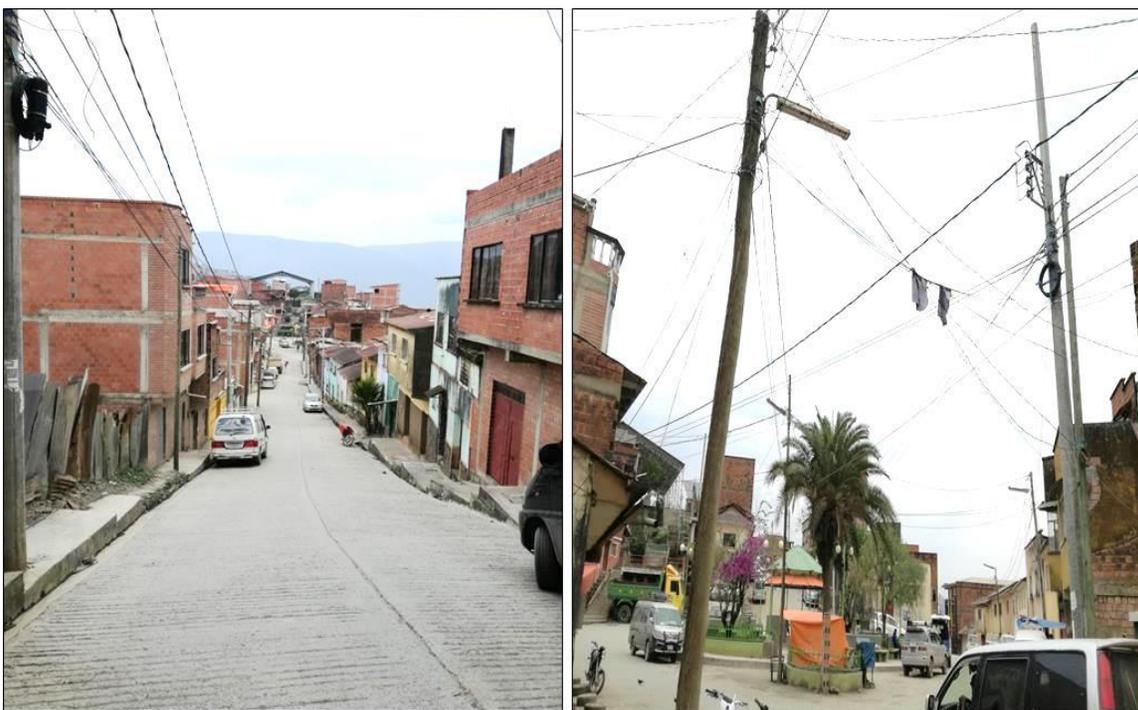
Ubicación de la cabecera y oficinas de la empresa Telecomunicaciones Yungueña (Ingreso a la Localidad de Coripata)



Paso de cable óptico y ubicación de mufla de empalme en la localidad de Coripata perteneciente a la empresa TELECEL (TIGO).



Paso de cable óptico y ubicación de mufla de empalme en la localidad de Coripata perteneciente a la empresa ENTEL S.A.



Postación en algunas calles de la zona de Coripata



Plaza Principal de la zona de Coripata, donde se ubica dos entidades financieras como el Banco FIE y PRODEM, además de varios negocios.



Zona y calle de Chillamani



Calle y toma de la zona de Anacuri



Calles de la zona Santa Bárbara



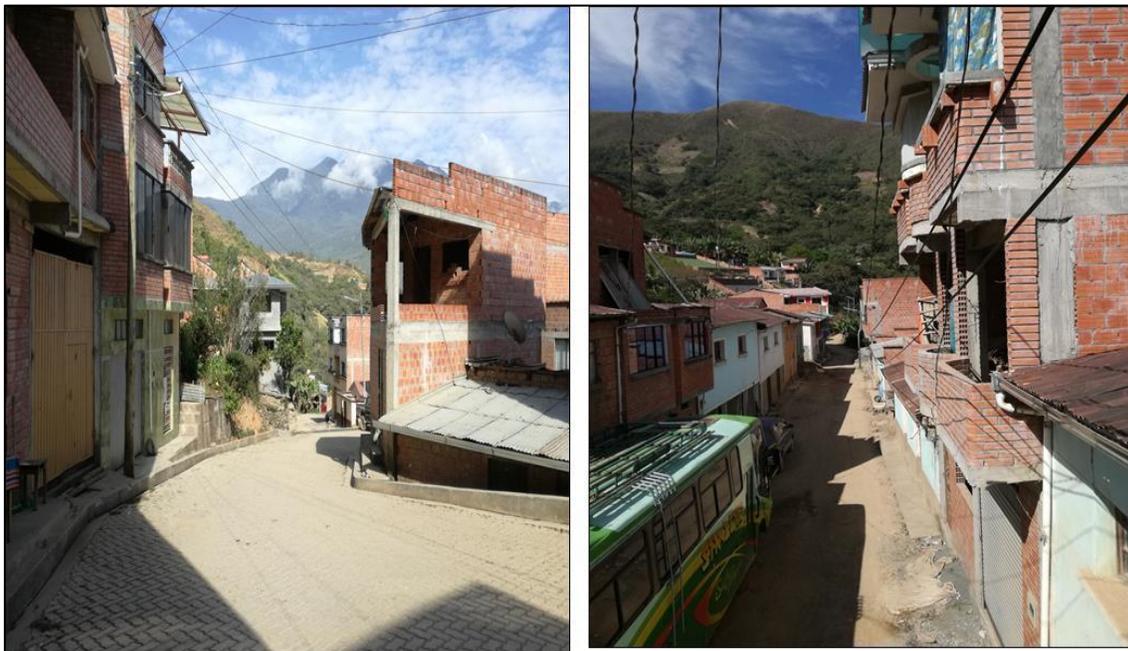
Calles y Plaza Principal de la zona de Coscoma



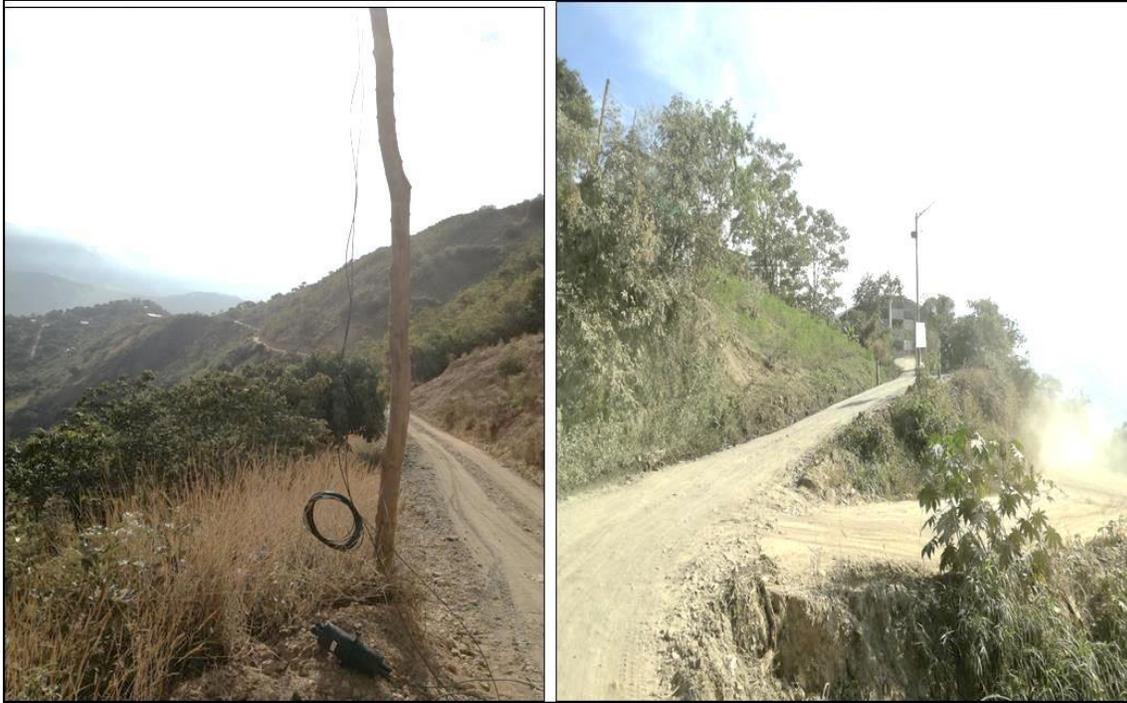
Calles de la zona de Coscoma



Calle y Plaza Principal de la zona Santa Gertrudis



Calles de la zona de Santa Gertrudis



Carretera Coripata – Santa Gertrudis



Carretera Coripata – Coscoma

Correo electrónico: rykbran@gmail.com – rykbran@hotmail.com

Celular: 73739314