

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**PROYECTO DE GRADO**

**DISEÑO DE UNA RED FTTH REDUNDANTE CON TECNOLOGÍA GPON PARA  
PROVEER SERVICIOS DE VOZ, VIDEO Y DATOS EN LAS LOCALIDADES DE  
ETERAZAMA Y VILLA 14 DE SEPTIEMBRE**

**AUTOR: ALEX BEIMAR DIAZ MEJILLONES**  
**TUTOR: ING. VICTOR LAREDO ANTEZANA**

**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**

*“A mis queridos padres Paulina y Francisco, por confiar en mi en todo momento, apoyarme incondicionalmente y hacer posible que pueda dar este paso tan importante en mi vida”.*

### **Agradecimientos**

*A Dios, por darme la oportunidad de poder vivir esta bonita experiencia en mi vida*

*A mi familia, por todo su apoyo incondicional en mi formación académica, a Ivonne por impulsarme a terminar la carrera.*

*A la Universidad, por haberme permitido adquirir conocimientos valiosos y brindarme experiencias hermosas en sus aulas y laboratorios.*

*A mi tutor Ing. Laredo, por guiarme pacientemente en la elaboración del proyecto, transmitiéndome sus experiencias y por brindarme sobre todo su amistad.*

## **RESUMEN**

El presente proyecto de grado estudia el diseño de una red FTTH (Fiber To The Home, Fibra hasta el hogar) utilizando tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network, Red óptica pasiva Gigabit), tecnología establecida bajo las recomendaciones de la UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector de Normalización de las Telecomunicaciones), para la provisión de servicios de voz, video y datos de manera simultánea y mediante el mismo medio de transmisión, permitiendo la restitución inmediata de la red, producto de cortes de fibra accidentales, esta restitución es posible debido a la configuración en topología anillo, al protocolo de restitución y a los planos esquemáticos de longitudes y fusiones ópticas, elaborados en base a la georreferenciación de las trayectorias y puntos de acceso a la red en las localidades de Eterazama y Villa 14 de Septiembre.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Análisis del objeto de estudio.....	4
1.3 Identificación y formulación del problema de investigación.....	5
1.4 Propuesta de la solución.....	6
1.5 Objetivos .....	7
1.5.1 Objetivo General .....	7
1.5.2 Objetivos Específicos .....	7
1.6 Justificación .....	8
1.6.1 Justificación Académica .....	8
1.6.2 Justificación Social .....	8
1.7 Alcances y Límites .....	9
<b>CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1 Fibra óptica .....	10
2.1.1 Composición de la fibra óptica .....	10
2.1.2 Clasificación según el modo de propagación .....	12
2.1.3 Clasificación según su estructura.....	17
2.1.4 Clasificación según la composición de material .....	19
2.2 Redes FTTx .....	21
2.3 Arquitecturas de las redes FTTx.....	21
2.3.1 FTTN .....	22
2.3.2 FTTC .....	22
2.3.3 FTTB .....	22

2.3.4 FTTH .....	23
2.4 Configuraciones de las redes FTTH.....	23
2.4.1 Punto a punto .....	23
2.4.2 Punto a multipunto .....	24
2.5 Redes ópticas pasivas .....	26
2.6 Tecnología de las redes ópticas pasivas .....	26
2.6.1 Tecnología APON .....	26
2.6.2 Tecnología BPON .....	27
2.6.3 Tecnología EPON .....	28
2.6.4 Tecnología GPON .....	28
2.7 Elementos de las redes FTTH/GPON .....	29
2.7.1 Elementos Activos.....	29
2.7.2 Elementos Pasivos.....	34
2.7.3 Elementos de sujeción en planta externa.....	41
2.8 Red de acceso FTTH/GPON .....	43
2.8.1 Red de alimentación.....	43
2.8.2 Red de distribución.....	44
2.8.3 Red de dispersión .....	44
2.9 Descripción del funcionamiento de GPON .....	44
2.9.1 Canal descendente .....	44
2.9.2 Canal ascendente .....	46
2.10 Recomendaciones para GPON UIT-T G.984.x .....	47
2.10.1 UIT-T G.984.1 (03/2008).....	47
2.10.2 UIT-T G.984.2 (08/2019).....	48

2.10.3 UIT-T G.984.3 (01/2014) .....	49
2.10.4 UIT-T G.984.4 (02/2008) .....	50
2.10.5 UIT-T G.984.5 (05/2014) .....	50
2.10.6 UIT-T G.984.6 (03/2008) .....	50
2.10.7 UIT-T G.984.7 (07/2010) .....	50
2.11 Presupuesto óptico y atenuación en GPON .....	51
2.11.1 Presupuesto óptico en GPON .....	51
2.11.2 Atenuación en GPON .....	51
2.12 Ventajas e inconvenientes de las redes GPON .....	53
2.12.1 Ventajas de las redes GPON .....	53
2.12.2 Inconvenientes en las redes GPON .....	54
<b>CAPÍTULO III. DISEÑO DEL PROYECTO .....</b>	<b>56</b>
3.1 Configuración de la red FTTH .....	56
3.2 Especificación de requerimientos de la red FTTH .....	57
3.2.1 Requerimientos generales .....	57
3.2.2 Atributos funcionales de los requerimientos .....	58
3.3 Delimitación de cobertura de la red FTTH .....	62
3.4 Demanda de usuarios potenciales de la red FTTH .....	64
3.4.1 Demanda actual .....	65
3.4.2 Demanda proyectada .....	65
3.5 Tráfico en la red FTTH .....	66
3.5.1 Proveedores de servicios .....	66
3.5.2 Ancho de banda disponible por usuario .....	68
3.5.3 Ancho de banda requerido por la red .....	71

3.6 Equipos de la red FTTH .....	71
3.6.1 OLT .....	71
3.6.2 ONT .....	76
3.6.3 STB .....	78
3.6.4 Divisores ópticos .....	80
3.6.5 Conectores .....	81
3.6.6 Fibra óptica .....	82
3.7 Cabecera de la red FTTH .....	83
3.7.1 Ubicación geográfica de la cabecera .....	83
3.7.2 Diagrama de bloques de la cabecera .....	84
3.7.3 Salas de la cabecera .....	85
3.8 Despliegue de la red FTTH .....	87
3.8.1 Red de alimentación .....	88
3.8.2 Red de distribución .....	91
3.8.3 Red de dispersión .....	98
3.9 Plano esquemático de longitudes ópticas de la red FTTH .....	100
3.10 Plano esquemático de fusiones de la red FTTH .....	109
3.11 Atenuación y presupuesto óptico de la red FTTH .....	126
3.11.1 Cálculo de atenuación .....	126
3.11.2 Presupuesto óptico .....	129
3.12 Protocolo de restitución de la red FTTH .....	130
<b>CAPÍTULO IV. Factibilidad económica de la red FTTH</b> ¡Error! Marcador no definido.	
4.1 Consideraciones en etapa de diseño .....	135
4.2 Costos de inversión .....	135

4.2.1 Equipos y materiales .....	136
4.2.2 Costo de equipos y materiales .....	137
4.2.3 Costo de mano de obra.....	139
4.2.4 Costo total de inversión.....	140
4.3 Costos de operación .....	141
4.3.1 Recursos humanos .....	141
4.3.2 Costos totales de operación.....	142
4.4 Ingresos .....	143
4.4.1 Ingresos mensuales y anuales.....	143
4.4.2 Ingresos anuales tomando en cuenta gastos de operación .....	147
4.4.3 Ingresos netos anuales .....	147
4.5 Cálculos del VAN y TIR.....	148
4.5.1 Valor Actual Neto (VAN).....	148
4.5.2 Tasa interna de retorno (TIR).....	149
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>151</b>
5.1 Conclusiones.....	151
5.2 Recomendaciones .....	152
<b>Bibliografía.....</b>	<b>153</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>156</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I-1 Ubicación de Eterazama y Villa 14 de Septiembre. ....	5
Figura I-2 Diagrama de bloques del diseño de la red FTTH redundante.....	7
Figura II-1 Composición de la fibra óptica. ....	11
Figura II-2 Sección de fibra óptica multimodo. ....	12
Figura II-3 Fibra óptica multimodo de índice escalonado. ....	14
Figura II-4 Fibra óptica multimodo de índice gradual ....	15
Figura II-5 Sección de fibra óptica monomodo ....	16
Figura II-6 Fibra óptica monomodo ....	17
Figura II-7 Cable de estructura holgada. ....	18
Figura II-8 Cable de estructura ajustada. ....	19
Figura II-9 Arquitecturas de las redes FTTx. ....	21
Figura II-10 Configuración punto a punto. ....	24
Figura II-11 Configuración punto a multipunto.....	24
Figura II-12 Topología del tipo árbol.....	25
Figura II-13 Topología del tipo anillo. ....	26
Figura II-14 OLT. ....	31
Figura II-15 ONT. ....	33
Figura II-16 STB. ....	33
Figura II-17 Funcionamiento genérico de un divisor óptico. ....	34
Figura II-18 Tipos de conectores ópticos. ....	36
Figura II-19 Tipos de pulidos del conector. ....	37
Figura II-20 Acoplador óptico. ....	37

Figura II-21 Cable de conexión óptico.....	38
Figura II-22 Roseta óptica. ....	38
Figura II-23 Distribuidor óptico. ....	39
Figura II-24 Punto de acceso a la red. ....	40
Figura II-25 Caja de empalme o mufla. ....	40
Figura II-26 Duplo.....	41
Figura II-27 Terminal. ....	42
Figura II-28 Paso.....	42
Figura II-29 Cruceta. ....	43
Figura II-30 Red de acceso FTTH/GPON. ....	43
Figura II-31 Canal descendente. ....	45
Figura II-32 Canal ascendente. ....	46
Figura II-33 Configuración dúplex GPON Tipo A.....	48
Figura II-34 Configuración dúplex GPON Tipo B.....	48
Figura II-35 Factores en el cálculo de atenuación en GPON. ....	52
Figura III-1 Arquitectura general de la configuración de la red FTTH.....	57
Figura III-2 Cobertura para la Localidad de Eterazama.....	63
Figura III-3 Cobertura para la Localidad de Villa 14 de Septiembre. ....	64
Figura III-4 Proveedores de servicios.....	67
Figura III-5 OLT EA5800-X7 Huawei.....	74
Figura III-6 Tarjeta de servicio GPSF. ....	76
Figura III-7 ONT Huawei Echolife EG8247W. ....	78
Figura III-8 STB AminoVU Kamai 7B. ....	80
Figura III-9 Divisor óptico Furukawa 1:16.....	81

Figura III-10 Conector SC/APC Furukawa. ....	82
Figura III-11 Cable drop de una fibra Furukawa. ....	83
Figura III-12 Diagrama de bloques cabecera de la red FTTH. ....	85
Figura III-13 Salas de la cabecera GPON. ....	86
Figura III-14 Gabinete para exteriores para la OLT EA5800-x7+ODF. ....	86
Figura III-15 Red de alimentación Eterazama. ....	89
Figura III-16 Red de alimentación Villa 14 de Septiembre. ....	90
Figura III-17 Ubicación de las NAP en Eterazama. ....	92
Figura III-18 Ubicación de las NAP en Villa 14 de Septiembre. ....	92
Figura III-19 Anillo 1 de Eterazama. ....	93
Figura III-20 Anillo 2 de Eterazama. ....	94
Figura III-21 Anillo 3 de Eterazama. ....	94
Figura III-22 Anillo 1 de Villa 14 de Septiembre. ....	95
Figura III-23 Anillo 2 de Villa 14 de Septiembre. ....	95
Figura III-24 Anillo 3 de Villa 14 de Septiembre. ....	96
Figura III-25 Configuraciones de las NAP primarias y secundarias. ....	97
Figura III-26 Red de dispersión. ....	99
Figura III-27 Radio de cobertura NAP 39A. ....	99
Figura III-28 Esq. de longitudes ópticas anillo 1, Eterazama. ....	101
Figura III-29 Esq. de longitudes ópticas anillo 2, Eterazama. ....	104
Figura III-30 Esq. de longitudes ópticas anillo 3, Eterazama. ....	105
Figura III-31 Esq. de longitudes ópticas anillo 1, Villa 14 de Septiembre. ....	106
Figura III-32 Esq. de longitudes ópticas anillo 2, Villa 14 de Septiembre. ....	107
Figura III-33 Esq. de longitudes ópticas anillo 3, Villa 14 de Septiembre. ....	108

Figura III-34 Plano esquemático de fusiones anillo 3 Eterazama.....	109
Figura III-35 ODF de 120 puertos.....	110
Figura III-36 Código de colores 120 FO. ....	111
Figura III-37 Código de colores 24 FO. ....	112
Figura III-38 Asignación de hilos de FO para cada anillo. ....	113
Figura III-39 Empalmes por fusión de la NAP 37A.....	114
Figura III-40 Empalmes por fusión de la NAP 37B y 38A.....	115
Figura III-41 Empalmes por fusión de la NAP 38B.....	116
Figura III-42 Empalmes por fusión de la NAP 38C y 38D. ....	117
Figura III-43 Empalmes por fusión de la NAP 39A y 40A.....	118
Figura III-44 Empalmes por fusión de la NAP 40B.....	119
Figura III-45 Empalmes por fusión de la NAP 40C.....	120
Figura III-46 Empalmes por fusión de la NAP 41A.....	121
Figura III-47 Empalmes por fusión de la NAP 41B.....	122
Figura III-48 Empalmes por fusión de la NAP 42B.....	123
Figura III-49 Empalmes por fusión de la NAP 43A.....	124
Figura III-50 Empalmes por fusión de la NAP 43B.....	125
Figura III-51 Empalmes por fusión de la NAP 43C y 43D. ....	126
Figura III-52 Asignación de puertos GPON.....	132
Figura III-53 Formulario de registro de fallas y restitución de la red.....	134

## INDICE DE TABLAS

Tabla III-1 Requerimientos generales .....	58
Tabla III-2 Dimensionamiento de la red FTTH.....	58
Tabla III-3 Requisitos de la red FTTH .....	59
Tabla III-4 Distribución de la red FTTH .....	60
Tabla III-5 Verificación de la red FTTH.....	62
Tabla III-6 Restitución de la red FTTH .....	62
Tabla III-7 Demanda actual de clientes. ....	65
Tabla III-8 Demanda proyectada en 5 años. ....	66
Tabla III-9 Ancho de banda requerido por usuario para VoIP e IPTV .....	70
Tabla III-10 Ancho de banda requerido por la red .....	71
Tabla III-11 Especificaciones OLT Huawei.....	72
Tabla III-12 Tarjetas de servicios OLT EA5800.....	75
Tabla III-13 Especificaciones ONT Huawei serie EchoLife. ....	76
Tabla III-14 Especificaciones STB AminoVU Kamai. ....	79
Tabla III-15 Especificaciones técnicas divisores ópticos Furukawa. ....	80
Tabla III-16 Especificaciones técnicas de conectores SC/APC Furukawa. ....	81
Tabla III-17 Especificaciones técnicas fibra óptica Furukawa. ....	82
Tabla III-18 Coordenadas geográficas de las cabeceras GPON.....	84
Tabla III-19 Atenuaciones en la red de acceso. ....	87
Tabla III-20 Coordenadas geográficas del CEAD.....	89
Tabla III-21 Longitud de la red de alimentación.....	90
Tabla III-22 Codificación de las NAP.....	97

Tabla III-23 Reservas de FO en la red. ....	100
Tabla III-24 Longitudes ópticas anillo 1 de Eterazama. ....	101
Tabla III-25 Distancias a NAP primarias anillo 1 Eterazama. ....	103
Tabla III-26 NAP más distantes anillo 1 Eterazama .....	103
Tabla III-27 NAP más distantes anillo 2 Eterazama .....	104
Tabla III-28 NAP más distantes anillo 3 Eterazama .....	105
Tabla III-29 NAP más distantes anillo 1 Villa 14 de Septiembre.....	106
Tabla III-30 NAP más distantes anillo 2 Villa 14 de Septiembre.....	107
Tabla III-31 NAP más distantes anillo 3 Villa 14 de Septiembre.....	108
Tabla III-32 NAP más distantes ODN Eterazama.....	127
Tabla III-33 NAP más distantes ODN Villa 14 de Septiembre.....	127
Tabla III-34 Distancia más lejana OLT-ONT.....	128
Tabla III-35 Atenuación total de la ODN Eterazama.....	128
Tabla III-36 Atenuación total de la ODN Villa 14 de Septiembre.....	128
Tabla III-37 Atenuación y margen de seguridad por ODN.....	129
Tabla IV-1 Equipos y materiales.....	136
Tabla IV-2 Costo de equipos y materiales ODN Eterazama .....	137
Tabla IV-3 Costo de equipos y materiales ODN Villa 14 de Septiembre .....	138
Tabla IV-4 Costo de mano de obra ODN Eterazama .....	139
Tabla IV-5 Costo de mano de obra ODN Villa 14 de Septiembre.....	140
Tabla IV-6 Costo total de inversión ODN Eterazama. ....	141
Tabla IV-7 Costo total de inversión ODN Villa 14 de Septiembre.....	141
Tabla IV-8 Costo Recursos Humanos por mes. ....	142
Tabla IV-9 Costos totales de operación ODN Eterazama. ....	142

Tabla IV-10 Costos totales de operación ODN Villa 14 de Septiembre.....	143
Tabla IV-11 Año 1 ODN Eterazama .....	143
Tabla IV-12 Año 2 ODN Eterazama .....	144
Tabla IV-13 Año 3 ODN Eterazama .....	144
Tabla IV-14 Año 4 ODN Eterazama .....	144
Tabla IV-15 Año 5 ODN Eterazama .....	145
Tabla IV-16 Año 1 ODN Villa 14 de Septiembre.....	145
Tabla IV-17 Año 2 ODN Villa 14 de Septiembre.....	145
Tabla IV-18 Año 3 ODN Villa 14 de Septiembre.....	146
Tabla IV-19 Año 4 ODN Villa 14 de Septiembre.....	146
Tabla IV-20 Año 5 ODN Villa 14 de Septiembre.....	146
Tabla IV-21 Ingresos anuales tomando en cuenta gastos de operación ODN Eterazama.....	147
Tabla IV-22 Ingresos anuales tomando en cuenta gastos de operación ODN Villa 14 de Septiembre.....	147
Tabla IV-23 Ingresos netos anuales ODN Eterazama.....	147
Tabla IV-24 Ingresos netos anuales ODN Villa 14 de Septiembre.....	147
Tabla IV-25 Calculo del VAN.....	149
Tabla IV-26 Calculo del TIR .....	150

**ANEXOS**

Anexo A Ficha Resumen Censo Población y Vivienda 2012 de las localidades de Eterazama y Villa 14 de Septiembre. .... 157

Anexo B Planos esquemáticos de fusiones ópticas de las ODN de Eterazama y Villa 14 de Septiembre. .... 162

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

Se vive en una sociedad que progresa diariamente, debido al avance de la tecnología que va a pasos agigantados y de manera paralela evolucionan las telecomunicaciones, que pasaron de establecer una simple conversación vía telefónica entre dos personas a una conferencia en la que se incluye video. Actualmente se debería acceder a las telecomunicaciones desde cualquier sitio del planeta e intercambiar información en cuestión de segundos.

La necesidad de brindar una mayor cantidad de información en el menor tiempo posible, como también, que la provisión de los servicios de telefonía, televisión e internet se lo realicen a través de la misma red, requiere de una nueva tecnología en el medio de transmisión, esto se debe a que las redes de cobre no soportan la transmisión simultánea de los servicios mencionados por su reducido ancho de banda, de esta manera es que nace la fibra óptica, la cual garantiza una transmisión de datos con mayor velocidad, de forma segura y con excelente calidad.

Por tal motivo, en la actualidad se están implementando las redes de acceso mediante el uso de la fibra óptica, conocidas bajo el nombre de redes FTTH (fibra hasta el hogar), que utilizando la tecnología GPON (red óptica pasiva gigabit), permiten la comercialización de servicios de banda ancha.

Las redes FTTH son construidas en su mayoría de manera aérea, al estar expuestas son afectadas por diferentes accidentes, los cuales cortan la fibra óptica ocasionando la interrupción de los servicios brindados, perjudicando y generando molestias en una gran cantidad de usuarios.

La necesidad del restablecimiento de la red de manera inmediata, advierte el diseño de redes que admitan llegar a los puntos de acceso por rutas diferentes, permitiendo cambiar a la ruta de respaldo en el caso de tener algún incidente en la ruta principal, estas redes son conocidas como redundantes. Por lo mencionado anteriormente el presente proyecto es objeto del diseño de una red FTTH redundante con tecnología GPON.

### **1.1 Antecedentes**

En las investigaciones realizadas no se encontraron proyectos similares en el ámbito local, por lo que se toma como referencia proyectos a nivel nacional e internacional, comprobando la existencia de estudios en el diseño de redes de fibra óptica usando tecnología GPON debido a su eficiencia, estas investigaciones son la base para el desarrollo del proyecto planteado.

En el ámbito nacional:

En el año 2019, en la ciudad de La Paz - Bolivia, se presentó el proyecto de grado “Diseño de una red GPON para proveer los servicios de datos e internet. Aplicación: Provisión de servicios a las localidades de Irupana, Chulumani, Chicaloma y lindantes”, por el autor Miguel Ángel Barra Quispe. El proyecto mencionado desea, mediante una red FTTx aplicando tecnología GPON, permitir el desarrollo de la región e integración a la globalización de las comunicaciones, está diseñado para convivir con tecnologías basadas en cobre, adoptando una combinación de topologías del tipo árbol y estrella, dispone de dos hilos de fibra en la red principal para brindar mayor seguridad en caso

de falla y haciendo un análisis de costos del sistema, se encontró la factibilidad del proyecto debido a que genera ingresos en una proyección de cinco años.

En el ámbito internacional:

En el año 2017, en la ciudad de Puno - Perú, se presentó la tesis “Diseño de una red de acceso FTTH utilizando el estándar GPON para la empresa Amitel S.A.C.”, por el autor José Pio Chayña Burgos. El diseño de esta red, considera al 30% de 1500 casas como posibles abonados, debido a la existencia de otros 4 operadores de telecomunicaciones, es desplegada en una topología del tipo árbol, para una mejor confiabilidad en la red de alimentación y distribución dispone del doble de hilos de fibra a la requerida, georeferenciando la trayectoria como los puntos de accesos a la red, cabe hacer notar que los divisores ópticos primarios son instalados en mufas.

En el año 2017, en la ciudad de Guayaquil - Ecuador, se presentó el trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de magíster en telecomunicaciones “Diseño y cuantificación para el despliegue de una red de planta externa mediante la tecnología GPON - FTTH para brindar servicios triple play en la ciudadela Huancavelica Norte”, por el autor Ritler Javier Salvatierra Zambrano. El proyecto mencionado pretende unificar la provisión de servicios de telefonía, televisión e internet, la topología del diseño de la red es del tipo árbol, con una georreferenciación macro de las rutas y puntos de acceso a la misma, haciendo un presupuesto detallado del costo del proyecto.

En el año 2017, en la ciudad de Madrid - España, se presentó el proyecto fin de carrera “Despliegue red fibra óptica hasta el hogar (FTTH)”, por el autor Javier Velasco de

Miguel. El proyecto que presenta es un piloto de una pequeña zona, sobre el que se ha intentado dar una visión general de lo que supone realizar un despliegue de una red FTTH, a través de una topología del tipo árbol, presentando criterios y características de elementos utilizados, así como la ejecución de un replanteo en campo, de esta manera obtener un diseño que pueda brindar un servicio de forma más eficiente, traza la ruta y puntos de acceso a la red, haciendo un presupuesto total de costos del proyecto.

A diferencia de los proyectos mencionados, para mejorar la confiabilidad de la red, el presente proyecto realizará el diseño de la red FTTH con redundancia, tomando rutas diferentes, como también se realizará la elaboración de los planos esquemáticos de longitudes y fusiones ópticas, que permitirán una rápida localización de fallas en la red.

## **1.2 Análisis del objeto de estudio**

Es común que la tecnología de punta llegue primero a las ciudades grandes e importantes, pero con el paso del tiempo muchas veces se deja de lado a localidades relativamente pequeñas y Bolivia no es la excepción.

Este es el caso del trópico Cochabambino, concretamente en las localidades de Eterazama y Villa 14 de Septiembre para las que se realizará el diseño de la red, estas localidades se encuentran aproximadamente a 190 y 182 Km de la ciudad de Cochabamba respectivamente.

Las localidades de Eterazama y Villa 14 de Septiembre pertenecen al municipio de Villa Tunari, este municipio está ubicado en la provincia Chapare correspondiente al departamento de Cochabamba - Bolivia.

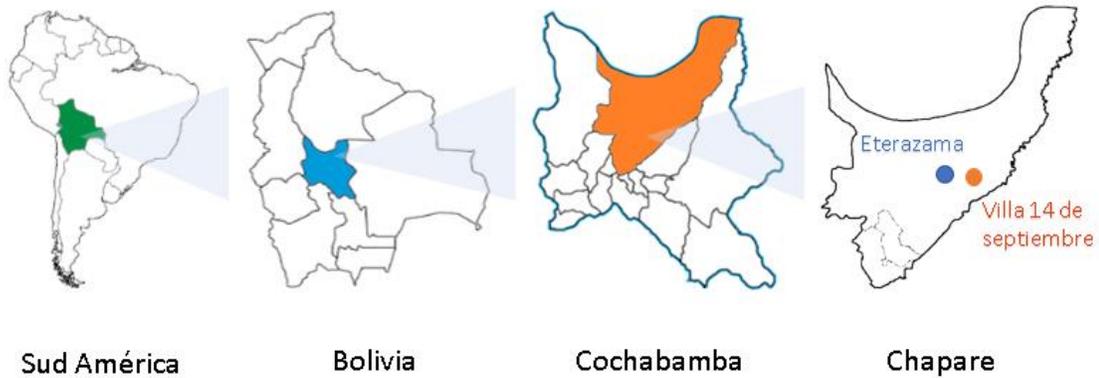


Figura I-1 Ubicación de Eterazama y Villa 14 de Septiembre.

Fuente: Elaboración Propia.

### 1.3 Identificación y formulación del problema de investigación

Actualmente en las localidades de Eterazama y Villa 14 de Septiembre, los habitantes acceden al servicio de telefonía fija mediante redes de cobre que son transportadas a sus nodos a través de radioenlaces, el servicio de internet es ofrecido por empresas tercerizadas que alquilan el servicio de un proveedor legalmente establecido, estas empresas llegan a los usuarios mediante radioenlaces punto a multipunto, obviamente al acceder al servicio de internet por terceros el costo aumenta, reduce la seguridad y confiabilidad, en cuanto al servicio de televisión es ofrecido de manera satelital, quedando fuera de servicio por varias horas por efectos climatológicos, hay que tener en cuenta que estas localidades cuentan con un canal de televisión en señal abierta.

En resumen, estas localidades carecen de un buen servicio de voz, como también de grandes velocidades en la transmisión de datos acorde al requerimiento de las aplicaciones actuales y confiabilidad en el servicio de televisión, es decir, que esté libre de interferencias, a la vez estas localidades requieren la convergencia de estos servicios, lo que significa que sean provistos mediante un mismo medio de transmisión.

También, hay que tomar en cuenta que los cortes accidentales en la red principal, interrumpen la provisión de los servicios siguientes a dicho evento, la demora en su restablecimiento ocasiona molestia en los usuarios y en muchos casos derivan a que el cliente cambie de operador de telecomunicaciones, debido a la falta de una red confiable, tolerante a las fallas, la cual advierta un procedimiento de restitución inmediata de este tipo de interrupciones o fallas.

Por lo expuesto anteriormente, surgen las interrogantes:

- ¿Cómo será posible la prestación de servicios de voz, video y datos, a grandes velocidades de transmisión, buena calidad y libre de interferencias a través de un mismo medio de transmisión?
- ¿De qué manera debe ser el diseño de la red de acceso, que permita la restitución de los servicios prestados de manera inmediata, ante daño o falla en la misma, para evitar perjudicar a los usuarios?

#### **1.4 Propuesta de la solución**

Ante la carencia de un buen servicio de telefonía fija, internet de banda ancha y televisión libre de interferencias, además de ser provistas a través un solo medio de transmisión, se propone el diseño de una red FTTH utilizando tecnología GPON, la cual es capaz de satisfacer las necesidades mencionadas.

La restitución de la red de manera inmediata a causa de cortes de fibra accidentales, es posible mediante el diseño de la red FTTH de manera redundante, debido a que permitirá llegar por dos rutas diferentes a sus puntos de acceso, migrando el envío de información a la ruta de respaldo en caso de fallas o ruptura en la ruta principal.

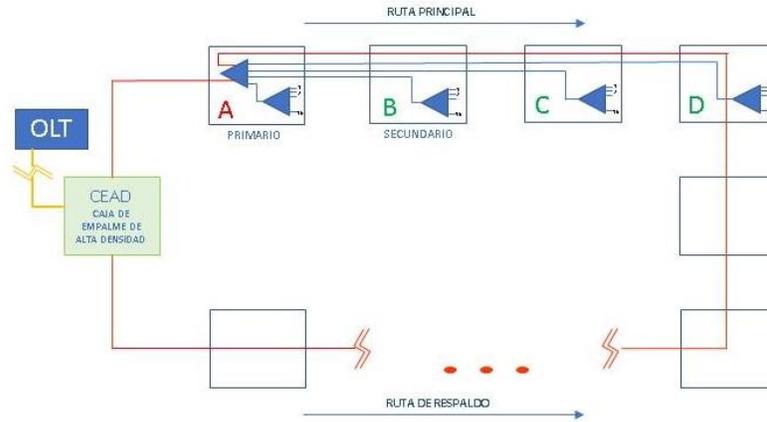


Figura I-2 Diagrama de bloques del diseño de la red FTTH redundante.

Fuente: Elaboración Propia.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo General

Diseñar una red FTTH redundante utilizando tecnología GPON, para la provisión de los servicios de voz, video y datos, en las localidades de Eterazama y Villa 14 de Septiembre.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar un relevamiento de información de la cantidad de usuarios potenciales de los servicios provistos por la red FTTH, en una proyección de 5 años para las localidades de Eterazama y Villa 14 de Septiembre.
- Diseñar la red FTTH en topología anillo, conforme a las recomendaciones y estándares internacionales referidas a GPON, estableciendo la trayectoria y georreferenciación de los puntos de acceso.

- Calcular las pérdidas de potencia en la red FTTH redundante, garantizando los niveles mínimos permitidos de potencia para el correcto funcionamiento de los servicios requeridos.
- Elaborar la representación esquemática de fusiones y longitudes ópticas de la red FTTH.
- Implementar el protocolo de restitución de la red FTTH, el mismo que se debe seguir en el caso de existir fallos o cortes de fibra óptica accidentales en la red.

## **1.6 Justificación**

### **1.6.1 Justificación Académica**

El proyecto permite adquirir un cúmulo de conocimientos complementarios a la formación académica, debido a que involucra tecnología actual aplicada a la fibra óptica, que no formó parte del proceso enseñanza-aprendizaje en la Universidad.

### **1.6.2 Justificación Social**

Hoy en día es necesario tener acceso a los servicios actuales de comunicación, en cualquier lugar, imprescindibles para el desarrollo de sus habitantes, lo que ha obligado a las empresas de telecomunicaciones a innovar sus redes de última milla, también denominadas como redes de acceso.

Los proveedores de servicios pueden optimizar recursos al utilizar un solo medio de transmisión, lo que significa disminuir los costos de implementación, operación y mantenimiento, que son reflejados en el usuario con tarifas bajas.

## **1.7 Alcances y Límites**

De acuerdo a los objetivos planteados, los alcances del proyecto se presentan a continuación:

- El diseño de la red FTTH con tecnología GPON permitirá brindar servicios de voz, video y datos sobre un mismo medio de transmisión.
- Se considera dar cobertura a los servicios de voz, video y datos en el área geográfica donde se encuentra la mayor concentración de la población en ambas localidades.
- La red será diseñada para ampliar su cobertura ante el crecimiento de la demanda de servicios en ambas localidades.
- En base al relevamiento de información realizado, el diseño de la red será un referente para la implementación de la misma en el futuro.

Dentro de los límites en el proyecto se tienen:

- La restitución de la red FTTH no se realizará de forma automática, sino de manera manual, migrando el puerto de la ruta principal afectada a su par redundante, en el organizador de fibra (ODF).
- La restitución de los puntos de acceso secundarios en el sitio de corte de la red, dependerá de su conexión con el punto de acceso primario correspondiente.
- Se considera la existencia de conexión al enlace descendente y ascendente (down link, up link), de alguna empresa que provea servicios de voz, video y datos, en ambas localidades.

## CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO

Este capítulo describe los fundamentos teóricos de las comunicaciones ópticas, haciendo hincapié en redes FTTH<sup>1</sup> utilizando tecnología GPON<sup>2</sup>, los mismos que sustentan el diseño del presente proyecto.

### 2.1 Fibra óptica

La fibra óptica es un filamento<sup>3</sup> muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, bastante flexible, muy delgado inclusive menor al grosor de un cabello y con un índice de refracción elevado, que permite la propagación de ondas luminosas. En general, la fibra óptica transporta información en forma de haces de luz que pasan a través de ella de un extremo a otro, donde quiera que el filamento vaya, inclusive en un recorrido curvilíneo, sin interrupción alguna. [1]

Entre sus principales características se pueden mencionar el elevado ancho de banda, bajas pérdidas en las señales enviadas, flexibilidad del material físico, alto grado de confiabilidad e inmunidad a las interferencias electromagnéticas de radiofrecuencia. [2]–[4]

#### 2.1.1 Composición de la fibra óptica

Toda fibra óptica está constituida por tres estructuras o capas concéntricas, que difieren en sus propiedades de composición, y son las que se detallan a Figura II-1.

---

<sup>1</sup> FTTH, Fibra hasta el hogar.

<sup>2</sup> GPON, Red óptica pasiva gigabit.

<sup>3</sup> Cuerpo en forma de hilo muy fino.

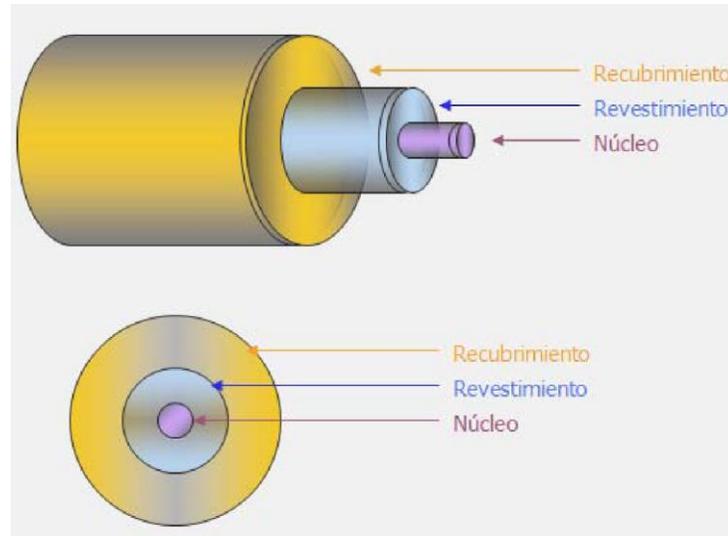


Figura II-1 Composición de la fibra óptica.

Fuente: Diseño e instalación de una red FTTH. [1]

#### 2.1.1.1 Núcleo

El núcleo, es la parte interna de la fibra óptica fabricado por un material dieléctrico, vidrio o plástico, también conocido como túnel transmisor, ya que se encarga de conducir las señales ópticas procedentes de la fuente de luz hasta el dispositivo de recepción. [5], [6]

#### 2.1.1.2 Revestimiento

Es la parte intermedia de la fibra óptica, que rodea y protege al núcleo. Este medio posee un índice de refracción menor al del núcleo, de forma que actúa como una capa reflectante (a modo de espejo), consiguiendo que las ondas de luz que intentan escapar del núcleo sean reflejadas y retenidas en el mismo. [5], [6]

#### 2.1.1.3 Recubrimiento

El recubrimiento es la parte externa de la fibra óptica y actúa a modo de amortiguador, protegiendo el núcleo y el revestimiento de posibles daños y agentes

externos, está fabricado con material plástico, capaz de resguardar la fibra óptica de la humedad, el aplastamiento y otros riesgos del entorno. [5], [6]

### 2.1.2 Clasificación según el modo de propagación

Según la manera de propagación de la luz dentro de la fibra óptica, se clasifica en multimodo y monomodo.

#### 2.1.2.1 Multimodo

Este tipo de fibra óptica puede propagar múltiples rayos de luz simultáneamente, cada haz recorre un trayecto diferente, esto es posible gracias a que el diámetro del núcleo es amplio, suele ser de 50  $\mu\text{m}$  o 62.5  $\mu\text{m}$ , por lo que el acoplamiento de la luz en sus diferentes modos es más sencillo. En la siguiente Figura II-2 se muestra la sección de la fibra óptica multimodo. [1], [5]

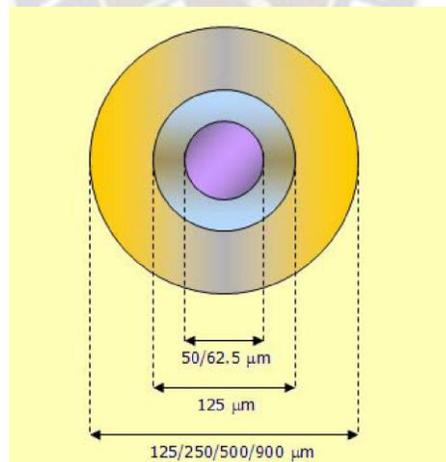


Figura II-2 Sección de fibra óptica multimodo.

Fuente: Diseño e instalación de una red FTTH. [1]

A su vez, la fibra óptica multimodo, se clasifica en función del índice de refracción del núcleo, en: multimodo de índice escalonado y multimodo de índice gradual, ambas se detallan a continuación.

### **2.1.2.1.1. Fibra óptica multimodo de índice escalonado**

Es la fibra óptica en la cual el valor del índice de refracción del núcleo permanece constante, además es notablemente mayor al del revestimiento, por lo que el cambio de índice de refracción, al pasar del núcleo al revestimiento se hace bruscamente.

Debido al amplio diámetro del núcleo, esta fibra óptica goza de un cono de aceptación bastante extenso, permitiendo la entrada de mayor número de haces de luz en diferentes direcciones, lo que provoca que se reflejan a diferentes ángulos en el interior del núcleo.

Estos haces de luz, recorren diferentes distancias describiendo trayectorias rectilíneas como se evidencia en la Figura II-3, y como consecuencia de ello se desfasan al viajar, causando que el pulso luminoso del que proceden se transmita al receptor con un ensanche en el tiempo, a esta distorsión de la señal se la denomina dispersión modal o dispersión multimodo.

La fibra óptica de índice escalonado se comenzó a diseñar con diámetros estándares, que han sido de 50  $\mu\text{m}$  y 62.5  $\mu\text{m}$  para el núcleo y de 125  $\mu\text{m}$  para el revestimiento. Debido a la dispersión modal son utilizadas en enlaces de corta distancia, de hasta 1 km y su aplicación más importante está en las redes locales. Sin embargo, existen algunas fibras ópticas fabricadas con núcleo de 100  $\mu\text{m}$  y revestimiento de 125  $\mu\text{m}$ , consiguiendo un aumento de los modos de propagación, resultando útil para aplicaciones domésticas o de muy corta distancia. [1]

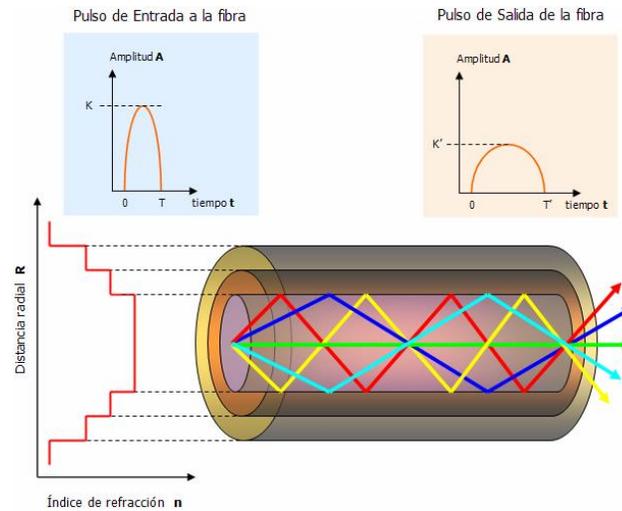


Figura II-3 Fibra óptica multimodo de índice escalonado.

Fuente: Diseño e instalación de una red FTTH. [1]

#### 2.1.2.1.2. Fibra óptica multimodo de índice gradual

En este tipo de fibra óptica, el núcleo está fabricado a partir de varias capas concéntricas de material óptico, con índices de refracción de valor decreciente desde el centro hasta el exterior, además siempre de mayor valor al índice de refracción del revestimiento.

El número de modos de propagación o haces de luz diferentes que viajan en el interior del núcleo es menor respecto a la fibra multimodo de índice escalonado, dado que el núcleo enfoca los rayos de luz hacia el eje de la fibra a lo largo de su trayectoria. Los haces de luz describen direcciones onduladas como se observa en la Figura II-4, por lo que la distancia recorrida por los haces en el interior del núcleo es menor, existiendo menos diferencia entre los caminos recorridos por los rayos. Debido a esto, los haces tienden a llegar al mismo tiempo, y este hecho permite reducir la dispersión modal.

Como consecuencia de lo anterior, admite distancias de propagación mayores que las multimodales de índice escalonado, pudiendo llegar hasta enlaces de 10 km de distancia.

La fibra óptica de índice gradual se comenzó a diseñar especialmente para las telecomunicaciones, y por largo tiempo los diámetros estándares han sido de 50  $\mu\text{m}$  y 62.5  $\mu\text{m}$  para el núcleo y de 125  $\mu\text{m}$  para el revestimiento. Sin embargo, existen algunas fibras ópticas fabricadas con núcleo de 82.5  $\mu\text{m}$  y revestimiento 125  $\mu\text{m}$ , consiguiendo una reducción de los modos de propagación, y en consecuencia también reduce la dispersión modal. [1]

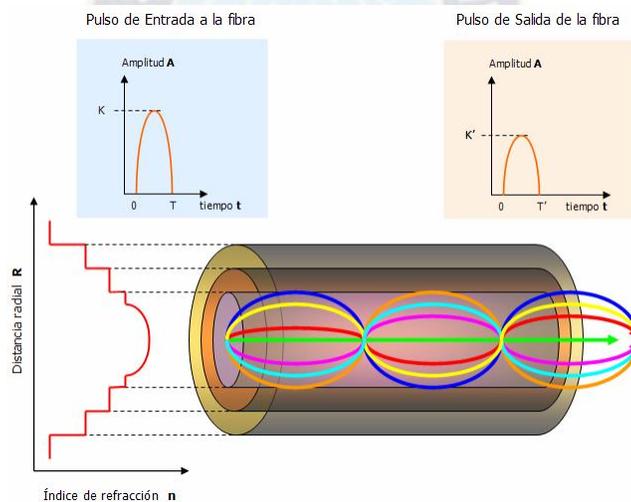


Figura II-4 Fibra óptica multimodo de índice gradual

Fuente: Diseño e instalación de una red FTTH. [1]

### 2.1.2.2 Monomodo

En este tipo de fibra óptica, sólo se permite la propagación de un modo de transmisión, quiere decir la propagación de un haz de luz fundamental, esto se debe a que el diámetro del núcleo es muy reducido, y suele estar comprendido entre 8  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$  como se observa en la Figura II-5.

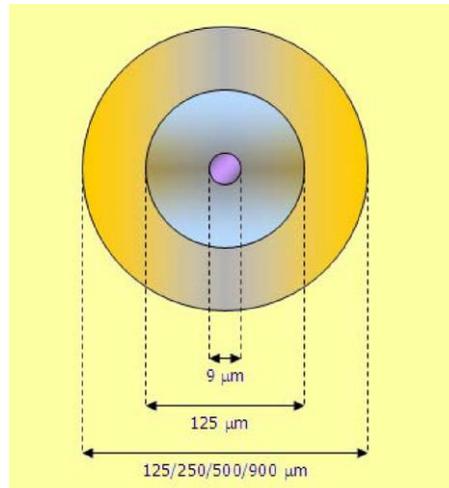


Figura II-5 Sección de fibra óptica monomodo

Fuente: Diseño e instalación de una red FTTH. [1]

Debido a su reducido núcleo, éste se propaga directamente sin existir reflexiones en su interior, es decir el haz de luz posee una trayectoria paralela al eje de la fibra óptica. Este efecto causa que su ancho de banda sea muy elevado y la convierte en idónea para enlaces de larga distancia.

Esta fibra óptica es afectada por la dispersión cromática, producida por la fuente de luz, ya que la luz emitida, en su totalidad no tiene exactamente la misma longitud de onda, cada una de ellas viaja a diferente velocidad, por lo cual, no llegan al otro extremo de la fibra al mismo tiempo, resultando una señal en recepción ligeramente ensanchada. [7]

La pequeña dimensión del núcleo, implican un manejo muy delicado y dificultades de conexión, además como consecuencia un cono de aceptación reducido, requiriendo que los emisores de luz deban transmitir un rayo muy preciso y estrecho para un acoplamiento perfecto, por lo que no se pueden utilizar LED's<sup>4</sup> los cuales

<sup>4</sup> Diodo emisor de luz.

son muy económicos, sino que es necesario emplear láseres que son más costosos.

[1]

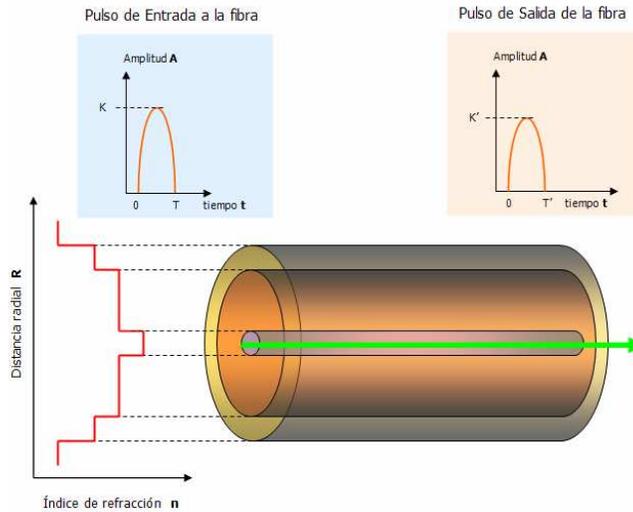


Figura II-6 Fibra óptica monomodo

Fuente: Diseño e instalación de una red FTTH. [1]

### 2.1.3 Clasificación según su estructura

Los cables de fibra óptica según su estructura se clasifican en: holgada y ajustada, las cuales se detallan a continuación:

#### 2.1.3.1 Estructura holgada

El cable de fibra óptica de estructura holgada consta de varios tubos rodeando un miembro central de refuerzo, cada tubo lleva varias fibras ópticas que descansan holgadamente en su interior. Los tubos están llenos normalmente de un gel resistente al agua.

Además, cada tubo está coloreado, así como cada fibra individual en el tubo, para facilitar la identificación de los mismos, acorde con un código de colores.

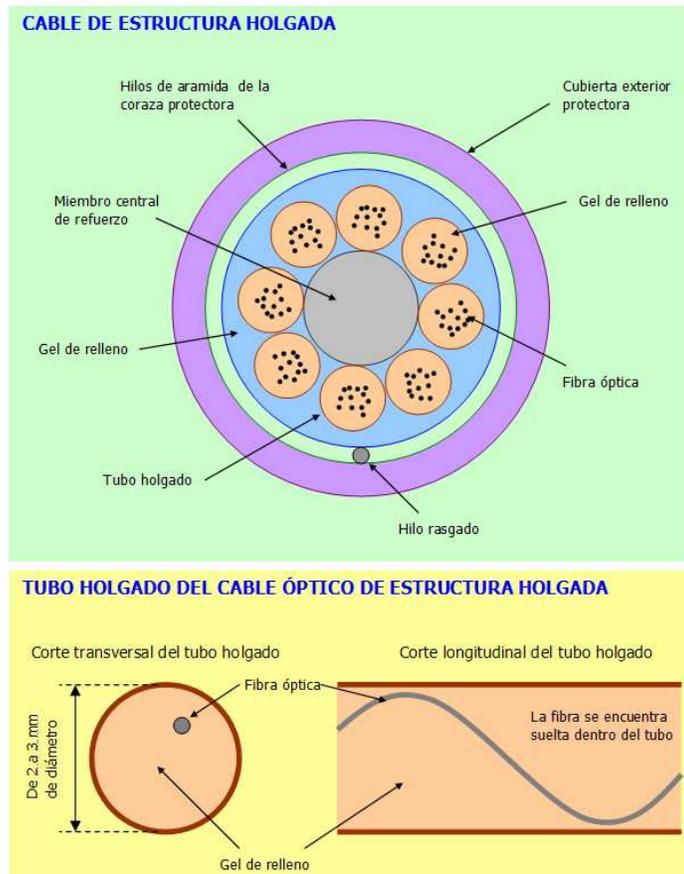


Figura II-7 Cable de estructura holgada.

Fuente: Diseño e instalación de una red FTTH. [1]

Los cables de estructura holgada se usan mayormente en instalaciones exteriores, como aplicaciones aéreas y subterráneas, también en tubos o conductos. Debido al gel que posee el cable de estructura holgada no es muy adecuado para instalaciones verticales. [1]

### 2.1.3.2 Estructura ajustada

Un cable de fibra óptica de estructura ajustada contiene varias fibras con protección secundaria que rodean un miembro central de refuerzo, y todo ello cubierto de una protección exterior. La protección secundaria de la fibra óptica consiste en una cubierta plástica, que rodea al recubrimiento de manera ajustada.

La protección secundaria proporciona a cada fibra óptica de forma individual una protección adicional frente al entorno, así como un soporte físico, permitiendo ser directamente conectorizada, sin la necesidad de una bandeja de empalmes, disminuyendo costos de instalación.

Debido al diseño ajustado del cable, es más sensible a las cargas de estiramiento o tracción, se utilizan generalmente para instalaciones en el interior de edificios y tendidos verticales. [1]

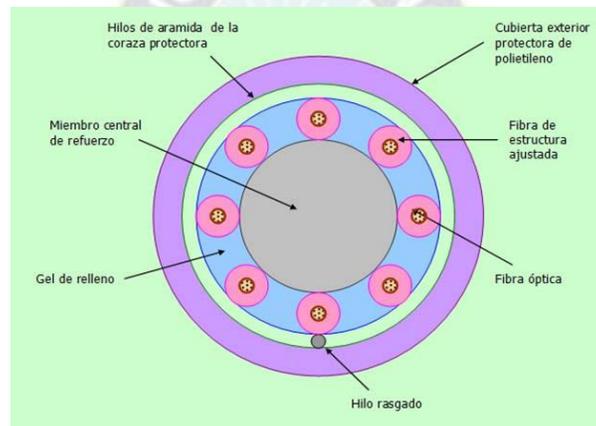


Figura II-8 Cable de estructura ajustada.

Fuente: Diseño e instalación de una red FTTH. [1]

#### 2.1.4 Clasificación según la composición de material

Esta clasificación se la realiza según la composición de materiales que conforman el núcleo y revestimiento de la fibra óptica.

##### 2.1.4.1 Núcleo y revestimiento de vidrio

Mayormente son fabricadas en base a sílice  $\text{SiO}_2$  (dióxido de silicio), que es dopada<sup>5</sup> con flúor o trióxido de boro  $\text{B}_2\text{O}_3$  para elevar el índice de refracción en la elaboración

<sup>5</sup> Proceso intencional de agregar impurezas.

del núcleo y con dióxido de germanio  $\text{GeO}_2$  o de óxido de aluminio  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , reduciendo el índice de refracción en el caso del revestimiento.

Conocidas como sílice - cubierta de sílice SCS, ofrecen las mejores características de propagación y baja atenuación, por otra parte, mecánicamente son las menos fuertes. Las fibras monomodo siempre tienen el núcleo y revestimiento de vidrio. [2]

#### **2.1.4.2 Núcleo y revestimiento de plástico**

La fibra óptica de plástico POF, típicamente está compuesta por un núcleo de polimetilmetacrilato de gran pureza y el revestimiento de copolímero, otra muy utilizada es la de poliestireno en el núcleo y metacrilato de metilo en el revestimiento.

Tiene varias ventajas sobre la fibra óptica de vidrio, como mayor flexibilidad, son más fuertes, en consecuencia, pueden resistir mayores presiones, más fáciles de instalar, son menos costosas y pesan aproximadamente 60% menos.

La desventaja principal de este tipo de fibra óptica es la alta atenuación, en consecuencia, no propagan la luz tan eficientemente como en el vidrio, limitándose a distancias relativamente cortas, como instalaciones dentro de un mismo edificio o complejo de edificios y aplicaciones médicas. [2]

#### **2.1.4.3 Núcleo de vidrio y revestimiento plástico**

Este tipo de fibra óptica es conocida también como sílice - cubierta de plástico PCS, está fabricada por una combinación de los materiales anteriormente mencionados, por estar compuesta el núcleo de vidrio posee una atenuación baja, es utilizada mucho en aplicaciones para fines militares. [2]

## 2.2 Redes FTTx

Son redes de acceso, basada principalmente en el despliegue de fibra óptica, que sustituyen de manera parcial o total al cobre, convirtiéndola en una red de mayor velocidad.

El acrónimo FTTx<sup>6</sup>, se origina como generalización de las distintas arquitecturas desplegadas, diferenciadas de la última letra, que denota los puntos de terminación de la fibra en referencia del usuario final. [8]

## 2.3 Arquitecturas de las redes FTTx

Existen varias arquitecturas de las redes de acceso FTTx, mencionamos a continuación las más destacables.

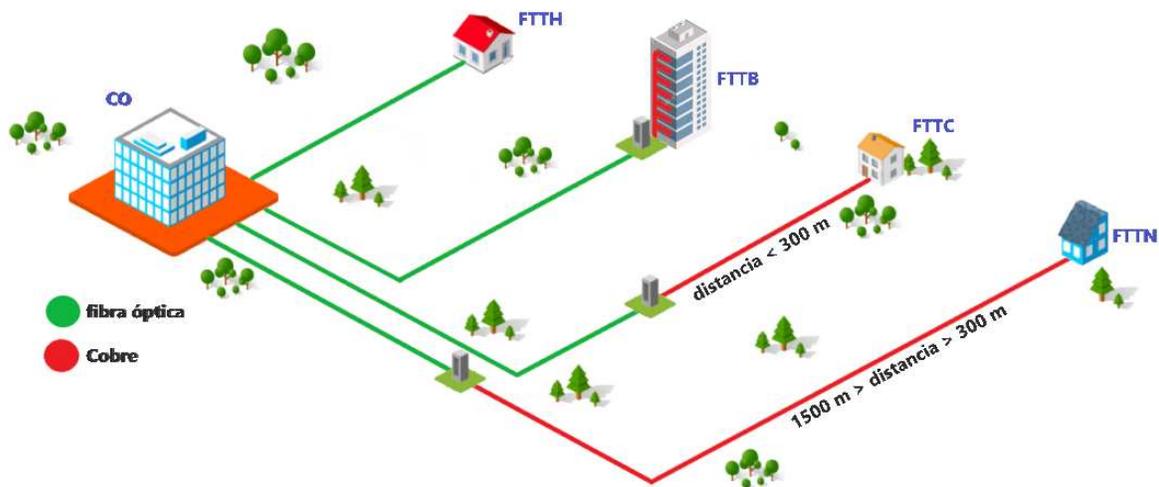


Figura II-9 Arquitecturas de las redes FTTx.

Fuente: Elaboración Propia.

<sup>6</sup> Fibra hasta la x

### 2.3.1 FTTN

Fibra hasta el nodo FTTN<sup>7</sup>, se refiere al empleo de fibra desde la central principal de la red del operador hasta un nodo intermedio, es decir, una central secundaria del operador, el área que cubre es de un radio menor a 1500 metros, el último tramo hasta el usuario final es a través de cable coaxial o par trenzado.

Se puede considerar una central principal la que concentra la conectividad de una región, y las centrales secundarias las desplegadas en pueblos pequeños, si la ciudad es grande, pueden existir varias centrales principales, y luego varias centrales secundarias por barrios o zonas. [9]

### 2.3.2 FTTC

Fibra hasta la acera FTTC<sup>8</sup>, se refiere al empleo de fibra desde la central de la red del operador hasta un nodo intermedio como una central pequeña, normalmente a menos de 300 metros del usuario final, el resto del trayecto habitualmente se emplea el par de cobre (accediendo a la tecnología ADSL, VDSL), o cable coaxial, a este último caso también se conoce como HFC<sup>9</sup> (bajo los estándares DOCSIS<sup>10</sup>). [9]

### 2.3.3 FTTB

Fibra hasta el edificio FTTB<sup>11</sup>, la fibra es desplegada desde la oficina central y termina en un punto de distribución intermedio en el interior o inmediaciones del

---

<sup>7</sup> Fiber to the node.

<sup>8</sup> Fiber to the curb.

<sup>9</sup> Fibra híbrida coaxial.

<sup>10</sup> Especificación de Interfaz para Servicios de datos por cable

<sup>11</sup> Fiber to the building.

edificio, reutilizando la infraestructura del abonado, se puede acceder a tecnologías como VDSL2 sobre par de cobre o Gigabit Ethernet sobre par trenzado. [9]

### **2.3.4 FTTH**

Fibra hasta el hogar FTTH<sup>12</sup>, la fibra se extiende desde la oficina central hasta la casa u oficina del abonado, una vez en la casa del abonado la señal puede ser transmitida utilizando par trenzado o comunicación inalámbrica. [9]

## **2.4 Configuraciones de las redes FTTH**

Para conseguir una red eficiente y proporcionar un buen servicio a los usuarios la configuración de la red debe ser lo más sencilla posible, con el fin de minimizar los costos de su despliegue y mantenimiento.

A continuación, se describen las distintas configuraciones de las redes FTTH.

### **2.4.1 Punto a punto**

Este tipo de configuración consiste, en un enlace dedicado<sup>13</sup> desde la oficina central del operador para cada usuario final, lo que aumenta el costo de la implementación y mantenimiento de la red, como el del servicio contratado.

Los primeros despliegues de redes FTTH se hicieron bajo esta configuración, siendo ideal para dar servicio a instituciones o empresas que requieren mayor ancho de banda y seguridad en la información a ser transmitida. En muchos casos no es considerado parte de las configuraciones FTTH. [1], [6]

---

<sup>12</sup> Fiber to the home.

<sup>13</sup> Que no comparte con otro usuario.



Figura II-10 Configuración punto a punto.

Fuente: Acceso GPON y FTTH. [10]

## 2.4.2 Punto a multipunto

En la configuración punto a multipunto, los usuarios comparten un mismo cable de fibra que sale desde la oficina central del operador, hasta un punto donde es distribuida hacia sus respectivos destinos. con este tipo de configuración se pretende conseguir estructuras sencillas y de bajo costo.



Figura II-11 Configuración punto a multipunto

Fuente: Acceso GPON y FTTH. [10]

Las redes de configuración punto a multipunto a la vez se dividen en topologías del tipo árbol y anillo, la elección depende de la condición geográfica y del emplazamiento de los usuarios. [1], [6]

### 2.4.2.1 Topología del tipo árbol

En esta topología, el tramo principal se divide en varias subredes o ramificaciones, a lo largo de la red, es la más utilizada en las redes FTTH, debido a su bajo costo y a su gran eficiencia.

Es atractiva por la facilidad con la que se puede modificar la red, ante la demanda de nuevos usuarios, demostrando la flexibilidad de esta topología, no obstante, presenta debilidades en cuanto a fiabilidad, la rotura del tramo principal o un fallo en el divisor óptico ocasiona la caída total o parcial del sistema. [6]

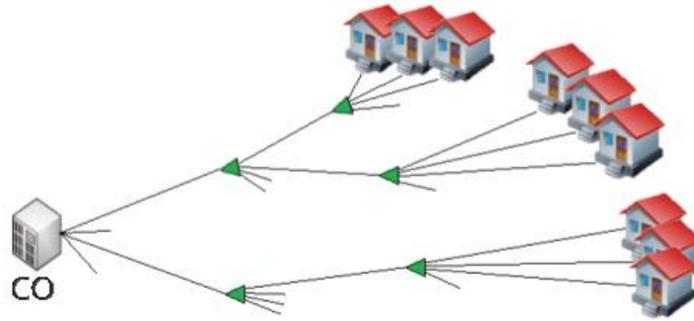


Figura II-12 Topología del tipo árbol.

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.4.2.2 Topología del tipo anillo

En la topología del tipo anillo, el tramo principal retorna a la oficina central del operador, dando la posibilidad de llegar a los divisores ópticos por dos rutas diferentes, convirtiéndolas en redes atractivas por su fiabilidad, pero elevando el costo en la implementación.

Ante la ruptura de la fibra en el tramo principal, la información puede ser enviada desde la oficina central en sentido contrario al anterior, logrando que el corte de servicio sea por un tiempo breve, casi imperceptible para el usuario final. [6]

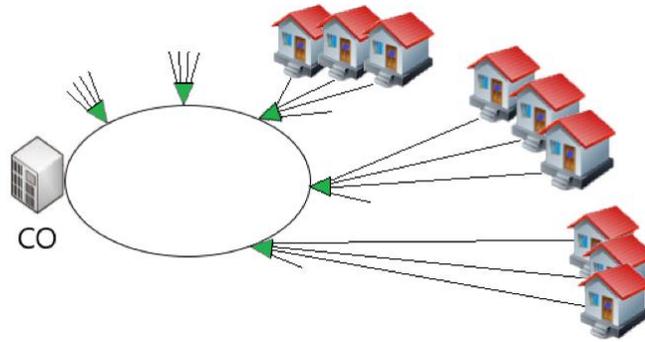


Figura II-13 Topología del tipo anillo.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.5 Redes ópticas pasivas

Las redes ópticas pasivas PON<sup>14</sup>, son redes de acceso desplegadas mediante fibra óptica, permite eliminar todos los componentes activos entre la oficina central del operador y el cliente, introduciendo en su lugar componentes ópticos pasivos, los cuales no necesitan suministro eléctrico para su funcionamiento, reduciendo considerablemente los costos en la red. [11]

## 2.6 Tecnología de las redes ópticas pasivas

Las redes PON, adopta a una familia de tecnologías, en el presente apartado se van a describir las características de las tecnologías PON existentes.

### 2.6.1 Tecnología APON

La red óptica pasiva ATM<sup>15</sup>, al ser la primera tecnología PON, fue definida por la FSAN<sup>16</sup>, un grupo formado por siete operadores de telecomunicaciones, con el

<sup>14</sup> Passive optical network.

<sup>15</sup> Modo de transferencia asíncrona.

<sup>16</sup> Red de acceso de servicio completo.

objetivo de unificar las especificaciones técnicas para el acceso de banda ancha a los usuarios finales.

La tecnología APON, se basa en la transmisión de ráfagas de celdas del modo asíncrono ATM, en su inicio con una velocidad de transmisión simétrica de 155 Mbps, siendo mejorada más tarde, con velocidades de 155 Mbps para el canal ascendente y 622 Mbps en el canal descendente, estas velocidades son compartidos entre todos los usuarios conectados en la red.

Entre las tecnologías PON existentes, las APON son las que más características ofrecen en cuanto a operación, administración y mantenimiento OAM. Las redes APON están normalizadas por la UIT-T G.983.1. [1], [6], [12]

### **2.6.2 Tecnología BPON**

Broadband PON o red óptica pasiva de banda ancha, surge como evolución de la red APON, debido a la limitación de velocidades de la misma. Las redes BPON, también se basan en transmisión de celdas ATM, con la diferencia que pueden dar soporte a otros estándares de banda ancha, en los que se incluye: Ethernet, distribución de video, VPL<sup>17</sup>.

En su primera versión, las redes BPON estaban definidas bajo una tasa fija de transmisión simétrica de 155 Mbps, más adelante se modificó, admitiendo velocidades asimétricas de 622 Mbps en el canal descendente y 155 Mbps en el canal ascendente, en la actualidad, permite alcanzar velocidades de hasta 1.2 Gbps en el canal descendente y 622 Mbps en el canal ascendente.

---

<sup>17</sup> Línea virtual privada.

Las redes BPON, permite canalizar el canal descendente y ascendente en 1 o 2 fibras monomodo, también establecen una longitud de onda dedicada para la difusión de vídeo. Estas redes tienen un elevado costo de implementación y son normalizadas por la ITU-T G.983.x. [1], [6], [12]

### **2.6.3 Tecnología EPON**

Ethernet PON, surge con el objetivo de aprovechar las ventajas de la fibra óptica en las redes PON, y aplicarlas a Ethernet. Esta especificación es realizada por el grupo de trabajo denominado ethernet en última milla EFM<sup>18</sup> constituida por la IEEE<sup>19</sup>.

La tecnología EPON, se basa en el transporte de tramas Ethernet, dejando de lado la transmisión de celdas ATM, con una velocidad simétrica de 1.244 Mbps, repartida entre todos los usuarios que tenga el sistema.

EPON establece una longitud de onda dedicada para la transmisión de vídeo tal como lo hace BPON, que juntamente con los canales descendente y ascendente se transmiten bajo una sola fibra monomodo, estas redes permiten la reducción en costos de implementación, debido a que no utilizan elementos ATM y SDH. EPON es normada por la IEEE 802.3ah. [6], [13]

### **2.6.4 Tecnología GPON**

Las redes ópticas pasivas Gigabit, es la más avanzada en la actualidad, debido a su propio método de encapsulamiento GEM (método de encapsulamiento GPON), que permite transmitir información de diferentes tecnologías como: voz (TDM,

---

<sup>18</sup> Ethernet in the first mile.

<sup>19</sup> Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos.

SONET, SDH), Ethernet 10/100 Base T, ATM, Frame Relay, entre otros, dando la posibilidad a los proveedores, de continuar brindando sus servicios tradicionales, pero con mayor eficiencia, sin necesidad de cambiar los equipos instalados para que sean compatibles.

Respectos a las anteriores tecnologías, GPON ofrece un mayor ancho de banda, permitiendo tasas de transmisión variadas, haciendo combinaciones de 1,244 Gbps y 2,488 Gbps para el canal descendente y de 155 Mbps, 622 Mbps, 1,244 Gbps y 2,488 Gbps para el canal ascendente, que bajo ciertas configuraciones entrega hasta 100 Mbps a cada usuario en la red.

GPON permite canalizar el canal descendente y ascendente bajo 1 o 2 fibras monomodo, aunque para ambos establece una longitud de onda dedicada para la difusión de vídeo, también cuenta con un alto nivel de funciones de operación, administración, mantenimiento y suministro OAM&P<sup>20</sup>, desde las centrales hasta las acometidas. Las redes GPON están estandarizadas por la ITU G.984.x. [1], [6]

## **2.7 Elementos de las redes FTTH/GPON**

Los elementos que componen las redes FTTH/GPON serán mencionados a continuación, describiendo sus características y funciones en la red.

### **2.7.1 Elementos Activos**

Estos elementos son denominados activos, ya que requieren de energía eléctrica para su funcionamiento y están ubicados en los extremos de la red de acceso.

---

<sup>20</sup> Operation, Administration, Maintenance and Provisioning.

### 2.7.1.1 Terminal de línea óptica (OLT)

La OLT es un dispositivo óptico ubicado en la oficina central del proveedor, de él parte el cable principal de fibra para ser distribuida, gestiona el tráfico hacia los usuarios o proveniente de ellos, es decir, realiza funciones de router para poder ofrecer todos los servicios demandados. Cada OLT suele tener la capacidad suficiente para proporcionar servicios a miles de usuarios, además de permitir la conectividad con otras redes externas. En resumen, las funciones de la OLT son:

- Gestionar y enrutar el tráfico de las ONT's<sup>21</sup>.
- Conectar la red PON con otras redes.

La OLT actúa como concentrador de redes externas que ofrecen los servicios de voz, datos y video, es por ello que su cabecera permite la conectividad con:

- La red RTC<sup>22</sup>, para los servicios de voz.
- Proveedores ISP<sup>23</sup>, para los servicios de datos o VoIP<sup>24</sup>.
- Proveedores de transmisión de video o VoD<sup>25</sup>, para los servicios de video difusión mediante IPTV.

Estas tramas de las redes de voz y datos procedentes del exterior, son inyectadas a la ODN<sup>26</sup> mediante multiplexación TDM, empleando la ventana de los 1490 nm, las tramas de datos y voz procedentes de la ONT son enviadas a la OLT en la ventana de 1310 nm.

---

<sup>21</sup> Terminal de red óptico.

<sup>22</sup> Red telefónica conmutada.

<sup>23</sup> Proveedor de servicios de internet.

<sup>24</sup> Voz sobre protocolo de internet.

<sup>25</sup> Video bajo demanda.

<sup>26</sup> Red de distribución óptica, medio de transmisión óptica para la conexión física de las ONT a la OLT.



Figura II-14 OLT.

Fuente: Huawei. [14]

Es necesario destacar que la OLT, no emite la misma potencia a todas las ONT, calcula la distancia entre ambas, de manera que las ráfagas de luz tendrán una menor potencia cuando se dirijan a usuarios cercanos, mientras que, para los más lejanos se les asignará una potencia mayor, permitiendo llegar a cada usuario con la potencia necesaria. [6], [11]

### 2.7.1.2 Terminal de red óptica (ONT)

La ONT es un dispositivo óptico ubicado en el domicilio del cliente, capaz de recibir y filtrar la información enviada desde la OLT, entregando en un formato adecuado al usuario, a su vez recoge la información del mismo, la encapsularla y se la entrega a la OLT para que pueda ser procesarla y reencaminada.

La información recibida pasa por dos filtros en la ONT, el primer filtro se lleva a cabo a nivel de protocolo Ethernet, a través de las denominadas tramas GEM, que constan de tres campos:

- **Cabecera**; contiene información sobre la sincronización de la trama, que le permite descartar información que no corresponde a esa ONT.
- **CRC**; permite conocer si la información llegó a su destino correctamente y sin errores.
- **Carga útil**; es el conjunto de datos transmitidos que en realidad es el mensaje enviado.

El segundo filtro separa los servicios de voz, datos y video, lo hace a través del módulo electroóptico mediante dos filtros ópticos:

- **Filtro OAF (Filtro analógico óptico)**, se encarga de obtener la señal de video de la longitud de onda de los 1550 nm, en el caso de RF.
- **Filtro ODF (filtro digital óptico)**, encargado de obtener la señal de voz y datos de la longitud de onda de los 1490 m.

La ONT envía información a la OLT en una longitud de onda dedicada de 1310 nm, para ello dispone de un LED encargado de enviar señales luminosas. Para evitar la colisión entre las tramas enviadas por todos los ONT's de la red, se recurre a la multiplexación TDM, la cual es gestionada por el OLT, encargado de asignar intervalos de tiempo a cada ONT. [6], [13]



Figura II-15 ONT.

Fuente: Huawei. [14]

### 2.7.1.3 Decodificador o receptor de televisión (STB)

El STB convierte la cadena de datos provenientes de la ONT en una señal de vídeo, estos equipos incorporan capacidades de QoS y multicast IP avanzadas, llegando a ofrecer varios canales de alta calidad de imagen y sonido, incluidos HDTV, así como proporcionar servicios interactivos y personalizados, lo cual no es factible con vídeo RF.



Figura II-16 STB.

Fuente: Amino. [15]

## 2.7.2 Elementos Pasivos

Se denominan elementos pasivos de la red, porque no necesitan energía eléctrica para su funcionamiento.

### 2.7.2.1 Divisor óptico (Splitter)

Es un componente que divide la entrada óptica en múltiples salidas, permitiendo el despliegue de la configuración punto a multipunto. Los divisores ópticos son dispositivos bidireccionales en consecuencia permite la comunicación entre la OLT y sus respectivas ONT de la siguiente manera:

- Canal descendente, la señal que procede de la OLT se divide en múltiples puertos de salida.
- Canal ascendente, las señales que proceden de las ONT se combinan en una sola.

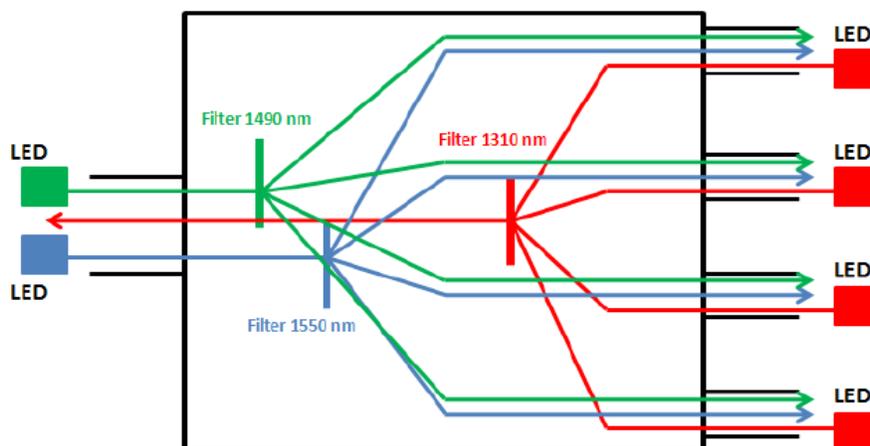


Figura II-17 Funcionamiento genérico de un divisor óptico.

Fuente: GPON-FTTH. [16]

El divisor óptico introduce pérdida de potencia o atenuación en la señal, misma que se expresa en decibeles (dB), que depende principalmente del número de puertos de salida.

Los divisores ópticos 1: N, donde N es el número de puertos de salida, suelen implementarse en redes de configuración tipo árbol, la atenuación se calculada por la siguiente relación matemática:

$$A_{splitter} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \right)$$

Los divisores ópticos 2: N se emplean en configuraciones tipo anillo, proporcionando redundancia en la red física. [13], [16]

### 2.7.2.2 Conector óptico

El conector óptico es un elemento que protege y sujeta el extremo de la fibra óptica, permitiendo la conexión o desconexión a otra fibra o equipo, inyecta una pérdida de potencia aproximada de 0.5 dB.

Existe varios tipos de conectores, de los cuales se destacan los siguientes:

- **FC (conector de fibra)**, tiene un mecanismo de acoplamiento del tipo rosca, que permite asegurar y alinear el conector de manera firme en el adaptador, evitando las desconexiones. [17]
- **SC (conector de suscriptor)**, posee un sistema de acoplamiento del tipo empujar-tirar (push-pull), que permite asegurarse al adaptador de manera sencilla, posee una férula de cerámica de alta precisión de 2.5mm. [17]
- **LC (conector pequeño)**, el mecanismo que utiliza para asegurarse a el adaptador también es del tipo empujar-tirar, es del tamaño de la mitad de conector SC con un diámetro de férula de 1.25mm. [17]

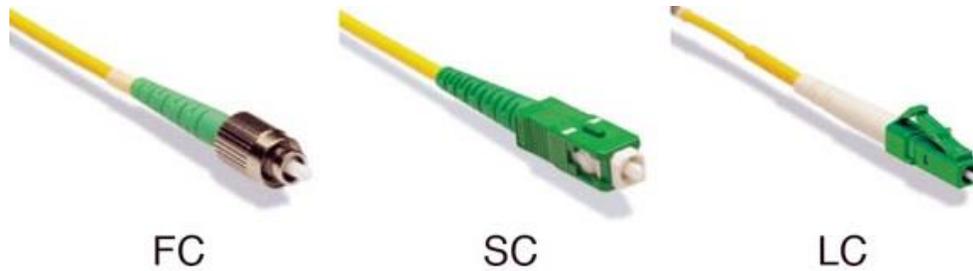


Figura II-18 Tipos de conectores ópticos.

Fuente: Conectores para FTTH. [18]

Los conectores se clasifican por el tipo de pulido de su férula, los cuales se mencionan a continuación:

- **PC (Contacto Físico)**, la férula está pulida con una ligera curvatura, esa forma convexa ubica las fibras en el punto más alto de la superficie, lo que reduce los espacios de aire entre ellas. La pérdida de retorno típica en estos conectores es de -40 dB. [19]
- **UPC (Ultra Contacto Físico)**, Se da un pulido extendido a la férula del conector, lo que da como resultado un mejor acabado de la superficie, la curvatura hace que se vea en forma de cúpula. La pérdida de retorno se reduce aún más en aproximadamente -50 dB. [19]
- **APC (Contacto Físico en Ángulo)**, La férula está pulida con un ángulo de 8 grados, en consecuencia, las reflexiones de la transición de la luz no retornan al núcleo de la fibra, haciendo que la pérdida de retorno sea de -60 dB, siendo el mejor conector de rendimiento. [19]

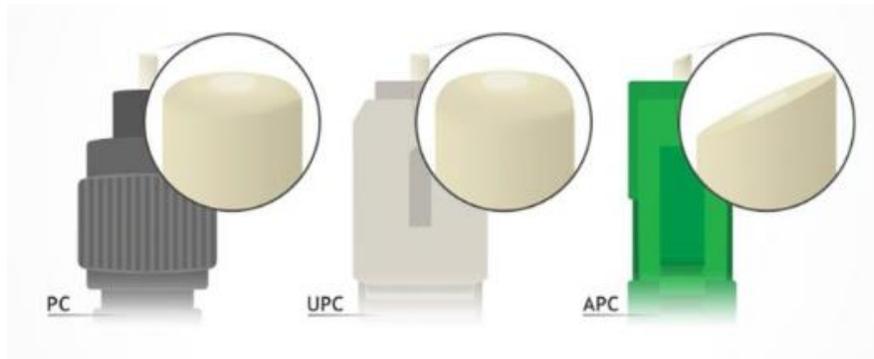


Figura II-19 Tipos de pulidos del conector.

Fuente: Dintek. [19]

### 2.7.2.3 Acoplador óptico

Es un dispositivo que une dos conectores idénticos o diferentes, de manera enfrentada, que permite el perfecto alineado de las fibras, los acopladores se utilizan en: rosetas, cajas de distribución (NAP), distribuidores ópticos (ODF) o paneles de conexión (patch panel). [20]



Figura II-20 Acoplador óptico.

Fuente: Fibermax. [20]

### 2.7.2.4 Cable de conexión óptico (Patch cord)

Es un cable de fibra óptica de corta longitud, usualmente entre 1 y 30 metros, para uso interior, con conectores instalados en sus dos extremos, los cuales pueden ser iguales o diferentes, usualmente viene en presentación simplex (una sola fibra) o

duplex (dos fibras). En las redes FTTH interconectar la OLT con la ODF y la roseta con la ONT. [21], [22].



Figura II-21 Cable de conexión óptico.

Fuente: Wanshuo electronic equipment. [21]

### 2.7.2.5 Roseta óptica

La roseta óptica es el punto de conexión, entre la terminación de la red de dispersión y el cable de conexión óptico de la ONT, mediante un acoplador, el cable de acometida emplea un conector mecánico o se fusiona a una extensión preconectorizada (pigtail). La roseta cuenta con espacio suficiente en su interior para acomodar la reserva de fibra y el empalme por fusión, es instalada en el domicilio del cliente, en cualquier superficie vertical plana debido a su dimensionamiento compacto. [23]



Figura II-22 Roseta óptica.

Fuente: Ekselans by its. [24]

### 2.7.2.6 Distribuidor óptico ODF

El ODF, permite la conexión de terminaciones de fibra óptica, mediante el uso de conectores y acopladores, mejorando la manipulación, organización, mantenimiento y protección de la red, es ubicada generalmente al lado de la OLT.

En su interior se dispone del espacio físico adecuado para el almacenamiento de cables de conexión ópticos, empalmes y reservas de fibra. Su estructura física está constituida por un chasis, bandejas y caseteras. [11]



Figura II-23 Distribuidor óptico.

Fuente: Líneas cables. [25]

### 2.7.2.7 Punto de acceso NAP

Es un punto que permite a los usuarios acceder a la red, mediante cable drop. La caja NAP es fabricada con plástico de alto rendimiento, con la finalidad de proteger a divisores, acopladores, conectores y empalmes ópticos, también permite sangrar el cable principal, por lo general son instaladas en postaciones. [26]



Figura II-24 Punto de acceso a la red.

Fuente: Red FTTH. [13]

### 2.7.2.8 Caja de empalme o Mufla

Este elemento protege los empalmes exteriores, los cables de fibra son insertados por los extremos de la caja, en el interior están las caseteras o bandejas donde se sitúan las reservas y los empalmes por fusión de la fibra, debajo de las bandejas existe espacio para situar las reservas de fibras aún protegidas por sus tubetes, la caja se cierra sujetándola con una o varias abrazaderas. [27]



Figura II-25 Caja de empalme o mufla.

Fuente: Kocent optec limited. [27]

### 2.7.3 Elementos de sujeción en planta externa

A continuación, se mencionan algunos de los elementos utilizados en el despliegue de una red de fibra óptica, que son indispensables para la protección como para la manipulación del cable óptico.

#### 2.7.3.1 Duplo

También conocido como ferretería de retención, es un conjunto de piezas metálicas galvanizadas que sujetan fuertemente el cable de fibra ADSS<sup>27</sup>, en dos diferentes direcciones sin el riesgo de comprimir las fibras, es diseñado para resistir las condiciones más severas de vibración y esfuerzos dinámicos, utilizado en postes donde se realizaron empalmes, tramos que no son completamente rectos, distancias largas y en cambios de dirección.



Figura II-26 Duplo.

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.7.3.2 Terminal

Está compuesta por la mitad de los elementos del duplo, en consecuencia, sujeta el cable de fibra ADSS en una sola dirección, normalmente utilizado en subidas o bajadas laterales, desniveles y terminaciones de la red.

---

<sup>27</sup>Completamente dieléctrico y auto soportado.

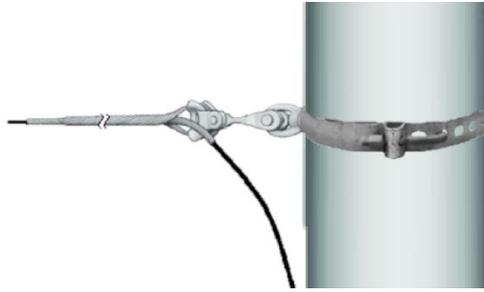


Figura II-27 Terminal.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.7.3.3 Paso

Conocido también como ferretería de suspensión, está compuesto principalmente por un elemento dieléctrico, el cual eleva el cable de fibra ADSS, se pueden utilizar en postes alineados entre sí (tramos rectos).

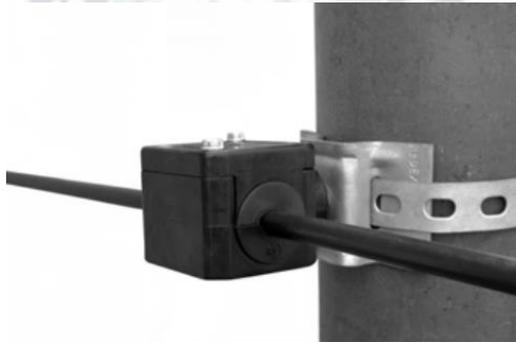


Figura II-28 Paso.

Fuente: Preformed line products Co. [28]

### 2.7.3.4 Cruceta de reserva

Es un elemento metálico galvanizado en forma de cruz, proyectada para el almacenamiento del cable de fibra ADSS, esta reserva facilita el mantenimiento de la red, es utilizada en postes donde se realizaron empalmes y cruces de avenidas principales.

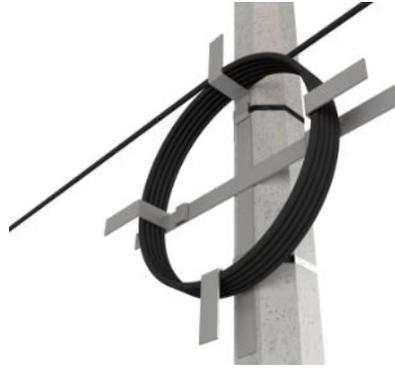


Figura II-29 Cruceta.

Fuente: Humbrall. [29]

## 2.8 Red de acceso FTTH/GPON

La red de acceso óptico hasta el hogar, está constituida básicamente por las siguientes subredes: red de alimentación, red de distribución y red de dispersión, mismas que se observan en la Figura II-30:

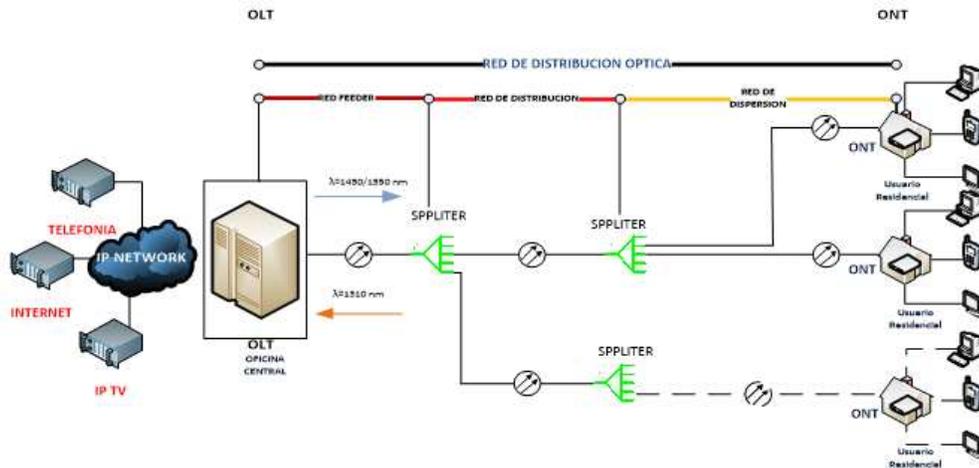


Figura II-30 Red de acceso FTTH/GPON.

Fuente: Certificación de las redes GPON. [30]

### 2.8.1 Red de alimentación

Por medio de esta cursa todo el tráfico de la red, inicia en el ODF y culmina en la cámara de empalme de alta densidad (CEAD), cabe recalcar que el corte o daño en

la misma interrumpe el servicio total en la red, normalmente se la tiende por canalización, utilizando fibra de 120 hilos.

### **2.8.2 Red de distribución**

Es encargada de la distribución de los puntos de acceso a la red (NAP's), se conecta con la red principal en el CEAD, es desplegada mediante el tendido aéreo, normalmente utilizando fibra de 24 hilos.

### **2.8.3 Red de dispersión**

También llamada red de acometida, es la que conecta los puntos de acceso a la red (NAP), con la roseta óptica ubicada en el domicilio del cliente, normalmente se utiliza cable drop de un hilo de fibra, debido a que es delgado y manejable para la instalación en interiores.

## **2.9 Descripción del funcionamiento de GPON**

Es necesario conocer cómo funciona el sistema de forma global y el comportamiento de la red con todos los elementos interconectados entre sí, desde la cabecera (OLT), hasta los usuarios (ONT), y viceversa, mismos que se detallan a continuación.

### **2.9.1 Canal descendente**

El canal descendente, hace referencia al envío de información desde la OLT hacia las ONT. En este canal, la red PON se comporta como una red punto-multipunto.

La OLT recoge infinidad de tramas de voz, datos y video, mismas que las transforman en una señal inyectable en las diferentes ramas de los usuarios mediante multiplexación WDM. Estas ramas están conformadas por una fibra que

conducen las señales de manera bidireccional, y que se encuentran empalmadas a divisores de potencia pasivos que permiten la conexión a todas las ONT de la red, sin necesidad de regeneración intermedia de señales (evitando elementos activos).

Estos divisores son los encargados de recibir la información procedente del OLT y enviar a todos los usuarios conectados a este elemento. En este procedimiento, se utiliza un protocolo de difusión basado en TDM, enviando la información de cada usuario en diferentes instantes de tiempo. La OLT tiene prefijados diferentes intervalos temporales, que corresponden a un usuario determinado, de tal forma que la ONT filtra la información destinada a cada usuario.

Un aspecto importante a considerar son las longitudes de onda ( $\lambda$ ) a las que transmiten información las OLT hacia las ONT. La longitud de onda para voz y datos es 1490 nm y de video en RF es de 1550 nm. [1]



Figura II-31 Canal descendente.

Fuente: Tecnologías PON. [31]

## 2.9.2 Canal ascendente

El canal ascendente, es el envío de la información procedente de la ONT del usuario final, hacia la OLT del operador. En este canal, la red PON se comporta como una red punto a punto.

Cada ONT recoge las tramas de voz y datos de los usuarios y realiza la misma operación que la OLT en el canal descendente, es decir, convierte las tramas en señales inyectables mediante multiplexación WDM, para enviarlas a la OLT.

El divisor de cada etapa, es el encargado de recoger la información procedente de todos sus ONT correspondientes y combinarlas en una única salida, enviándolas en dirección a la OLT del operador.

Para poder transmitir la información de los diferentes ONT sobre el mismo canal, es necesario, al igual que en el canal descendente, la utilización de TDMA, de tal forma que cada ONT envía la información en diferentes intervalos de tiempo, controlados por la unidad OLT.

En cuanto a las longitudes de onda de trabajo, la información enviada por el usuario (voz y/o datos), viaja a 1310 nm. [1]

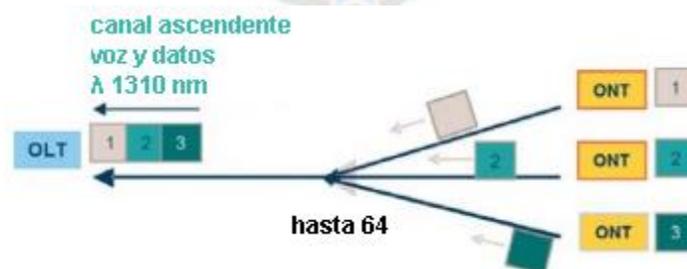


Figura II-32 Canal ascendente.

Fuente: Tecnologías PON. [31]

## **2.10 Recomendaciones para GPON UIT-T G.984.x**

La Unión internacional de telecomunicaciones (UIT), es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), fundada en 1865 para facilitar la conectividad internacional en redes de comunicaciones.

Sin estas normas (llamadas recomendaciones), no se podría establecer una llamada telefónica o navegar por Internet, cientos de estándares de la UIT permiten que los sistemas funcionen, local y globalmente.

La UIT ha propuesto un conjunto de recomendaciones que regulan las diferentes características de los equipos y el despliegue de la red, desarrollados para el soporte de la tecnología GPON, a continuación, se presentan estas recomendaciones que pertenecen a la serie G (sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales), en la sección de “Sistemas de líneas ópticas para redes locales y de acceso”, mismas que se mencionan a continuación. [32]

### **2.10.1 UIT-T G.984.1 (03/2008)**

Es una introducción a los sistemas de redes ópticas pasivas con capacidad Gigabit, presentando características generales de funcionamiento y constitución, con el fin de llegar a la convergencia de equipos.

Dentro de las características generales presenta cuatro posibles configuraciones de GPON con redundancia, de las cuales se observan en las siguientes figuras la del tipo A y B, ya que son de interés en el diseño del presente proyecto.

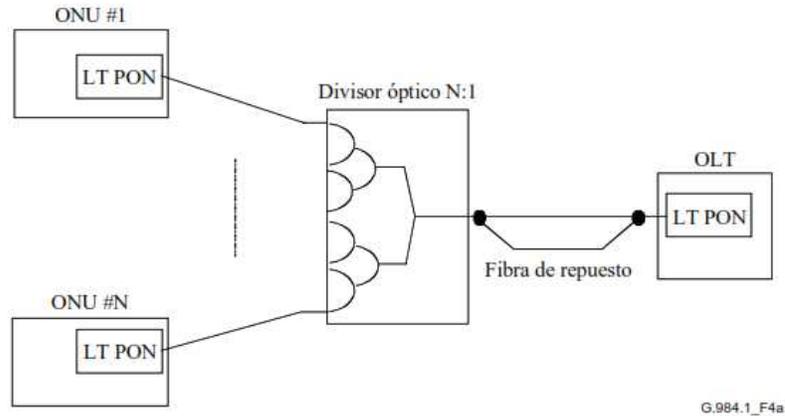


Figura II-33 Configuración dúplex GPON Tipo A.

Fuente: ITU-T G984.1. [32]

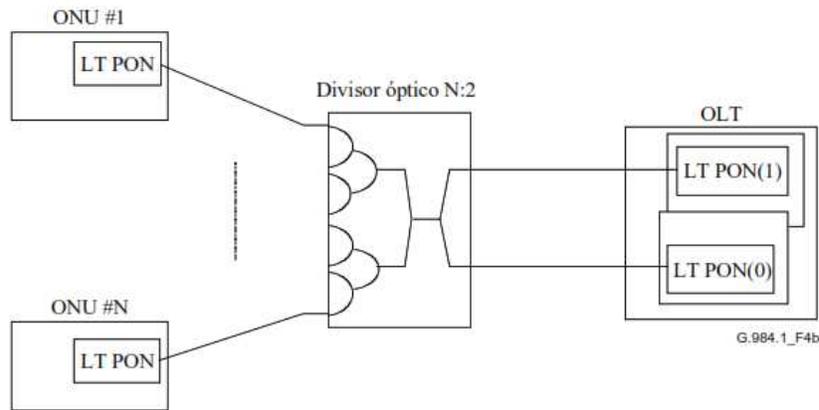


Figura II-34 Configuración dúplex GPON Tipo B.

Fuente: ITU-T G984.1. [32]

### 2.10.2 UIT-T G.984.2 (08/2019)

Describe una red de acceso de fibra óptica flexible capaz de soportar los requisitos de ancho de banda de los servicios comerciales y residenciales, cubre sistemas con velocidades de línea nominales de 1244,160 Mbit/s y 2488,320 Mbit/s en la dirección descendente y 155,520 Mbit/s, 622,080 Mbit/s, 1244,160 Mbit/s y 2488,320 Mbit/s en sentido ascendente. Se describen sistemas de red óptica pasiva (GPON) con capacidad gigabit simétrica y asimétrica (aguas arriba/aguas abajo). Esta

recomendación propone los requisitos y especificaciones de la capa física para la capa dependiente de los medios físicos (PMD).

Esta recomendación describe un sistema que representa un desarrollo evolutivo a partir del sistema descrito en UIT-T G.983.1. En la mayor medida posible, esta recomendación mantiene los requisitos de UIT-T G.983.1 para garantizar la máxima continuidad con los sistemas existentes y la infraestructura de fibra óptica. Además, describe varios presupuestos ópticos mejorados (B+, C+ y D) para ampliar esa capacidad. Los parámetros necesarios se definen para soportar la supervisión de la capa óptica.

### **2.10.3 UIT-T G.984.3 (01/2014)**

Describe la capa de convergencia de transmisión para redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit, esta recomendación incluye las especificaciones de lo siguiente:

- Estructura de capa de convergencia de transmisión PON gigabit (GTC).
- Mecanismo de acceso múltiple por división de tiempo aguas arriba.
- Canal de mensajes de operación, administración y mantenimiento de la capa física (OAM).
- Principios y mecanismo de señalización de la asignación dinámica de ancho de banda ascendente.
- Método de activación de la unidad de red óptica (ONT).
- Corrección de errores hacia adelante.
- Seguridad.

#### **2.10.4 UIT-T G.984.4 (02/2008)**

Proporciona la especificación de interfaz de control y gestión de terminación de red óptica (ONT) (OMCI) como se define en las Recomendaciones UIT-T G.984.2 y G.984.3. Especifica las entidades gestionadas de una base de información de gestión independiente del protocolo (MIB) que modela el intercambio de información entre la terminación de línea óptica (OLT) y la terminación de red óptica (ONT). Además, cubre el canal de administración y control de ONT, el protocolo y los mensajes detallados.

#### **2.10.5 UIT-T G.984.5 (05/2014)**

Define rangos de longitud de onda reservados para señales de servicio adicionales que se superpondrán mediante multiplexación por división de longitud de onda (WDM) futuras para maximizar el valor de las redes de distribución óptica (ODN).

#### **2.10.6 UIT-T G.984.6 (03/2008)**

Describe la arquitectura y los parámetros de interfaz con alcance extendido utilizando un dispositivo de extensión de alcance de capa física como un regenerador o amplificador óptico en el enlace de fibra entre la terminación de línea óptica (OLT) y la terminación de red óptica (ONT). El alcance máximo es de hasta 60 km con presupuestos de pérdida de más de 27,5 dB alcanzables en ambos tramos.

#### **2.10.7 UIT-T G.984.7 (07/2010)**

Define la distancia diferencial máxima entre dos ONT como 20 km y el alcance lógico (distancia máxima entre ONT y OLT, excepto por la limitación de la capa

física) se ha definido como 60 km. Sin embargo, según la experiencia práctica de implementación, se ha descubierto que una distancia diferencial de 40 km, que varía de 0 a 40 km, de 20 a 60 km o distancias intermedias, permite una flexibilidad significativa en la implementación de PON y ofrece muchos beneficios, incluida la capacidad de servir áreas escasamente pobladas de manera eficiente. La presente recomendación describe los requisitos necesarios para que GPON soporte la distancia diferencial de 40 km.

## **2.11 Presupuesto óptico y atenuación en GPON**

El cálculo de atenuación (pérdida de potencia), en el diseño de la red óptica es fundamental, debido a que la red funcionará solamente si está dentro del presupuesto de potencia óptica.

### **2.11.1 Presupuesto óptico en GPON**

El presupuesto de potencia óptica hace referencia a la cantidad de pérdida que la red puede tolerar, el cual tiene un valor máximo y un valor mínimo, lo que significa que necesita al menos un valor mínimo de pérdida para que no se sobrecargue el receptor y un valor máximo de pérdida para garantizar que el receptor tenga suficiente señal para funcionar correctamente.

### **2.11.2 Atenuación en GPON**

Es la suma de las pérdidas de potencia de todos los componentes utilizados entre el OLT y ONT, en la siguiente figura se muestran los factores que son participes en este cálculo.

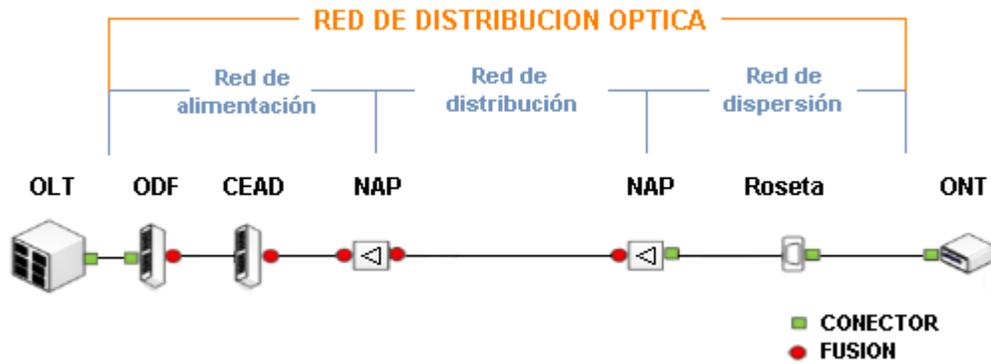


Figura II-35 Factores en el cálculo de atenuación en GPON.

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente ecuación hace referencia a los factores que se observaron en la anterior figura, con la cual se puede hacer el cálculo de la atenuación óptica en todo el trayecto de interés de la red.

$$A_T = A_{spl1} + A_{spl2} + (A_{fo} * d_{enl}) + (A_{emp} * N_{emp}) + (A_{cont} * N_{cont})$$

Dónde:

$A_T$ : Atenuación total [dB].

$A_{spl1}$  y  $A_{spl2}$ : Atenuación del divisor óptico de primer y segundo nivel [dB].

$A_{fo}$ : Atenuación de la fibra óptica [dB/Km].

$d_{enl}$ : distancia del enlace [Km].

$A_{emp}$ : Atenuación de empalme por fusión [dB].

$N_{emp}$ : Número de empalme por fusión.

$A_{cont}$ : Atenuación de empalme por conectorización [dB].

$N_{cont}$ : Número de empalme por conectorización.

Para garantizar la funcionalidad de manera adecuada de la red, se puede calcular la distancia máxima entre la OLT y ONT, despejando la variable distancia de la anterior ecuación, obteniendo la siguiente relación matemática.

$$D_{max} = \frac{A_T - A_{spl1} - A_{spl2} - (A_{emp} * N_{emp}) - (A_{cont} * N_{cont})}{A_{fo}}$$

## 2.12 Ventajas e inconvenientes de las redes GPON

En el presente apartado se mencionan las ventajas e inconvenientes de las redes ópticas pasivas gigabit. [6]

### 2.12.1 Ventajas de las redes GPON

El hecho de utilizar fibra óptica como medio de transmisión, elementos pasivos y su propio modo de encapsulamiento de la información, proporciona muchas ventajas a la red, a continuación, se describen las más relevantes.

- Elevado ancho de banda, permite proporcionar al usuario servicios de voz, datos y video, mediante el mismo medio de transmisión.
- Alcance de mayor distancia, la fibra óptica permite dar servicios a usuarios distantes hasta 20 Km de la oficina central.
- Seguridad, la información en la fibra óptica viaja cifrada, lo que garantiza la seguridad en las comunicaciones.
- Costos bajos, la utilización de elementos pasivos consigue abaratar el costo de la red y ahorrar en el mantenimiento, ya que los elementos pasivos no requieren mucha atención.

- Operatividad, GPON cuenta con un modelo de gestión integrado que simplifica la administración de los equipos.
- Mayor número de usuarios, una sola OLT puede dar servicio a más de 7000 clientes.
- Escalabilidad, es una tecnología flexible para futuras prestaciones, lo que quiere decir, podemos evolucionar y seguir utilizando la misma infraestructura de fibra.

### **2.12.2 Inconvenientes en las redes GPON**

A pesar de la gran cantidad de ventajas que poseen las redes GPON, también existen algunos inconvenientes que a continuación son mencionados.

- Reducción en la eficiencia de la red, la información requerida por un usuario es enviada a todos los usuarios de la red.
- La inseguridad del sistema, la información fluye a través de un mismo canal físico, disminuyendo la seguridad, obligando, a establecer un alto nivel de encriptación.
- Caída completa del sistema, todos los usuarios dependen de la OLT, una avería en esta, deja sin servicio a toda la red.
- Pérdidas en la red, el dividir el medio de transmisión entre varios usuarios, introduce atenuación en la línea, en consecuencia, a mayor número de etapas o saltos de división, mayor pérdida se introduce en el canal.

Hay que destacar que los inconvenientes mencionados, son inherentes a las ventajas que presentan las redes GPON, por tanto, no llegan a ser lo suficientemente importantes como para evitar utilizarlas.



### **CAPÍTULO III. DISEÑO DEL PROYECTO**

El presente capítulo describe el diseño de la red FTTH redundante con tecnología GPON, conforme a las recomendaciones de la UIT-T y bajo los conceptos estudiados en el CAPÍTULO II.

El diseño de la red FTTH se realiza a partir del análisis de la especificación de requerimientos de la red, que inicia delimitando el área geográfica de cobertura seguida de un estudio de la demanda de usuarios potenciales, que permite el cálculo del tráfico de datos necesario para satisfacer las exigencias requeridas, son definidas las trayectorias de distribución de la red y los puntos de acceso en función a los parámetros del presupuesto óptico, con la georreferenciación de trayectorias de distribución y puntos de acceso se elaboran los planos esquemáticos de longitudes y fusiones ópticas, los cuales con la ayuda del protocolo de restitución permiten la pronta localización de fallas y en consecuencia el restablecimiento de los servicios que brinda la red de manera inmediata.

#### **3.1 Configuración de la red FTTH**

De manera general la arquitectura de configuración de la red FTTH redundante se establece en tres componentes básicos, pero no hay que dejar de lado a los proveedores que inyectan los servicios de voz, video y datos a la red, el primer componente es la oficina central, desde donde el operador de telecomunicaciones gestiona el tráfico de la red, el segundo componente es la red de distribución óptica, la cual por objeto de estudio del presente proyecto será diseñada en topología del tipo anillo, el tercer componente son los equipos instalados en los usuarios finales, los

cuales permiten el acceso a los diferentes servicios brindados por la red. La Figura III-1 muestra la arquitectura general de la configuración de la red FTTH redundante a ser diseñada.

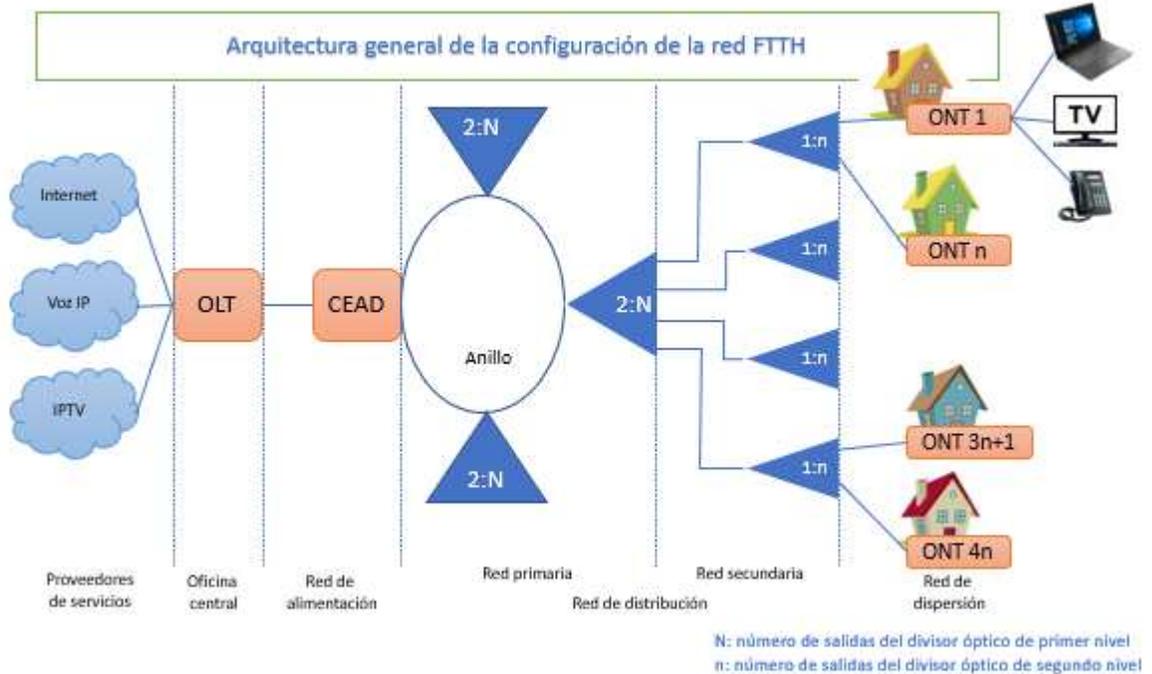


Figura III-1 Arquitectura general de la configuración de la red FTTH.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Especificación de requerimientos de la red FTTH.

Los requerimientos generales y sus correspondientes atributos funcionales de los cuales se parte para el diseño de la red FTTH se citan a continuación.

#### 3.2.1 Requerimientos generales

En la Tabla III-1 se detallan los requerimientos generales para el diseño de la red FTTH, clasificados de acuerdo a características similares de funcionalidad.

Tabla III-1 Requerimientos generales

UNIDAD DE DISEÑO	REQUERIMIENTO
Dimensionamiento de la red FTTH	1. Delimitación de cobertura de la red FTTH
	2. Demanda de usuarios potenciales de la red FTTH
Requisitos de la red FTTH	3. Tráfico en la red FTTH
	4. Equipos de la red FTTH
Distribución de la red FTTH	5. Cabecera de la red FTTH
	6. Despliegue de la red FTTH
Verificación de la red FTTH	7. Plano esquemático de longitudes ópticas de la red FTTH
	8. Plano esquemático de fusiones de la red FTTH
	9. Atenuación y presupuesto óptico de la red FTTH
Restitución de la red FTTH	10. Protocolo de restitución de la red FTTH

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Atributos funcionales de los requerimientos

En las siguientes tablas se especifican los atributos funcionales de los requerimientos de la red organizados en matrices, donde se listan horizontalmente los atributos correspondientes a cada requerimiento formulado verticalmente.

Tabla III-2 Dimensionamiento de la red FTTH

REQUERIMIENTO	ATRIBUTOS	
	Identificabilidad	Parámetros
1. Delimitación de cobertura de la red FTTH	Mayor concentración de la población	Imagen satelital
2. Demanda de usuarios potenciales de la red FTTH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demanda actual</li> <li>• Demanda proyectada en un periodo de 5 años</li> </ul>	Datos estadísticos del INE

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-3 Requisitos de la red FTTH

REQUERIMIENTO	ATRIBUTOS		
	Unidad	Parámetros	Recomendación ITU-T /capítulo
3. Tráfico en la red FTTH	Datos por segundo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proveedores de servicios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G 984.1 / 6.1 servicios.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requerido por usuario</li> <li>• Requerido por la red</li> </ul>	
4. Equipos de la red FTTH	OLT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidades rio arriba / rio abajo por puerto GPON: 1.25/2.5 Gbps.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G 984.1 / 7 tasa de bits.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relación de división por fibra 1/64</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G 984.1 / 12 Relación dividida</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia máxima 5,5 dBm.</li> <li>• Potencia mínima 1,5 dBm.</li> <li>• Sensibilidad mínima -28 dBm.</li> <li>• Sobrecarga mínima -8 dBm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G 984.2 / A3 Especificaciones ópticas.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• La tarjeta de enlace ascendente debe soportar interfaces Giga Ethernet escalable a 40 y/o 100 Giga Ethernet o superior.</li> <li>• Interfaces GPON por tarjeta de línea: 8 puertos o superior</li> <li>• Configuración de ancho de banda (rio abajo) en OLT desde 2 Mbps hasta 2.5 Gbps.</li> <li>• Configuración de ancho de banda en OLT por tipo de servicio (IPTV, Internet, VoIP) para un usuario específico y de manera global.</li> </ul>	
	ONT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia máxima 5,5 dBm.</li> <li>• Potencia mínima 0,5 dBm.</li> <li>• Sensibilidad mínima -27 dBm.</li> <li>• Sobrecarga mínima -8 dBm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G 984.2 / A3 Especificaciones ópticas (Clase B+)</li> </ul>
		Puertos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puerto GPON (Incluido el SFP).</li> <li>• 4 puertos ethernet 10/100/1000 Base-T</li> <li>• 2 puerto POT RJ-11</li> </ul>	
Características IPTV: <ul style="list-style-type: none"> <li>• IPTV en VLAN independiente de los servicios de Datos y Voz.</li> </ul>			

		<p>Accesorios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cable de conexión óptico con terminales SC/APC en ambos extremos (3 metros).</li> <li>• Cable de conexión UTP (3 metros) CAT. 5E</li> <li>• Cable de conexión telefónico con terminales RJ11. (3 metros)</li> </ul>	
	STB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución de video 480i, 480p, 576i, 576p, 720p, 1080i ó superior</li> <li>• Formato de audio Dolby Digital, Dolby Digital Plus ó superior</li> </ul>	
		<p>Puertos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puertos ethernet 10/100/1000 Base-T</li> <li>• Puerto USB</li> <li>• Wi-Fi 802.11b/g/n</li> </ul>	
		<p>Interfaz video:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digital HDMI 2.0</li> <li>• Analógico CVBS + L/R Audio</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-4 Distribución de la red FTTH

REQUERIMIENTO	ATRIBUTOS	
	Segmento de red	Parámetros
5. Cabecera de la red FTTH	Ubicación geográfica.	Coordenadas geográficas
	Diagrama de bloques	Constitución de equipos de la cabecera
	Salas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmisión</li> <li>• Distribución</li> <li>• Control</li> </ul>
6. Despliegue de la red FTTH	Red de alimentación	<p>Despliegue:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediante cable de 120 F.O.</li> <li>• Vía subterránea.</li> </ul>
		<p>Se debe contemplar en el diseño de la red los siguientes elementos por cada localidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación de ODF.</li> <li>• Fusión de fibras en ODF.</li> <li>• Trayectoria de F.O. georreferenciada de origen y destino.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación de cámaras subterráneas intermedias en caso de ser necesario.</li> <li>• Ubicación de la Caja de Empalme de Alta Densidad (CEAD) en cámara subterránea.</li> <li>• Fusión de fibras en CEAD.</li> <li>• Identificación de la subida lateral.</li> </ul>
		<p>Características del ODF que se deben definir en el diseño:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de ODF a emplear (interiores o exteriores)</li> <li>• Bandejas de fusiones para ODF.</li> <li>• Cable de conexión óptico entre ODF y Equipo OLT.</li> </ul>
		<p>En caso de encontrarse el ODF-OLT distantes, se debe contemplar materiales adicionales como escalerilla, cable canal, protección de F.O.</p>
<p>Red de distribución</p>		<p>El diseño de red de distribución debe contemplar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cables de fibra óptica de 24 hilos.</li> <li>• Despliegue vía aérea en postación.</li> <li>• Elementos ópticos pasivos tales como cajas de distribución, divisores ópticos de primer y segundo nivel, cajas de empalme.</li> </ul>
		<p>El diseño de las rutas de la red de distribución debe tener las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Georreferenciación de origen a destino</li> <li>• No se deben interponer entre ellas.</li> <li>• Considerar una reserva de una longitud de 15 metros por cable de F.O. en donde se deba instalar una caja de distribución.</li> </ul>
		<p>Las cajas de distribución deben contemplar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La instalación de dos divisores ópticos (2:4 y 1:16) o un divisor óptico (1:16) del tipo PLC</li> <li>• Fusión de hilos de F.O. en divisores ópticos de primer y segundo nivel.</li> <li>• Admisión para 3 cables de fibra óptica de 24 hilos.</li> </ul>
		<p>La ubicación de las cajas de distribución deberá ser diseñadas para dar cobertura a 16 clientes.</p>
<p>Red de dispersión</p>		<p>La modalidad del despliegue de la red de dispersión, será de acuerdo a demanda de los usuarios, esta no debe exceder un radio de 300 metros respecto a la caja de distribución.</p>
		<p>El despliegue de la red de dispersión debe contemplar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cables de fibra óptica de 1 hilo (Drop).</li> <li>• Elementos ópticos pasivos tales como roseta óptica, patch cord y conectores de campo del tipo SC/APC.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-5 Verificación de la red FTTH

REQUERIMIENTO	ATRIBUTOS	
	Cálculo	Parámetros
7. Plano esquemático de longitudes ópticas de la red FTTH	Longitudes de fibra óptica de cada anillo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Distancias ópticas entre puntos de acceso a la red.</li> <li>Facilidad de ubicación de fallas o cortes en la red</li> </ul>
8. Plano esquemático de fusiones de la red FTTH	Empalmes por fusión de la red.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asignación de hilos de F.O. en la red.</li> <li>Rápida identificación de fallos o cortes en la red</li> </ul>
9. Atenuación y presupuesto óptico de la red FTTH	Atenuación en el tramo más largo	Margen de seguridad de la red

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-6 Restitución de la red FTTH

REQUERIMIENTO	ATRIBUTOS	
	Fases	Documentación
10. Protocolo de restitución de la red FTTH	Procedimiento e instrucciones	Formulario de registro de fallas y restitución de la red.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Delimitación de cobertura de la red FTTH

Teniendo conocimiento de la especificación de requerimientos para el diseño de la red FTTH se procede con la delimitación de su cobertura, es decir, se establece el área geográfica que tendrá alcance los servicios que brinda la red, esta delimitación para ambas localidades se realiza tomando en cuenta el área geográfica en donde se encuentra la mayor concentración de la población.

Se utiliza la herramienta Google Earth, que es un programa informático que muestra un globo terráqueo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, basado en imágenes satelitales, teniendo una precisión aproximada de 10 metros.

La delimitación de cobertura se aprecia en la Figura III-2 para la localidad de Eterazama y en la Figura III-3 para la localidad de Villa 14 de Septiembre.



*Figura III-2 Cobertura para la Localidad de Eterazama.*

*Fuente: Google Earth.*





*Figura III-3 Cobertura para la Localidad de Villa 14 de Septiembre.*

*Fuente: Google Earth.*

### **3.4 Demanda de usuarios potenciales de la red FTTH**

Después de la delimitación del alcance de cobertura de la red FTTH en diseño, se dimensiona la misma, es decir, se establece la demanda de usuarios potenciales que requerirán algún servicio que brinda la red en el área geográfica delimitada, es por este medio que se obtiene la cantidad de puertos que debe disponer mínimamente la red FTTH en el diseño.

Para la obtención de la demanda actual y proyectada en ambas localidades, se basó en el último censo a nivel nacional realizado en el año 2012 por el INE<sup>28</sup> del Estado Plurinacional de Bolivia.

---

<sup>28</sup> Instituto Nacional de Estadística

### 3.4.1 Demanda actual

Esta demanda se establece en relación a la totalidad de habitantes actuales (año 2020), cada habitante no necesariamente es un cliente potencial, pero se considera a una familia como un cliente potencial, por lo cual se toma como promedio que una familia está compuesta por 4 integrantes, por tanto, se divide el total de habitantes de cada localidad entre 4, obteniendo un promedio de la cantidad de familias por localidad, esta cantidad de familias se considera como clientes potenciales de la red FTTH, estos datos se reflejan en la Tabla III-7.

*Tabla III-7 Demanda actual de clientes.*

Localidad	Población [habs.]	Familias [4 habs.]	Demanda [Clientes]
Eterazama	3783	946	946
Villa 14 de septiembre	2392	598	598

*Fuente: datos de población de habitantes por el INE.*

### 3.4.2 Demanda proyectada

Con el paso del tiempo la población crece, en consecuencia, existen nuevos clientes, por lo que es necesario hacer una proyección de la demanda en un tiempo determinado, con el objetivo de dimensionar la red de manera que no se tenga que realizar una nueva inversión en ampliaciones de la misma, mínimamente en el tiempo proyectado.

Por lo cual se calcula una demanda proyectada para un periodo de 5 años, como lo especifica los requerimientos para el diseño de la red FTTH, con una tasa de crecimiento del 1.4% estimada por el INE, para realizar este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$D_{(t)} = D_o * (1 + r)^t$$

Dónde:

$D_{(t)}$ : demanda proyectada.

$D_o$ : demanda actual.

$r$ : tasa de crecimiento de la población.

$t$ : tiempo proyectado.

Reemplazando los datos de las localidades de diseño, se obtiene la demanda proyectada para un periodo de 5 años, los que se exponen en la Tabla III-8.

Tabla III-8 Demanda proyectada en 5 años.

Localidad	Demanda Actual	Periodo [años]	Tasa de Crecimiento	Demanda Proyectada
Eterazama	946	5	0.014	1014
Villa 14 de septiembre	598	5	0.014	641

Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, el diseño de la red FTTH para la localidad de Eterazama tiene que disponer de al menos 1014 puertos de acceso a la red, mientras que la localidad de Villa 14 de Septiembre 641 puertos.

### 3.5 Tráfico en la red FTTH

#### 3.5.1 Proveedores de servicios

La recomendación de la UIT-T G 984.1 proporciona algunos servicios que la red FTTH con tecnología GPON admite, estos servicios son seleccionados de acuerdo a los requerimientos de la red, en el presente proyecto los servicios a ser brindados son:

- **Servicio de voz**, a través de la tecnología VoIP, que permite realizar llamadas de voz sobre el protocolo de internet, es decir, son llamadas que se realizan mediante la red de internet.
- **Servicio de video**, mediante la tecnología IPTV que permite que el servicio de televisión sea emitido a través de paquete de datos usando de manera semejante al servicio de voz el protocolo de Internet.
- **Servicio de datos**, mediante la cual se accede a la red de internet, permitiendo la provisión y distribución de la información (textos, imágenes, sonidos y videos).

Estos servicios son provistos y transportados a la cabecera de la red FTTH mediante una red metro ethernet, siendo esta una arquitectura tecnológica destinada a suministrar servicios de conectividad de datos en una red de área metropolitana (MAN), estas redes también son denominadas multiservicio.

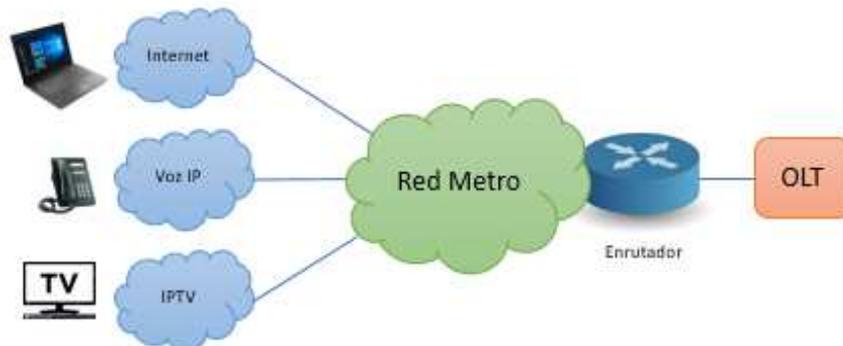


Figura III-4 Proveedores de servicios

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2 Ancho de banda disponible por usuario

Para evitar la saturación de la red FTTH, es de gran importancia realizar el cálculo de ancho de banda que se dispone para la provisión de los servicios de voz, video y datos para cada usuario, el cual permite brindar una velocidad de transmisión adecuada previniendo retardos en la transmisión del contenido.

El cálculo de ancho de banda que dispone la red FTTH para cada usuario, se realiza dividiendo la velocidad de transmisión de los puertos GPON de la OLT entre la relación de división (cantidad de clientes que alimenta cada fibra óptica que sale desde el puerto GPON de la OLT).

$$\text{Ancho de banda}_{\text{usuario}} = \frac{Vel_{Tx}}{\text{Relación de división}}$$

Para el diseño del presente proyecto si bien la recomendación de la UIT-T G 984.2 hace mención a 7 combinaciones de velocidades de transmisión, GPON apunta a velocidades mayores o iguales a 1.2 Gbps. En consecuencia, GPON identifica dos combinaciones de velocidad de transmisión significativas:

- 1.2 Gbps canal ascendente, 2.4 Gbps canal descendente
- 2.4 Gbps canal ascendente, 2.4 Gbps canal descendente.

La velocidad de bits más importante es de 1,2 Gbps en el canal ascendente y 2,4 Gbps en el canal descendente, debido a que el requerimiento de contenido normalmente es mayor al que se envía por el lado del usuario.

En cuanto a la relación de división, la recomendación de la UIT-T G 984.1 considera divisiones de hasta 1 a 128, es evidente que cuanto mayor es la relación de división

para GPON, más atractivo es para los operadores. Sin embargo, una relación de división mayor implica una división óptica mayor, lo que crea la necesidad de un mayor presupuesto de energía para soportar el alcance físico. Las proporciones divididas de hasta 1:64 son realistas para la capa física, dada la tecnología actual, por lo mencionado la relación 1 a 64 es la que se toma para el diseño de la red FTTH.

Reemplazando los valores mencionados en la anterior relación matemática se obtiene la capacidad máxima de ancho de banda que se dispone para otorgar a cada usuario de la red FTTH en diseño:

$$\text{Ancho de banda}_{\text{Usuario}} = \frac{2488,32 \text{ Mbps}}{64} = 38,88 \text{ Mbps}$$

A través de este ancho de banda de 38,88 Mbps serán transmitidos los servicios de voz, video y datos brindados por la red FTTH, por lo que es necesario definir el ancho de banda que ocupará cada servicio.

El ancho de banda necesario para la provisión de los servicios de voz y video dependen del tipo de compresión que se utiliza para ser transportada.

La codificación por CELP<sup>29</sup> es un estándar de compresión adaptado 100% a la voz humana, contiene filtros para las frecuencias que no impactan la calidad de la voz simplificando la señal y reduciendo así el ancho de banda utilizado en la transmisión, por lo cual se utiliza esta compresión para la transmisión de voz en el presente proyecto, que pertenece a la recomendación G.728 de UIT-T.

---

<sup>29</sup> Predicción lineal excitada por código

La codificación que se emplea para la difusión de video por Internet para el presente proyecto, está basada en el estándar MPEG-4 bajo la recomendación de la UIT-T H 264, debido a que mantienen una complejidad relativamente baja, tanto en hardware como en software, para permitir su uso en aplicaciones interactivas de gráficos y multimedia con resoluciones en alta definición.

También se considera la cantidad de servicios de voz y video (VoIP e IPTV) que se otorga por usuario, en el presente proyecto cada usuario podrá acceder hasta dos líneas telefónicas y tres equipos de televisión, con estos datos se calcula el ancho de banda se requiere para la transmisión de los servicios de voz y video por usuario

*Tabla III-9 Ancho de banda requerido por usuario para VoIP e IPTV*

<b>Servicio</b>	<b>Recomendación ITU-T</b>	<b>Ancho de banda por servicio [Mbps]</b>	<b>Cantidad máxima de servicios por usuario</b>	<b>Ancho de banda parcial por usuario [Mbps]</b>
VoIP	G 728	0,063	2	0,126
IPTV (HD)	H 264	5,500	3	16,500
Ancho de banda por usuario				16,626

*Fuente: Elaboración propia.*

El ancho de banda que se requiere y es reservado para la transmisión en su máxima capacidad para brindar los servicios de voz y video es de 16,626 Mbps, haciendo la diferencia con la capacidad máxima de ancho de banda que se entrega por usuario de 38,88 Mbps (anteriormente calculado), se obtiene 22,254 Mbps, que es el ancho de banda destinado para el servicio de datos.

### 3.5.3 Ancho de banda requerido por la red

El cálculo de ancho de banda que se requiere para la red FTTH en su totalidad, se realiza multiplicando el ancho de banda total necesario por usuario, tomando en cuenta la máxima cantidad de servicios de voz y video que pueden ser brindados por la red y la cantidad de los usuarios potenciales, este cálculo se puede apreciar en la Tabla III-10.

Tabla III-10 Ancho de banda requerido por la red

Localidad	Demanda de usuarios de la red	Ancho de banda total por usuario	Ancho de banda total requerido
Eterazama	1014	38,88 Mbps	39,43 Gbps
Villa 14 de septiembre	641	38,88 Mbps	24.93 Gbps

Fuente: Elaboración propia.

En la anterior tabla se aprecia el ancho de banda requerido para cada localidad necesario para evitar la saturación de ambas redes FTTH.

## 3.6 Equipos de la red FTTH

Una vez establecida la configuración y el tráfico de la red FTTH, se seleccionan los equipos necesarios para el diseño de la misma, teniendo en cuenta que cumplan las características recomendadas por la UIT-T.

### 3.6.1 OLT

Para la elección de la OLT se revisaron los equipos de la marca Huawei, una de las empresas más reconocidas a nivel mundial, que cumple con las especificaciones requeridas del proyecto. En su serie EA 5800 ofrece una OLT distribuida de servicio completo, con las siguientes características.

- Presenta una arquitectura distribuida y utiliza tecnología de acceso virtual para proporcionar una plataforma de transmisión unificada a los usuarios para servicios de banda ancha, inalámbricos, de vídeo y de vigilancia.
- Proporciona acceso GPON, XG-PON, XGS-PON, GE y 10GE, y admite múltiples modos de construcción de red, incluidos FTTH, FTTB y FTTC. Una red óptica cubre todos los servicios, lo que simplifica la arquitectura de red y reduce el OPEX<sup>30</sup>.
- Disponible en varias dimensiones para satisfacer los requisitos de diferentes escenarios.

Las OLT Huawei de la serie EA5800 presenta cuatro equipos, las especificaciones de cada uno de ellos se observan en la Tabla III-11.

*Tabla III-11 Especificaciones OLT Huawei.*

<b>Parámetros</b>	<b>EA5800-X17</b>	<b>EA5800-X15</b>	<b>EA5800-X7</b>	<b>EA5800-X2</b>
Armarios admitidos	N63E-22	N66E-22	N63E-22 N66E-22	N63E-22
Ranuras de tarjetas de control	9, 10	8, 9	8, 9	3, 4
Ranuras de tarjetas de servicio	1 a 8, 11 a 19	1 a 7, 10 a 17	1 a 7	1 a 2
Ranura de tarjetas de interfaz universal	0	0	0	No admite
Ranuras de tarjetas de potencia	20, 21	18, 19	10, 11	0

<sup>30</sup> Gasto operativo.

*DISEÑO DE UNA RED FTTH REDUNDANTE CON TECNOLOGÍA GPON*

Dimensiones (ancho x profundidad x alto, mm)	Incluidos los soportes de montaje: 535 x 287 x 486	Incluidos los soportes de montaje: 482.6 x 287 x 486	Incluidos los soportes de montaje IEC: 482.6 x 268.7 x 263.9	Incluidos los soportes de montaje IEC: 482.6 x 268.7 x 88.1
Peso máximo (incluidos soportes de montaje)	45 kg	35 kg	26 kg	9,4 kg
Corriente máxima de entrada	60 A	60 A	40 A	Alimentación CC: 20 A Alimentación CA: 8 A
Modos de alimentación	Alimentación CC (dual para redundancia)	Alimentación CC (dual para redundancia)	Alimentación CC (dual para redundancia)	Alimentación CC (dual para redundancia) Alimentación CA + batería para redundancia
Rango de voltaje de funcionamiento	-38,4 V a -72 V CC	-38,4 V a -72 V CC	-38,4 V a -72 V CC	Alimentación CC: -38,4 V a -72 V Alimentación CA: 100 V a 240 V
Tensión nominal	-48 V /-60 V	-48 V /-60 V	-48 V /-60 V	Alimentación CC: -48 V/-60 V Alimentación CA: 110 V/220 V
Temperatura ambiente	-40 °C a 65 °C*. El EA5800 puede iniciarse a una temperatura mínima de -25 °C. Nota: La temperatura de 65 °C se refiere a la temperatura más alta medida en la rejilla de entrada de aire del subrack de servicio.			
Humedad ambiente	Humedad relativa del 5 % al 95 %			
Altitud	≤4000 m. La densidad del aire varía con la altitud y afectará a la disipación de calor de un dispositivo. Por lo tanto, la temperatura del entorno de funcionamiento del EA5800 varía con la altitud.			
Ancho de banda máximo por ranura de servicio (modo de distribución de la carga)	100 Gbit/s	100 Gbit/s	100 Gbit/s	80 Gbit/s
Cantidad máxima de usuarios simultáneos de vídeo 4K	16000	16000	8000	2000

Tasa de errores de bits (BER) a plena carga	Una BER inferior a 10e-7 para un puerto que transmite datos a plena carga.			
Especificaciones de fiabilidad del sistema	Disponibilidad del sistema para la configuración típica: > 99.999 % Tiempo medio entre fallos (MTBF): alrededor de 45 años. Nota: Debido a los diferentes entornos de red y a las diferentes tarjetas utilizadas por los dispositivos, el MTBF precedente (45 años) del EA5800 es solo como referencia. El tiempo promedio de reparación de las unidades reemplazables en campo (FRU) es de aproximadamente 2 horas. Los valores mencionados son solo como referencia. Para obtener más detalles, consulte a los ingenieros de Huawei.			
Puertos GPON/ XG(S)-PON	272	240	112	32

*Fuente: Huawei. [14]*

La OLT Huawei EA5800-X7, tiene capacidad de 54 puertos GPON, suficiente para satisfacer la cantidad de clientes en ambas localidades y permitir futuras ampliaciones en la red, por tanto, es la que se elige como referencia en el presente proyecto.



*Figura III-5 OLT EA5800-X7 Huawei.*

*Fuente: Huawei. [14]*

Uno de los elementos importantes en la OLT es la tarjeta de servicio, que básicamente define la cantidad de puertos GPON disponibles por ranura en la OLT, la EA5800-x7 soporta las tarjetas GPHF y GPSF, sus características se observan en la Tabla III-12.

Tabla III-12 Tarjetas de servicios OLT EA5800.

Parámetros	H901GPHF	H901GPSF
Puerto	16 puertos GPON con módulos ópticos SFP	16 puertos GPON con módulos ópticos SFP
Máxima relación de división	Clase B +: 1:64 Clase C + / C ++: 1: 128	Clase B +: 1:64 Clase C + / C ++: 1: 128
Función		
Velocidad de Tx y Rx por puerto	Tx: 2,49 Gbit / s, Rx: 1,24 Gbit / s	Tx: 2,49 Gbit / s, Rx: 1,24 Gbit / s
Capacidad de reenvío	40 Gbit / s	40 Gbit / s
Tamaño máximo de cuadro	2004 bytes 9216 bytes	2004 bytes
Número máximo de direcciones MAC	131072	16384
Tipo modulo óptico	Bidireccional	Bidireccional
Jerarquía de programación de colas	HQoS de 4 niveles	HQoS de 2 jerarquías
Protección tipo B (doble referencia)	Soportado	No soportado
Protección tipo B (referencia simple) / Tipo C	Soportado	Soportado
Apagado automático a alta temperatura	Soportado	Soportado
Apagado automático de un puerto inactivo	Soportado	Soportado
Módulo óptico integrado OTDR de hasta 1:64	Compatible con FBG (sensor para realizar mediciones físicas)	Compatible con FBG (sensor para realizar mediciones físicas)
Ambiente		
Temperatura de funcionamiento	-40 ° C a + 65 ° C	-40 ° C a + 65 ° C
El consumo de energía	Estático: 25 W Máximo: 50 W	Estático: 25 W Máximo: 50 W

Fuente: Huawei.[14]

Por las especificaciones que se observa en la Tabla III-12, ambas tarjetas satisfacen las necesidades del proyecto, se opta la GPSF por admitir solo FTTH, ideal para el diseño en curso de la red, mientras que GPHF admite FTTx.



Figura III-6 Tarjeta de servicio GPSF.

Fuente: Huawei. [14]

### 3.6.2 ONT

Debido a la interoperabilidad establecida en las recomendaciones de la UIT, se dispone de una gama amplia para la elección de la ONT. La marca Huawei en su serie EchoLife, cumple con los requerimientos técnicos establecidos para el diseño de la red, cuyas especificaciones se detallan en la Tabla III-13.

Tabla III-13 Especificaciones ONT Huawei serie EchoLife.

Parámetros	EG8247Q	EG8247W
Dimensiones (alto x ancho x profundidad, mm)	32 x 159 x 219 (sin antenas externas y pads)	184 x 295 x 82
Peso	< 1500 g	Aproximado 690 g
Temperatura de funcionamiento	0 °C a 40 °C	0°C a 40°C
Humedad de funcionamiento	5 % al 95 % HR (sin condensación)	5% RH to 95% RH (non-condensing)
Entrada del adaptador de alimentación	90-264 V CA, 50/60 Hz	100-240 V CA, 50/60 Hz
Fuente de alimentación del sistema	11-14 V CC, 1,5 A	11-14 V CC, 3 A
Consumo de potencia estático	4,3 W	8 W
Consumo máximo de potencia	24 W	32 W

Puertos	2 POTS, 4GE, Wi-Fi de 2,4G/5G, 2 USB y 1 CATV	2 POTS, 4 GE, USB, CATV y 2.4G Wi-Fi/5G Wi-Fi
Indicadores	Power, PON, LOS, LAN, TEL, USB, WLAN, WPS y CATV	Power, PON, LOS, TEL, LAN, CATV, WLAN, WPS y USB
WLAN	IEEE 802.11 b/g/n (2.4G) IEEE 802.11 a/n/ac (5G) 3 x 3 MIMO (2.4G/5G) Ganancia de antena: 2 dBi WMM/Múltiples SSID/WPS 2,4G/5G simultáneo Tasas de interfaz de aire: 450 Mbit/s (2.4G); 1300 Mbit/s (5G)	IEEE 802.11 b/g/n (2.4G) IEEE 802.11 a/n/ac (5G) 3 x 3 MIMO (2.4G) 4 x 4 MIMO (5G) Ganancia de antena: 2 dBi WMM/Multiple SSID/WPS/DFS Tasas de interfaz de aire: 50 Mbit/s (2.4G); 1733 Mbit/s (5G)
Puerto GPON	Clase B+ Sensibilidad de recepción: -27 dBm Potencia óptica de sobrecarga: -8 dBm Longitudes de onda: 1310 nm US, 1490 nm DS WBF Mapeo flexible entre el puerto GEM y TCONT GPON: Consistente con el SN o la contraseña Autenticación definida en G.984.3 FEC bidireccional SR-DBA y NSR-DBA	Class B+ Sensibilidad de recepción: -27 dBm Longitudes de onda: 1310 nm US, 1490 nm DS WBF Mapeo flexible entre el puerto GEM y TCONT GPON: Consistente con el SN o la contraseña Autenticación definida en G.984.3 FEC bidireccional
Puerto Ethernet	Etiquetas VLAN basadas en puerto Ethernet y eliminación de etiquetas 1:1 VLAN, N:1 VLAN, o VLAN transparente	Etiquetas VLAN basadas en puerto Ethernet y eliminación de etiquetas 1:1 VLAN, N:1 VLAN, o VLAN transparente
Puerto POTS	REN máximo: 4 G.711A/μ, G.729a/b y G.722 codificación/decodificación Modo fax T.30/T.38/G.711 DTMF Llamadas de emergencia (con el protocolo SIP)	REN máximo: 4 G.711A/μ, G.729a/b y G.722 codificación/decodificación Modo fax T.30/T.38/G.711 DTMF Llamadas de emergencia (con el protocolo SIP)

Fuente: Huawei. [14]

Echolife EG8247W es un terminal de red óptica de tipo enrutador inteligente integrado en la solución FTTH de Huawei, proporciona interfaces Ethernet, Wi-Fi,

RF, POTS y USB para ofrecer acceso con funciones completas. El diseño ahorra espacio de instalación y hace que la implementación de ONT sea más eficiente. Las múltiples interfaces satisfacen los requisitos de Triple-Play para familias, hoteles y otros escenarios, por tales motivos se elige la ONT mencionada.



Figura III-7 ONT Huawei Echolife EG8247W.

Fuente: Huawei. [14]

### 3.6.3 STB

La marca Amino es una de las empresas más reconocidas por sus innovaciones en la fabricación de STB, en su producto VU ofrece equipos que cumple los requerimientos técnicos descritos para el diseño de la red, sus características son las siguientes:

- Videos de alta resolución, no solo admite contenido 4K UHD<sup>31</sup>, sino que también pueden reducir los requisitos de ancho de banda hasta en un 50%.
- Admite contenido lineal en vivo y bajo demanda, se integran fácilmente con varias plataformas OTT<sup>32</sup> como YouTube, Amazon Prime, Netflix entre otras.

---

<sup>31</sup> Ultra alta definición.

<sup>32</sup> Aplicaciones que ofrecen contenido de video a través de internet.

La empresa Amino dentro de sus productos VU presenta la serie Kamai, ofreciendo tres dispositivos STB, sus especificaciones se las aprecia en la Tabla III-14.

Tabla III-14 Especificaciones STB AminoVU Kamai.

Parámetros	Kamai 7B	Kamai 7X	Kamai 7XM
Resolución de video	480i, 480p, 576i, 576p, 720p, 1080i, 1080p60, 2160p60 10-bit	480i, 480p, 576i, 576p, 720p, 1080i, 1080p60, 2160p60 10-bit	480i, 480p, 576i, 576p, 720p, 1080i, 1080p60, 2160p60 10-bit
Formatos de audio	Dolby Digital, Dolby Digital Plus, MPEG I Layer 1 and 2, LC-ACC & HE-AAC	Dolby Digital, Dolby Digital Plus, MPEG I Layer 1 and 2, LC-ACC & HE-AAC	Dolby Digital, Dolby Digital Plus, MPEG I Layer 1 and 2, LC-ACC & HE-AAC
Ethernet	10/100/1000 Base-T Ethernet	10/100 Base-T Ethernet	10/100/1000 Base-T Ethernet
Wi-Fi	4x4 802.11ac/n 5GHz	2x2 802.11ac/n de doble banda seleccionable	
USB	1 x 3.0	1 x 2.0	1 x 2.0
Control remoto	IR 36KHz / BLE	IR 36KHz (Standard) / BLE (Option)	IR 36KHz (Standard) / BLE (Option)
Interfaz video digital	HDMI 2.0	HDMI 2.0	HDMI 2.0
Interfaz video analógico	CVBS + L/R Audio	CVBS + L/R Audio	CVBS + L/R Audio
Dimensiones (profundidad x ancho x alto, mm)	170 x 117 x 36	170 x 117 x 36	170 x 117 x 36
Peso	270g	239g	239g

Fuente: Amino.[15]

Los tres equipos STB de la marca Amino, cumplen los parámetros de diseño de la red, sin embargo, por el acceso de manera inalámbrica al equipo se opta por el modelo Kamai 7B, el cual se aprecia en la Figura III-8.



Figura III-8 STB AminoVU Kamai 7B.

Fuente: Amino. [15]

### 3.6.4 Divisores ópticos

Una de las mejores opciones en divisores ópticos para optar en el presente proyecto son de la marca Furukawa, sus principales características se observan en la Tabla III-15.

Tabla III-15 Especificaciones técnicas divisores ópticos Furukawa.

Parámetros	2 x 4	1 x 16
Tipo	PLC	PLC
Banda óptica pasante [nm]	12260-1650	12260-1650
Perdida de inserción máxima	7,3 dB	13,7 dB
Uniformidad	0,8 dB	1,3 dB
Sensibilidad a la polarización máxima (PDL)	0,2 dB	0,3 dB
Directividad	>55 dB	>55 dB
Perdida de retorno	>55 dB	>55 dB
Temperatura de operación	-40 a 85°C	-25 a 70°C
Tipo de conector en salida		SC/APC
Código	35500120	35500192

Fuente: Elaboración propia.

El divisor óptico de primer nivel no tiene conectores a sus extremos, mismos que son fusionados, mientras que el divisor óptico de segundo nivel cuenta en sus salidas conectores del tipo SC/APC, como se observa en la Figura III-9, ya que estas no son conexiones fijas, dependen de las instalaciones y demanda de los clientes.



Figura III-9 Divisor óptico Furukawa 1:16.

Fuente: Furukawa. [33]

### 3.6.5 Conectores

Los conectores ópticos a optar en el proyecto son del tipo SC/APC, presentan las especificaciones técnicas que se aprecian en la Tabla III-16, los cuales pertenecen a la marca Furukawa.

Tabla III-16 Especificaciones técnicas de conectores SC/APC Furukawa.

Parámetros	Fusión interna	De campo
Tipo	SC/APC	SC/APC
Perdida de inserción máxima	0,3 dB	0,5 dB
Perdida de retorno	>60 dB	<40 dB
Férula	Cerámica	Cerámica
Conexión	Tire-empuje	Tire-empuje
Familia del producto	TeraLan	TeraLan

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura III-10 se puede apreciar el conector SC/APC que se opta para ser utilizado en el diseño del proyecto.



Figura III-10 Conector SC/APC Furukawa.

Fuente: Furukawa. [33]

### 3.6.6 Fibra óptica

En cuanto a la fibra óptica se opta por la marca Furukawa, el modo de propagación de la luz para las GPON son del tipo monomodo, que cumple con las recomendaciones de la UIT-T G652.

En la Tabla III-17, se aprecia las especificaciones técnicas de cables que contienen diferentes cantidades de fibra, los cuales son utilizados en el diseño para el despliegue de la red.

Tabla III-17 Especificaciones técnicas fibra óptica Furukawa.

Parámetros	120 hilos	24 hilos	1 hilo
Atenuación óptica 1310nm [dB/Km]	0,35	0,35	0,35
Atenuación óptica 1550nm [dB/Km]	0,25	0,25	0,25
Construcción	Armadura de cinta de acero	Dieléctrico	Dieléctrico
Estructura	Holgada	Holgada	Ajustada

Aplicación	Subterránea	ADSS	ADSS
Temperatura de operación	-40°C a +70°C	-40°C a +70°C	-20°C a +65°C
Radio mínimo de curvatura	185mm	102mm	15mm
Tensión máxima	2700N	2670N	670N
Cantidad de tubos	10	4	
Numero de fibras por tubo	12	6	

*Fuente: Elaboración propia.*

En la Figura III-11 se observa el cable drop de un hilo de fibra, como se aprecia en la Tabla III-17 tiene un radio de curvatura de 15mm, necesario para instalaciones domiciliarias



*Figura III-11 Cable drop de una fibra Furukawa.*

*Fuente: Furukawa. [33]*

### 3.7 Cabecera de la red FTTH

Describe la conexión de los equipos que intervienen en la cabecera de la red FTTH, así como también su ubicación geográfica que permiten el control, distribución y transmisión del tráfico de datos de la red.

#### 3.7.1 Ubicación geográfica de la cabecera

La ubicación geográfica de la cabecera de la red está sujeta a la disponibilidad de espacios del operador de telecomunicaciones, en el presente diseño se parte de

los predios de la Empresa Nacional de Telecomunicaciones ENTEL S.A. que tiene presencia en ambas localidades.

La Tabla III-18 muestra las coordenadas geográficas donde ENTEL S.A. dispone de espacios, en los cuales cuenta con nodos de acceso a su red metro ethernet a través de fibra, de donde son accesibles los servicios de voz, video y datos requeridos en el proyecto.

*Tabla III-18 Coordenadas geográficas de las cabeceras GPON.*

<b>Localidad</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Eterazama	-16.827907°	-65.520004°
Villa 14 de septiembre	-16.846958°	-65.341669°

*Fuente: Elaboración propia.*

Se debe tener en cuenta que ambos espacios no disponen de una infraestructura civil, por lo cual los equipos de la cabecera son instalados en armarios para exteriores.

Cabe mencionar que la implementación del presente diseño es posible para cualquier empresa de telecomunicaciones, el único cambio que se realiza es la trayectoria de la red de alimentación, debido a que la ubicación de la cabecera depende de las instalaciones que dispone el operador.

### **3.7.2 Diagrama de bloques de la cabecera**

En la cabecera de la red FTTH se encuentran los equipos que agregan tráfico de los diversos servicios a la red. Básicamente la cabecera de la red FTTH del presente proyecto está constituida únicamente por el equipo OLT, esto se debe a que el servicio de televisión mediante IPTV la señal de vídeo se transmite sobre el mismo

enlace IP, como una cadena de datos para acceso a Internet, de manera análoga sucede con VoIP.

La Figura III-12 muestra el diagrama de bloques de la cabecera de la red FTTH, que permite la provisión de los servicios de VoIP, IPTV e internet de banda ancha, en la misma figura también se observa una posible incorporación para el servicio de CATV.

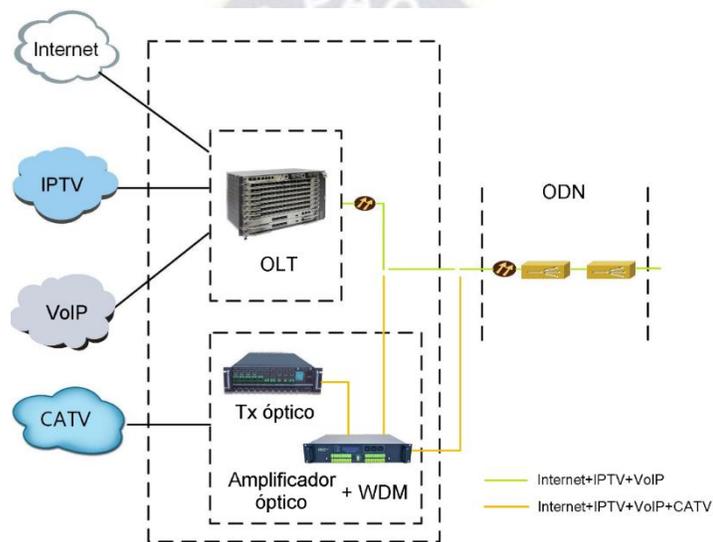


Figura III-12 Diagrama de bloques cabecera de la red FTTH.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.7.3 Salas de la cabecera

La cabecera de la red FTTH está conformada por tres salas, las cuales son: transmisión, distribución y control, como se mencionó anteriormente, no se cuenta con una infraestructura civil en ambas localidades, por tanto, las salas de transmisión y distribución se reducen a un gabinete para exteriores, mientras que la sala de control será manejada de forma remota desde las oficinas del operador en cada localidad.

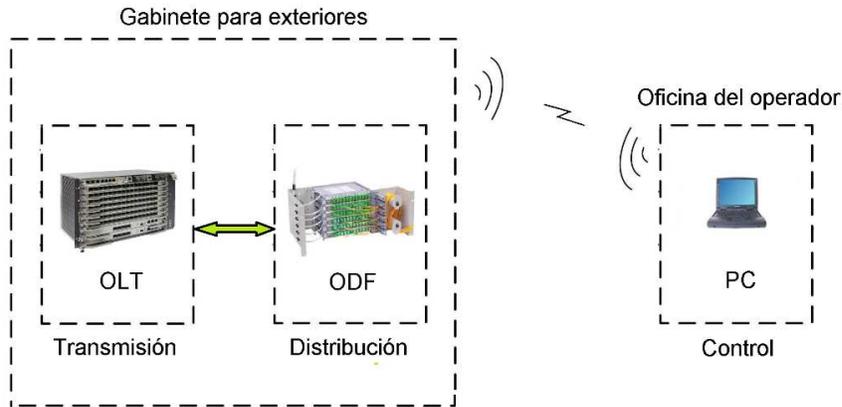


Figura III-13 Salas de la cabecera GPON.

Fuente: Elaboración propia.

El gabinete para exteriores F01T300 de la marca Huawei, cumple con las características señaladas anteriormente, debido a que admite a los módulos de transmisión (OLT EA 5800-x7) y de distribución (ODF), como se observa en la Figura III-14.



Figura III-14 Gabinete para exteriores para la OLT EA5800-x7+ODF.

Fuente: Huawei. [14]

### 3.8 Despliegue de la red FTTH

Para el diseño del despliegue de la red FTTH, uno de los factores determinantes es el cálculo de la distancia máxima que debe existir entre la OLT y la ONT más lejana, para realizar este cálculo se recurre a la fórmula estudiada en el CAPÍTULO II.

$$D_{max} = \frac{A_T - (A_{spl1} + A_{spl2}) - (A_{emp} * N_{emp}) - (A_{cont} * N_{cont})}{A_{fo}}$$

Donde se observa que se requieren la atenuación de los divisores ópticos, esta atenuación depende de la cantidad de entradas y salidas del divisor óptico, por tanto, es necesario definir la cantidad de entradas y salidas de los divisores ópticos en la red.

La red es diseñada con una relación de división de 1 a 64 en base a dos niveles de división óptica, el primer nivel está constituido por divisores ópticos de dos entradas y cuatro salidas, las cuales alimentan a los divisores ópticos de segundo nivel de una entrada y dieciséis salidas.

Las atenuaciones de los elementos de la red y parámetros de la ODN de clase B+, se detallan en la Tabla III-19.

Tabla III-19 Atenuaciones en la red de acceso.

Ítem	Cantidad	Atenuación elementos seleccionados	Máxima atenuación ITU	Recomendación ITU-T
Conectorizaciones	3	0,5 [dB]	≤0,5 [dB]	671(08/2019)
Fusiones	5	0,1 [dB]	≤0,3 [dB]	
Fibra óptica		0,35 [dB/Km]	0,35 [dB/Km]	652(11/2006)
Divisor óptico 2x4	1	7,3 [dB]	≤8,1 [dB]	671(08/2019)
Divisor óptico 1x16	1	13,7 [dB]	≤15 [dB]	671(08/2019)
Atenuación total ODN Clase B+	1	28 [dB]	28 [dB]	984.2(08/2019)

Fuente: Elaboración propia.

Para garantizar el correcto funcionamiento de la red, se establece una atenuación de 3 dB como margen de seguridad, la cual se resta del presupuesto óptico de 28 dB que establece las redes FTTH con tecnología GPON para ODN de clase B+, dando como resultado una atenuación máxima para disponer de 25 dB, reemplazando los valores mencionados se tiene:

$$D_{max} = \frac{25 - (7,3 + 13,7) - (0,1 * 5) - (0,5 * 3)}{0,35} = 5.71 [Km]$$

Por tanto, el despliegue de la red FTTH no debe exceder los 5,71 Km entre la OLT y ONT más lejana, es decir, el despliegue de la red de alimentación, distribución y dispersión no debe ser mayor a la distancia calculada.

### **3.8.1 Red de alimentación**

Como se mencionó en el CAPÍTULO II, es por medio de la red de alimentación que se cursa todo el tráfico de la red FTTH, inicia en el distribuidor óptico (ODF) y culmina en la cámara de empalme de alta densidad (CEAD).

- **ODF**

El distribuidor óptico, como se mencionó anteriormente se sitúa en el mismo gabinete que contiene la OLT, por tanto, tiene las mismas coordenadas geográficas que la OLT, estos están interconectados a través de cables de conexión óptico (patch cord) del tipo SC/APC de 6 metros de longitud.

- **CEAD**

La cámara de empalme de alta densidad es ubicada en el centro de cobertura de cada localidad, con el objetivo de distribuir la red de manera más eficiente. Por las

características mencionadas en la Tabla III-20 se observa las coordenadas geográficas de la ubicación del CEAD establecidas para ambas localidades.

Tabla III-20 Coordenadas geográficas del CEAD

Localidad	Latitud	Longitud
Eterazama	-16.831003°	-65.521555°
Villa 14 de septiembre	-16.844968°	-65.347456°

Fuente: Elaboración propia.

La red de alimentación para tener una mejor protección es diseñada para ser instalada de manera subterránea, por lo cual es necesario realizar obras civiles como la construcción de cámaras, la distancia aproximada entre ellas son de 80 metros en trayectorias rectas y de manera obligatoria en cambios de dirección, la Figura III-15 y Figura III-16 muestran la cantidad de cámaras que son necesarias para el desplazamiento de la red de alimentación de cada localidad, como también se observa su trayectoria de conexión entre el ODF y el CEAD.

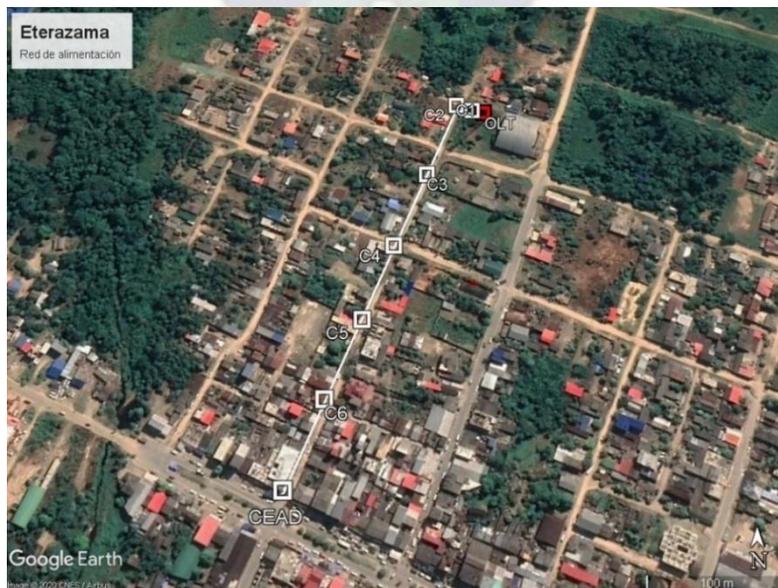


Figura III-15 Red de alimentación Eterazama

Fuente: Elaboración propia.

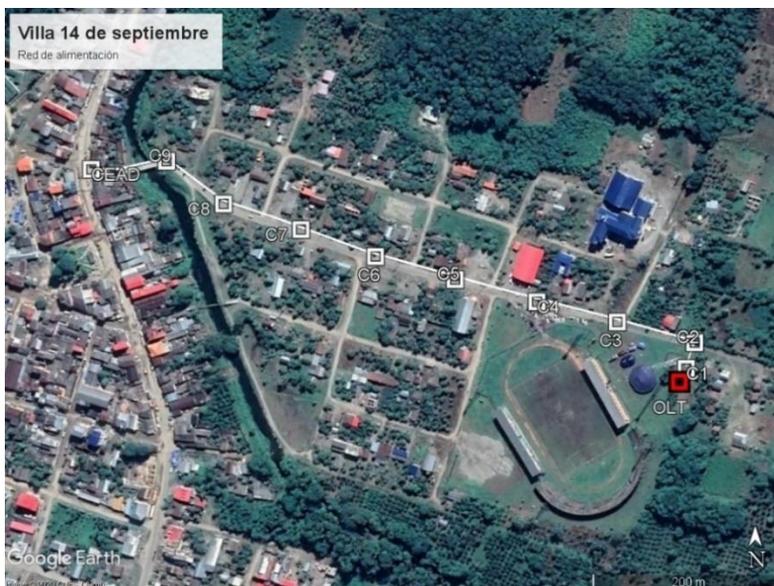


Figura III-16 Red de alimentación Villa 14 de Septiembre

Fuente: Elaboración propia.

En cada cámara subterránea se tiene una reserva de 40 metros, previendo una ruptura en el peor de los casos en la mitad de la trayectoria entre cámaras, con el objeto de recuperar la multifibra en caso de ruptura hacia la cámara más cercana al evento y realizar los respectivos empalmes por fusión.

La longitud total necesaria de multifibra para la red de alimentación, está dada por la sumatoria de reservas en cada una de las cámaras y la trayectoria entre el ODF y el CEAD, mismos que se detallan en la Tabla III-21 para cada localidad.

Tabla III-21 Longitud de la red de alimentación.

Localidad	Longitud lineal [m]	Cámaras intermedias [m]	Cámaras de extremos [m]	Longitud Total [m]
Eterazama	392	5*40=200	2*20=40	632
Villa 14 de septiembre	697	8*40=320	2*20=40	1057

Fuente: Elaboración propia.

### 3.8.2 Red de distribución

Para el diseño de la red de distribución, se comienza estableciendo la ubicación de los puntos de acceso a la red (NAP), luego se define la trayectoria del cable de multifibra para la conexión entre ellas y la red de alimentación.

El cable de multifibra de la red de distribución está compuesta por 24 hilos de fibra óptica, conectándose a la red de alimentación en el CEAD mediante empalmes por fusión.

La red de distribución es diseñada para ser desplegada de manera aérea, utilizando postación del tendido eléctrico de la Empresa de Luz y Fuerza Eléctrica Cochabamba (ELFEC), como también postación perteneciente a ENTEL.

ENTEL al ser una empresa estratégica estatal tiene convenios importantes con empresas bolivianas como ELFEC, que permite el uso de postación de su tendido eléctrico a nivel departamental.

- **NAP**

Los puntos de acceso a la red se ubican teniendo en cuenta un radio máximo de 300 metros de cobertura y se establecen de manera más seguida en sitios donde se presenta una mayor demanda de servicios, tomando en cuenta que cada NAP tiene capacidad para brindar servicio a 16 clientes.

Bajo estas consideraciones la Figura III-17 y Figura III-18 muestran la ubicación de los puntos de acceso a la red (NAP) georreferenciadas en ambas localidades.

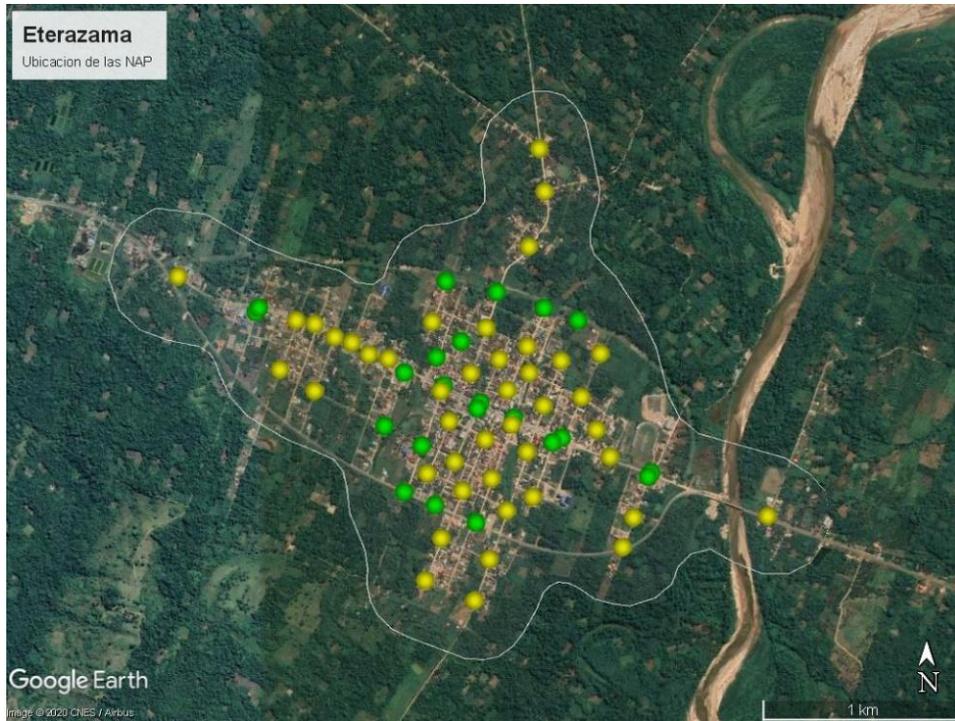


Figura III-17 Ubicación de las NAP en Eterazama

Fuente: Elaboración propia

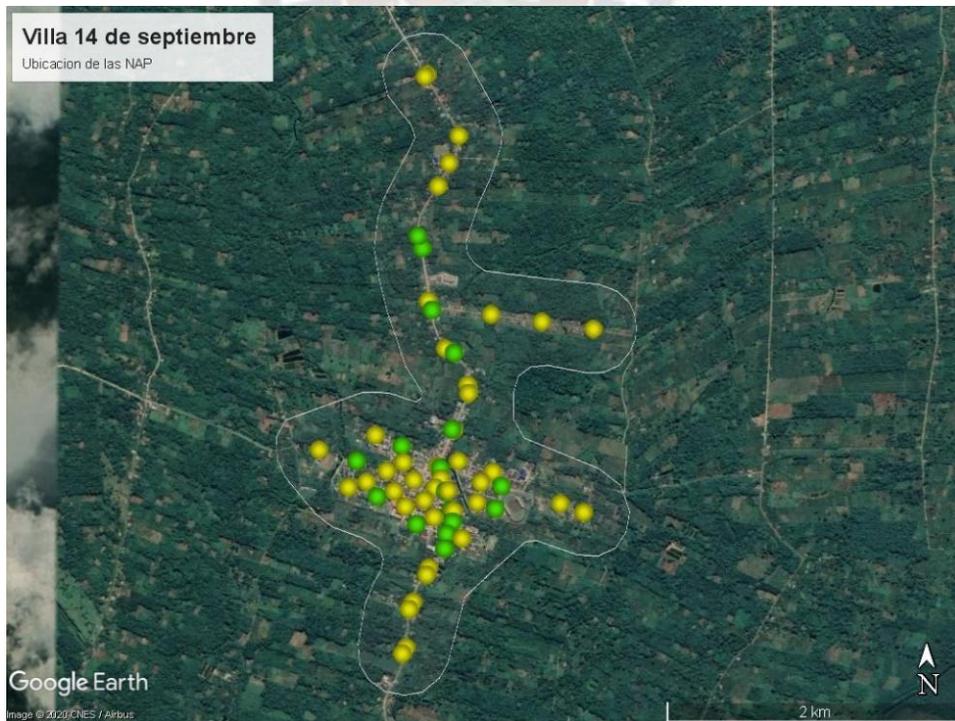


Figura III-18 Ubicación de las NAP en Villa 14 de Septiembre

Fuente: Elaboración propia

- **Trayectorias de la red de distribución**

Las trayectorias de la red de distribución son definidas con el objetivo de interconectar la mayor cantidad de puntos de acceso a la red (NAP) en topología anillo, cuidando de no exceder la distancia máxima entre la OLT y la ONT más lejana calculada para cada red, estas trayectorias se constituyen en las redes principales de distribución, bajo estas características el diseño de la red de distribución es desplegada mediante tres anillos en cada localidad.

En las siguientes figuras se pueden apreciar las redes principales de distribución en topología anillo de la localidad de Eterazama.



*Figura III-19 Anillo 1 de Eterazama*

*Figura: Elaboración propia.*



Figura III-20 Anillo 2 de Eterazama

Figura: Elaboración propia.

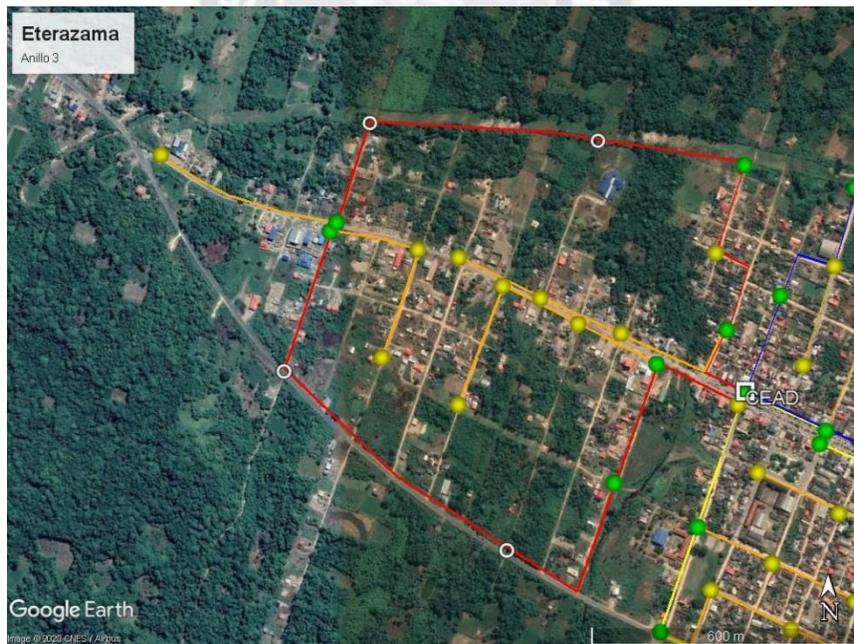


Figura III-21 Anillo 3 de Eterazama

Figura: Elaboración propia.

Las siguientes figuras muestran las redes de distribución principales en topología anillo de la localidad de Villa 14 de Septiembre.



Figura III-22 Anillo 1 de Villa 14 de Septiembre

Figura: Elaboración propia.



Figura III-23 Anillo 2 de Villa 14 de Septiembre

Figura: Elaboración propia.

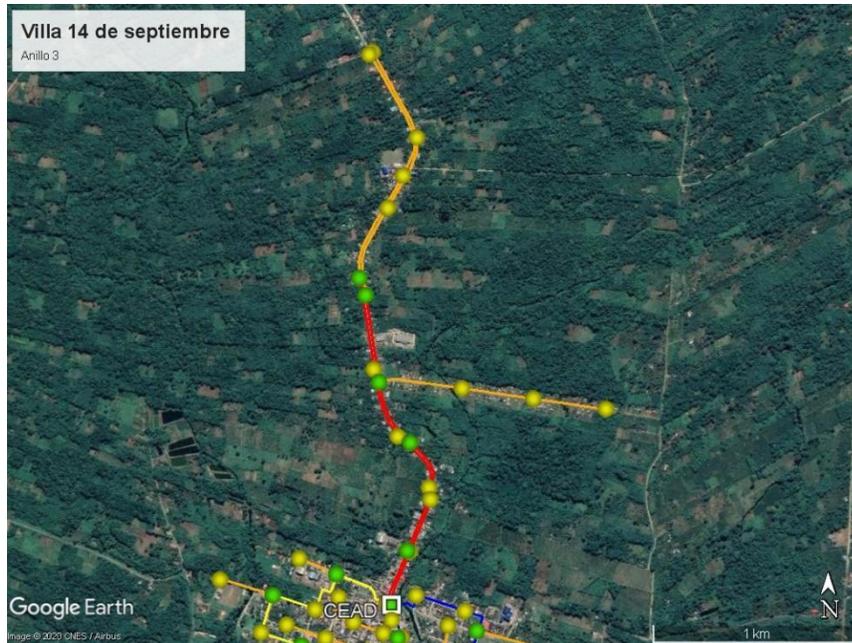


Figura III-24 Anillo 3 de Villa 14 de Septiembre

Figura: Elaboración propia.

Como se observa en las anteriores figuras, tanto para la localidad de Eterazama como para Villa 14 de Septiembre, no todos los puntos de acceso a la red (NAP) se lograron interconectar a las redes de distribución principal (anillos), por lo que es necesario el despliegue de redes de distribución secundarias (ramales).

- **Codificación de los puntos de acceso a la red (NAP)**

En las NAP primarias son instaladas los divisores ópticos de primer y segundo nivel, a diferencia de las secundarias que solo contienen divisores ópticos de segundo nivel, como se observa en la Figura III-25.

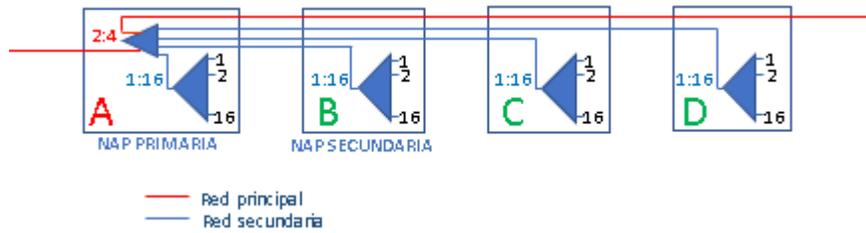


Figura III-25 Configuraciones de las NAP primarias y secundarias.

Fuente: Elaboración propia.

Las NAP primarias por efectos de redundancia, necesariamente son parte del anillo. La codificación en la red para su identificación en la misma de los tres anillos que la componen se aprecia en la Tabla III-22.

Tabla III-22 Codificación de las NAP.

Tubete	Hilo	No. fibra	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3
Azul	Azul	1	1	19	37
	Naranja	2	2	20	38
	Verde	3	3	21	39
	Café	4	4	22	40
	Gris	5	5	23	41
	Blanco	6	6	24	42
Naranja	Azul	7	7	25	43
	Naranja	8	8	26	44
	Verde	9	9	27	45
	Café	10	10	28	46
	Gris	11	11	29	47
	Blanco	12	12	30	48
Verde	Azul	13	13	31	49
	Naranja	14	14	32	50
	Verde	15	15	33	51
	Café	16	16	34	52
	Gris	17	17	35	53
	Blanco	18	18	36	54

	Azul	19	B	B	B
	Naranja	20	C	C	C
Café	Verde	21	D	D	D
	Café	22	B-R	B-R	B-R
	Gris	23	C-R	C-R	C-R
	Blanco	24	D-R	D-R	D-R

*Fuente: Elaboración propia.*

Los primeros 18 hilos del cable de multifibra de la red de distribución, son designados para ser conectadas a las NAP primarias codificadas con el número de fibra correspondiente seguido de la letra A, mientras que los hilos de fibra del 19 al 24 son utilizados para ser conectados a las NAP secundarias codificadas con las letras B, C y D precedidas del número de NAP primaria que son dependientes.

### **3.8.3 Red de dispersión**

La red de dispersión es diseñada para ser desplegada de manera aérea, similar a la red de distribución, utilizando postación del tendido eléctrico (ELFEC) y postación perteneciente a ENTEL.

El despliegue de la red de dispersión se efectúa mediante cable drop de un hilo de fibra, en sus extremos se instalan conectores de campo, en el lado de la NAP se conecta al divisor óptico por medio de un acoplador y por el otro extremo al cable de conexión (patch cord) que alimenta a la ONT.

Mediante la terminal de red óptica (ONT), se accede a los servicios de internet de banda ancha y voz sobre IP, el STB conectado a la ONT brinda el servicio de televisión mediante IP. cómo se observa en la Figura III-26.

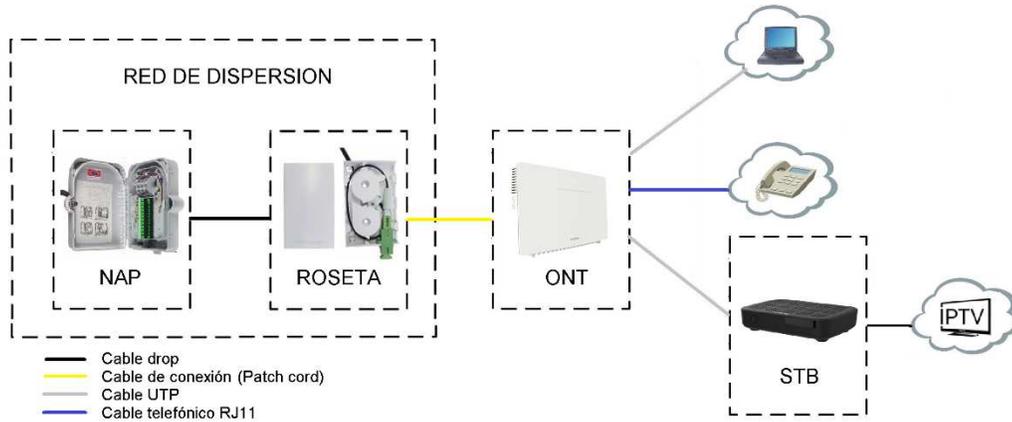


Figura III-26 Red de dispersión.

Fuente: Elaboración propia

La red de dispersión es diseñada para tener un alcance máximo de 300 metros de radio de cobertura respecto a los puntos de acceso a la red, como se observa en la Figura III-27 para la NAP 39A de la ODN de Eterazama.



Figura III-27 Radio de cobertura NAP 39A.

Fuente: Elaboración propia

### 3.9 Plano esquemático de longitudes ópticas de la red FTTH

Este plano es una representación simbólica y ordenada de la red, que permite conocer la longitud total de fibra óptica desplegada, ya que considera la trayectoria entre los puntos de acceso (NAP) y sus correspondientes reservas.

Este plano por las características descritas, es una ayuda idónea en el momento que se presenta algún corte, atenuación o fallo en la red, debido a que el OTDR<sup>33</sup> muestra la distancia óptica del evento.

Para realizar el esquemático de longitudes ópticas en el presente proyecto, se utiliza los criterios que se muestran en la Tabla III-23.

*Tabla III-23 Reservas de FO en la red.*

Ítem	Longitud [m]	Propósito
Reserva en CEAD	12	Instalación y mantenimiento
Subida lateral	8	Postación de 9m de altura
Reserva en NAP por lado	15	Instalación y mantenimiento
Reserva en trayecto	60	Futuras ampliaciones

*Fuente: Elaboración propia.*

Se elabora un plano esquemático de longitudes ópticas por cada anillo para ambas redes, en el cual también se observa el despliegue de las redes secundarias al interior o exterior del anillo (red principal) según corresponda. En la Figura III-28 se observa el plano esquemático de longitudes ópticas correspondiente al anillo 1 de la ODN Eterazama.

<sup>33</sup> Instrumento óptico-electrónico usado para diagnosticar una red de fibra óptica.

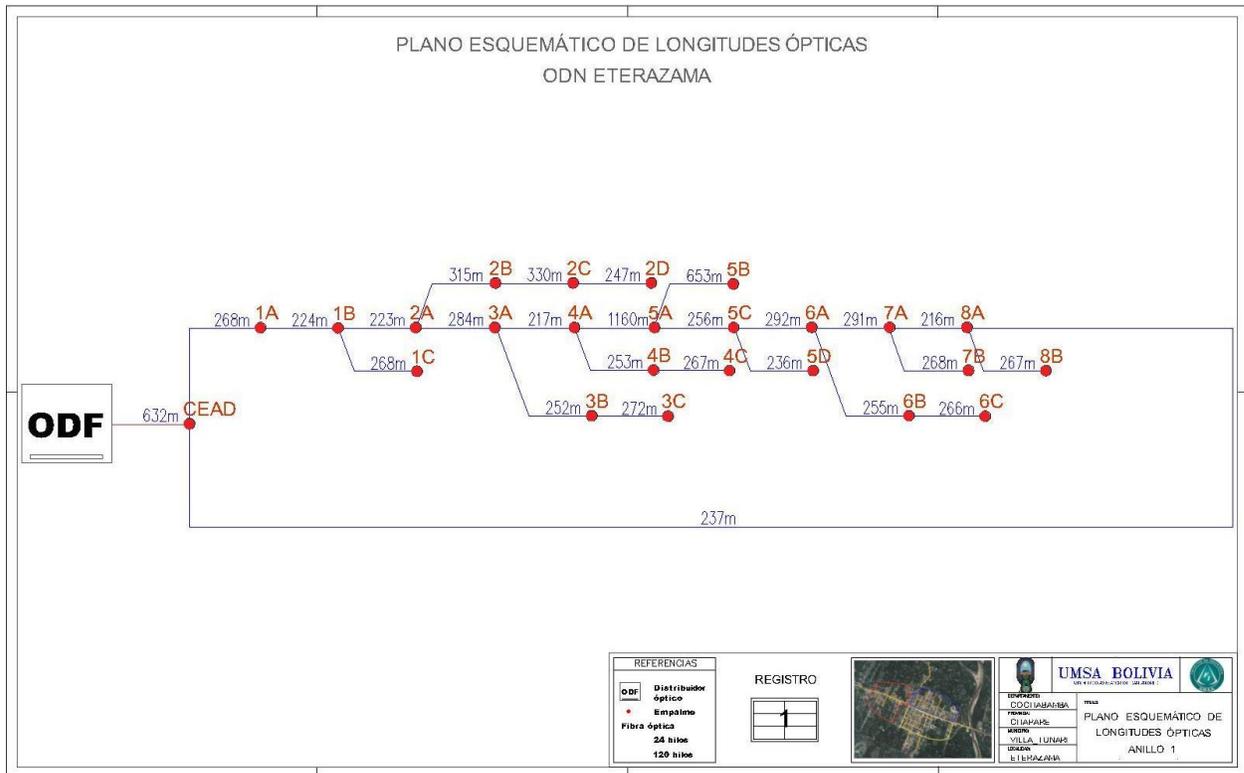


Figura III-28 Esq. de longitudes ópticas anillo 1, Eterazama.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla III-24 refleja en detalle los cálculos que se realizan en la elaboración del plano esquemático de longitudes ópticas plasmado en la Figura III-28.

Tabla III-24 Longitudes ópticas anillo 1 de Eterazama.

NAP	Longitud lineal [m]	Reserva en CEAD [m]	Subida lateral [m]	Reserva en la NAP [m]	Reserva en trayecto [m]	Longitud óptica [m]
1A	233	12	8	15	-	268
1B	194	-	-	30	-	224
1C	238	-	-	30	-	268
2A	193	-	-	30	-	223
2B	285	-	-	30	-	315
2C	300	-	-	30	-	330
2D	217	-	-	30	-	247
3A	254	-	-	30	-	284
3B	222	-	-	30	-	252

*DISEÑO DE UNA RED FTTH REDUNDANTE CON TECNOLOGÍA GPON*

3C	242	-	-	30	-	272
4A	187	-	-	30	-	217
4B	223	-	-	30	-	253
4C	237	-	-	30	-	267
5A	1070	-	-	30	60	1160
5B	623	-	-	30	-	653
5C	226	-	-	30	-	256
5D	206	-	-	30	-	236
6A	262	-	-	30	-	292
6B	225	-	-	30	-	255
6C	236	-	-	30	-	266
7A	261	-	-	30	-	291
7B	238	-	-	30	-	268
8A	186	-	-	30	-	216
8B	237	-	-	30	-	267
CEAD	202	12	8	15	-	237

*Fuente: Elaboración propia.*

De manera análoga se realizan los cálculos para la elaboración de los planos esquemáticos de longitudes ópticas para los restantes anillos de las redes.

Debido a la configuración de la red principal en topología anillo, se pueden acceder a las NAP primarias por dos rutas de diferente distancia, la Tabla III-25 muestra las distancias de acceso a las NAP primaria del anillo 1 correspondiente a la ODN Eterazama.

*Tabla III-25 Distancias a NAP primarias anillo 1 Eterazama.*

NAP	Ruta 1 [m]	Ruta 2 [m]
1A	900	4032
2A	1347	3585
3A	1631	3301
4A	1848	3084
5A	3008	1924
6A	3556	1376
7A	3847	1085
8A	4063	869

*Fuente: Elaboración propia.*

Las distancias de acceso a las NAP primarias señaladas por la Tabla III-25 en ambas rutas son consideradas desde el ODF, El anillo 1 de la ODN Eterazama tiene una longitud total de 3668 metros, a este dato se adiciona 632 metros de la red de alimentación.

La Tabla III-26 muestra las NAP más distantes desde la ODF en relación a la ruta de acceso, correspondiente al anillo 1 de la ODN Eterazama.

*Tabla III-26 NAP más distantes anillo 1 Eterazama*

Trayectoria	NAP	Longitud [m]
Ruta 1	8B	4330
Ruta 2	2D	4577

*Fuente: Elaboración propia.*

● Anillo 2 Eterazama

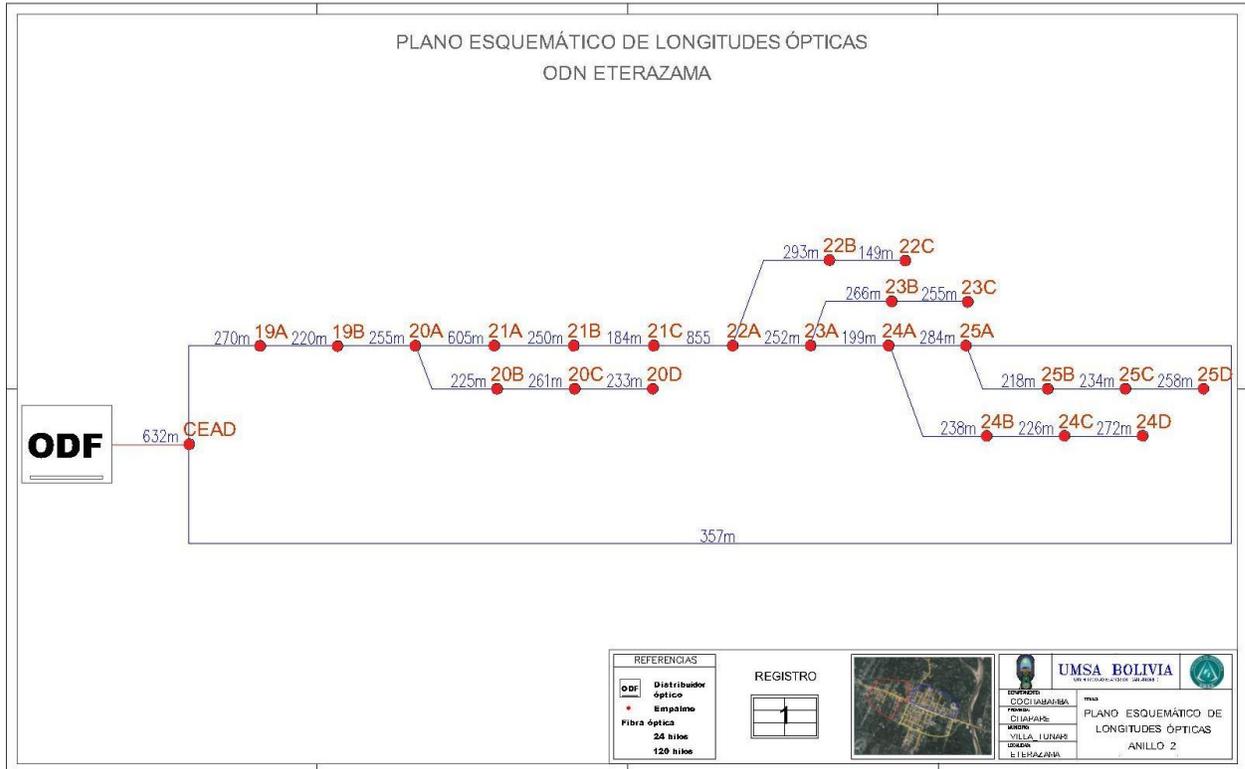


Figura III-29 Esq. de longitudes ópticas anillo 2, Eterazama.

Fuente: Elaboración propia.

El anillo 2 de la ODN Eterazama tiene una longitud total de 3631 metros, la Tabla III-27 muestra las NAP más distantes respecto al ODF.

Tabla III-27 NAP más distantes anillo 2 Eterazama

Trayectoria	NAP	Longitud [m]
Ruta 1	25D	4716
Ruta 2	20D	4337

Fuente: Elaboración propia.

● Anillo 3 Eterazama

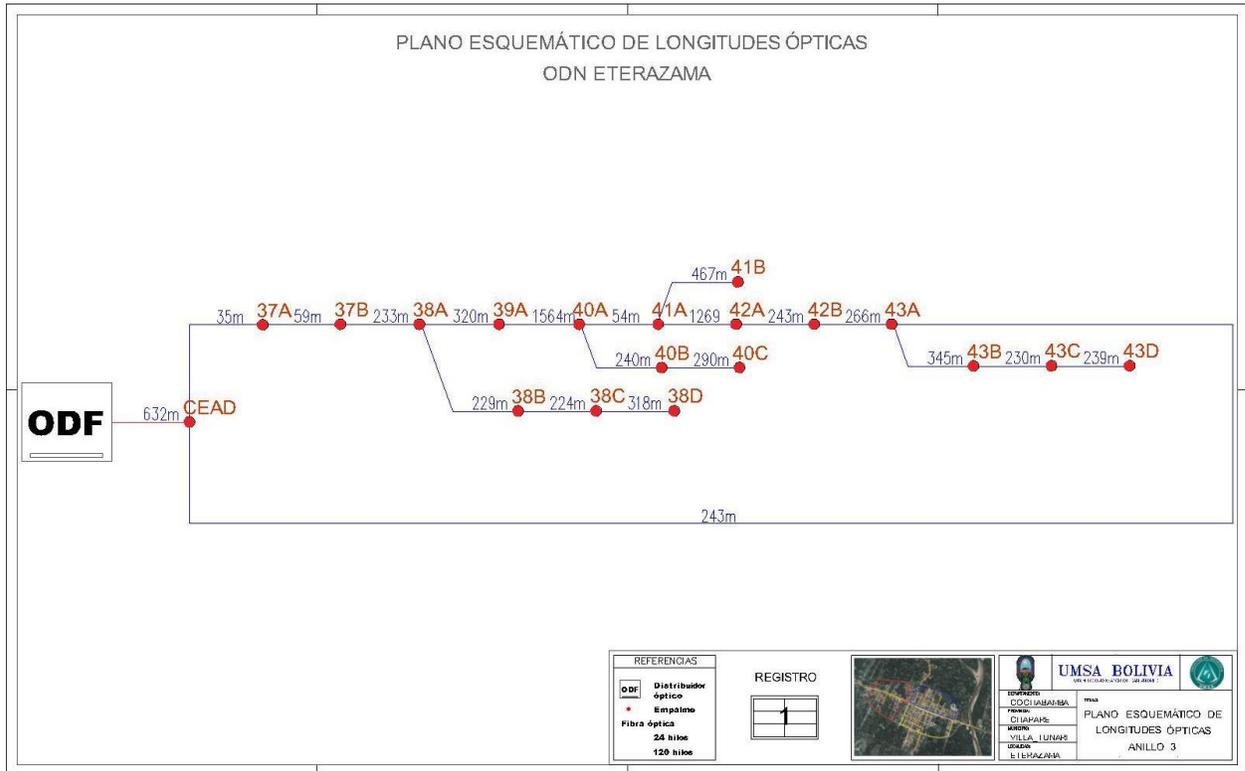


Figura III-30 Esq. de longitudes ópticas anillo 3, Eterazama.

Fuente: Elaboración propia.

El tercer anillo de la red de distribución de Eterazama es el de mayor extensión, con una longitud total de 4286 metros, las NAP más distantes con relación a la ODF se observan en la Tabla III-28.

Tabla III-28 NAP más distantes anillo 3 Eterazama

Trayectoria	NAP	Longitud [m]
Ruta 1	43D	5489
Ruta 2	38D	5362

Fuente: Elaboración propia.

● Anillo 1 Villa 14 de Septiembre

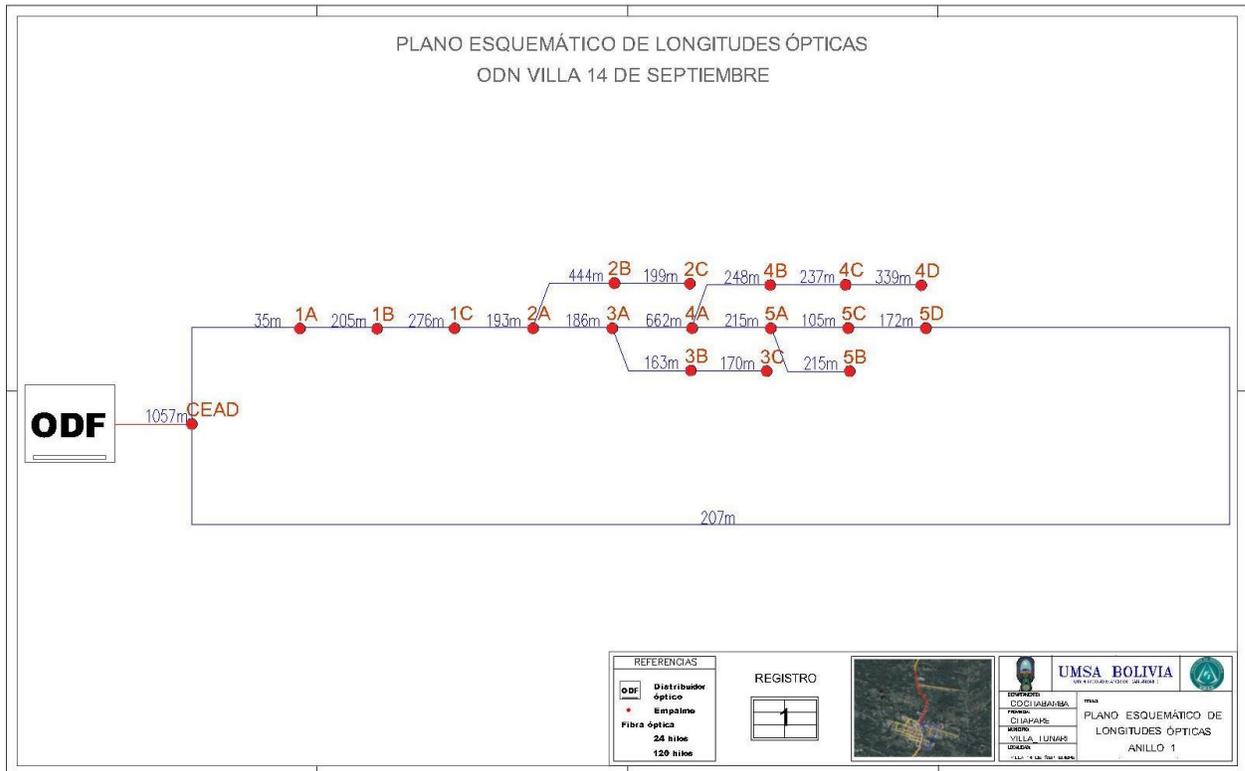


Figura III-31 Esq. de longitudes ópticas anillo 1, Villa 14 de Septiembre.

Fuente: Elaboración propia.

El anillo 1 de la red de distribución de Villa 14 de Septiembre es el de menor extensión, con una longitud de 2256 metros cubre toda su trayectoria, la Tabla III-29 muestra las NAP más distantes del ODF.

Tabla III-29 NAP más distantes anillo 1 Villa 14 de Septiembre.

Trayectoria	NAP	Longitud [m]
Ruta 1	4D	3438
Ruta 2	1A	3278

Fuente: Elaboración propia.

● Anillo 2 Villa 14 de Septiembre

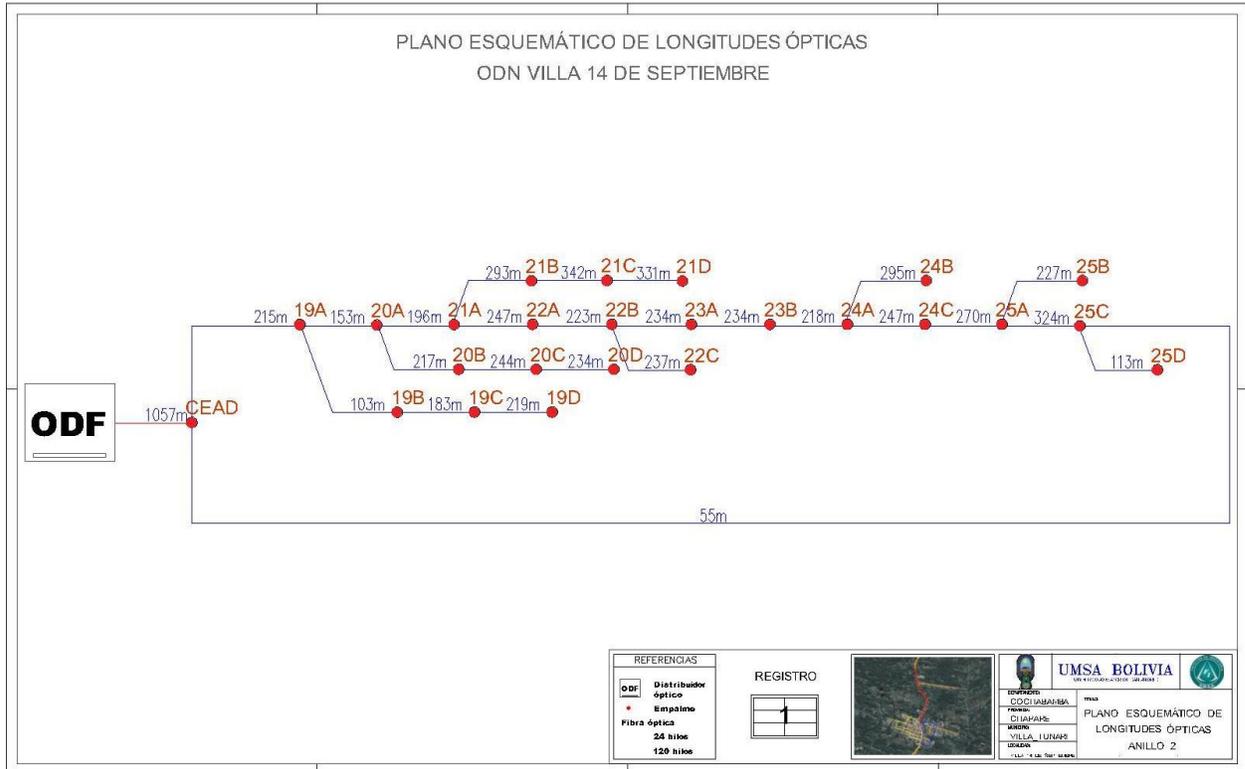


Figura III-32 Esq. de longitudes ópticas anillo 2, Villa 14 de Septiembre.

Fuente: Elaboración propia.

El anillo 2 de la red de distribución de la localidad de Villa 14 de Septiembre tiene una longitud total de 2616 metros, sus NAP más lejanas con relación a la ODF se la aprecia en la Tabla III-30.

Tabla III-30 NAP más distantes anillo 2 Villa 14 de Septiembre.

Trayectoria	NAP	Longitud [m]
Ruta 1	25D	3731
Ruta 2	20D	4000

Fuente: Elaboración propia.

● Anillo 3 Villa 14 de Septiembre

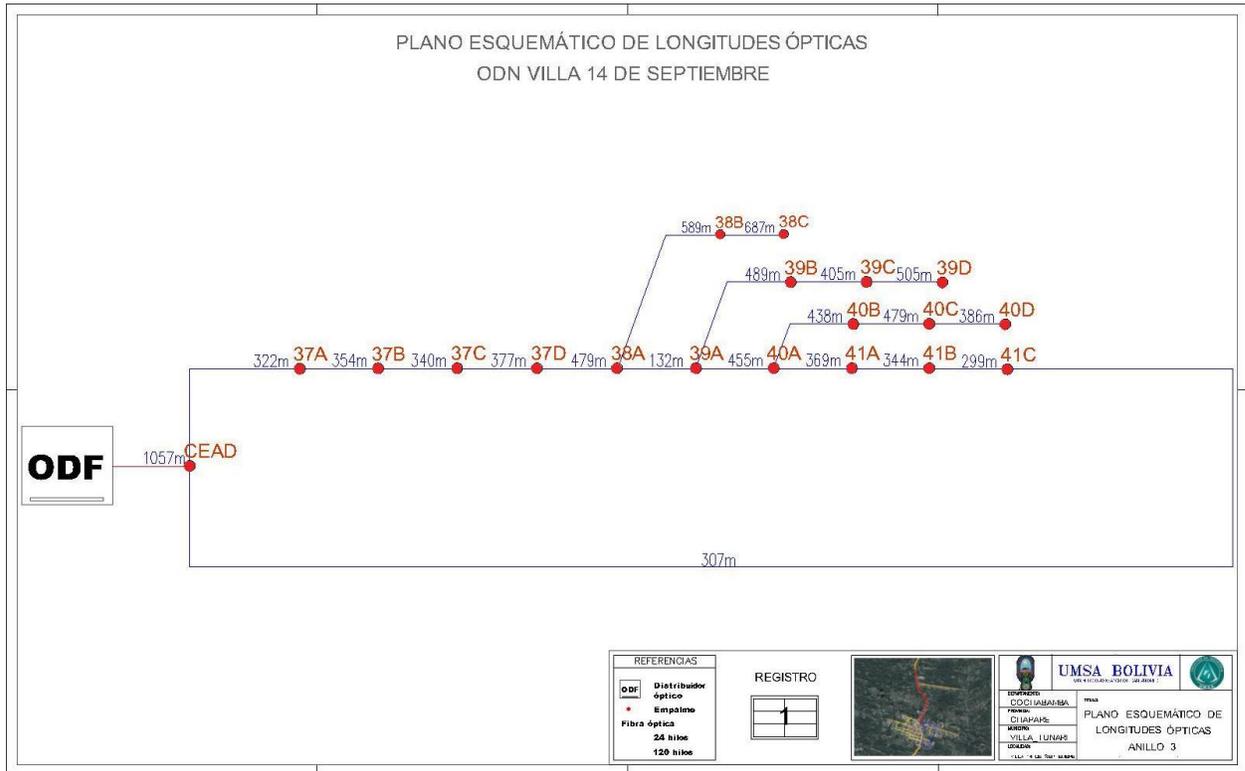


Figura III-33 Esq. de longitudes ópticas anillo 3, Villa 14 de Septiembre.

Fuente: Elaboración propia.

El anillo 3 de la red de distribución de Villa 14 de Septiembre es el más extenso, con una longitud total de 3778 metros, las NAP más distantes según la ruta de acceso a las mismas se muestran en la Tabla III-31.

Tabla III-31 NAP más distantes anillo 3 Villa 14 de Septiembre.

Trayectoria	NAP	Longitud [m]
Ruta 1	40D	4819
Ruta 2	37A	4513

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10 Plano esquemático de fusiones de la red FTTH

En este plano se observan los empalmes por fusión de todos los hilos de fibra perteneciente a la red, mostrando la conexión de cada uno de ellos desde el distribuidor óptico (ODF) hasta los puntos de acceso (NAP).

Se elabora un plano esquemático de fusiones para cada anillo de ambas localidades. Por razones explicativas se detalla el plano esquemático de fusiones del anillo 3 de Eterazama, el que se observa en la Figura III-34, el cual por sus dimensiones es difícil su apreciación, por tanto será expuesto por partes.

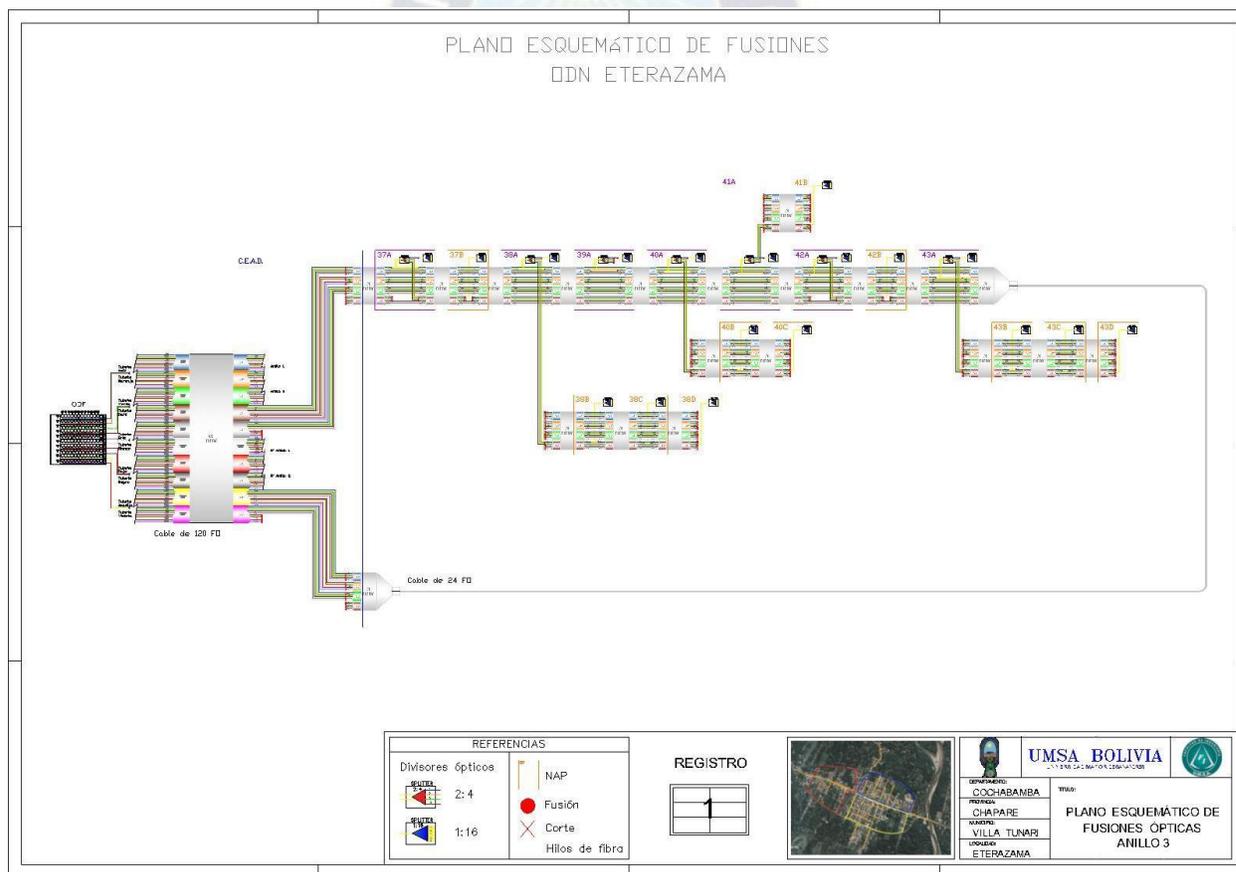


Figura III-34 Plano esquemático de fusiones anillo 3 Eterazama

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, el plano esquemático de fusiones tiene como punto de partida el ODF, puesto que, desde este sitio se realizan mediciones hacia toda la red.

De acuerdo con el diseño del presente proyecto, la multifibra de 120 hilos de la red de alimentación, está compuesta por 10 tubetes y cada tubete por 12 hilos de fibra, por tal motivo, para una mejor organización, el ODF está compuesto por 120 puertos de 10 filas y 12 columnas, de manera que son fusionados los 12 hilos de cada tubete en una bandeja, como se observa en la Figura III-35.

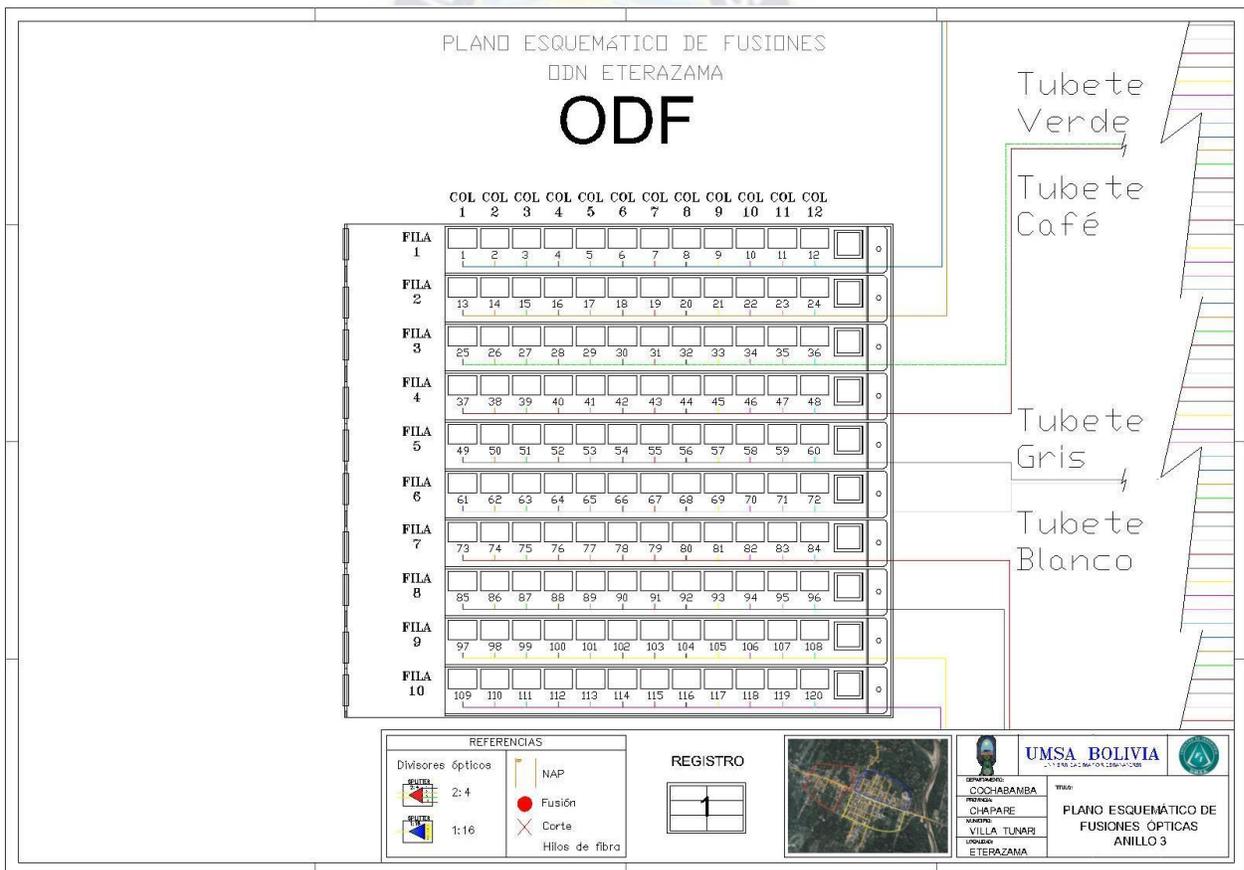


Figura III-35 ODF de 120 puertos.

Fuente: Elaboración propia.

Los cables multifibra son numerados de acuerdo a un código de colores, tanto los tubetes como los hilos de fibra. El cable de la red de alimentación de 120 fibras, presenta los colores que se observan en la Figura III-36.

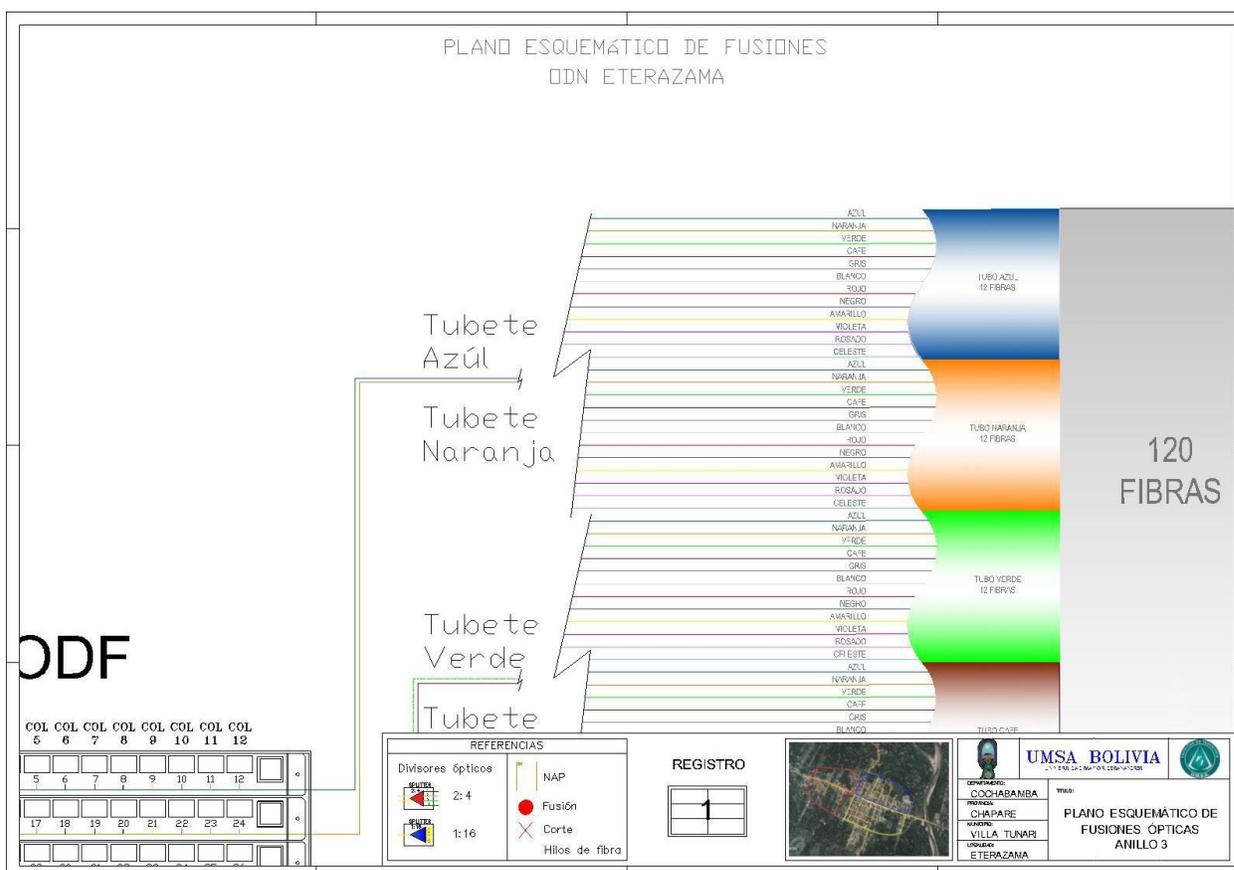


Figura III-36 Código de colores 120 FO.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al diseño del proyecto, la red de distribución es desplegada a través de cables multifibra de 24 hilos, compuesta por cuatro tubetes de seis hilos, los cuales son numerados por un código de colores diferente al del cable de alimentación, esta numeración se puede apreciar en la Figura III-37.

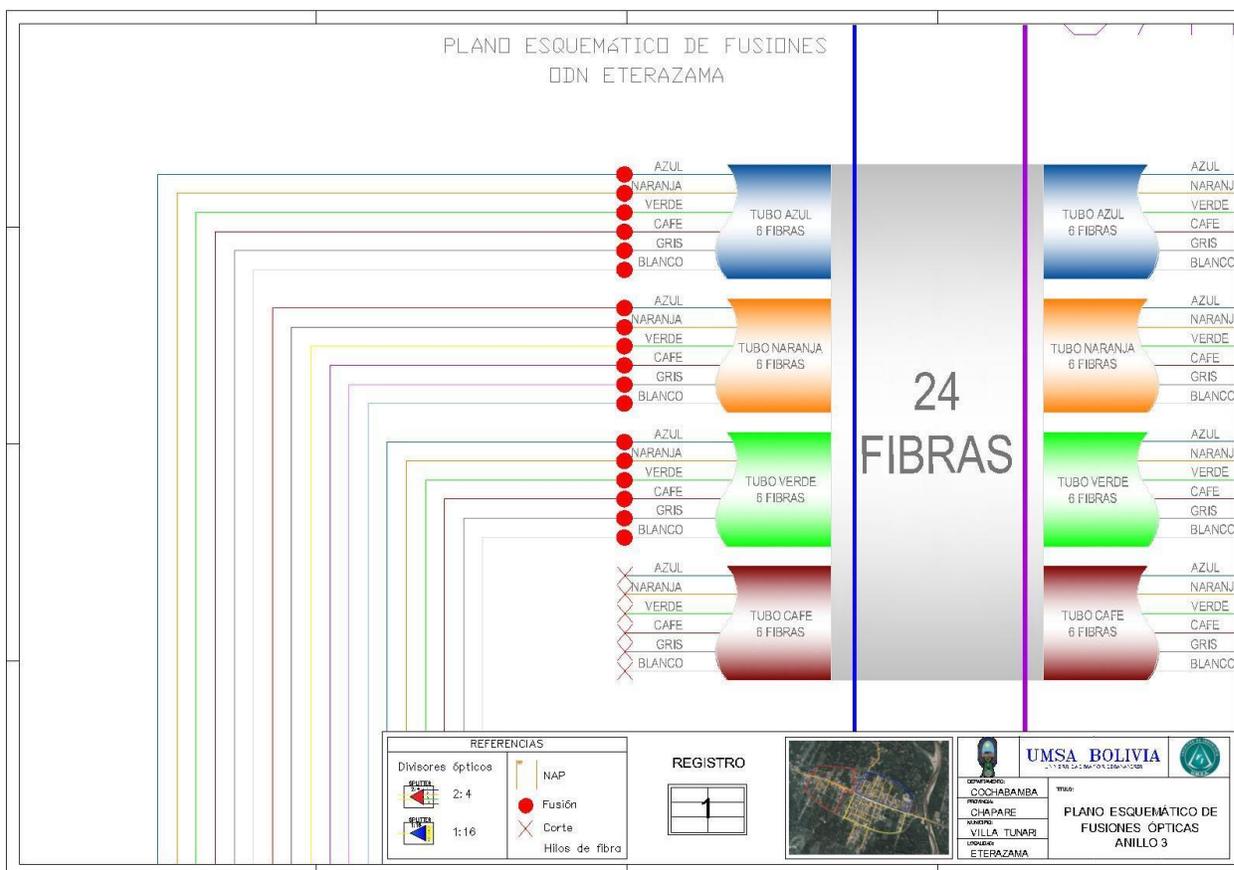


Figura III-37 Código de colores 24 FO.

Fuente: Elaboración propia.

En el cable multifibra de 24 hilos, los tres primeros tubetes son designados para alimentar a las NAP primarias, disponiendo 18 hilos de fibra por cada anillo, el cuarto tubete es asignado para alimentar a las NAP secundarias, del cual solo se utilizan los 3 primeros hilos, los restantes están disponibles como respaldo.

Por tal motivo, de los 120 hilos de fibra de la red de alimentación, los primeros 18 se empalman por fusión al anillo 1, del 19 al 36 lo hacen con el anillo 2 y del 37 al 54 con el anillo 3, para el retorno de los anillos se utilizan los hilos de fibra del 61 al 79 para el anillo 1, del 80 al 97 para el anillo 2 y del 98 al 115 para el anillo 3, en el caso de los

hilos de fibra del 55 al 60 y del 116 al 120 están disponibles como reserva, como se aprecia en la Figura III-38.

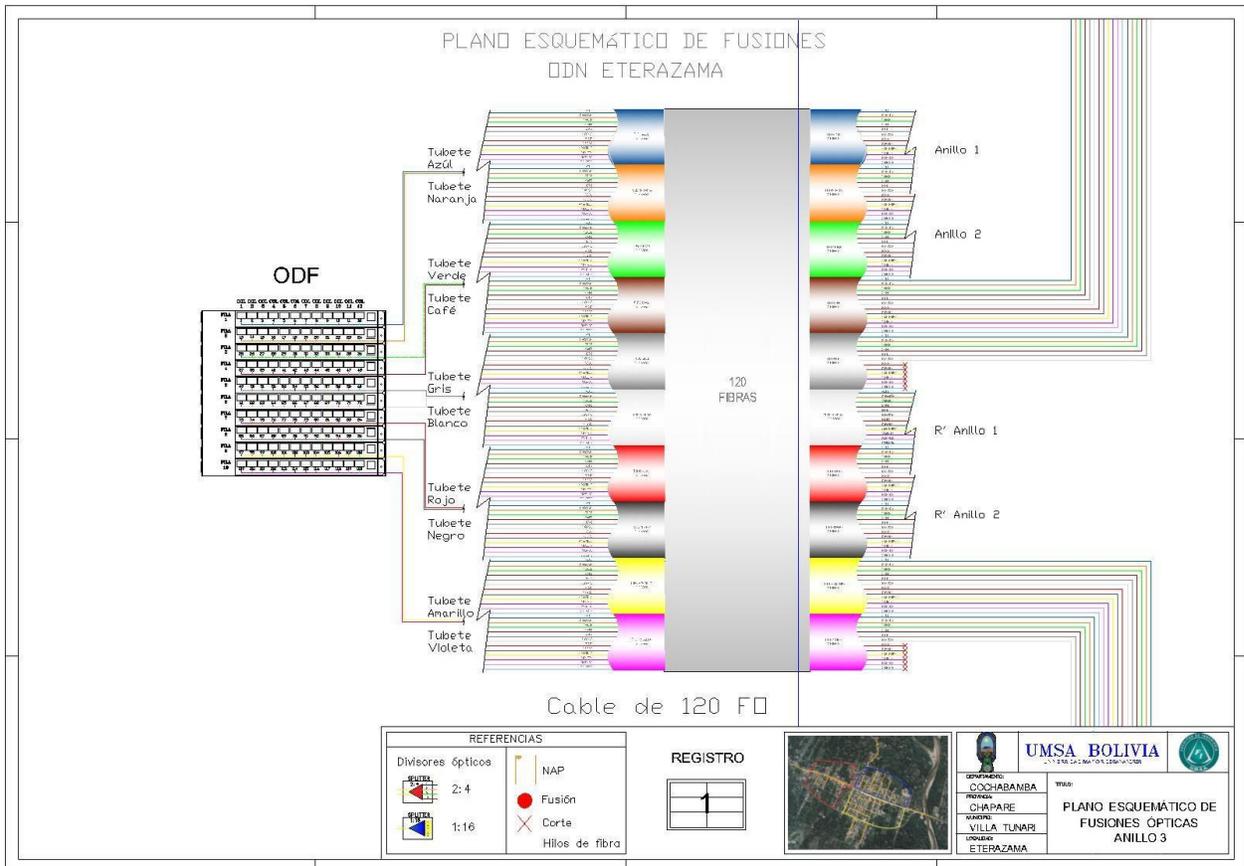


Figura III-38 Asignación de hilos de FO para cada anillo.

Fuente: Elaboración propia.

En el anillo 3 de la ODN Eterazama, la primera NAP primaria es codificada como 37A, es empalmada por fusión al primer hilo del anillo (tubete e hilo azul) con el divisor óptico de primer nivel 2:4.

Las salidas del divisor óptico de primer nivel también son numeradas por colores, donde su primera salida (hilo azul) es empalmada con el divisor óptico de segundo nivel (1:16) que se aloja en la misma NAP, mientras que las salidas del 2 al 4 (hilos naranja, verde y café) son empalmados por fusión a los hilos 19 al 21 (hilos azul,

naranja y verde del tubete café) respectivamente, que alimenta a las NAP 37B, C y D, como se observa en la Figura III-39.

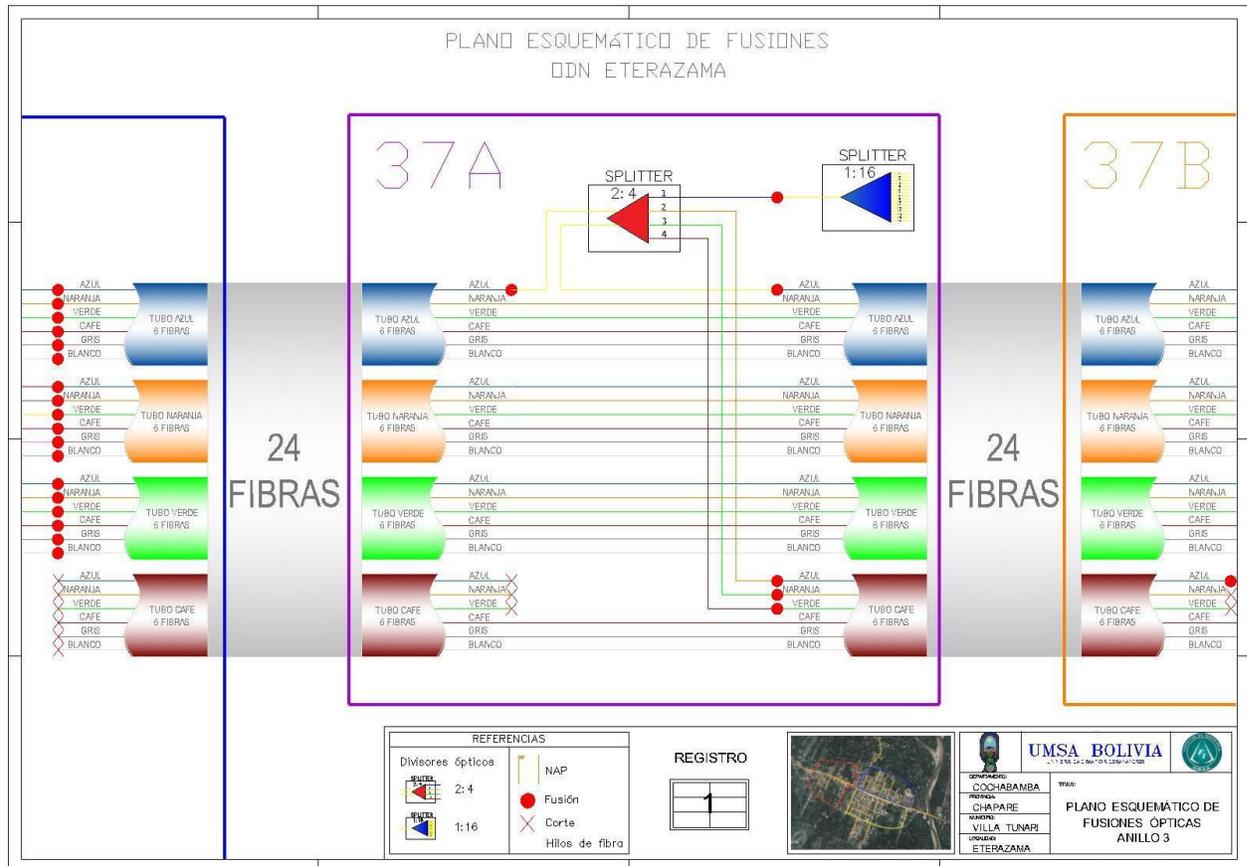


Figura III-39 Empalmes por fusión de la NAP 37A.

Fuente: Elaboración propia.

La NAP 37B es alimentada a través de la NAP 37A, la cual designa el hilo 19 (hilo azul, tubete café) para este propósito, el que es empalmada por fusión con el divisor óptico de segundo nivel (1:16), para su acceso posterior con los usuarios finales, los hilos 20 y 21 (hilo naranja y verde del tubete café) están disponibles para futuras ampliaciones, como se aprecia en la Figura III-40.

En la NAP primaria 38, se empalma por fusión el hilo número 2 (hilo naranja, tubete azul) de la multifibra de la red de distribución con el divisor óptico de primer nivel, como

también se empalma por fusión la primera salida (azul) del divisor óptico de primer nivel con la entrada del divisor óptico 1:16 en la misma NAP. Debido a que las NAP secundarias de la NAP 38 no son parte del anillo, las salidas del 2 al 4 (hilo naranja , verde y café) del divisor óptico de primer nivel son empalmadas a los hilos del 19 al 21 (hilos azul, naranja y verde del tubete café) del cable que accede a las ellas, como se aprecia en la Figura III-40.

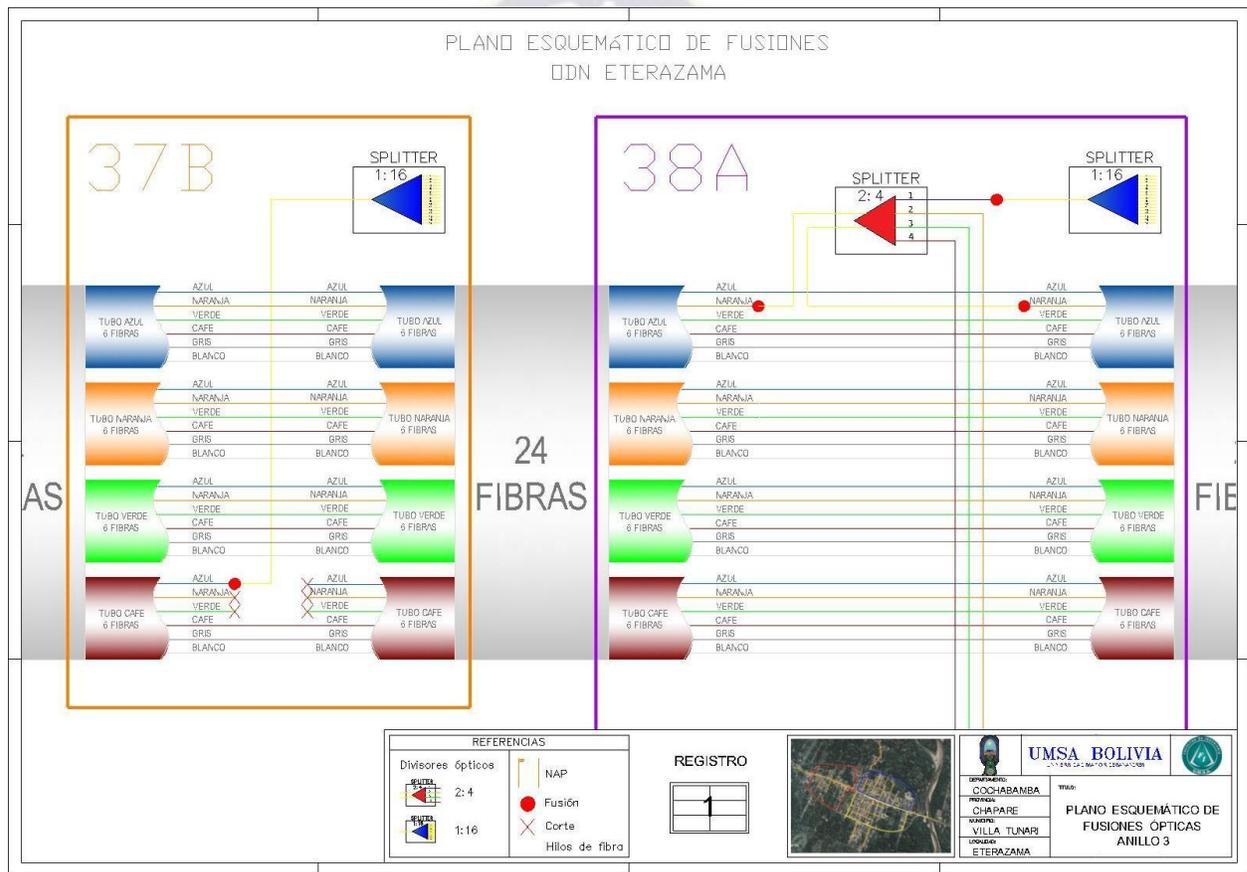


Figura III-40 Empalmes por fusión de la NAP 37B y 38A.

Fuente: Elaboración propia.

La NAP secundaria 38B, es alimentada desde la NAP 38A mediante la fibra número 19 (hilo azul, tubete café) del cable multifibra de 24 hilos que la conecta (red

secundaria), esta es empalmada por fusión con el divisor óptico de segundo nivel 1:16, como se muestra en la Figura III-41.

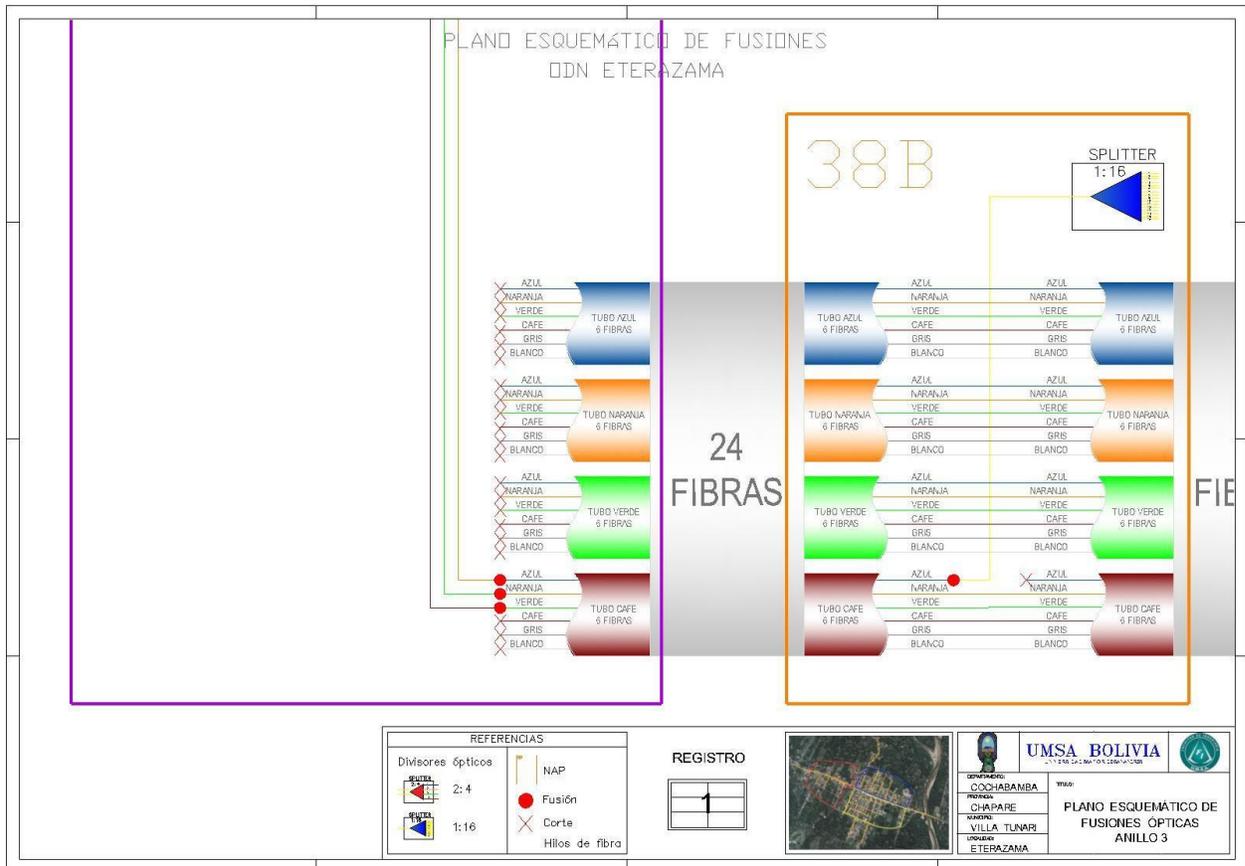


Figura III-41 Empalmes por fusión de la NAP 38B.

Fuente: Elaboración propia.

El hilo de fibra designado para alimentar la NAP 38C desde la NAP 38A es el número 20 (hilo naranja, tubete café), el cual es empalmado por fusión con el divisor óptico de segundo nivel 1:16.

La NAP 38D es alimentado desde la NAP 38A mediante el hilo de fibra número 21 (hilo verde, tubete café), mismo que es empalmado por fusión con el divisor óptico de segundo nivel 1:16, ambos párrafos anteriormente descritos se pueden apreciar en la Figura III-42.

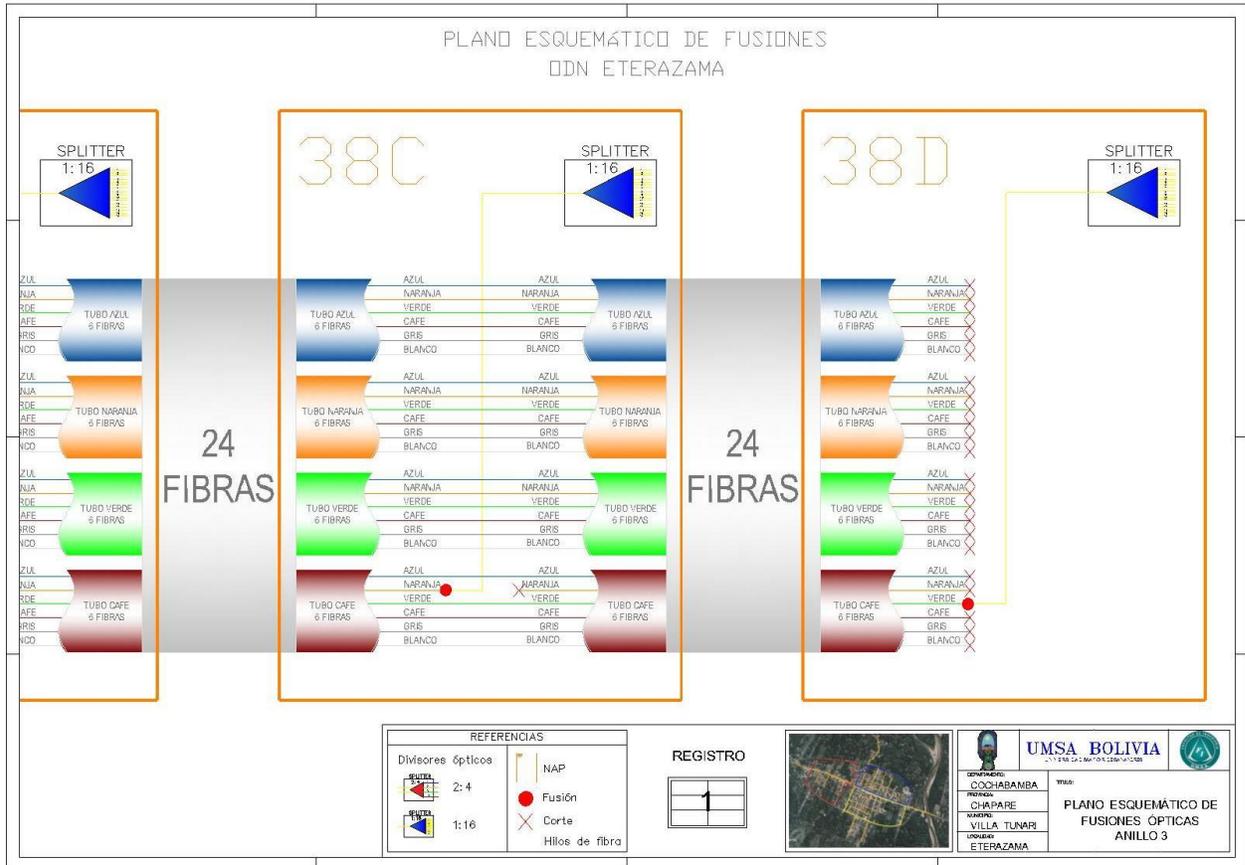


Figura III-42 Empalmes por fusión de la NAP 38C y 38D.

Fuente: Elaboración propia.

Continuando con el anillo 3 de Eterazama después de la NAP 38A se encuentra la NAP primaria 39A, esta es empalmada por fusión entre el divisor óptico de primer nivel con la fibra número 3 (hilo verde, tubete azul) del cable de la red de distribución perteneciente al anillo, de la misma manera que en las anteriores NAP primarias, la primera salida (hilo azul) del divisor óptico de primer nivel está empalmada por fusión al divisor óptico de segundo nivel, dentro de la misma NAP.

Las salidas 2,3 y 4 (hilos naranja, verde y café) del divisor óptico de primer nivel, quedan sin ser fusionadas por el momento, debido a que el siguiente punto de acceso a la red se encuentra a una distancia de 1564 metros, estas salidas del divisor óptico

quedan como reserva para ser instaladas en lo futuro de manera inmediata como parte del anillo.

Por otro lado la NAP primaria 40A siguiente a la NAP 39A, es alimentada por la fibra número 4 (hilo café, tubete azul) del cable de la red de distribución perteneciente al anillo, la cual es empalmada por fusión con el divisor óptico de primer nivel y su primera salida (hilo azul) al divisor óptico 1:16, como se muestra en la Figura III-43.

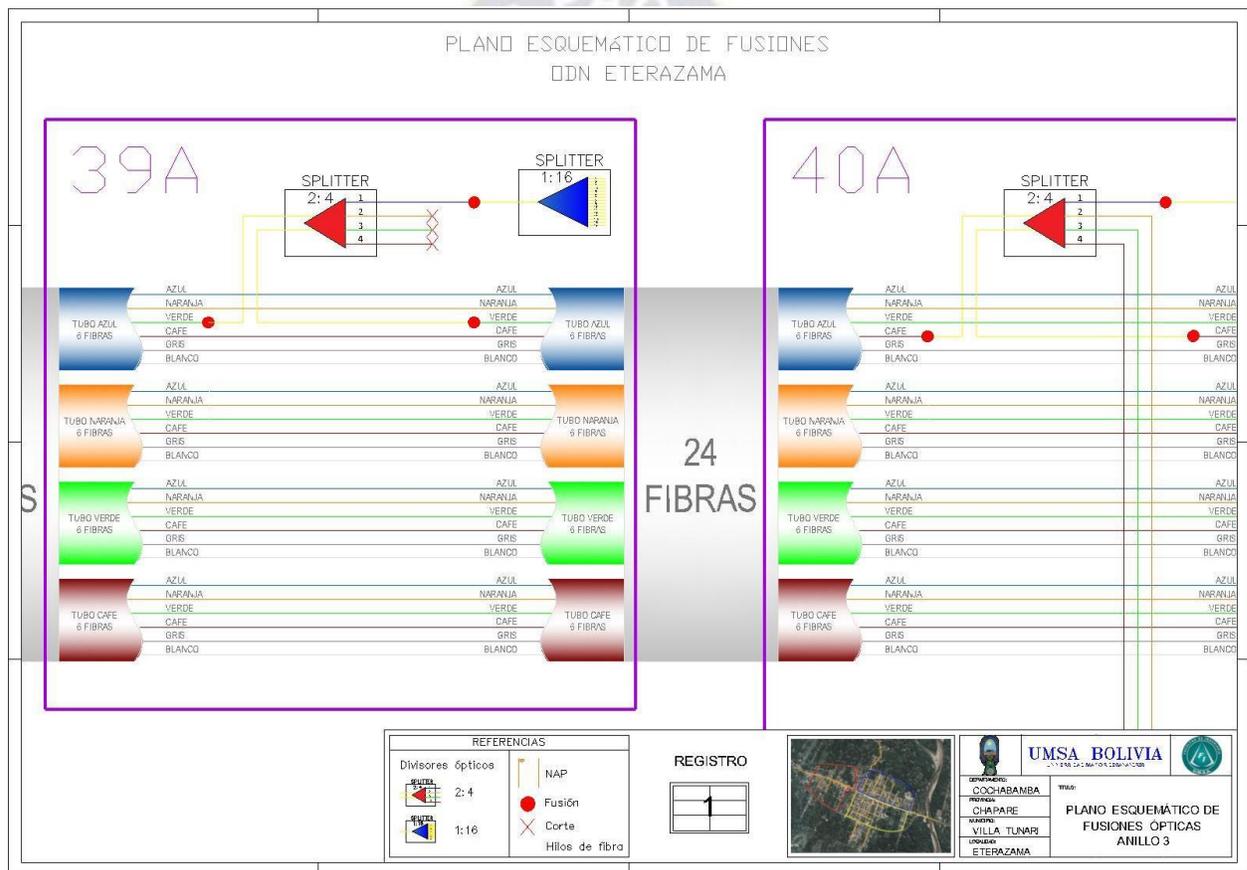


Figura III-43 Empalmes por fusión de la NAP 39A y 40A.

Fuente: Elaboración propia.

Al encontrarse las NAP secundarias de la NAP primaria 40A fuera del anillo, estas son accedidas mediante el despliegue de una red secundaria, por tal motivo las salidas del 2 al 4 (hilos naranja, verde y café) del divisor óptico de primer nivel son fusionados a

los hilos 19, 20 y 21 (hilos azul, naranja y verde del tubete café) de esta red secundaria. Para la NAP 40B se designa la fibra número 19 (hilo azul, tubete café) de la red secundaria que la alimenta, que es empalmada por fusión con el divisor óptico 1:16, como se observa en la Figura III-44.

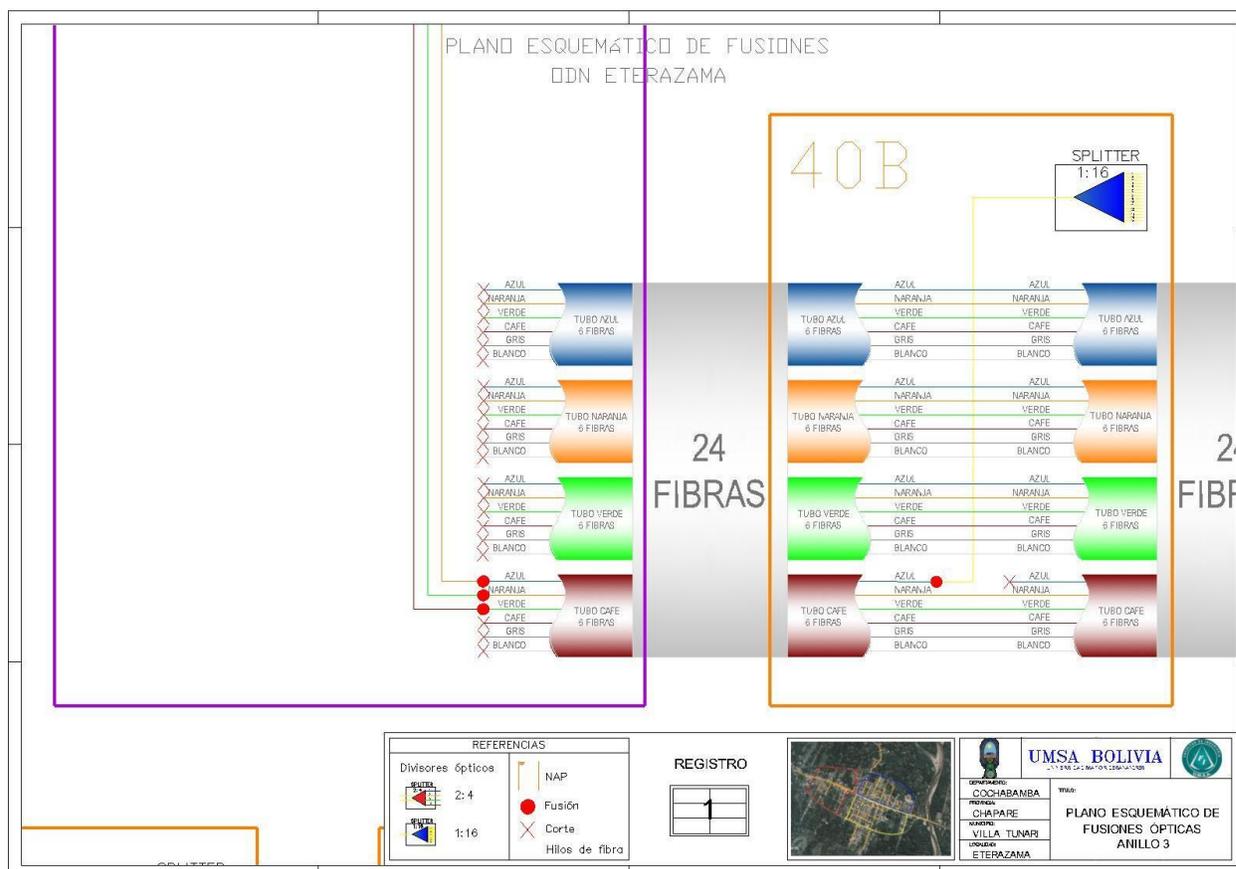


Figura III-44 Empalmes por fusión de la NAP 40B.

Fuente: Elaboración propia.

Para la NAP secundaria 40C, se designó a la fibra número 20 (hilo naranja, tubete café) de la red secundaria desplegada para su acceso, la cual se empalma por fusión con el divisor óptico de segundo nivel, como se observa en la Figura III-45.

El fragmento de red secundaria desplegada para el acceso a las NAP 40B y NAP 40C, concluye en la última NAP mencionada, la fibra número 21 (hilo verde, tubete café)

designada para alimentar a la NAP 40D queda como reserva para futuras ampliaciones para ser instalada de manera casi inmediata.

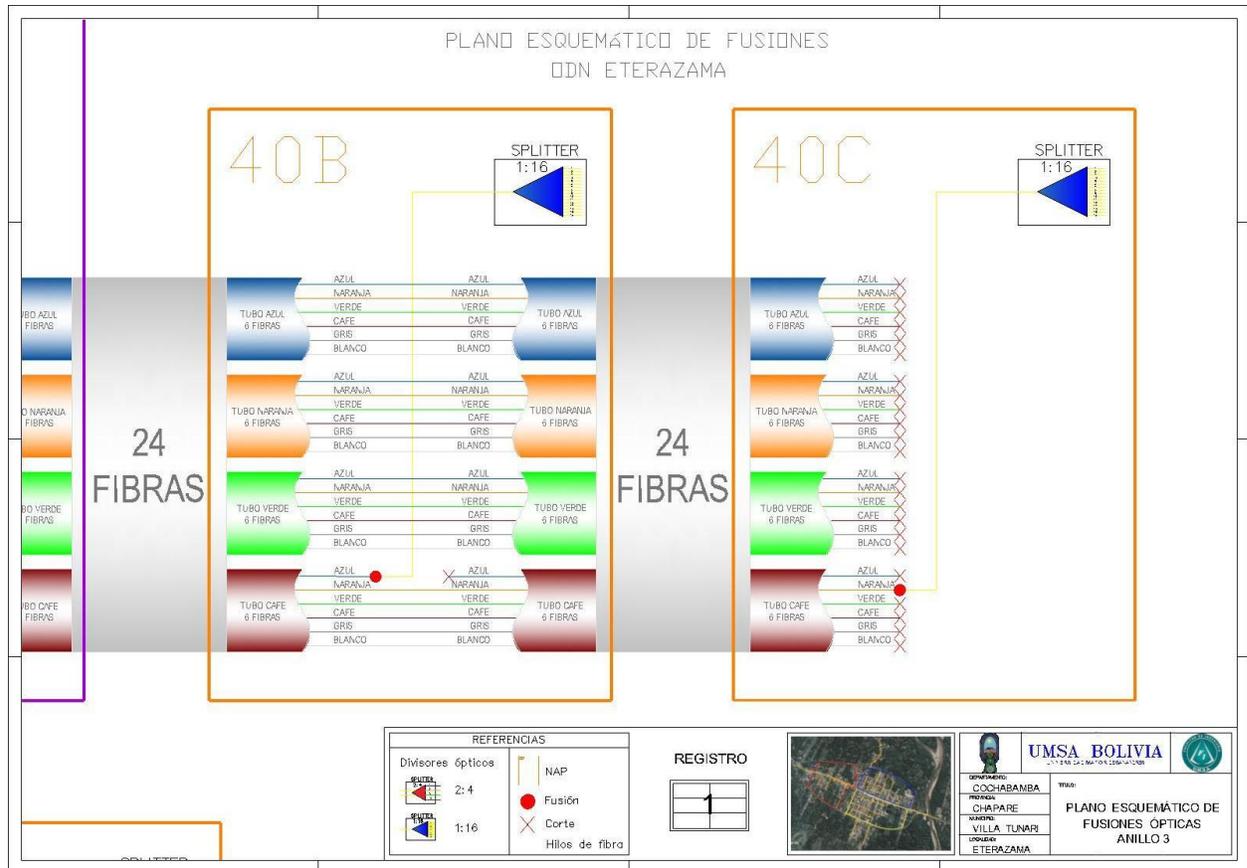


Figura III-45 Empalmes por fusión de la NAP 40C.

Fuente: Elaboración propia.

La NAP 41A, al ser un punto de acceso primario a la red es parte del anillo (red primaria), en la cual es empalmada por fusión la fibra número 5 (hilo gris, tubete azul) con el divisor óptico de primer nivel, la primera salida (hilo azul) del divisor óptico de primer nivel está empalmada por fusión con el divisor óptico 1:16 de segundo nivel en la misma caja NAP.

Las tres salidas restantes (hilos naranja, verde y café) del divisor óptico de primer nivel, son empalmadas por fusión a las fibras número 19, 20 y 21 (hilo azul, naranja y verde

del tubete café) del cable multifibra perteneciente a la red secundaria desplegada para la alimentación de las NAP 41B, C y D, debido a que estas NAP no forman parte del anillo, como se observa en la Figura III-46.

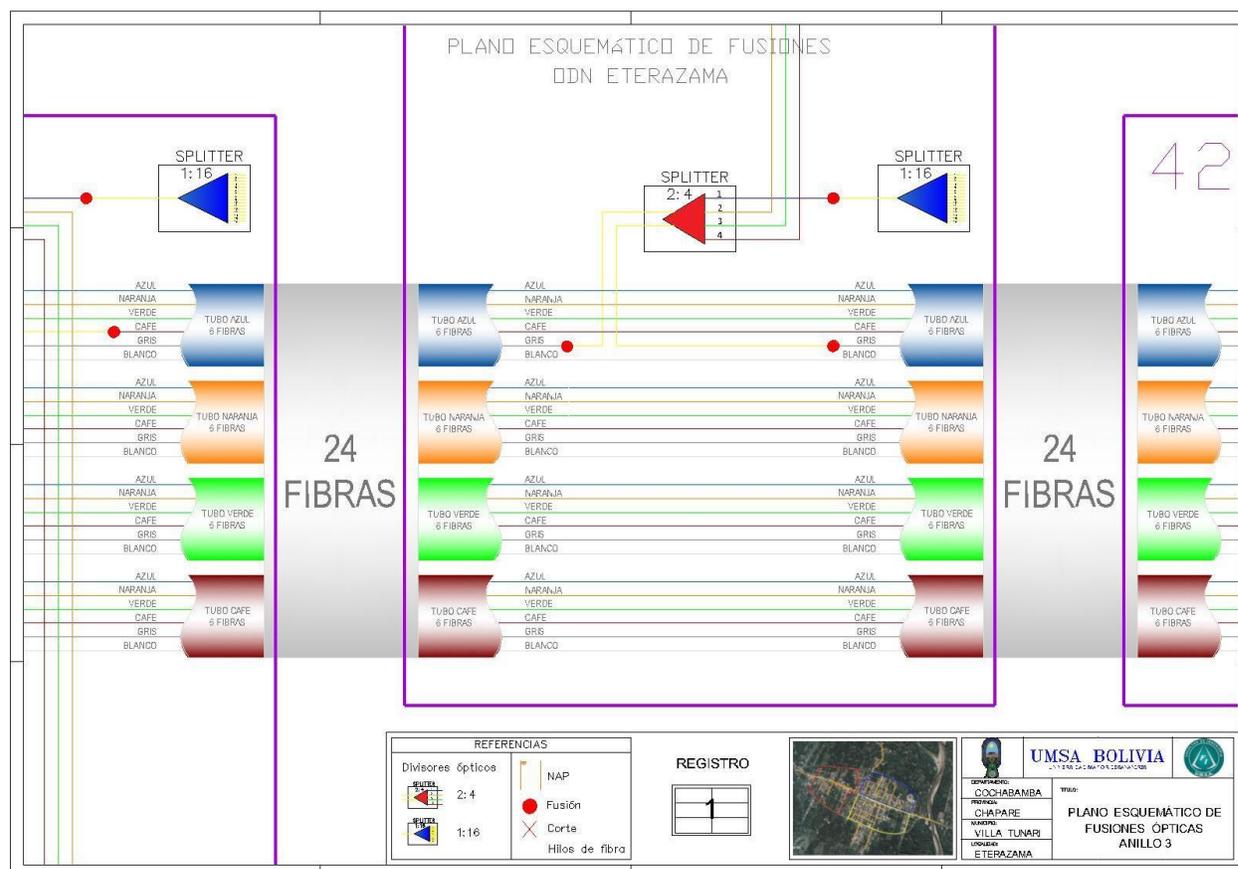


Figura III-46 Empalmes por fusión de la NAP 41A.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura III-47, para alimentar a la NAP secundaria 41B, se empalma por fusión la fibra número 19 (hilo azul, tubete café) del cable multifibra que accede a esta NAP, con el divisor óptico de segundo nivel.

Para las NAP secundarias 41C y 41D, las fibras número 20 y 21 (hilo naranja y verde del tubete café) de la red secundaria desplegada hasta la NAP 41B, se mantienen en reserva para futuras ampliaciones.

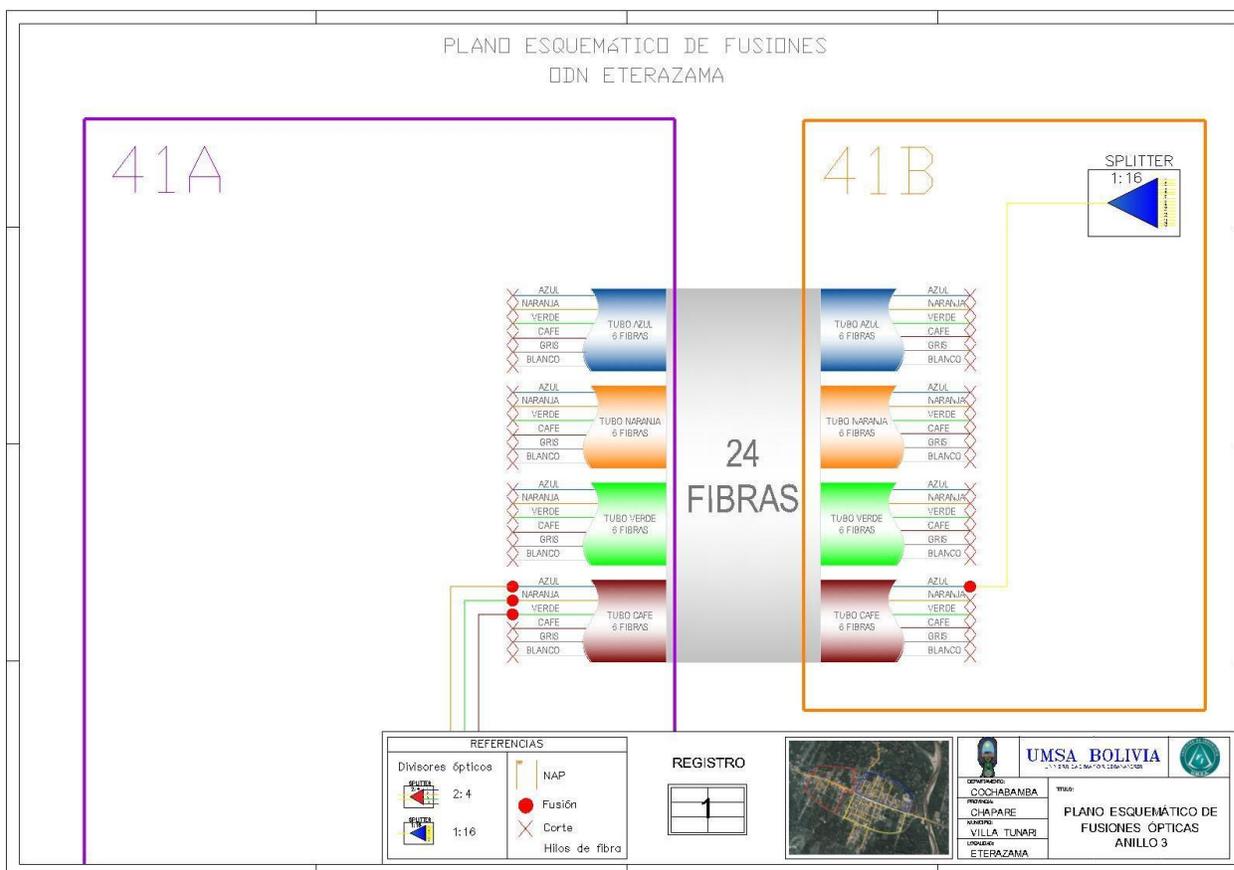


Figura III-47 Empalmes por fusión de la NAP 41B.

Fuente: Elaboración propia.

Continuando con el anillo, los empalmes por fusión de la NAP 42A, se realizan entre la fibra número 6 (hilo blanco, tubete azul) y el divisor óptico de primer nivel, de igual manera que en las anteriores NAP primarias, la primera salida (hilo azul) del divisor óptico de primer nivel se empalma por fusión al divisor óptico de segundo nivel, encontrándose ambas en la misma NAP.

Debido a que las NAP secundaria de la NAP primaria 42A se encuentran en el anillo (red principal), las tres salidas restantes (hilos naranja, verde y café) del divisor óptico de primer nivel son empalmadas por fusión a las fibras número 19, 20 y 21 (hilos azul, naranja y verde del tubete café) de la misma red.

La NAP 42B para ser alimentada se empalma por fusión la fibra número 19 (hilo azul, tubete café) de la red principal al divisor óptico de segundo nivel, las NAP secundarias 42C y D se dejan en reserva, disponibles para futuras ampliaciones en la red, como se observa en la Figura III-48.

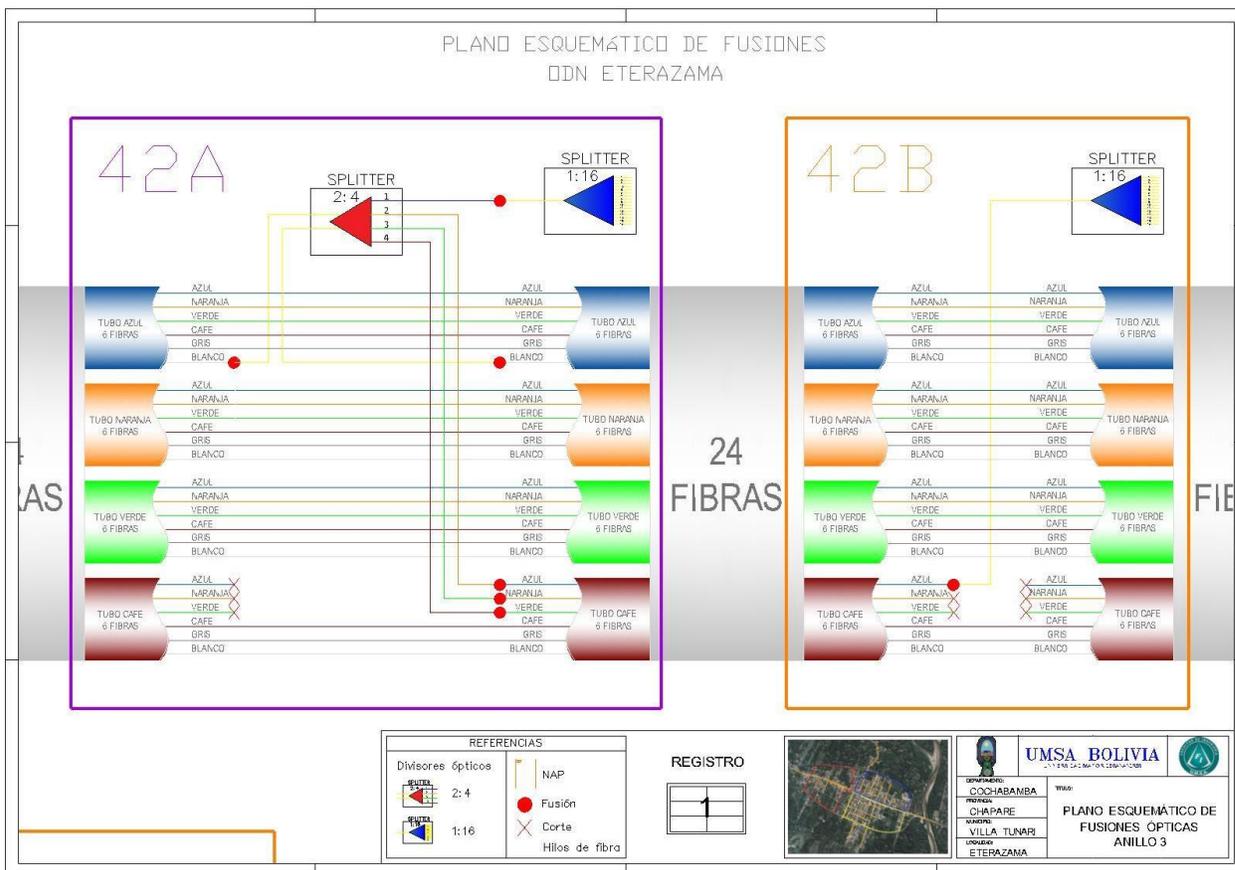


Figura III-48 Empalmes por fusión de la NAP 42B.

Fuente: Elaboración propia.

La NAP primaria 43A es la última en el anillo (red principal), siendo empalmada por fusión la fibra número 7 (hilo azul, tubete naranja) con el divisor óptico de primer nivel y su primera salida (hilo azul) de este al divisor óptico de segundo nivel instalada en la misma NAP.

Las salidas 2, 3 y 4 (hilos naranja, verde y café) de divisor óptico de primer nivel, son empalmadas por fusión a las fibras número 19, 20 y 21 (hilo azul, naranja y verde del tubete café) de la red secundaria desplegada al interior del anillo para acceder a las NAP 42B, C y D, como se observa en la Figura III-49.

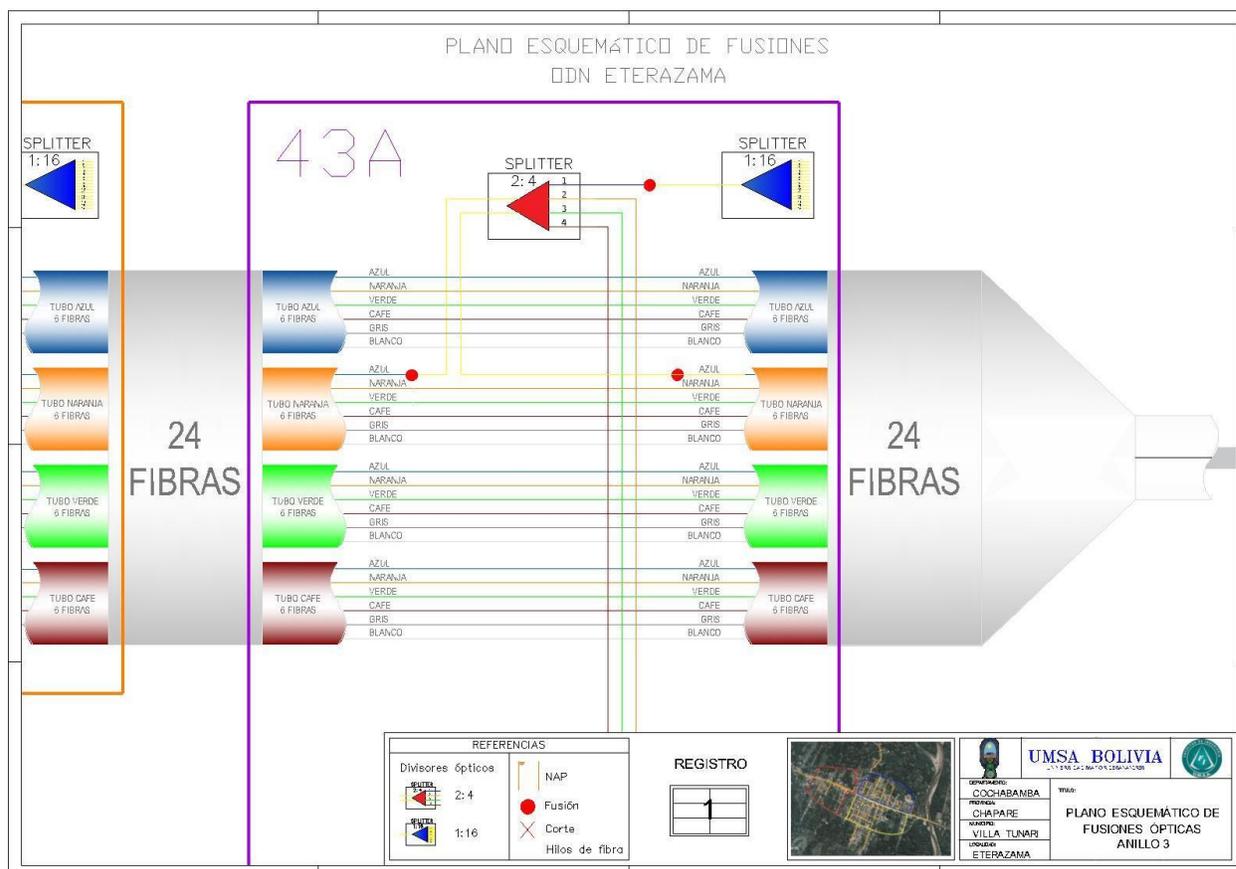


Figura III-49 Empalmes por fusión de la NAP 43A.

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente la NAP 43A, es el último punto de acceso primario diseñado en este anillo, quedando aun disponible las fibras del 8 al 18 para alimentar a más NAP primarias, las mismas que serán instaladas más adelante en futuras ampliaciones en la red, de acuerdo a la demanda del crecimiento de la población.

Para alimentar la NAP secundaria 43B, se empalma por fusión la fibra número 19 (hilo azul, tubete café) de la red secundaria que accede a la NAP con el divisor óptico de segundo nivel, como se puede observar en la Figura III-50.

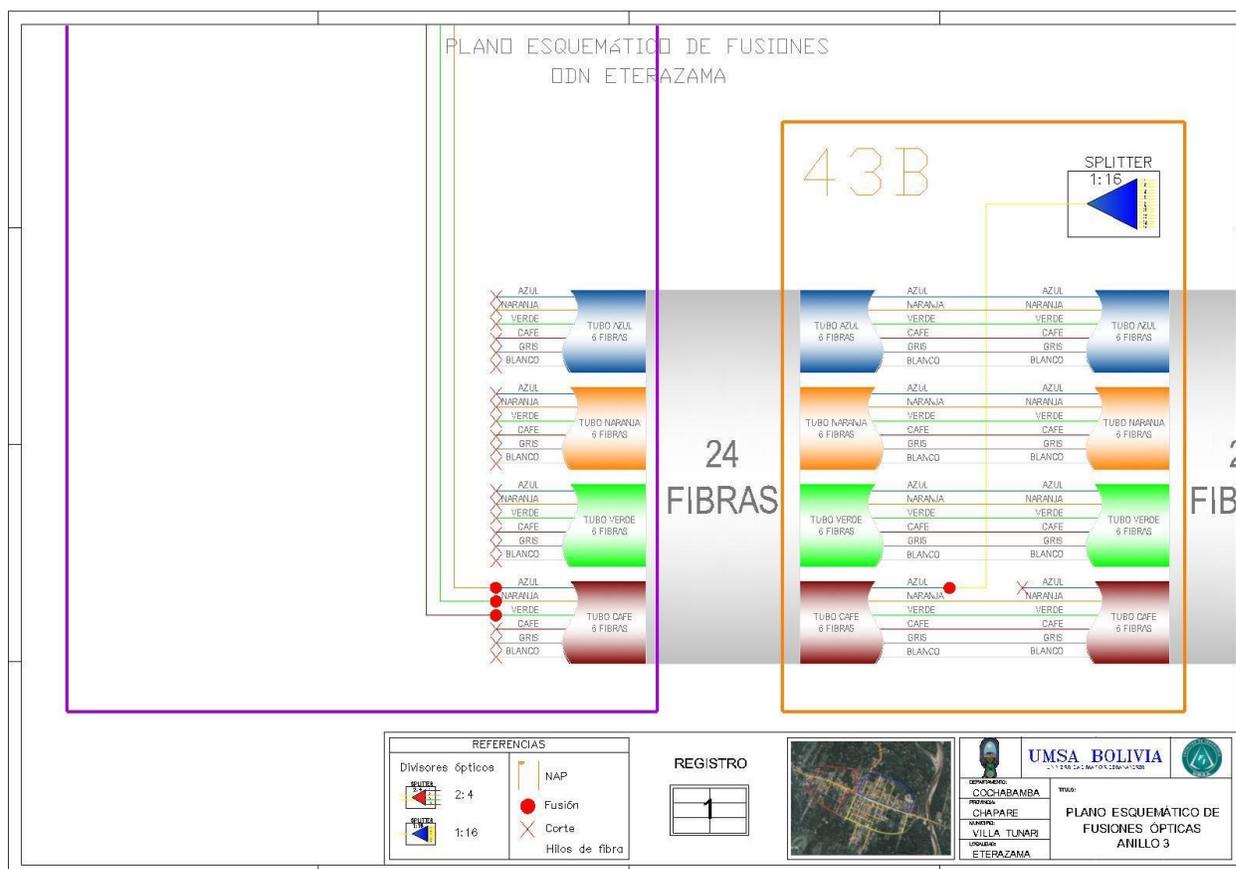


Figura III-50 Empalmes por fusión de la NAP 43B.

Fuente: Elaboración propia.

Para la NAP secundaria 43C, se empalma por fusión la fibra número 20 (hilo naranja, tubete café) del cable multifibra que accede a esta NAP con el divisor óptico de segundo nivel.

Por otro lado, la fibra número 21 (hilo verde, tubete café) es la que alimenta a la NAP 43D, que es empalmada por fusión con el divisor óptico de segundo nivel, como se puede apreciar en la Figura III-51.

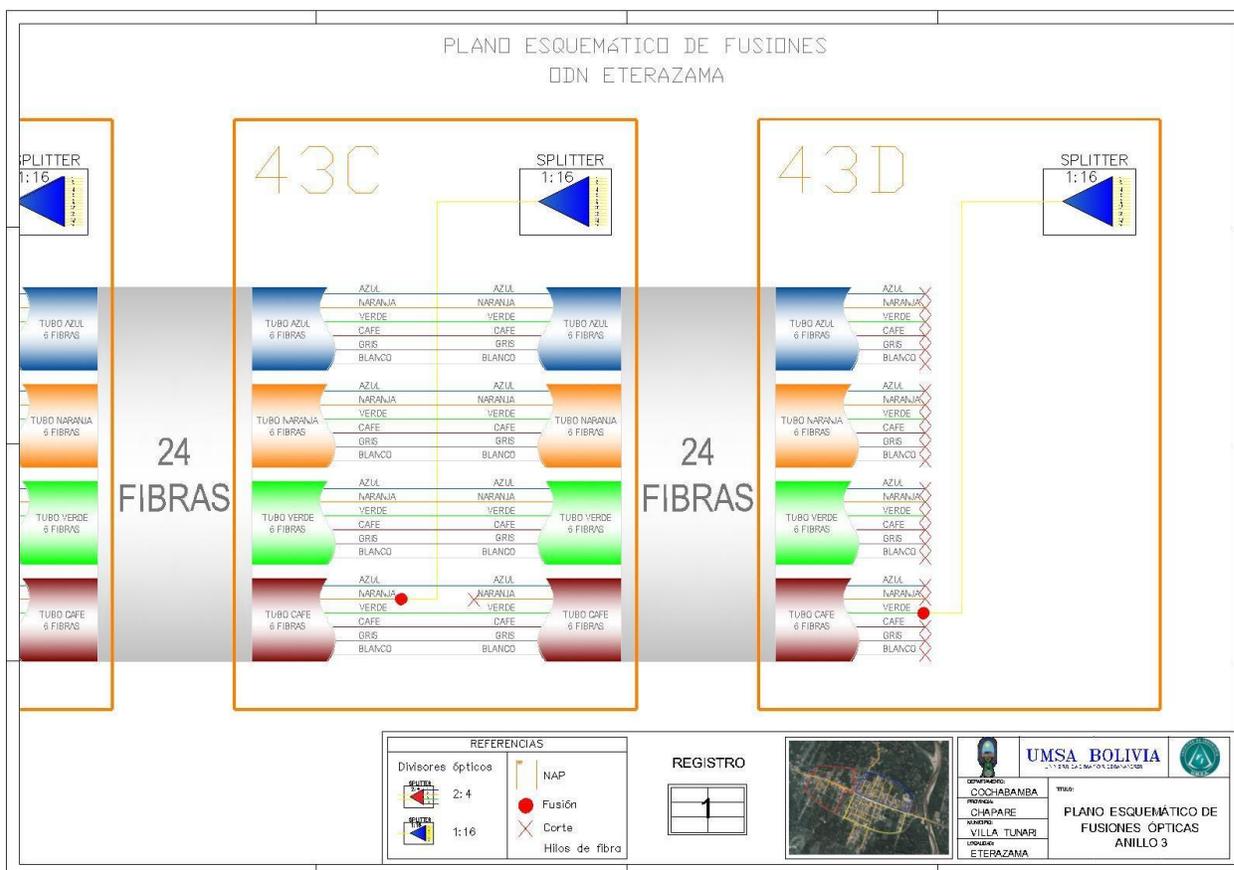


Figura III-51 Empalmes por fusión de la NAP 43C y 43D.

Fuente: Elaboración propia.

De manera análoga son diseñados los planos esquemáticos de fusiones de los anillos 1 y 2 correspondientes a la ODN Eterazama, como también los tres anillos de la ODN Villa 14 de Septiembre, los cuales son apreciables con mayor facilidad en el Anexo B.

### 3.11 Atenuación y presupuesto óptico de la red FTTH

#### 3.11.1 Cálculo de atenuación

Como se estudió anteriormente, la atenuación máxima en la red se presenta en el enlace de la ONT más lejana en referencia a la OLT, debido a la configuración en anillo de la red primaria, dependiendo de la ruta que viaje la información se tiene

dos NAP más distantes, mismas se observan en la Tabla III-32 y Tabla III-33 para las ODN Eterazama y Villa 14 Septiembre respectivamente.

*Tabla III-32 NAP más distantes ODN Eterazama.*

<b>Anillo</b>	<b>Trayectoria</b>	<b>NAP</b>	<b>Longitud [m]</b>
1	Ruta 1	8B	4330
	Ruta 2	2D	4577
2	Ruta 1	25D	4716
	Ruta 2	20D	4337
3	Ruta 1	43D	<b>5489</b>
	Ruta 2	38D	5362

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla III-33 NAP más distantes ODN Villa 14 de Septiembre.*

<b>Anillo</b>	<b>Trayectoria</b>	<b>NAP</b>	<b>Longitud [m]</b>
1	Ruta 1	4D	3438
	Ruta 2	1A	3278
2	Ruta 1	25D	3731
	Ruta 2	20D	4000
3	Ruta 1	40D	<b>4819</b>
	Ruta 2	37A	4513

*Fuente: Elaboración propia.*

Las tablas anteriores muestran las NAP más distantes respecto a la OLT por anillos, donde se observa que la NAP 43D de la ODN Eterazama y la NAP 40D de Villa 14 de Septiembre son las de mayor distancia en sus redes, a las que se sumó la longitud máxima diseñada de la red de dispersión con un radio de cobertura de 300 metros, como se aprecia en la Tabla III-34.

Tabla III-34 Distancia más lejana OLT-ONT.

ODN	Distancia OLT-NAP [m]	Distancia NAP ONT [m]	Distancia total [m]
Eterazama	5489	300	5789
Villa 14 de septiembre	4819	300	5119

Fuente: Elaboración propia.

Estas distancias más los valores de atenuación de los elementos involucrados en la red, son reemplazados en la ecuación estudiada en el CAPÍTULO II, para obtener la atenuación de la red en el enlace más distante. Los mismos también se reflejan en la Tabla III-35 y Tabla III-36 para cada ODN.

Tabla III-35 Atenuación total de la ODN Eterazama.

Ítem	Cantidad	Atenuación	Atenuación total [dB]
Conectorizaciones	3	0,5 [dB]	1,5
Fusiones	5	0,1 [dB]	0,5
Divisor óptico 2x4	1	7,3 [dB]	7,3
Divisor óptico 1x16	1	13,7 [dB]	13,7
Fibra óptica 1310nm	5,789 [Km]	0,35 [dB/Km]	2,03
Atenuación total de la red			25,03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-36 Atenuación total de la ODN Villa 14 de Septiembre.

Ítem	Cantidad	Atenuación típica	Atenuación total [dB]
Conectorizaciones	3	0,5 [dB]	1,5
Fusiones	5	0,1 [dB]	0,5
Divisor óptico 2x4	1	7,3 [dB]	7,3
Divisor óptico 1x16	1	13,7 [dB]	13,7
Fibra óptica 1310nm	5,119 [Km]	0,35 [dB/Km]	1,79
Atenuación total de la red			24,79

Fuente: Elaboración propia.

### 3.11.2 Presupuesto óptico

El presupuesto óptico para las ODN de clase B+, el cual pertenece al diseño del presente proyecto, tiene una atenuación mínima de 13 dB para evitar calentamiento en los equipos y no debe ser mayor a los 28 dB para su correcto funcionamiento.

La suma de atenuación de los dos divisores ópticos en el diseño de la red es de 21 dB, muy por encima de la atenuación mínima requerida de 13 dB, por lo cual no es necesario el cálculo en detalle de este presupuesto.

De la Tabla III-35 y Tabla III-36 se pudo apreciar la atenuación de los enlaces más distantes entre la OLT y ONT de ambas ODN, las cuales se encuentran por debajo del límite máximo de atenuación permitida de 28 dB.

En la Tabla III-37 se puede apreciar que ambas ODN tiene un margen de seguridad aproximado de 3 dB, siendo necesarios debido a que algunos transmisores bajo ciertas circunstancias ambientales o de operación pueden disminuir temporalmente su valor de potencia de salida, este margen de seguridad garantiza el correcto funcionamiento de las dos redes diseñadas, se realiza restando los 28 dB del presupuesto óptico máximo de ODN clase B+ de los enlaces con mayor atenuación de cada red.

*Tabla III-37 Atenuación y margen de seguridad por ODN.*

ODN	Atenuación [dB]	Margen de seguridad [dB]
Eterazama	25,03	2.97
Villa 14 de septiembre	24,74	3.26

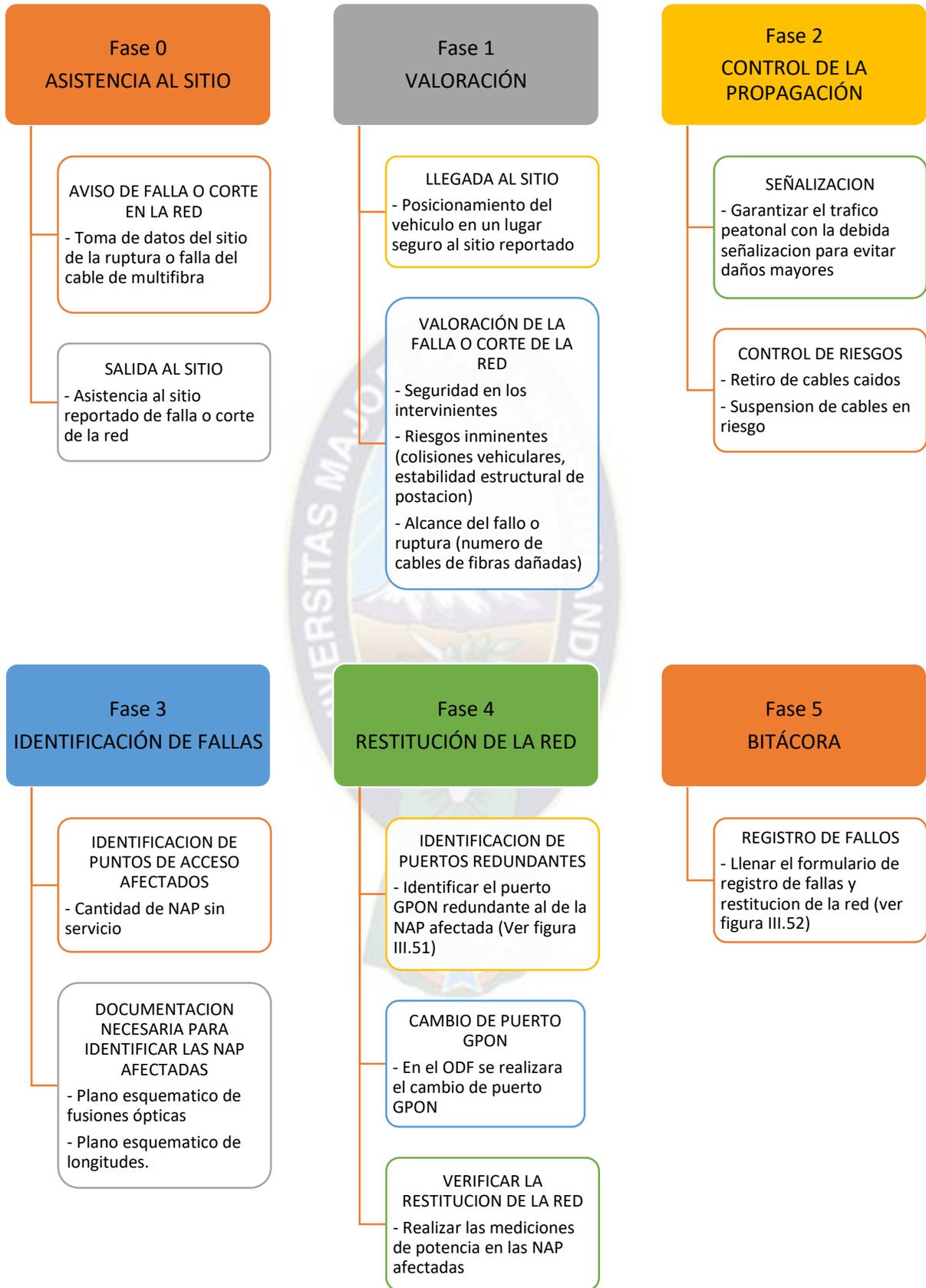
*Fuente: Elaboración propia.*

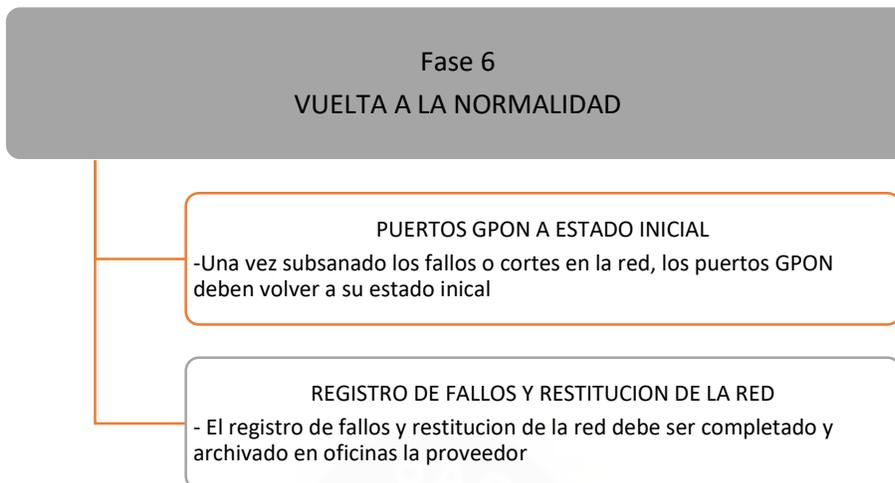
### 3.12 Protocolo de restitución de la red FTTH

El diseño de la red FTTH en topología anillo, permite que la misma sea restituida de forma inmediata en caso de fallos o cortes en el trayecto del cable de multifibra, para lo cual se debe seguir ordenadamente el conjunto de instrucciones establecidas en el protocolo de restitución de la red.

El protocolo de restitución de la red está dividido por fases, las cuales son expuestas a continuación.







La Figura III-52 muestra la designación de los puertos GPON que alimentan a los puntos de acceso a la red por la ruta principal, como también su correspondiente puerto GPON redundante.

**ODF**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	

PUERTOS GPON PRIMARIOS

PUERTOS GPON REDUNDANTES

Figura III-52 Asignación de puertos GPON.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura III-53 se observa el formulario que se debe llenar en caso de fallas en la red, para su correspondiente restitución inmediata.

FORMULARIO DE REGISTRO DE FALLAS Y RESTITUCION DE LA RED	
Localidad: _____	Numero de registro: _____
Nombre del personal responsable: _____	
AVISO DE FALLA EN LA RED	
Nombre de la persona: _____	
Telefono: _____	
Fecha: _____	Hora: _____
Comentarios del aviso: _____	
VALORACIÓN DE LA FALLA O CORTE DE LA RED	
Numero de cables de multifibra dañados	<input type="text"/>
Marque una de las siguientes casillas	
Colision vehicular en postacion	<input type="text"/>
Arbol caido	<input type="text"/>
Construcciones civiles cercanas	<input type="text"/>
Maquinaria pesada	<input type="text"/>
Corto circuito	<input type="text"/>
otros: _____	_____
REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL INCIDENTE	
<div style="border: 1px solid black; height: 150px;"></div>	

IDENTIFICACION DE PUNTOS DE ACCESO AFECTADOS			
N°	Anillo	NAP	Observaciones

RESTITUCIÓN DE LA RED						
N°	Anillo	NAP	Puerto principal	Puerto redundante	Hora	Fecha

VERIFICACION DE RESTITUCION DE LA RED						
N°	Anillo	NAP	Numero de puerto	Potencia medida	Hora	Fecha

VUELTA A LA NORMALIDAD						
N°	Anillo	NAP	Puerto redundante	Puerto principal	Hora	Fecha

Contratista de mantenimiento de la red		Operador de telecomunicaciones	
Firma		Firma	
Nombre: _____		Nombre: _____	
Fecha: _____		Fecha: _____	

Figura III-53 Formulario de registro de fallas y restitución de la red.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV. FACTIBILIDAD ECONÓMICA

La factibilidad económica es el análisis de los costos e ingresos del proyecto en un esfuerzo por determinar si resulta o no lógico y posible poder completarlo. Es un tipo de análisis de costo-beneficio del proyecto examinado, que evalúa si es posible su implementación.

### 4.1 Consideraciones en etapa de diseño

La estimación de costos se realiza en etapas determinadas de la ejecución del proyecto, en función a factores como:

- Información del momento.
- Tiempo de aprobación del proyecto
- Fluctuación del costo de los equipos en el mercado.

Considerando que el proyecto se encuentra en etapa de diseño, la estimación de presupuesto contempla un orden de variación de  $\pm 20\%$ . Teniendo en cuenta los aspectos generales necesarios, es posible determinar los costos de implementación y operación del proyecto.

### 4.2 Costos de inversión

Los costos de inversión, llamados también costos pre-operativos o costos de implementación, corresponden a aquellos que se incurren en la adquisición de los activos necesarios para poner el proyecto en funcionamiento, ponerlo "en marcha" u operativo.

### 4.2.1 Equipos y materiales

Los equipos y materiales mencionados en la Tabla IV-1, son los necesarios para la implementación de la red FTTH, si se presenta la necesidad de requerir algún otro, este será cubierto por el 20% de variación en el margen contemplado.

Tabla IV-1 Equipos y materiales

Nº	Detalle	Unidad
1	Cable multifibra monomodo 120 hilos	metros
2	Cable multifibra monomodo 24 hilos	metros
3	Cable drop monomodo 1 hilo	metros
4	Línea Terminal Óptica (OLT)	pieza
5	Terminal de Red Óptico (ONT)	piezas
6	Receptor de televisión (STB)	piezas
7	Splitter 2:4	piezas
8	Splitter 1:16	piezas
9	Conector óptico	piezas
10	Acoplador óptico	piezas
11	Cable de conexión	piezas
12	Rosetas ópticas	piezas
13	Distribuidor óptico (ODF)	pieza
14	Puntos de Acceso la Red (NAP)	piezas
15	Caja de empalme de alta densidad	pieza
16	Ferretería duplo	piezas
17	Ferretería paso	piezas
18	Ferretería terminal	piezas
19	Cruceta de reserva	piezas
20	Tendido tritubo Ø1½"	metros
21	Construcción cámara Tipo 2FRB	piezas

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2 Costo de equipos y materiales

En las siguientes tablas se detalla la cantidad de equipos y materiales necesarios por localidad con sus respectivos costos, estos precios son obtenidos del mercado actual boliviano.

Tabla IV-2 Costo de equipos y materiales ODN Eterazama

Nº	Detalle	Cantidad	Precio unitario [\$us]	Total [\$us]
1	Cable multifibra monomodo 120 hilos [m]	632	9,27	5858,64
2	Cable multifibra monomodo 24 hilos [m]	21474	3,02	64851,48
3	Cable drop monomodo 1 hilo [m]	152100	0,36	54756,00
4	Línea Terminal Óptica (OLT) [pza]	1	2400,00	2400,00
5	Terminal de Red Óptico (ONT) [pzas]	1014	14,28	14479,92
6	Receptor de televisión (STB) [pzas]	1014	21,43	21730,02
7	Splitter 2:4 [pzas]	22	19,19	422,18
8	Splitter 1:16 [pzas]	65	34,12	2217,80
9	Conector óptico [pzas]	2028	4,00	8112,00
10	Acoplador óptico [pzas]	3042	4,90	14905,80
11	Cable de conexión [pzas]	1014	11,77	11934,78
12	Rosetas ópticas [pzas]	1014	1,32	1338,48
13	Distribuidor óptico (ODF) [pza]	1	800,00	800,00
14	Puntos de Acceso la Red (NAP) [pzas]	65	198,95	12931,75
15	Caja de empalme de alta densidad [pza]	1	334,53	334,53
16	Ferretería duplo [pzas]	251	35,75	8973,25
17	Ferretería paso [pzas]	89	23,21	2065,69
18	Ferretería terminal [pzas]	18	32,17	579,06
19	Cruceta de reserva [pzas]	65	25,00	1625,00
20	Tendido tritubo Ø1½" [m]	392	5,93	2324,56
21	Construcción cámara Tipo 2FRB [pzas]	7	485,43	3398,01
			Total	236038,95

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-3 Costo de equipos y materiales ODN Villa 14 de Septiembre

Nº	Detalle	Cantidad	Precio unitario [\$us]	Total [\$us]
1	Cable multifibra monomodo 120 hilos [m]	1057	9,27	9798,39
2	Cable multifibra monomodo 24 hilos [m]	17626	3,02	53230,52
3	Cable drop monomodo 1 hilo [m]	96150	0,36	34614,00
4	Línea Terminal Óptica (OLT) [pza]	1	2400,00	2400,00
5	Terminal de Red Óptico (ONT) [pzas]	641	14,28	9153,48
6	Receptor de televisión (STB) [pzas]	641	21,43	13736,63
7	Splitter 2:4 [pzas]	17	19,19	326,23
8	Splitter 1:16 [pzas]	59	34,12	2013,08
9	Conector óptico [pzas]	1282	4,00	5128,00
10	Acoplador óptico [pzas]	1923	4,90	9422,70
11	Cable de conexión [pzas]	641	11,77	7544,57
12	Rosetas ópticas [pzas]	641	1,32	846,12
13	Distribuidor óptico (ODF) [pza]	1	800,00	800,00
14	Puntos de Acceso la Red (NAP) [pzas]	59	198,95	11738,05
15	Caja de empalme de alta densidad [pza]	1	334,53	334,53
16	Ferretería duplo [pzas]	206	35,75	7364,50
17	Ferretería paso [pzas]	74	23,21	1717,54
18	Ferretería terminal [pzas]	14	32,17	450,38
19	Cruceta de reserva [pzas]	59	25,00	1475,00
20	Tendido tritubo Ø1½" [m]	697	5,93	4133,21
21	Construcción cámara Tipo 2FRB [pzas]	10	485,43	4854,30
			Total	181081,23

Fuente: Elaboración propia.

### 4.2.3 Costo de mano de obra

El costo de mano de obra se realiza en función a la cantidad de equipos y material instalado en ambas redes FTTH.

*Tabla IV-4 Costo de mano de obra ODN Eterazama*

Nº	Detalle	Cantidad	Precio unitario [\$us]	Total [\$us]
1	Cable multifibra monomodo 120 hilos [m]	632	0,60	379,20
2	Cable multifibra monomodo 24 hilos [m]	21474	0,58	12454,92
3	Cable drop monomodo 1 hilo [m]	152100	0,14	21294,00
4	Línea Terminal Óptica (OLT) [pza]	1	200,00	200,00
5	Terminal de Red Óptico (ONT) [pzas]	1014	20,00	20280,00
6	Receptor de televisión (STB) [pzas]	1014	20,00	20280,00
7	Splitter 2:4 [pzas]	22	2,14	47,08
8	Splitter 1:16 [pzas]	65	2,00	130,00
9	Conector óptico [pzas]	2028	1,43	2900,04
10	Acoplador óptico [pzas]	3042	0,09	273,78
11	Cable de conexión [pzas]	1014	0,86	872,04
12	Rosetas ópticas [pzas]	1014	0,23	233,22
13	Distribuidor óptico (ODF) [pza]	1	500,00	500,00
14	Puntos de Acceso la Red (NAP) [pzas]	65	20,07	1304,55
15	Caja de empalme de alta densidad [pza]	1	12	12,00
16	Ferretería duplo [pzas]	251	3,55	891,05
17	Ferretería paso [pzas]	89	3,5	311,50
18	Ferretería terminal [pzas]	18	3,42	61,56
19	Cruceta de reserva [pzas]	65	3	195,00
20	Tendido tritubo Ø1½" [m]	392	0,22	86,24
21	Construcción cámara Tipo 2FRB [pzas]	7	96,43	675,01
			Total	83381,19

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla IV-5 Costo de mano de obra ODN Villa 14 de Septiembre

Nº	Detalle	Cantidad	Precio unitario [\$us]	Total [\$us]
1	Cable multifibra monomodo 120 hilos [m]	1057	0,60	634,20
2	Cable multifibra monomodo 24 hilos [m]	17626	0,58	10223,08
3	Cable drop monomodo 1 hilo [m]	96150	0,14	13461,00
4	Línea Terminal Óptica (OLT) [pza]	1	200,00	200,00
5	Terminal de Red Óptico (ONT) [pzas]	641	20,00	12820,00
6	Receptor de televisión (STB) [pzas]	641	20,00	12820,00
7	Splitter 2:4 [pzas]	17	2,14	36,38
8	Splitter 1:16 [pzas]	59	2,00	118,00
9	Conector óptico [pzas]	1282	1,43	1833,26
10	Acoplador óptico [pzas]	1923	0,09	173,07
11	Cable de conexión [pzas]	641	0,86	551,26
12	Rosetas ópticas [pzas]	641	0,23	147,43
13	Distribuidor óptico (ODF) [pza]	1	500,00	500,00
14	Puntos de Acceso la Red (NAP) [pzas]	59	20,07	1184,13
15	Caja de empalme de alta densidad [pza]	1	12	12,00
16	Ferretería duplo [pzas]	206	3,55	731,30
17	Ferretería paso [pzas]	74	3,5	259,00
18	Ferretería terminal [pzas]	14	3,42	47,88
19	Cruceta de reserva [pzas]	59	3	177,00
20	Tendido tritubo Ø1½" [m]	697	0,22	153,34
21	Construcción cámara Tipo 2FRB [pzas]	10	96,43	964,30
			Total	57046,63

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4 Costo total de inversión

El costo total de inversión para poner en funcionamiento la red FTTH se detalla en las siguientes tablas para cada localidad.

Tabla IV-6 Costo total de inversión ODN Eterazama.

Detalle	Costo [\$us]
Equipos y materiales	236038,95
Mano de obra	83381,19
Adecuación de ambientes + supervisión	10000,00
<b>TOTAL</b>	<b>329420,14</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-7 Costo total de inversión ODN Villa 14 de Septiembre.

Detalle	Costo [\$us]
Equipos y materiales	181081,23
Mano de obra	57046,63
Adecuación de ambientes + supervisión	10000,00
<b>TOTAL</b>	<b>248127,86</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Costos de operación

Los costos operativos son todos aquellos que se dan desde la puesta en marcha del proyecto hasta el final de su vida útil. A diferencia de los costos de inversión que se dan una sola vez, los costos operativos son periódicos. Su frecuencia es relativamente alta (semanal, quincenal, mensual).

#### 4.3.1 Recursos humanos

Se denomina recursos humanos a las personas con las que la red FTTH cuenta para desarrollar y ejecutar de manera correcta las acciones, actividades, labores y tareas que deben realizarse.

La siguiente tabla detalla el costo mensual del personal necesario para el correcto funcionamiento de la red FTTH para ambas localidades.

Tabla IV-8 Costo Recursos Humanos por mes.

Responsabilidad	Costo [\$us]
Gerente general	1200,00
Responsable Técnico	750,00
Técnico 1	600,00
Técnico 2	600,00
Contador	500,00
Atención al cliente	400,00
<b>TOTAL</b>	<b>4050,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.2 Costos totales de operación

El costo total de operación de la red FTTH se detallan en las siguientes tablas para cada localidad.

Tabla IV-9 Costos totales de operación ODN Eterazama.

Detalle de servicios adquiridos	Costo mensual [\$us]	Costo anual [\$us]
Recursos Humanos	4050,00	48600,00
Adquisición de servicios de voz, video y datos	21656,00	259872,00
Servicios básicos (luz, agua, combustible)	500,00	6000,00
<b>TOTAL</b>		<b>314472,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

*Tabla IV-10 Costos totales de operación ODN Villa 14 de Septiembre.*

Detalle de servicios adquiridos	Costo mensual [\$us]	Costo anual [\$us]
Recursos Humanos	4050,00	48600,00
Adquisición de servicios de voz, video y datos	13689,93	164279,16
Servicios básicos (luz, agua, combustible)	500,00	6000,00
<b>TOTAL</b>		<b>218879,16</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

## 4.4 Ingresos

Los ingresos que percibe la red FTTH son aquellos que se obtienen por la venta de servicios de Internet, IPTV y VoIP.

### 4.4.1 Ingresos mensuales y anuales

Las siguientes tablas reflejan los ingresos mensuales y anuales en los cinco primeros años de operación de la red FTTH.

- ODN Eterazama

*Tabla IV-11 Año 1 ODN Eterazama*

Servicio	Usuarios	Costo de instalación	Costo de servicio	Ingreso por instalaciones	Ingreso mensual	Ingreso Anual
Internet	959	200	187	191800	179333	2343796,00
IPTV	959		112		107408	1288896,00
VoIP	96		30		2880	34560,00
					Total [Bs]	3667252,00
					Total [\$us]	526904,02

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla IV-12 Año 2 ODN Eterazama*

Servicio	Usuarios	Costo de instalación	Costo de servicio	Ingreso por instalaciones	Ingreso mensual	Ingreso Anual
Internet	973	200	187	2800	181951	2186212,00
IPTV	973		112		108976	1307712,00
VoIP	97		30		2910	34920,00
					Total [Bs]	3528844,00
					Total [\$us]	507017,82

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla IV-13 Año 3 ODN Eterazama*

Servicio	Usuarios	Costo de instalación	Costo de servicio	Ingreso por instalaciones	Ingreso mensual	Ingreso Anual
Internet	986	200	187	2600	184382	2215184,00
IPTV	986		112		110432	1325184,00
VoIP	99		30		2970	35640,00
					Total [Bs]	3576008,00
					Total [\$us]	513794,25

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla IV-14 Año 4 ODN Eterazama*

Servicio	Usuarios	Costo de instalación	Costo de servicio	Ingreso por instalaciones	Ingreso mensual	Ingreso Anual
Internet	1000	200	187	2800	187000	2246800,00
IPTV	1000		112		112000	1344000,00
VoIP	100		30		3000	36000,00
					Total [Bs]	3626800,00
					Total [\$us]	521091,95

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla IV-15 Año 5 ODN Eterazama

Servicio	Usuarios	Costo de instalación	Costo de servicio	Ingreso por instalaciones	Ingreso mensual	Ingreso Anual
Internet	1014	200	187	2800	189618	2278216,00
IPTV	1014		112		113568	1362816,00
VoIP	101		30		3030	36360,00
					Total [Bs]	3677392,00
					Total [\$us]	528360,92

Fuente: Elaboración propia.

- ODN Villa 14 de Septiembre

Tabla IV-16 Año 1 ODN Villa 14 de Septiembre

Servicio	Usuarios	Costo de instalación	Costo de servicio	Ingreso por instalaciones	Ingreso mensual	Ingreso Anual
Internet	606	200	187	121200	113322	1481064,00
IPTV	606		112		67872	814464,00
VoIP	61		30		1830	21960,00
					Total [Bs]	2317488,00
					Total [\$us]	332972,41

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-17 Año 2 ODN Villa 14 de Septiembre

Servicio	Usuarios	Costo de instalación	Costo de servicio	Ingreso por instalaciones	Ingreso mensual	Ingreso Anual
Internet	615	200	187	1800	115005	1381860,00
IPTV	615		112		68880	826560,00
VoIP	62		30		1860	22320,00
					Total [Bs]	2230740,00
					Total [\$us]	320508,62

Fuente: Elaboración propia.

*Tabla IV-18 Año 3 ODN Villa 14 de Septiembre*

<b>Servicio</b>	<b>Usuarios</b>	<b>Costo de instalación</b>	<b>Costo de servicio</b>	<b>Ingreso por instalaciones</b>	<b>Ingreso mensual</b>	<b>Ingreso Anual</b>
Internet	623	200	187	1600	116501	1399612,00
IPTV	623		112		69776	837312,00
VoIP	62		30		1860	22320,00
					Total [Bs]	2259244,00
					Total [\$us]	324604,02

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla IV-19 Año 4 ODN Villa 14 de Septiembre*

<b>Servicio</b>	<b>Usuarios</b>	<b>Costo de instalación</b>	<b>Costo de servicio</b>	<b>Ingreso por instalaciones</b>	<b>Ingreso mensual</b>	<b>Ingreso Anual</b>
Internet	632	200	187	1800	118184	1420008,00
IPTV	632		112		70784	849408,00
VoIP	63		30		1890	22680,00
					Total [Bs]	2292096,00
					Total [\$us]	329324,14

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla IV-20 Año 5 ODN Villa 14 de Septiembre*

<b>Servicio</b>	<b>Usuarios</b>	<b>Costo de instalación</b>	<b>Costo de servicio</b>	<b>Ingreso por instalaciones</b>	<b>Ingreso mensual</b>	<b>Ingreso Anual</b>
Internet	641	200	187	1800	119867	1440204,00
IPTV	641		112		71792	861504,00
VoIP	64		30		1920	23040,00
					Total [Bs]	2324748,00
					Total [\$us]	334015,52

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.4.2 Ingresos anuales tomando en cuenta gastos de operación

Las siguientes tablas detalla los ingresos anuales de la red FTTH descontando los costos de operación.

Tabla IV-21 Ingresos anuales tomando en cuenta gastos de operación ODN Eterazama.

Año 1 [\$us]	Año 2 [\$us]	Año 3 [\$us]	Año 4 [\$us]	Año 5 [\$us]
212432,02	192545,82	199322,25	206619,95	213888,92

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-22 Ingresos anuales tomando en cuenta gastos de operación ODN Villa 14 de Septiembre.

Año 1 [\$us]	Año 2 [\$us]	Año 3 [\$us]	Año 4 [\$us]	Año 5 [\$us]
114093,25	101629,46	105724,86	110444,98	115136,36

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.3 Ingresos netos anuales

El ingreso neto de la red FTTH, es el ingreso obtenido por la venta de servicios proveídos por la red descontando los costos de operación y a este resultado se resta el 25% que es el impuesto a las utilidades de las empresas.

Tabla IV-23 Ingresos netos anuales ODN Eterazama.

Año 1 [\$us]	Año 2 [\$us]	Año 3 [\$us]	Año 4 [\$us]	Año 5 [\$us]
159324,02	144409,36	149491,69	154964,97	160416,69

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-24 Ingresos netos anuales ODN Villa 14 de Septiembre.

Año 1 [\$us]	Año 2 [\$us]	Año 3 [\$us]	Año 4 [\$us]	Año 5 [\$us]
85569,94	76222,10	79293,65	82833,73	86352,27

Fuente: Elaboración propia.

## 4.5 Cálculos del VAN y TIR

El VAN y el TIR son dos fórmulas financieras empleadas con frecuencia para analizar qué tan oportuno puede ser un proyecto para una empresa, independiente del área en el que opere. Las siglas VAN corresponden al Valor Actual Neto, mientras el TIR es la Tasa Interna de Retorno.

### 4.5.1 Valor Actual Neto (VAN)

Es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. También se conoce como valor neto actual (VNA), valor actualizado neto o valor presente neto (VPN).

Para ello trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en número de unidades monetarias (euros, dólares, bolivianos, etc.).

Los criterios de decisión VAN a ser los siguientes:

- $VAN > 0$ : El valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.
- $VAN = 0$ : El proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.
- $VAN < 0$ : El proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

La red FTTH es diseñado para satisfacer la demanda de servicios en una proyección de cinco años, por tanto, se realiza el cálculo del VAN en este periodo de tiempo.

*Tabla IV-25 Calculo del VAN*

<b>Datos</b>	<b>Eterazama</b>	<b>Villa 14 de Septiembre</b>
Inversión [\$us]	329420,14	248127,86
Tasa de descuento	10%	10%
Ingreso neto año 1 [\$us]	159324,02	85569,94
Ingreso neto año 2 [\$us]	144409,36	76222,10
Ingreso neto año 3 [\$us]	149491,69	79293,65
Ingreso neto año 4 [\$us]	154964,97	82833,73
Ingreso neto año 5 [\$us]	160416,69	86352,27
<b>VAN</b>	<b>248712,65</b>	<b>62425,48</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

El valor actualizado de los cobro y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios en ambas redes FTTH.

#### **4.5.2 Tasa interna de retorno (TIR)**

Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

Tabla IV-26 Calculo del TIR

Datos	Eterazama	Villa 14 de Septiembre
Inversión [\$us]	329420,14	248127,86
Ingreso neto año 1 [\$us]	159324,02	85569,94
Ingreso neto año 2 [\$us]	144409,36	76222,10
Ingreso neto año 3 [\$us]	149491,69	79293,65
Ingreso neto año 4 [\$us]	154964,97	82833,73
Ingreso neto año 5 [\$us]	160416,69	86352,27
<b>TIR</b>	36,51 %	19,39 %

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el TIR es superior a la tasa de interés en ambas localidades, las redes FTTH son proyectos rentables.



## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

El relevamiento de información de usuarios potenciales, permite dimensionar la red FTTH con un error menor al 5%, evitando gastos innecesarios en el momento de la instalación, a la vez cubre la demanda de usuarios que soliciten los servicios que provee la red, en un periodo de 5 años

El diseño de la red conforme a las recomendaciones de la UIT-T G984.x permite la interoperabilidad de equipos de distintas marcas para su funcionamiento, además de ofrecer una red escalable, es decir, la red soportará el transporte de datos con una nueva tecnología superior a la GPON (tecnologías emergentes).

La solución para los cortes accidentales en las trayectorias de fibra óptica, son las redes en configuración tipo anillo, debido a que restituyen la red de manera inmediata al disponer de una ruta de respaldo, evitando penalidades por demora en el restablecimiento de servicios que ofrece la red.

En las redes de configuración tipo anillo, la NAP más cercana respecto a la OLT también se convierte en la de mayor distancia, esto depende de la ruta que se utiliza para el envío de la información, la pérdida de potencia debe ser calculada tomando en cuenta el peor de los casos (más distante), en consecuencia, las longitudes de las trayectorias de los anillos son relativamente cortas (aproximadamente de 5 Km).

La georreferenciación de la OLT, ODF, CEAD, NAP y las trayectorias de las rutas de la red de distribución, son necesarias para la elaboración del plano esquemático de longitudes ópticas, que juntamente con el plano esquemático de fusiones ópticas,

permiten la identificación de fallas o cortes en la red, con mayor precisión y en un tiempo menor.

Seguir las instrucciones del protocolo de restitución de la red, no solo evitara el perjuicio a los usuarios, sino que también serán registrados los eventos que afectaron a la misma, constituyéndose en documentación de respaldo por parte de la empresa proveedora de servicios, ante las entidades reguladoras en telecomunicaciones.

## **5.2 Recomendaciones**

Las trayectorias de la fibra óptica que conforma el anillo de la red, deben ser desplegadas por rutas diferentes, de no ser de esta manera, cualquier accidente que ocasionara la ruptura del cable afectaría tanto a la ruta principal como a la de respaldo, dejando sin efecto el propósito de la redundancia en la red.

Es necesario e importante seguir a cabalidad el protocolo de restitución de la red para evitar desconexiones erróneas de los puertos GPON, que dejarían sin servicio a un total de 64 usuarios por cada puerto desconectado por error.

**Bibliografía**

- [1] J. GALEANO CORCHERO, «Diseño e instalación de una red FTTH». <https://docplayer.es/49366503-Diseno-e-instalacion-de-una-red-ftth.html> (accedido abr. 01, 2020).
- [2] M. Córdoba, «Procesos de fabricación de fibras ópticas». [http://repositorio.ub.edu.ar/bitstream/handle/123456789/303/34\\_cordoba.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://repositorio.ub.edu.ar/bitstream/handle/123456789/303/34_cordoba.pdf?sequence=2&isAllowed=y) (accedido abr. 09, 2020).
- [3] L. R. Villarreal Jiménez, «Sistemas de comunicación a través de fibras ópticas», 1997, Accedido: abr. 09, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://cd.dgb.uanl.mx//handle/201504211/3176>.
- [4] M. C. España Booquera, *Comunicaciones ópticas: conceptos esenciales y resolución de ejercicios*. Madrid: Díaz de Santos, 2005.
- [5] E. Cortez Bustamante, «Manual práctico para el cableado de la red aérea de fibra óptica de Telconet en la ciudad de Quito». <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16820/1/CD-7403.pdf> (accedido abr. 09, 2020).
- [6] Y. Marchukov, «Desarrollo de una aplicación gráfica para el diseño de infraestructuras FTTH», p. 102.
- [7] O. Santa Cruz, «Principios generales del sistema de fibra óptica». <http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/PlantelExterior/IntrodutorioResumen%20FO.pdf> (accedido abr. 04, 2020).
- [8] A. Pinchao y J. Soledad, «Diseño de una red de fibra óptica de acceso multiservicio FTTH (Fiber to the home) para la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones tecnológicas S.A., en la parroquia Urcuquí provincia de Imbabura.», oct. 2015, Accedido: abr. 05, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4515>.
- [9] C. O. AÑAZCO AGUILAR, «Diseño Básico de Redes de Acceso FTTH utilizando el estándar GPON», p. 114.
- [10] Telnet, «Acceso GPON y FTTH», *TELNET Redes Inteligentes*. <https://www.telnet-ri.es/soluciones-y-casos-de-exito/> (accedido abr. 26, 2020).
- [11] F. A. R. Yaguache, «DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA (ODN) MULTISERVICIO CON TECNOLOGÍA GPON EN EL SECTOR OCCIDENTAL DE LA CIUDAD DE LOJA PARA LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES E.P.», p. 92.
- [12] A. O. Ojeda Sotomayor, «ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED FTTH EN UN CAMPUS UNIVERSITARIO Y UNA VIVIENDA RESIDENCIAL», p. 110.
- [13] J. P. Chayña Burgos, «Diseño de una red de acceso FTTH utilizando el estándar GPON para la empresa AMITEL S.A.C, Puno», *Univ. Nac. Altiplano*, ene. 2017, Accedido: abr. 08, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3859>.
- [14] Huawei, «GPON», *Huawei Enterprise*. <https://e.huawei.com/es> (accedido jun. 23, 2020).
- [15] Amino, «STB». <https://www.amino.tv/products/aminovu/> (accedido jun. 25, 2020).
- [16] R. J. Salvatierra Zambrano, «Diseño y cuantificación para el despliegue de una red de planta externa mediante la tecnología GPON-FTTH para brindar servicios

- Triple Play en la ciudadela Huancavelica Norte». <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7396/1/T-UCSG-POS-MTEL-65.pdf> (accedido abr. 09, 2020).
- [17] Silex Fiber Telecom, «Tipos de conectores Fibra Óptica», *Silex Fiber Telecom | Fibra Óptica y Accesorios*, abr. 29, 2017. <https://silexfiber.com/tipos-conectores-fibra-optica/> (accedido abr. 07, 2020).
- [18] A. Rodriguez, «Conectores para FTTH». <https://www.instaladoresdetelecomhoy.com/conectores-para-ftth/> (accedido abr. 07, 2020).
- [19] DINTEK Electronic Ltd, «Connectors», *DINTEK Electronic Ltd*. <https://www.dintek.com.tw/index.php/Articles/What-are-pc-upc-and-apc-connectors.html> (accedido abr. 07, 2020).
- [20] Fibermax, «Acopladores de Fibra Óptica». <http://www.fibermax.pe/acopladores-de-fibra-optica/> (accedido abr. 07, 2020).
- [21] Wanshuo electronic equipment, «Cable De Conexión De Fibra Óptica», *www.alibaba.com*. [//www.alibaba.com/product-detail/3M-SC-APC-Fiber-Optic-Patch\\_60724253072.html](http://www.alibaba.com/product-detail/3M-SC-APC-Fiber-Optic-Patch_60724253072.html) (accedido abr. 07, 2020).
- [22] Optitel especialista en fibra óptica, «PATCH CORD FIBRA ÓPTICA». <https://www.optitelsrl.com/product/patch-cord-fibra-optica-sm-duplex-fc-sc-lc-st/> (accedido may 06, 2020).
- [23] Furukawa, «ROSETA OPTICA». <https://www.efurukawa.com/ar/p/roseta-optica-2p-4x2-superposicion-c-1-adap-sc-apc-shutter-blanco/35250036> (accedido abr. 07, 2020).
- [24] Ekselans by its, «Roseta fibra». <https://www.altenara.com/rosetas-caja-fibra-optica/roseta-fibra-con-proteccion-y-adapt-sc-ipc> (accedido abr. 07, 2020).
- [25] Líneas Cables, «SOLUCIONES PARA LA CONECTIVIDAD DE FIBRA OPTICA EN LA RED DE ACCESO». [http://www.lineascables.com/doc/conectividad\\_FO\\_v12.pdf](http://www.lineascables.com/doc/conectividad_FO_v12.pdf) (accedido may 06, 2020).
- [26] BOIERO S.A, «Cajas NAPS». [http://www.boiero.com.ar/catalogo/155\\_cajas-naps](http://www.boiero.com.ar/catalogo/155_cajas-naps) (accedido abr. 07, 2020).
- [27] Kocent optec limited, «Caja de empalme de fibra óptica». <http://spanish.passivefiber optic.com/sale-10129761-wall-pole-mountable-288-cores-fiber-optic-splice-closure-enclosure-box-kco-jcd-288.html> (accedido abr. 07, 2020).
- [28] PLP, «Catálogo de productos de telecomunicaciones», p. 38.
- [29] Humbrall, «Herrajes para sujeción de cableado aéreo», *HUMBRALL*. <http://humbrall.com/sample-page/fopticrall/almacenador-para-adss/> (accedido abr. 13, 2020).
- [30] E. Quisnancela y N. Espinosa, «Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x», *Enfoque UTE*, vol. 7, n.º 4, pp. 16-30, dic. 2016, doi: 10.29019/enfoqueute.v7n4.111.
- [31] D. R. Lovato Ruiz, «Estudio comparativo y simulación de las tecnologías tradicionales y emergentes», mar. 2015, Accedido: may 07, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://dSPACE.ups.edu.ec/handle/123456789/10187>.
- [32] ITU, «Committed to connecting the world». <https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx> (accedido jun. 30, 2020).

- [33] Furukawa, «Especificaciones técnicas». <https://www.telalca.com/wp-content/uploads/2016/05/Conectores.pdf> (accedido jun. 26, 2020).
- [34] Miguel Ángel Barra Quispe, «Diseño de una red GPON para proveer los servicios de datos e internet. Aplicación: Provisión de servicios a las localidades de Irupana, Chulumani, Chicaloma y lindantes», Universidad Mayor de San Andrés, La Paz - Bolivia.
- [35] Recomendación UIT-T G.694.2 «SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES». <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.2/en> (accedido feb. 22, 2021).
- [36] EXFO «Pruebas de redes CWDM». <https://www.exfo.com/es/soluciones/proveedores-servicios-comunicacion/soluciones-con-cable/redes-cwdm/> (accedido feb. 22, 2021).
- [37] Marcus Nebeling, Hans Joerg Thiele, «Coarse Wavelength Division Multiplexing Technologies and Applications», 1st Edition.

**Anexos**

Anexo A Ficha Resumen Censo Población y Vivienda 2012 de las localidades de Eterazama y Villa 14 de Septiembre.



**Ficha Resumen Censo Población y Vivienda 2012**

DEPARTAMENTO : COCHABAMBA  
 PROVINCIA : CHAPARE  
 MUNICIPIO : VILLA TUNARI  
 CIUDAD / COMUNIDAD : ETERAZAMA

POBLACIÓN EMPADRONADA POR SEXO, SEGÚN GRUPOS DE EDAD			
Grupos de edad	Total	Hombres	Mujeres
Total	3.358	1.616	1.742
0-3	379	194	185
4-5	172	84	88
6-19	1.164	540	624
20-39	1.028	498	530
40-59	475	232	243
60-más	140	68	72
Población de 18 años y más (población en edad de votar)	1.828	893	935
Población femenina de 15-49 años en edad fértil	929		
Población en viviendas particulares	3.296	1.569	1.727
Población en viviendas colectivas	48	37	11
Población sin vivienda en tránsito	13	9	4
Población sin vivienda que vive en la calle	1	1	0
Población empadronada inscrita en el Registro Cívico	3.247	1.562	1.685
Población empadronada que tiene Cédula de Identidad	2.512	1.211	1.301
POBLACIÓN EMPADRONADA DE 4 AÑOS O MÁS DE EDAD POR SEXO, SEGÚN IDIOMA EN EL QUE APRENDIÓ A HABLAR			
Idioma	Total	Hombres	Mujeres
Total	2.978	1.421	1.557
Castellano	1.513	723	790
Quechua	1.342	621	721
Aymara	51	32	19
Guaraní	0	0	0
Otros idiomas oficiales	8	5	3
Idiomas extranjeros	6	5	1
Otras declaraciones	0	0	0
No habla	4	1	3
Sin especificar	54	34	20
POBLACIÓN EMPADRONADA DE 6 A 19 AÑOS POR SEXO, SEGÚN ASISTENCIA ESCOLAR(1)			
Asistencia escolar	Total	Hombres	Mujeres
Total	1.164	540	624
Asiste	971	442	529
No asiste	175	87	88
Sin especificar	18	11	7

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística

LUGAR DONDE ACUDE LA POBLACIÓN CUANDO TIENE PROBLEMAS DE SALUD			
Salud	Total	Hombres	Mujeres
Caja de Salud (CNS, COSSMIL, u otras)	268	126	142
Seguro de salud privado	195	95	100
Establecimientos de salud público	2.601	1.206	1.395
Establecimientos de salud privado	788	356	432
Médico tradicional	659	316	343
Soluciones caseras	1.161	543	618
La farmacia o se automédica	1.957	935	1.022
POBLACIÓN EMPADRONADA, POR SEXO, SEGÚN LUGAR DE NACIMIENTO Y RESIDENCIA HABITUAL			
Lugar de nacimiento	Total	Hombres	Mujeres
Total	3.358	1.616	1.742
Aquí	1.687	821	866
En otro lugar del país	1.659	789	870
En el exterior	12	6	6
Lugar de residencia habitual	Total	Hombres	Mujeres
Total	3.358	1.616	1.742
Aquí	3.219	1.532	1.687
En otro lugar del país	138	83	55
En el exterior	1	1	0
POBLACIÓN EMPADRONADA DE 10 AÑOS O MÁS DE EDAD, SEGÚN ACTIVIDAD ECONÓMICA Y CATEGORÍA OCUPACIONAL(1)			
Actividad económica	Total	Hombres	Mujeres
Total	1.593	883	710
Agricultura, ganadería, caza, pesca y silvicultura	556	346	210
Minería e Hidrocarburos	1	0	1
Industria manufacturera	94	66	28
Electricidad, gas, agua y desechos	3	3	0
Construcción	124	124	0
Comercio, transporte y almacenes	498	220	278
Otros servicios	233	82	151
Sin especificar	49	25	24
Descripciones incompletas	35	17	18
Categoría ocupacional	Total	Hombres	Mujeres
Total	1.593	883	710
Obrera/o o empleada/o	323	219	104
Trabajadora/or del hogar	11	0	11
Trabajadora/or por cuenta propia	913	474	439
Empleadora/or o socia/o	45	32	13
Trabajadora/or familiar o aprendiz sin remuneración	78	41	37
Cooperativa de producción/servicios	9	3	6
Sin especificar	214	114	100

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística



VIVIENDA	
Viviendas	Total
Total	1.170
Número de viviendas particulares	1.151
Número de viviendas colectivas	19
Viviendas ocupadas con personas presentes	986
Disponibilidad de energía eléctrica	Total
Total	986
Tiene	915
No tiene	71
Combustible o energía más utilizado para cocinar	Total
Total	986
Gas en garrafa	887
Gas domiciliario (por cañería)	6
Leña	55
Otros (electricidad, energía solar, guano, bosta o taquia y otro)	1
No cocina	37
Procedencia del agua que utilizan en la vivienda	Total
Total	986
Cañería de red	391
Pileta pública	290
Carro repartidor (aguatero)	2
Pozo o noria	266
Lluvia, río, vertiente, acequia	34
Otro (lago, laguna, curichi)	3

Desague del servicio sanitario	Total
Total	723
Al alcantarillado	478
A una cámara séptica	52
A un pozo ciego	191
A la calle	0
A la quebrada, río	2
A un lago, laguna, curichi	0
Eliminación de la basura	Total
Total	986
La depositan en basurero público o contenedor	81
Servicio público de recolección (carro basurero)	674
La botan a un terreno baldío o en la calle	18
La botan al río	7
La queman	168
La entierran	15
Otra forma	23
Tecnologías de información y comunicación	Total
Radio	593
Televisor	702
Computadora	110
Servicio de Internet	32
Servicio de Telefonía fija o celular	692

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística

**NOTA:** Hogar es igual a viviendas particulares con personas presentes

(1) No incluye personas que residen habitualmente en el exterior.

"Se remarca que el INE no tiene competencia alguna en materia de delimitación o demarcación interdepartamental o intradepartamental de unidades territoriales (Ley N° 339 de Delimitación de Unidades Territoriales de 31 de enero de 2013 y Decreto Supremo N° 1560 de 17 de abril de 2013). El hecho de que una comunidad, localidad u otra área geográfica esté en una u otra unidad territorial no genera antecedentes legales en favor o en contra, por lo que corresponde a las autoridades respectivas inicien o prosigan gestiones para la definición de sus límites político administrativos siguiendo los procedimientos establecidos por Ley."



**Ficha Resumen Censo Población y Vivienda 2012**

DEPARTAMENTO : COCHABAMBA  
 PROVINCIA : CHAPARE  
 MUNICIPIO : VILLA TUNARI  
 CIUDAD / COMUNIDAD : VILLA 14 DE SEPTIEMBRE

POBLACIÓN EMPADRONADA POR SEXO, SEGÚN GRUPOS DE EDAD			
Grupos de edad	Total	Hombres	Mujeres
Total	2.123	1.048	1.075
0-3	239	127	112
4-5	101	59	42
6-19	736	361	375
20-39	651	312	339
40-59	305	144	161
60-más	91	45	46
Población de 18 años y más (población en edad de votar)	1.140	542	598
Población femenina de 15-49 años en edad fértil	597		
Población en viviendas particulares	2.064	1.017	1.047
Población en viviendas colectivas	47	24	23
Población sin vivienda en tránsito	11	6	5
Población sin vivienda que vive en la calle	1	1	0
Población empadronada inscrita en el Registro Cívico	2.061	1.013	1.048
Población empadronada que tiene Cédula de Identidad	1.442	686	756
POBLACIÓN EMPADRONADA DE 4 AÑOS O MÁS DE EDAD POR SEXO, SEGÚN IDIOMA EN EL QUE APRENDIÓ A HABLAR			
Idioma	Total	Hombres	Mujeres
Total	1.881	919	962
Castellano	976	492	484
Quechua	859	400	459
Aymara	24	13	11
Guaraní	0	0	0
Otros idiomas oficiales	2	1	1
Idiomas extranjeros	3	1	2
Otras declaraciones	0	0	0
No habla	3	3	0
Sin especificar	14	9	5
POBLACIÓN EMPADRONADA DE 6 A 19 AÑOS POR SEXO, SEGÚN ASISTENCIA ESCOLAR(1)			
Asistencia escolar	Total	Hombres	Mujeres
Total	736	361	375
Asiste	637	309	328
No asiste	95	49	46
Sin especificar	4	3	1

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística

LUGAR DONDE ACUDE LA POBLACIÓN CUANDO TIENE PROBLEMAS DE SALUD			
Salud	Total	Hombres	Mujeres
Caja de Salud (CNS, COSSMIL, u otras)	208	91	117
Seguro de salud privado	105	53	52
Establecimientos de salud público	1.756	860	896
Establecimientos de salud privado	244	121	123
Médico tradicional	385	193	192
Soluciones caseras	812	388	424
La farmacia o se automédica	1.176	553	623
POBLACIÓN EMPADRONADA, POR SEXO, SEGÚN LUGAR DE NACIMIENTO Y RESIDENCIA HABITUAL			
Lugar de nacimiento	Total	Hombres	Mujeres
Total	2.123	1.048	1.075
Aquí	1.201	577	624
En otro lugar del país	912	467	445
En el exterior	10	4	6
Lugar de residencia habitual	Total	Hombres	Mujeres
Total	2.123	1.048	1.075
Aquí	2.023	989	1.034
En otro lugar del país	97	57	40
En el exterior	3	2	1
POBLACIÓN EMPADRONADA DE 10 AÑOS O MÁS DE EDAD, SEGÚN ACTIVIDAD ECONÓMICA Y CATEGORÍA OCUPACIONAL(1)			
Actividad económica	Total	Hombres	Mujeres
Total	968	543	425
Agricultura, ganadería, caza, pesca y silvicultura	328	194	134
Minería e Hidrocarburos	0	0	0
Industria manufacturera	60	46	14
Electricidad, gas, agua y desechos	0	0	0
Construcción	77	76	1
Comercio, transporte y almacenes	297	137	160
Otros servicios	141	56	85
Sin especificar	38	21	17
Descripciones incompletas	27	13	14
Categoría ocupacional	Total	Hombres	Mujeres
Total	968	543	425
Obrera/o o empleada/o	262	164	98
Trabajadora/or del hogar	4	0	4
Trabajadora/or por cuenta propia	491	268	223
Empleadora/or o socia/o	20	12	8
Trabajadora/or familiar o aprendiz sin remuneración	64	34	30
Cooperativa de producción/servicios	7	4	3
Sin especificar	120	61	59

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística



VIVIENDA	
Viviendas	Total
Total	693
Número de viviendas particulares	677
Número de viviendas colectivas	16
Viviendas ocupadas con personas presentes	
Total	593
Disponibilidad de energía eléctrica	
Total	593
Tiene	567
No tiene	26
Combustible o energía más utilizado para cocinar	
Total	593
Gas en garrafa	540
Gas domiciliario (por cañería)	14
Leña	22
Otros (electricidad, energía solar, guano, bosta o taquia y otro)	1
No cocina	16
Procedencia del agua que utilizan en la vivienda	
Total	593
Cañería de red	249
Pileta pública	153
Carro repartidor (aguatero)	0
Pozo o noria	187
Lluvia, río, vertiente, acequia	4
Otro (lago, laguna, curichi)	0

Desague del servicio sanitario	Total
Total	490
Al alcantarillado	330
A una cámara séptica	36
A un pozo ciego	124
A la calle	0
A la quebrada, río	0
A un lago, laguna, curichi	0
Eliminación de la basura	
Total	593
La depositan en basurero público o contenedor	71
Servicio público de recolección (carro basurero)	259
La botan a un terreno baldío o en la calle	25
La botan al río	1
La queman	216
La entierran	13
Otra forma	8
Tecnologías de información y comunicación	
Total	408
Radio	408
Televisor	468
Computadora	43
Servicio de Internet	19
Servicio de Telefonía fija o celular	427

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística

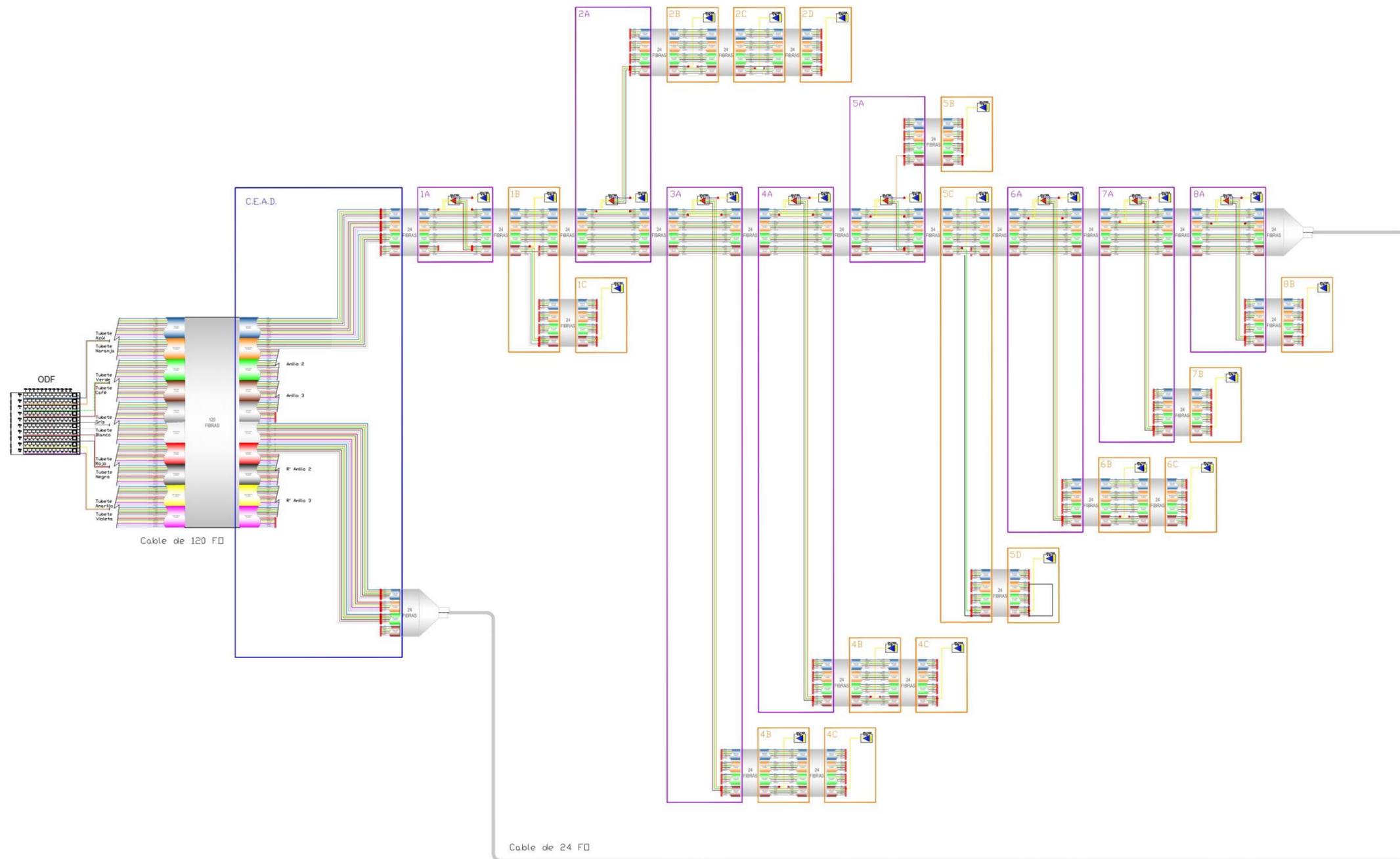
NOTA: Hogar es igual a viviendas particulares con personas presentes

(1) No incluye personas que residen habitualmente en el exterior.

"Se remarca que el INE no tiene competencia alguna en materia de delimitación o demarcación interdepartamental o intradepartamental de unidades territoriales (Ley N° 339 de Delimitación de Unidades Territoriales de 31 de enero de 2013 y Decreto Supremo N° 1560 de 17 de abril de 2013). El hecho de que una comunidad, localidad u otra área geográfica esté en una u otra unidad territorial no genera antecedentes legales en favor o en contra, por lo que corresponde a las autoridades respectivas iniciar o prosigan gestiones para la definición de sus límites político administrativos siguiendo los procedimientos establecidos por Ley."

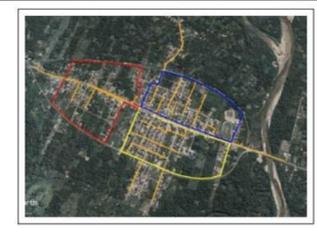
Anexo B Planos esquemáticos de fusiones ópticas de las ODN de Eterazama y Villa  
14 de Septiembre.

# PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ODN ETERAZAMA



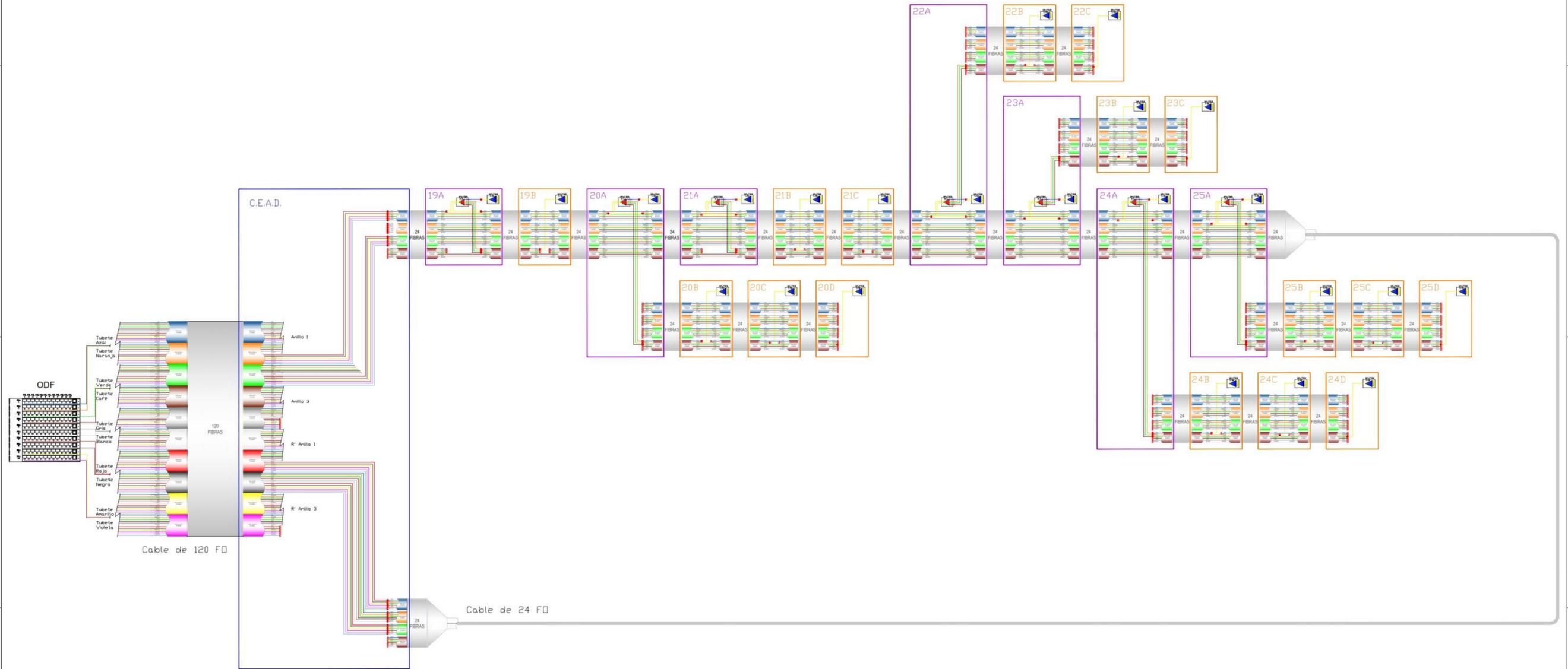
REFERENCIAS	
 Divisores ópticos 2: 4	 NAP
 Divisores ópticos 1: 16	 Fusión
	 Corte
	 Hilos de fibra

REGISTRO
1



 <b>UMSA BOLIVIA</b> UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS	TITULO: <b>PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ÓPTICAS ANILLO 1</b>
DEPARTAMENTO: COCHABAMBA PROVINCIA: CHAPARE MUNICIPIO: VILLA TUNARI LOCALIDAD: ETERAZAMA	

# PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ODN ETERAZAMA



REFERENCIAS	
Divisores ópticos 2: 4 1: 16	NAP Fusión Corte Hilos de fibra

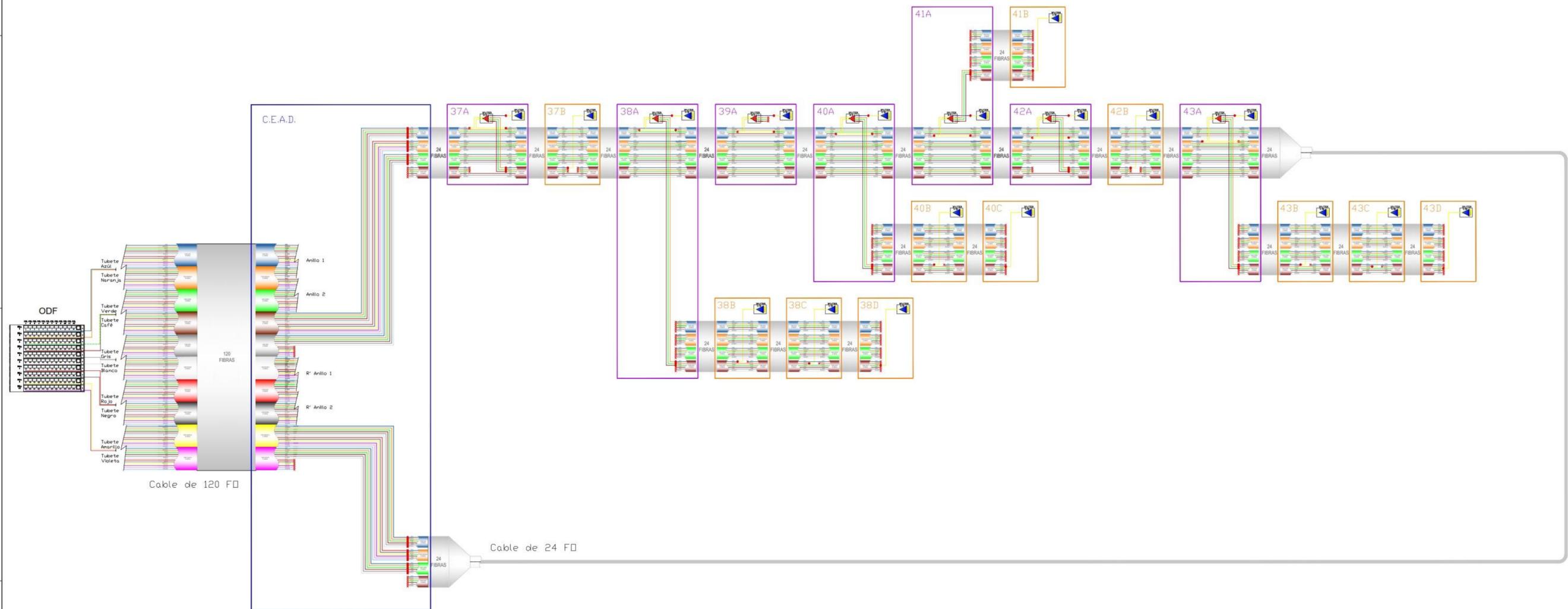
**REGISTRO**

1
---



 <b>UMSA BOLIVIA</b> <small>UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS</small>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;"> <small>DEPARTAMENTO:</small>  <b>COCHABAMBA</b> </td> <td style="width: 40%;"><small>TÍTULO:</small></td> </tr> <tr> <td> <small>PROVINCIA:</small>  <b>CHAPARE</b> </td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> <b>PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ÓPTICAS ANILLO 2</b> </td> </tr> <tr> <td> <small>MUNICIPIO:</small>  <b>VILLA TUNARI</b> </td> </tr> <tr> <td> <small>LOCALIDAD:</small>  <b>ETERAZAMA</b> </td> </tr> </table>	<small>DEPARTAMENTO:</small> <b>COCHABAMBA</b>	<small>TÍTULO:</small>	<small>PROVINCIA:</small> <b>CHAPARE</b>	<b>PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ÓPTICAS ANILLO 2</b>	<small>MUNICIPIO:</small> <b>VILLA TUNARI</b>	<small>LOCALIDAD:</small> <b>ETERAZAMA</b>
<small>DEPARTAMENTO:</small> <b>COCHABAMBA</b>	<small>TÍTULO:</small>						
<small>PROVINCIA:</small> <b>CHAPARE</b>	<b>PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ÓPTICAS ANILLO 2</b>						
<small>MUNICIPIO:</small> <b>VILLA TUNARI</b>							
<small>LOCALIDAD:</small> <b>ETERAZAMA</b>							

# PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ODN ETERAZAMA



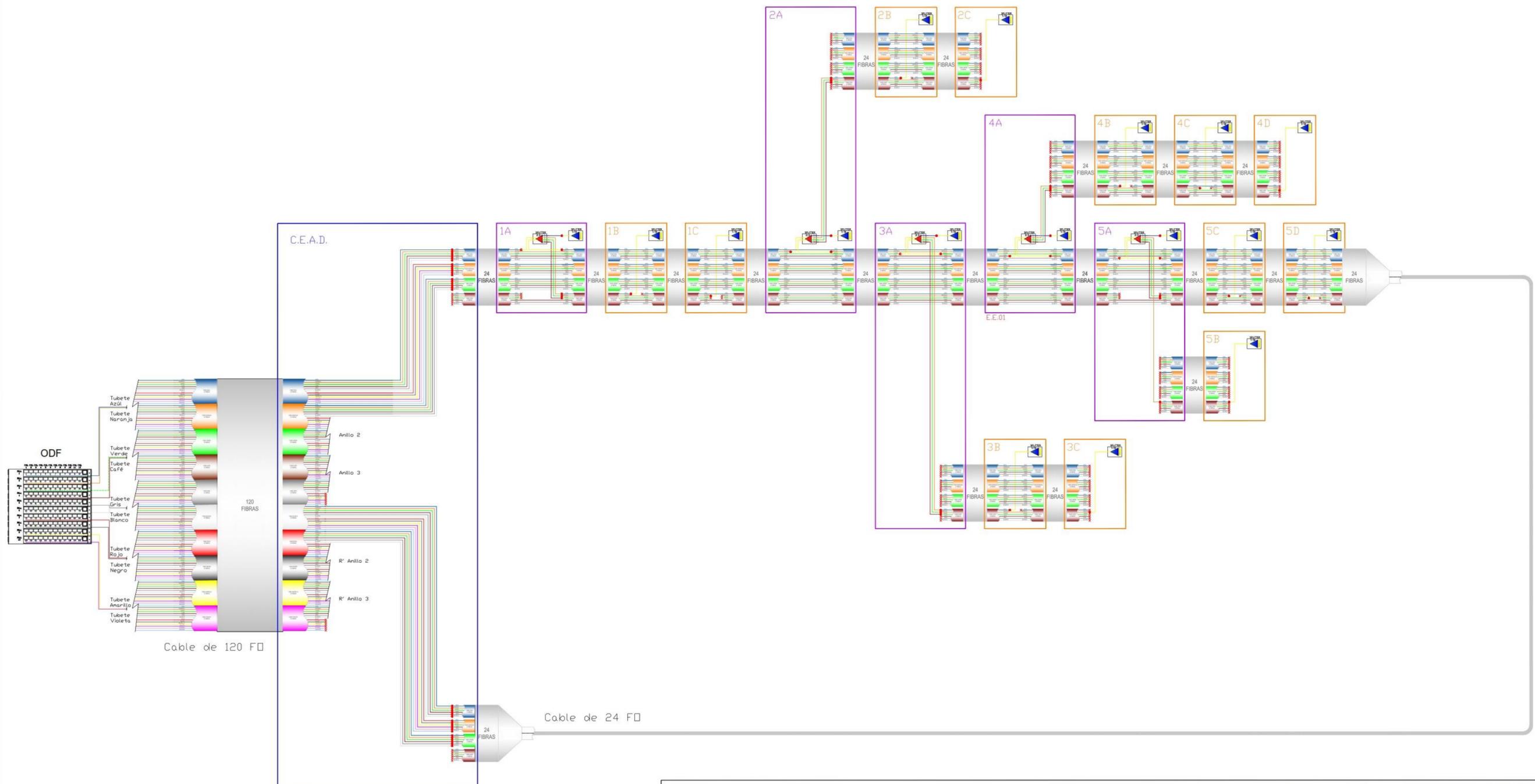
REFERENCIAS	
2:4 1:16	NAP Fusión Corte Hilos de fibra

REGISTRO
1



 <b>UMSA BOLIVIA</b> UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS	TITULO: <b>PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ÓPTICAS ANILLO 3</b>
DEPARTAMENTO: <b>COCHABAMBA</b> PROVINCIA: <b>CHAPARE</b> MUNICIPIO: <b>VILLA TUNARI</b> LOCALIDAD: <b>ETERAZAMA</b>	

# PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ODN VILLA 14 DE SEPTIEMBRE



REFERENCIAS	
Divisores ópticos	NAP
2:4	Fusión
1:16	Corte
	Hilos de fibra

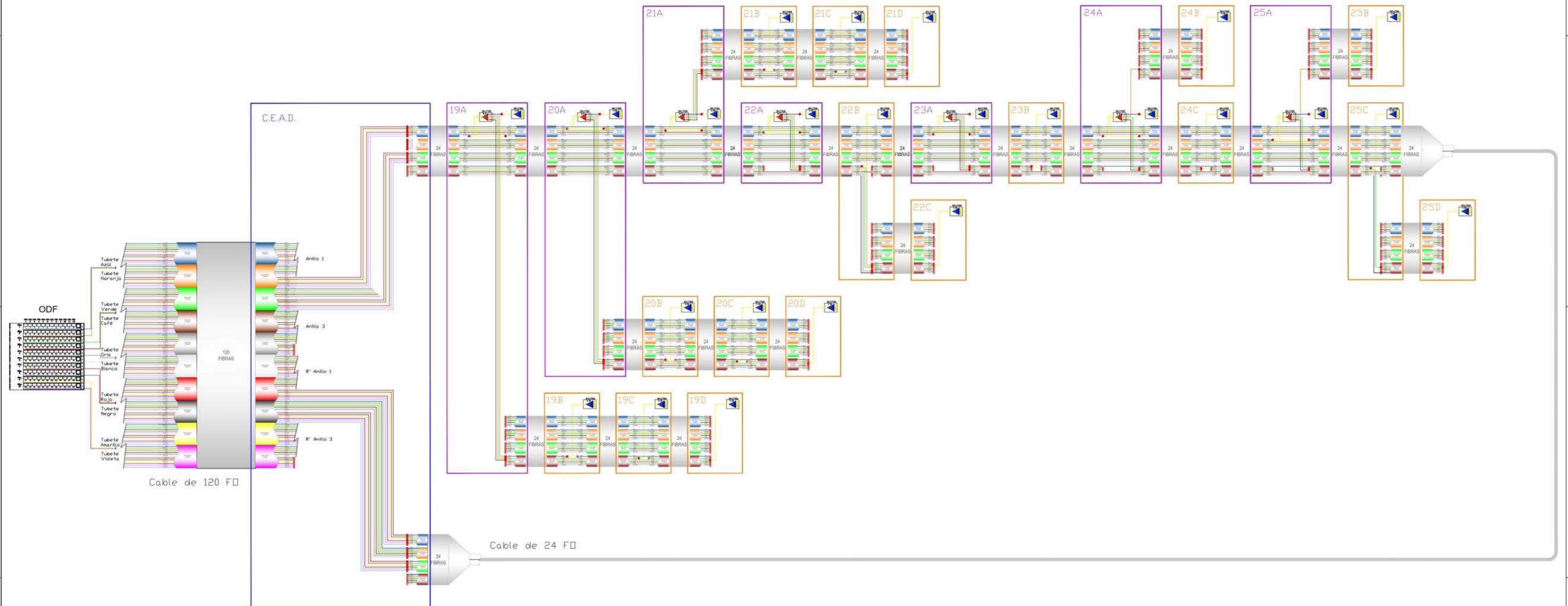
**REGISTRO**

1



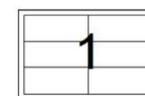
 <b>UMSA BOLIVIA</b> <small>UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS</small>	 <b>COCHABAMBA</b>
<small>DEPARTAMENTO:</small> COCHABAMBA <small>PROVINCIA:</small> CHAPARE <small>MUNICIPIO:</small> VILLA TUNARI <small>LOCALIDAD:</small> VILLA_14_DE_SEPTIEMBRE	
<b>TÍTULO:</b> <b>PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ÓPTICAS ANILLO 1</b>	

# PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ODN VILLA 14 DE SEPTIEMBRE



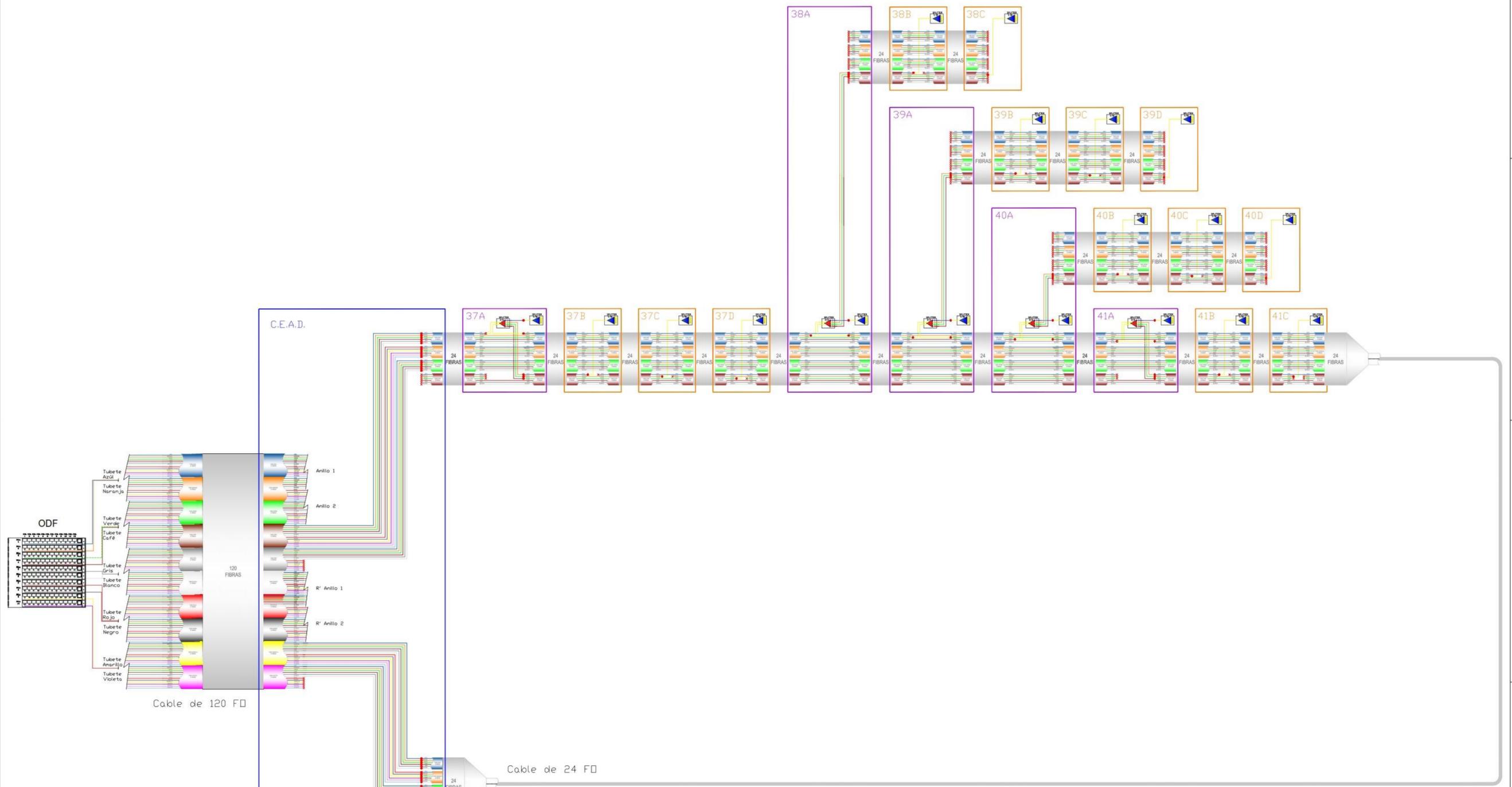
REFERENCIAS	
Divisores ópticos	NAP
2: 4	Fusión
1: 16	Corte
	Hilos de fibra

REGISTRO



	DEPARTAMENTO: <b>COCHABAMBA</b>	TÍTULO: <b>PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ÓPTICAS ANILLO 2</b>
	PROVINCIA: <b>CHAPARE</b>	
	MUNICIPIO: <b>VILLA TUNARI</b>	
	LOCALIDAD: <b>VILLA_14_DE_SEPTIEMBRE</b>	

# PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ODN VILLA 14 DE SEPTIEMBRE



REFERENCIAS	
Divisores ópticos	NAP
2: 4	Fusión
1: 16	Corte
	Hilos de fibra

REGISTRO
1



 <b>UMSA BOLIVIA</b> <small>UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS</small>	<b>TÍTULO:</b> <b>PLANO ESQUEMÁTICO DE FUSIONES ÓPTICAS ANILLO 3</b>
<small>DEPARTAMENTO:</small> <b>COCHABAMBA</b> <small>PROVINCIA:</small> <b>CHAPARE</b> <small>MUNICIPIO:</small> <b>VILLA TUNARI</b> <small>LOCALIDAD:</small> <b>VILLA_14_DE_SEPTIEMBRE</b>	

Correo electrónico: [etndiaz@gmail.com](mailto:etndiaz@gmail.com)

Celular: (+591) 72090565