



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR,  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**“ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE TRONCAL IBARRA-ATUNTAQUI-  
OTAVALO USANDO PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO EN IPV6, PARA LA  
EMPRESA AIRMAXTELECOM SOLUCIONES TECNOLÓGICAS S.A”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera en Telecomunicaciones**

**Línea de investigación: Desarrollo, aplicación de software y cybersecurity (seguridad cibernética)**

**AUTORA:**

Torres Paspuel Erika Dayana

**DIRECTOR:**

Ing. Edgar Alberto Maya Olalla, MSC.

**Ibarra, 2025**

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

#### IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003592159		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	TORRES PASPUEL ERIKA DAYANA		
<b>DIRECCIÓN:</b>	LOS CEIBOS RIO CURARAY 534		
<b>EMAIL:</b>	Erikadayannatorres@gmail.com / edtorresp@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062 642 391	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0996669208

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE TRONCAL IBARRA-ATUNTAQUI-OTAVALO USANDO PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO EN IPV6, PARA LA EMPRESA AIRMAXTELECOM SOLUCIONES TECNOLÓGICAS S.A”
<b>AUTOR (ES):</b>	TORRES PASPUEL ERIKA DAYANA
<b>FECHA:</b>	12/02/2025
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>GRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES
<b>DIRECTOR:</b>	Msc. EDGAR ALBERTO MAYA OLALLA.
<b>ASESOR</b>	Msc. FABIÁN GEOVANNY CUZME RODRÍGUEZ

**AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, TORRES PASPUEL ERIKA DAYANA, con cédula de identidad Nro. 1003592159, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 12 días del mes de febrero de 2025

**EL AUTOR:**



TORRES PASPUEL ERIKA DAYANA

**CONSTANCIAS**

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

Ibarra, a los 12 días del mes de febrero de 2025

**EL AUTOR:**



TORRES PASPUEL ERIKA DAYANA

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR**

Ibarra, 11 de febrero de 2025

Ing. Edgar Alberto Maya Olalla, MSC.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



Ing. Edgar Alberto Maya Olalla, MSC.

*C.C.:1002702197*

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE TRONCAL IBARRA-ATUNTAQUI-OTAVALO USANDO PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO EN IPV6, PARA LA EMPRESA AIRMAXTELECOM SOLUCIONES TECNOLÓGICAS S.A” elaborado por TORRES PASPUEL ERIKA DAYANA, previo a la obtención del título de Ingeniera en Telecomunicaciones, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



Ing. Edgar Alberto Maya Olalla, MSC.

C.C: 1002702197



ING. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez MSC

C.C.: 1311527012

## DEDICATORIA

A lo largo de este camino lleno de aprendizajes, desafíos y logros, he contado con el apoyo invaluable de personas que han sido fundamentales en este proceso. En primer lugar, mis padres, Mauricio y Alicia, por su amor incondicional, su guía y por ser mi mayor fuente de inspiración. Su ejemplo y sacrificio han sido la base sobre la que he construido mi carrera, mis sueños y aspiraciones. A mis hermanas, Nahomi y Madizon, gracias por ser mis compañeras de vida, por su amor, su alegría, su apoyo y por estar siempre a mi lado en cada momento. Su apoyo me ha dado fuerzas cuando más lo necesitaba. A mi novio Daniel, gracias por creer en mí, por ser mi compañero incondicional en cada paso de este camino. Su motivación y confianza han sido fundamentales para alcanzar este logro, a los profesores de la carrera de Telecomunicaciones, quienes con su dedicación y conocimientos me guiaron en mi formación académica. Cada enseñanza y consejo dejaron una huella imborrable en mi desarrollo personal y profesional. Finalmente, a mis amigas y amigos, quienes han sido mi refugio, mis cómplices y mi apoyo en esta travesía. Gracias por las risas, por las palabras de ánimo y por estar siempre ahí, por haberse convertido en mi lugar seguro, por su apoyo incluso en los momentos más desafiantes.

## AGRADECIMIENTO

Con profunda gratitud y aprecio, agradezco a las personas y entidades que hicieron posible la culminación de esta etapa tan importante en mi vida. A mis padres, Mauricio y Alicia, por su amor incondicional, su apoyo incansable y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este logro es tanto suyo como mío. A mis hermanas, Nahomi y Madizon, por ser mi refugio y mi mayor fuente de alegría. Gracias por estar siempre ahí, llenándome de motivación y amor. A mi novio Daniel, por su amor, comprensión y apoyo constante durante todo este proceso. Tu presencia en mí vida fue un motor invaluable para alcanzar esta meta. A mis amigas y amigos, quienes estuvieron a mi lado en los momentos de dificultad y celebraron conmigo cada pequeño triunfo. Gracias por su compañía. A mi tutor y asesor de tesis, cuyo conocimiento, guía y dedicación fueron fundamentales para la realización de este trabajo. Su compromiso con mi aprendizaje dejó una huella imborrable en mi camino académico. Al Ingeniero Javier Lucas de la empresa AIRMAX TELECOM Soluciones Tecnológicas S.A., por su apoyo en la realización de este trabajo y la confianza brindada

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento. Este logro no habría sido posible sin su presencia y su apoyo incondicional

.

¡Gracias totales!

## RESUMEN

En el desarrollo del trabajo de integración curricular, Análisis de la factibilidad técnica de la implementación de un enlace troncal Ibarra-Atuntaqui-Otavalo usando protocolos de enrutamiento en IPv6. aborda aspectos clave en los capítulos dentro de su desarrollo. En uno de los capítulos, se desarrolla una fundamentación teórica sobre los enlaces troncales, destacando su relevancia como infraestructura de alta velocidad esencial para la interconexión de redes LAN y WAN, junto con la importancia de los acuerdos de nivel de servicio (SLA) para garantizar calidad y fiabilidad en los servicios. El capítulo siguiente se enfoca en el levantamiento de requerimientos técnicos, analizando la situación actual de la empresa AIRMAXTELECOM y definiendo los recursos necesarios, como fibra óptica y equipos de red, bajo criterios de diseño tanto para redes aéreas como soterradas, conforme a normativas técnicas. En el capítulo final, se presenta el diseño y validación del enlace troncal, incluyendo la selección de rutas, la planificación de la infraestructura requerida y la georreferenciación de postes y puntos de conexión. Finalmente, se valida la propuesta a través de análisis de factibilidad técnica, asegurando cumplimiento normativo, viabilidad económica y eficiencia tecnológica. Este enfoque integral garantiza una solución escalable y adecuada para mejorar los servicios de telecomunicaciones en la provincia.

**Palabras claves:** enlace troncal, requerimientos técnicos, normativas técnicas, diseño, validación.

## ABSTRACT

In the development of the curricular integration work, analysis of the technical feasibility of the implementation of an Ibarra-Atuntaqui-Otavalo trunk link using IPv6 routing protocols. It addresses key aspects in the chapters within its development. In one of the chapters, a theoretical background on backbones is developed, highlighting their relevance as essential high-speed infrastructure for the interconnection of LAN and WAN networks, along with the importance of service level agreements (SLA) to ensure quality and reliability of services. The following chapter focuses on the technical requirements, analyzing the current situation of AIRMAXTELECOM and defining the necessary resources, such as optical fiber and network equipment, under design criteria for both overhead and underground networks, according to technical standards. The final chapter presents the design and validation of the backbone link, including the selection of routes, the planning of the required infrastructure and the georeferencing of poles and connection points. Finally, the proposal is validated through technical feasibility analysis, ensuring regulatory compliance, economic viability and technological efficiency. This comprehensive approach guarantees a scalable and adequate solution to improve telecommunications services in the province.

**Keywords:** backbone link, technical requirements, technical standards, design, validation.

## LISTA DE SIGLAS

- ADSS** - All-Dielectric Self-Supporting (Autoportante Totalmente Dieléctrico).
- APC** - Angled Physical Contact (Ángulo Pulido).
- CCR** - Cloud Core Router (Router Central en la Nube, en productos MikroTik).
- EIGRP** - Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (Protocolo de Enrutamiento Avanzado de Gateway Interior).
- FTTH** - Fiber To The Home (Fibra Hasta el Hogar).
- IEC** - International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional).
- IPsec** - Internet Protocol Security (Seguridad del Protocolo de Internet).
- IPv6** - Internet Protocol Version 6 (Protocolo de Internet Versión 6).
- IS-IS** - Intermediate System to Intermediate System (Sistema Intermedio a Sistema Intermedio).
- ITU-T** - International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector (Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sector de Normalización de Telecomunicaciones).
- LAN** - Local Area Network (Red de Área Local).
- NAT** - Network Address Translation (Traducción de Direcciones de Red).
- OSPFv3** - Open Shortest Path First Version 3 (Primero el Camino Más Corto Versión 3).
- PMD** - Polarization Mode Dispersion (Dispersión por Modo de Polarización).
- QoS** - Quality of Service (Calidad de Servicio).
- RU** - Rack Unit (Unidad de Rack).

**SFP** - Small Form-Factor Pluggable (Transceptor Pequeño de Factor de Forma).

**SLA** - Service Level Agreement (Acuerdo de Nivel de Servicio).

**Tbps** - Terabits per Second (Terabits por Segundo).

**UDP** - User Datagram Protocol (Protocolo de Datagrama de Usuario).

**UTM** - Universal Transverse Mercator (Sistema de Coordenadas Transversales Universales).

**WAN** - Wide Area Network (Red de Área Amplia).

**WDM** - Wavelength Division Multiplexing (Multiplexación por División de Longitud de Onda).

## INDICE DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....	II
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD .....	III
CONSTANCIAS .....	IV
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.....	V
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR .....	VI
DEDICATORIA .....	VII
AGRADECIMIENTO .....	VIII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
LISTA DE SIGLAS.....	XI
INDICE DE CONTENIDO .....	XIII
INDICE DE TABLAS.....	XIX
INDICE DE FIGURAS .....	XXI
CAPÍTULO I .....	1
1.1. TEMA.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3. OBJETIVOS.....	2
1.3.1. Objetivos General .....	2
1.3.2. Objetivos Específicos .....	2
1.4. ALCANCE.....	3
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	5

CAPITULO II.....	8
2.1. ENLACES TRONCALES.....	8
2.1.1. Funcionamiento y usos de los enlaces troncales en la red .....	9
2.1.2. Beneficios de los enlaces troncales para los ISP (Internet Service provider) .....	10
2.2. INTRODUCCIÓN AL IPV6 .....	12
2.2.1. Ventajas de IPv6 sobre IPv4.....	12
2.2.2. Estructura y formato de las direcciones IPv6 .....	13
Paquete IPv6.....	14
Cabecera IPv6.....	15
2.3. PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO EN IPV6.....	17
2.3.1. Protocolos de enrutamiento usados en IPv6.....	18
2.3.2. Funcionamiento de los protocolos de enrutamiento en IPv6.....	19
2.4. ACUERDOS DE NIVEL DE SERVICIO (SLA).....	20
2.4.1. Componentes y estructura de los SLA.....	21
2.5. EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE PROYECTOS.....	22
2.5.1. Elementos considerados en la evaluación de la factibilidad técnica	23
2.5.2. Importancia de la evaluación de la factibilidad técnica en proyectos de telecomunicaciones .....	24
2.6. NORMATIVAS ITU-T PARA IMPLEMENTACIÓN DE ENLACES DE FIBRA ÓPTICA	25
2.6.1. ITU T-G652 .....	25
2.6.2. ITU T-G652 D .....	26

2.7.	METODOLOGÍAS DE TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA.....	27
2.7.1.	Canalizada (Urbana e Interurbana) .....	27
2.7.2.	Directamente Enterrada .....	27
2.7.3.	Aérea.....	28
CAPITULO III.....		29
3.1.	SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	30
3.2.	DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS .....	31
3.2.1.	Fibra óptica y accesorios .....	31
	Fibra óptica monomodo ADSS.....	31
	Patch Cord G657A2 SC/APC.....	36
	Pigtail connector G657A2 SC/APC.....	38
	Herrajes para cable de fibra óptica ADSS tipo A.....	40
	Herrajes para cable de fibra óptica ADSS tipo B .....	41
	Preformados.....	42
	Mangas de empalmes.....	44
3.2.2.	Equipo de red.....	47
	MikroTik CCR2216-1G-12XS-2XQ.....	47
	MikroTik CCR2004-1G-12S+2XS.....	49
	Cisco ASR 920 .....	51
3.3.	CRITERIOS DE DISEÑO DE REDES AÉREAS DE TELECOMUNICACIONES CON FIBRA ÓPTICA52	
3.3.1.	Metodologías de tendido de fibra óptica .....	52

3.3.2.	Criterios de utilización de fibra óptica.....	54
	Aérea.....	54
3.3.3.	Normas para la instalación de Fibra Óptica Aérea .....	55
3.4.	CRITERIOS DE DISEÑO DE REDES SOTERRADAS DE TELECOMUNICACIONES CON FIBRA ÓPTICA.....	57
CAPITULO IV .....		59
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL ENLACE TRONCAL IBARRA-ATUNTAQUI-OTAVALO.....	59
4.2.	SELECCIÓN DE LA RUTA Y TRAMOS DEL ENLACE.....	61
4.2.1.	Tramo Ibarra-Atuntaqui.....	61
4.2.2.	Tramo Atuntaqui-Otavaló.....	65
4.3.	PLANIMETRÍA .....	69
4.3.1.	Postes y Estructuras de Soporte.....	69
4.3.2.	Puntos de Empalme y Conexión .....	70
4.3.3.	Ubicación de Reservas.....	73
4.4.	VOLÚMENES DE OBRA.....	76
4.4.1.	Longitud del Enlace.....	76
4.4.2.	Cantidad de Cable de Fibra Óptica.....	76
4.4.3.	Postes y Estructuras de Soporte.....	77
4.5.	ESQUEMAS DE CONEXIÓN .....	78
4.5.1.	Conexión poste a poste .....	78
4.5.2.	Conexión empalme .....	79
4.5.3.	Conexión de llegada al nodo.....	80
4.5.4.	Conexión inicio del enlace troncal .....	81

4.5.5. Conexión final del enlace troncal .....	82
4.5.6. Conexión soterrada hacia el nodo de Otavalo .....	83
4.6. VALIDACIÓN DEL DISEÑO.....	84
4.6.1. Sistema de información geográfico y georeferenciación.....	85
4.6.2. Sistema de coordenadas geográficas para el Ecuador .....	86
4.6.3. Utilización de herramientas de software para georeferenciación ....	86
4.6.4. Análisis de factibilidad de enlace troncal .....	92
Disponibilidad de Tecnología.....	92
Capacidad Técnica del Equipo Humano.....	92
Infraestructura Existente.....	92
Evaluación de Recursos Necesarios .....	92
Costos y Presupuesto .....	94
Cumplimiento de Normativas.....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES.....	96
REFERENCIAS .....	97
ANEXOS.....	103
ANEXO A: FORMATO DE ENTREVISTA TOMADA AL PERSONAL DE LA EMPRESA.....	103
ANEXO B: GEOREFERENCIACIÓN DE LOS POSTES PERTENECIENTES A LA RUTA DEL ENLACE TRONCAL.....	106

ANEXO C: INSTRUCTIVO PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN GEO REFERENCIADA DE LAS REDES FÍSICAS DE LOS SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y REDES PRIVADAS.....	108
ANEXO D: NORMA TÉCNICA DESPLIEGUE Y TENDIDO REDES FÍSICAS TELECOMUNICACIONES.....	108
ANEXO E: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSO: CÓDIGO PROVINCIA, CANTÓN, PARROQUIA.....	108
ANEXO F: NORMA TÉCNICA PARA DESPLIEGUE Y TENDIDO DE REDES FÍSICAS SOTERRADAS.....	108
ANEXO G: UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SOFTWARE PARA GEOREFERENCIACIÓN CAPAS PUNTOS DE ENLACE.....	108

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Desempeño de transmisión Fibra óptica ADSS.....	33
<b>Tabla 2</b> Especificaciones técnicas de Fibra óptica ADSS .....	33
<b>Tabla 3</b> Especificaciones ópticas para fibra monomodo G652D.....	35
<b>Tabla 4</b> Especificaciones técnicas: Patch Cord G657A2 SC/APC .....	37
<b>Tabla 5</b> Especificaciones técnicas: Pigtail connector G657A2 SC/APC.....	39
<b>Tabla 6</b> Utilidad y Especificaciones Técnicas Elementos Pasivos en el Enlace Troncal de Fibra Óptica .....	45
<b>Tabla 7</b> Especificaciones técnicas: MikroTik CCR2216-1G-12XS-2XQ.....	47
<b>Tabla 8</b> Especificaciones técnicas: MikroTik CCR2004-1G-12S+2XS.....	49
<b>Tabla 9</b> Especificaciones técnicas: Router Cisco ASR 920.....	51
<b>Tabla 10</b> Tramos recorrido Ibarra-Atuntaqui.....	62
<b>Tabla 11</b> Tramos recorrido Atuntaqui-Otavaló .....	65
<b>Tabla 12</b> Reservas ubicadas en el tramo Ibarra-Atuntaqui.....	73
<b>Tabla 13</b> Reservas ubicadas en el tramo Atuntaqui-Otavaló.....	74
<b>Tabla 14</b> Longitud total del enlace en kilómetros.....	76
<b>Tabla 15</b> Cantidad de cable de fibra óptica.....	77
<b>Tabla 16</b> Información sobre postes proyectados.....	78
<b>Tabla 17</b> Límites establecidos para Ecuador Continental.....	86
<b>Tabla 18</b> Tabla de atributos de puntos de enlace .....	87
<b>Tabla 19</b> Cumplimiento de requerimientos de acuerdo con el instructivo de presentación de la información georreferenciada de las redes físicas de los servicios del régimen general de telecomunicaciones y redes privadas, .....	90

**Tabla 20** Costos estimados de fibra óptica y accesorios..... 93

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Modelo de investigación en cascada .....	4
<b>Figura 2</b> Estructura IPv6.....	14
<b>Figura 3</b> Cabecera IPv6 .....	16
<b>Figura 4</b> Topología de red .....	31
<b>Figura 5</b> Patch Cord G657A2 SC/APC .....	37
<b>Figura 6</b> Pigtail connector G657A2 SC/APC .....	39
<b>Figura 7</b> Herrajes para cable de fibra óptica ADSS tipo A .....	41
<b>Figura 8</b> Herrajes para cable de fibra óptica ADSS tipo B.....	42
<b>Figura 9</b> Preformados .....	43
<b>Figura 10</b> Mangas de empalmes tipo domo.....	45
<b>Figura 11</b> Enlace troncal Ibarra-Atuntaqui Subtramo 1 .....	63
<b>Figura 12</b> Enlace troncal Ibarra-Atuntaqui Subtramo 2 .....	63
<b>Figura 13</b> Enlace troncal Ibarra-Atuntaqui Subtramo 3 .....	64
<b>Figura 14</b> Enlace troncal Ibarra-Atuntaqui Subtramo 4 .....	64
<b>Figura 15</b> Enlace troncal Atuntaqui-Otavaló Subtramo 1 .....	66
<b>Figura 16</b> Enlace troncal Atuntaqui-Otavaló Subtramo 2 .....	67
<b>Figura 17</b> Enlace troncal Atuntaqui-Otavaló Subtramo 3 .....	68
<b>Figura 18</b> Enlace troncal Atuntaqui-Otavaló Subtramo 4 .....	69
<b>Figura 19</b> Empalmes ubicados en el tramo Ibarra-Atuntaqui.....	71
<b>Figura 20</b> Empalmes ubicados en el tramo Atuntaqui-Otavaló.....	72
<b>Figura 21</b> Conexión poste a poste del enlace troncal. ....	79
<b>Figura 22</b> Conexión y partes de un empalme .....	80

<b>Figura 23</b> Conexión de llegada al nodo de Atuntaqui .....	81
<b>Figura 24</b> Conexión inicio del enlace troncal Nodo Ibarra .....	82
<b>Figura 25</b> Conexión final del enlace troncal en el nodo de Otavalo.....	83
<b>Figura 26</b> Conexión soterrada hacia el nodo de Otavalo.....	84
<b>Figura 27</b> Sistema de coordenadas UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM), DATUM WGS_1984 ZONA 17S.....	85
<b>Figura 28</b> Características Capas de puntos de enlace .....	87
<b>Figura 29</b> Capas de Puntos de enlace .....	88
<b>Figura 30</b> Características Capas tramos de enlace.....	88
<b>Figura 31</b> Capa tramos de fibra óptica- Enlace troncal .....	89

## **CAPÍTULO I**

### **ANTECEDENTES**

#### **1.1. Tema**

“Análisis de la factibilidad técnica de la implementación de un enlace troncal Ibarra-Atuntaqui-Otavalo usando protocolos de enrutamiento en IPv6, para la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A”

#### **1.2. Planteamiento del Problema**

La empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. se enfrenta a la problemática de determinar la factibilidad técnica de implementar un enlace troncal Ibarra-Atuntaqui-Otavalo utilizando protocolos de enrutamiento en IPv6. Esta implementación es necesaria para mejorar la calidad y velocidad del servicio de internet ofrecido a sus clientes en esta área geográfica, cumpliendo así con los parámetros establecidos en los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) (Montoro Mouzo et al., 2011).

La viabilidad técnica del despliegue de este enlace troncal basado en protocolos de enrutamiento IPv6 es un aspecto crucial para considerar (Lara Nuñez, 2009). Es necesario evaluar si el diseño propuesto para el enlace troncal es adecuado para la topología de la red y si puede satisfacer la demanda de tráfico en la zona. Además, se deben tomar en cuenta aspectos como la disponibilidad de recursos y la capacidad técnica de la empresa para implementar y mantener esta solución.

Es importante generar e implementar propuestas de infraestructura que utilicen IPv6, ya que es un avance en la convergencia tecnológica que facilita los servicios de capa 3 del

modelo OSI, el direccionamiento IP y los servicios que se puedan proporcionar en la nube. Esto conlleva una reducción de costos y facilidades para los operadores de servicios de Internet y los clientes (Cao et al., 2018).

Por lo tanto, la problemática planteada consiste en determinar si la implementación del enlace troncal Ibarra-Atuntaqui-Otavaló, utilizando protocolos de enrutamiento en IPv6, es factible técnicamente para la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. Esta evaluación debe considerar tanto la viabilidad técnica del despliegue como los recursos disponibles y la capacidad de la empresa para llevar a cabo esta implementación de manera eficiente y efectiva.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivos General***

Analizar la factibilidad técnica en un enlace troncal utilizando protocolos de enrutamiento IPv6 entre las ciudades de Ibarra, Atuntaqui y Otavaló, de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. que permita ofrecer un rendimiento y estabilidad adecuados en los servicios que brinda la empresa.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

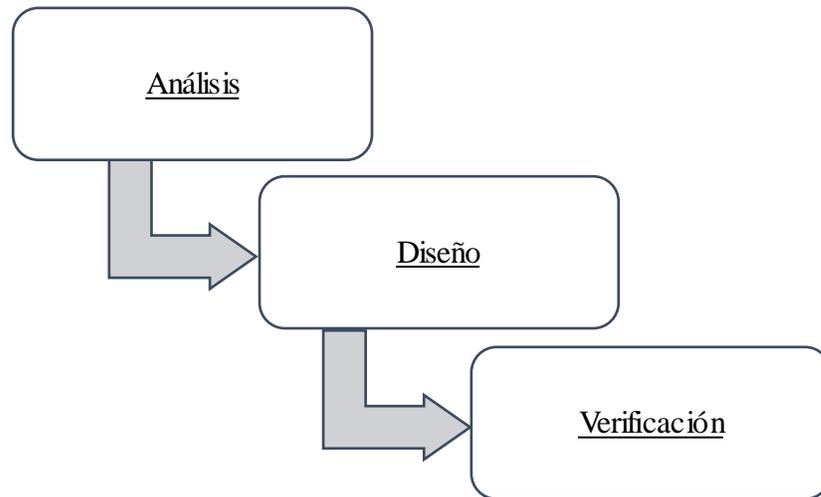
Investigar y comprender los conceptos teóricos relacionados con los enlaces troncales, incluyendo su definición, características, funcionalidad y su importancia en la conectividad de la red.

Determinar los requerimientos técnicos y recursos necesarios para implementar un enlace troncal IPv6 eficiente y confiable entre las ciudades de Ibarra, Atuntaqui y Otavaló.

Diseñar la propuesta técnica para el enlace troncal, incluyendo la definición de los requerimientos técnicos y la identificación de los recursos necesarios previamente determinados.

#### **1.4. Alcance**

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad analizar la factibilidad técnica de implementar un enlace troncal con protocolos de enrutamiento IPv6 entre las ciudades de Ibarra, Atuntaqui y Otavalo, de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. Lo mencionado anteriormente tiene como objetivo la evaluación de la viabilidad del enlace troncal, el rendimiento y escalabilidad de la infraestructura de red, y de esta manera se mejorará el acceso a los servicios. Para llevar a cabo este proyecto, se emplearán tanto una investigación documental y aplicada, siguiendo un marco metodológico basado en el modelo en cascada, debido a que se acopla de mejor manera a la investigación que se va a desarrollar, considerando las fases de análisis, diseño, implementación y verificación.

**Figura 1***Modelo de investigación en cascada*

Para la fase de análisis, se utilizará gestores bibliográficos, tesis, artículos científicos, bases de datos académicas y normativas técnicas con el fin de recopilar y seleccionar información acerca de los enlaces troncales, incluyendo su definición, características, funcionalidad y su importancia en la conectividad de la red. En esta fase se elaborará fichas bibliográficas para tener registrada de la manera sistemática la información obtenida de las fuentes consultadas, esto permitirá tener un registro ordenado que facilitará el posterior análisis.

Para la fase de diseño, se determinarán los requerimientos técnicos y recursos necesarios para un enlace troncal IPv6 entre las ciudades de Ibarra, Atuntaqui y Otavalo. Dentro de los recursos necesarios el enlace troncal IPv6 se incluyen aspectos como el equipo de red necesario, el almacenamiento y la capacidad de procesamiento, y otros elementos necesarios para garantizar la eficiencia y la fiabilidad del enlace.

En esta fase se realizará una entrevista al personal técnico de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. abordando temas específicos relacionados con el diseño del enlace troncal con IPv6.

Finalmente, para la fase de verificación, se comprobará que todas las características planificadas durante la fase de diseño han sido implementadas correctamente en los enlaces troncales. Para ello es necesario confirmar que el equipo de red adquirido cumple las especificaciones técnicas necesarias. Esto incluirá revisar la capacidad de procesamiento, memoria y almacenamiento, así como la compatibilidad y el rendimiento con el enlace troncal.

En esta fase se recopilará los resultados de todas las comprobaciones y pruebas en un informe detallado que demuestre que el enlace troncal cumple los criterios establecidos.

### **1.5. Justificación**

Una red troncal se define como una instalación de transmisión de alta velocidad, o una disposición de dichas instalaciones, diseñada para interconectar canales de distribución de baja velocidad o grupos de dispositivos de usuarios que se encuentran dispersos (Correa, 2019). La disponibilidad de redes troncales de transporte es vital para la economía y la seguridad (Booker et al., 2008).

La viabilidad técnica es una práctica habitual para que las empresas realicen estudios antes de poner en marcha un proyecto. Se realiza un estudio de viabilidad técnica para evaluar que tan factible es un determinado proyecto. La viabilidad técnica contribuye a determinar la eficacia del plan propuesto analizando el proceso, incluyendo herramientas, tecnología, material, mano de obra y logística (Equipo Editorial de Indeed, 2022).

En base al objetivo 9 de desarrollo sostenible de la Organización de las Naciones Unidas el cual se basa en construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación, el desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación permite que cada vez más personas accedan a la tecnología y disminuya así la brecha tecnológica (Organización de las Naciones Unidas, 2020).

Unas de las metas del objetivo 9 es aumentar significativamente el acceso a la tecnología, información y comunicaciones y trabajar para proporcionar acceso universal y asequible de conexión a internet a los países en vías de desarrollo, como lo es el Ecuador (Organización de las Naciones Unidas, 2020).

La justificación de este proyecto de titulación radica en la necesidad de evaluar la factibilidad técnica de implementar un enlace troncal Ibarra-Atuntaqui-Otavalo utilizando protocolos de enrutamiento en IPv6.

La implementación de un enlace troncal Ibarra-Atuntaqui-Otavalo utilizando protocolos de enrutamiento en IPv6 plantea una problemática relevante en el contexto actual de las soluciones tecnológicas y las demandas de los clientes. La empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. se enfrenta al desafío de mejorar la calidad y velocidad de su servicio de internet en esta zona geográfica para cumplir con los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) establecidos y acceso a servicio.

Los SLA desempeñan un papel importante en la selección de servicios en un entorno de proveedores de internet. Los acuerdos de nivel de servicio proporcionan al ISP una especificación de las características de calidad verificables que proporcionará el servicio (Bianco et al., 2009).

Los proveedores de servicios necesitan los SLA para gestionar las expectativas de los clientes y determinar las circunstancias en las que no son responsables de las interrupciones

o los problemas de rendimiento. Además, los clientes pueden beneficiarse de los SLA, ya que describen las características de rendimiento del servicio, que pueden compararse con los SLA de otros proveedores, y establecen también los medios para resolver los problemas de servicio (Rouse, 2018).

El análisis de la viabilidad técnica de esta implementación específica pretende completar el conocimiento existente y proporcionar una base sólida para la toma de decisiones de la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. Se pretende evaluar si el diseño propuesto del enlace troncal, basado en protocolos de enrutamiento IPv6, es adecuado para la topología de red y si puede satisfacer la demanda de tráfico de la zona en cuestión.

## CAPITULO II

### FUNDAMENTACION TEÓRICA

En este capítulo, se inicia con una exhaustiva revisión de la literatura relacionada con el tema de estudio, lo cual facilita una comprensión profunda del contexto académico actual. A continuación, se presenta una descripción detallada de los conceptos principales y se establece una sólida base teórica, lo que proporciona una fundamentación sólida para el estudio. Además, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de investigaciones y estudios previos.

#### **2.1.Enlaces Troncales**

En base a Oduro-Gyimah & Arthur (2019), un enlace troncal, también llamado enlace de backbone, es una conexión de alta velocidad que constituye la columna vertebral de una red informática. Es la infraestructura principal que interconecta redes de área local (LAN), redes de área extensa (WAN) y demás elementos de red. Los enlaces troncales posibilitan la transferencia de datos a alta velocidad entre distintos segmentos de la red.

#### *Características de los enlaces troncales:*

- Los enlaces troncales se caracterizan por su alta velocidad de transmisión, que puede alcanzar velocidades de gigabits por segundo (Gbps) e incluso terabits por segundo (Tbps), lo que facilita la transferencia rápida y eficaz de grandes volúmenes de datos.
- Disponen de un amplio ancho de banda para gestionar el tráfico de datos de múltiples usuarios y aplicaciones.

- En cuanto a la disponibilidad, los enlaces troncales están diseñados para ofrecer alta fiabilidad y disponibilidad, con redundancia integrada para minimizar cualquier tiempo de inactividad.
- También son escalables, lo que permite ampliarlos para acomodar el crecimiento de la red y el aumento de la demanda de ancho de banda.
- Los enlaces troncales están equipados con sólidas medidas de seguridad para salvaguardar la integridad y confidencialidad de los datos transmitidos.

Los enlaces troncales son parte fundamental de las redes informáticas modernas. Posibilitan la transferencia rápida, eficaz y segura de datos entre distintos segmentos de la red. Son esenciales para el funcionamiento de empresas, instituciones educativas, administraciones públicas y otras organizaciones que necesitan redes fiables y de alto rendimiento (Sun et al., 2022).

### ***2.1.1. Funcionamiento y usos de los enlaces troncales en la red***

Los backbones son conexiones de red de alto rendimiento que desempeñan una función clave en la interconexión de diversos elementos de red, como redes de área local (LAN), redes de área extensa (WAN), centros de datos, servidores y conmutadores. Estos enlaces sirven de medio de transporte para los datos, los cuales se encapsulan en unidades de información y se transmiten a lo largo de ellos mediante protocolos de red (Booker et al., 2008).

Además, los enlaces troncales permiten un enrutamiento eficaz de los datos dentro de la red. Los routers de la infraestructura de red utilizan la información de enrutamiento para

determinar la mejor ruta para enviar los datos a través del enlace troncal a su destino final. De este modo se garantiza una entrega de datos rápida y fiable.

Por último, los switches situados en los enlaces troncales desempeñan un papel importante en la conmutación de datos. Estos conmutadores pueden reenviar datos a distintos puertos en función de la dirección MAC de destino, lo que permite una gestión eficaz del tráfico en la red.

A continuación, se describen los principales usos de los enlaces troncales en la red.

- ***Interconexión de redes:*** Los enlaces troncales sirven como conexiones vitales que enlazan distintos tipos de redes, como LAN, WAN, centros de datos y otros elementos de red. De este modo se posibilita la comunicación y el intercambio de datos sin fisuras entre estos distintos entornos de red.
- ***Enrutamiento del tráfico:*** Facilitan el enrutamiento eficaz del tráfico de datos entre distintos puntos de la red. Los enlaces troncales se ocupan de dirigir los paquetes de datos a su destino final a través de la ruta óptima, utilizando protocolos de encaminamiento para determinar la mejor manera de dirigir el tráfico.
- ***Agregación de enlaces:*** Los enlaces troncales pueden combinar varias conexiones de baja velocidad en un único enlace troncal de alta velocidad. El proceso de agregación incrementa la capacidad y el ancho de banda disponible, mejorando así el rendimiento general de la red.

### ***2.1.2. Beneficios de los enlaces troncales para los ISP (Internet Service provider)***

A continuación, se describen los principales beneficios de los enlaces troncales para los proveedores de servicios de internet.

- ***Escalabilidad y expansión:*** Emplear una red troncal para interconectar varias partes de una infraestructura de red no sólo facilita una distribución eficaz de los datos, sino que también amplía enormemente las posibilidades de escalabilidad y expansión futuras. Este planteamiento reparte y soluciona los problemas de crecimiento, permitiendo que la red se amplíe sin comprometer la integridad o el rendimiento del sistema existente.
- ***Mantenimiento seguro y eficiente:*** Esta configuración permite añadir o retirar dispositivos de forma segura y eficiente, sin interrumpir el funcionamiento de la red en su conjunto. Esta flexibilidad es esencial para permitir actualizaciones continuas y la implementación de mejoras sin tiempo de inactividad, manteniendo la red operativa y actualizada con las últimas tecnologías sin interrupciones significativas.
- ***Mejora de la circulación de datos y ampliación de la cobertura:*** Como columna vertebral de la infraestructura de red, la red troncal facilita la conexión de dispositivos situados a gran distancia unos de otros, ampliando el alcance de la red desde una única oficina hasta una cobertura nacional o incluso internacional. Este alcance amplio garantiza que la circulación de la información sea más eficiente en amplias zonas geográficas, mejorando la conectividad y la capacidad de respuesta de la red en su conjunto.
- ***Adaptación a las nuevas tecnologías:*** La red troncal no sólo soporta las demandas actuales de alta velocidad, sino que además está diseñada con la previsión de adaptarse a las tecnologías emergentes. Gracias a su estructura preparada para el futuro, es capaz de soportar y facilitar la integración de

nuevas tecnologías, garantizando que la red siga siendo relevante y eficaz ante los rápidos avances tecnológicos, lo que permite una transición fluida a las innovaciones futuras sin que sea necesaria una revisión completa de la infraestructura.

## **2.2.Introducción al IPv6**

De acuerdo Hinden & Deering, (1998) en el RFC 2460, IPv6 es un protocolo de capa de red que posibilita la comunicación entre dispositivos a través de una red de paquetes de datos. Emplea direcciones de 128 bits, lo cual permite un espacio de direccionamiento mucho mayor en comparación con IPv4. IPv6 también proporciona mejoras en la eficacia del enrutamiento y la gestión de direcciones, así como en la seguridad de la capa de red.

### ***2.2.1. Ventajas de IPv6 sobre IPv4***

IPv6 posee las siguientes características principales que se mencionan a continuación de acuerdo con lo definido en el RFC 2460.

Mejora del enrutamiento: IPv6 mejora el enrutamiento al simplificar las tablas de rutas y eliminar la necesidad de NAT (Network Address Translation) en la mayoría de los casos, de igual manera las cabeceras IPv6 se diseñaron para ser más eficientes en términos de procesamiento y enrutamiento, lo que proporciona un mejor rendimiento de la red.

Seguridad mejorada: IPv6 incorpora funciones de seguridad mejoradas, como el soporte de IPsec (Internet Protocol Security), que proporciona autenticación y cifrado de paquetes a nivel de red. De este modo se mejora notablemente la seguridad de las comunicaciones en comparación con IPv4, en el que IPsec es una opción que se implementa de forma complementaria y optativa.

Soporte de flujo de tráfico: IPv6 dispone de campos de flujo en la cabecera de cada paquete, que permiten a los dispositivos categorizar y priorizar el tráfico de forma más eficaz. Esto facilita la implantación de políticas de QoS para asegurar un rendimiento óptimo de la red para diferentes tipos de tráfico.

### ***2.2.2. Estructura y formato de las direcciones IPv6***

De acuerdo con el RFC 2460, las direcciones IPv6 tienen una estructura y formato definidos, que se muestran a continuación.

Longitud de la dirección: Las direcciones IPv6 son de 128 bits de longitud.

Notación de direcciones IPv6: Por lo general, las direcciones IPv6 se expresan en notación hexadecimal, dividida en ocho bloques de 16 bits cada uno. Para separar cada bloque se utilizan dos puntos ":" por otra parte, también existe notación abreviada la cual omite los ceros iniciales consecutivos en cada bloque y un solo grupo de ceros consecutivos en una dirección.

Grupos de direcciones especiales: IPv6 establece varios grupos de direcciones especiales: unicast, multicast y anycast.

- ***Unicast:*** Un identificador para una sola interfaz. Un paquete enviado a una dirección unicast se entrega a la interfaz identificada por esa dirección.
- ***Multicast:*** Un identificador para un conjunto de interfaces (normalmente pertenecientes a nodos diferentes). Un paquete enviado a una dirección multicast se entrega a todas las interfaces identificadas por esa dirección.
- ***Anycast:*** Un identificador para un conjunto de interfaces (normalmente pertenecientes a nodos diferentes). Un paquete enviado a una dirección anycast se

entrega a una de las interfaces identificadas por esa dirección (la más "cercana", según la medida de distancia de los protocolos de enrutamiento).

**Prefijos de subred:** Como ocurre en IPv4, las direcciones IPv6 pueden subdividirse en subredes más pequeñas mediante el uso de prefijos de subred. Estos prefijos se expresan mediante una notación semejante a la de la dirección IP, seguida de una barra "/" y del tamaño del prefijo en bits.

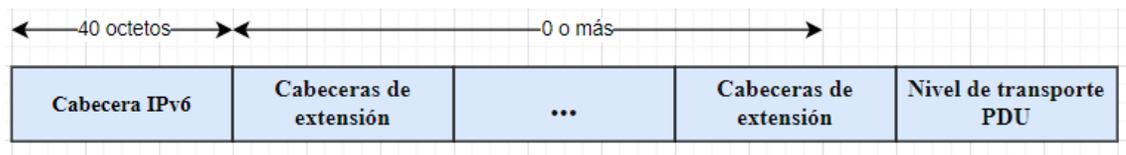
### Paquete IPv6

El paquete IPv6 es una estructura de datos utilizada en redes para la comunicación en el protocolo de Internet versión 6.

A continuación, una descripción detallada de cómo se estructura un paquete IPv6 en la siguiente figura.

#### Figura 2

##### *Estructura IPv6*



*Nota:* La estructura de un paquete IPv6 destaca por su simplicidad y eficiencia en comparación con IPv4, su versión predecesora. Se compone de una cabecera fija de 40 octetos que incluye información esencial como la versión del protocolo, el tráfico de clase, la etiqueta de flujo, y las direcciones de origen y destino. Le siguen las cabeceras de extensión, que son opcionales y se ubican entre la cabecera fija y el cuerpo del paquete, proporcionando funcionalidad adicional según sea necesario. Finalmente, la carga útil

transporta los datos enviados por la capa superior, que puede ser TCP o UDP a nivel de transporte.

### **Cabecera IPv6**

La única cabecera que es obligatoria es la cabecera IPv6. Esta tiene un tamaño fijo de 40 octetos, en comparación con los 20 octetos de la parte obligatoria de la cabecera y consta de los siguientes campos:

- **Versión (4 bits):** Número de versión del protocolo de Internet; el valor es 6.
- **DS/ECN (8 bits):** Disponible para su uso por nodos originadores y/o enrutadores de tránsito para servicios diferenciados y funciones de congestión. Este campo de 8 bits fue originalmente denominado Campo de Clase de Tráfico, pero ahora se utiliza la designación de 6 bits DS y 2 bits ECN.
- **Etiqueta de Flujo (20 bits):** Puede ser utilizada por un host para etiquetar aquellos paquetes para los cuales está solicitando un manejo especial por parte de los enrutadores dentro de una red, como se discutirá posteriormente.
- **Longitud de la Carga Útil (16 bits):** Longitud del resto del paquete IPv6 después de la cabecera, en octetos. En otras palabras, es la longitud total de todas las cabeceras de extensión más la PDU de nivel de transporte.
- **Siguiente Cabecera (8 bits):** Identifica el tipo de cabecera que sigue inmediatamente a la cabecera IPv6; esto será o bien una cabecera de extensión IPv6 o una cabecera de capa superior, como TCP o UDP.
- **Límite de Saltos (8 bits):** El número restante de saltos permitidos para este paquete. El límite de saltos se establece en un valor máximo deseado por la fuente y se decrementa en 1 por cada nodo que reenvía el paquete. El paquete se descarta si el

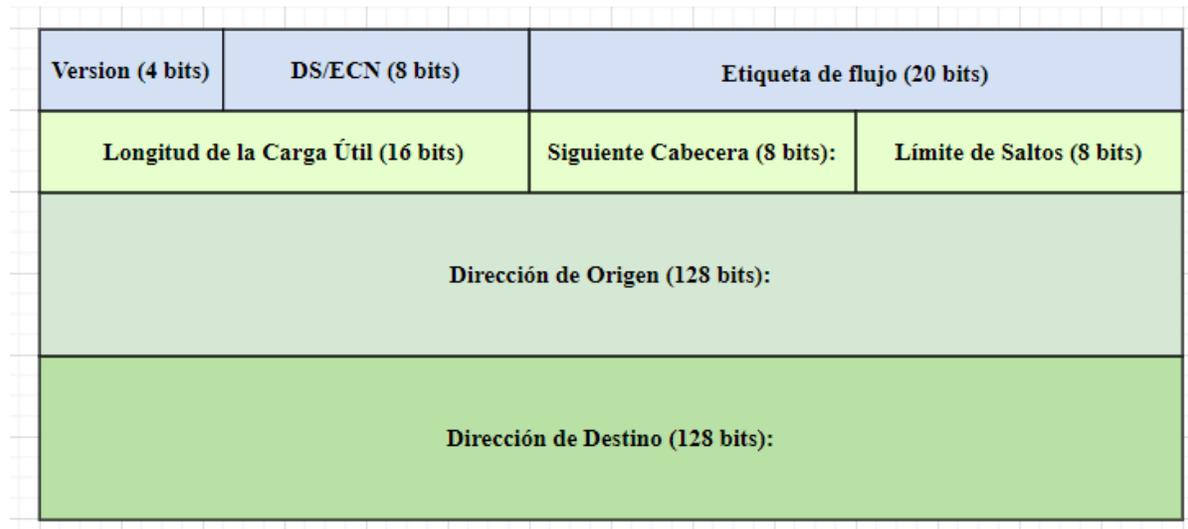
Límite de Saltos se decrementa a cero. Esto es una simplificación sobre el procesamiento requerido para el campo Tiempo de Vida de IPv4.

- **Dirección de Origen (128 bits):** La dirección del originador del paquete.
- **Dirección de Destino (128 bits):** La dirección del destinatario previsto del paquete. Esto puede no ser, de hecho, el destino final previsto si hay presente una cabecera de Enrutamiento, como se explicará posteriormente.

Tras describir los componentes de la Cabecera IPv6 y los bits que componen cada uno, a continuación, se presenta una figura que ilustra la estructura de esta cabecera.

**Figura 3**

*Cabecera IPv6*



*Nota:* La cabecera IPv6, componente esencial del paquete del mismo protocolo, alberga información clave sobre el origen, destino y naturaleza del paquete. Con un tamaño fijo de 40 bytes, esta cabecera detalla diversos aspectos: la versión del protocolo IP en uso, la clase de tráfico, las etiquetas de flujo asociadas al paquete, el volumen de datos

transportados, el tipo de la cabecera de extensión siguiente, el límite de saltos que indica el número máximo de retransmisiones permitidas, y las direcciones IP de origen y destino.

### **2.3. Protocolos de Enrutamiento en IPv6**

Un protocolo de enrutamiento se utiliza en una red interconectada para intercambiar información sobre la accesibilidad y el retardo del tráfico, lo que permite a cada router construir una tabla de enrutamiento para las rutas que atraviesan la red interconectada. Generalmente, se utilizan protocolos de encaminamiento más sencillos entre sistemas autónomos que forman parte de una red mayor y protocolos de encaminamiento más complejos dentro de cada sistema autónomo (Jain et al., 2021).

Los protocolos de enrutamiento utilizados en redes interconectadas adoptan uno de estos tres métodos para recoger y utilizar la información de enrutamiento: el enrutamiento por vector distancia, el enrutamiento por estado de enlace y el enrutamiento por vector camino (Tanenbaum, 2003).

En un protocolo de encaminamiento por vector distancia, cada enrutador comunica a sus vecinos un vector que enumera las redes a las que puede llegar, junto con una medida de la distancia asociada a esa ruta. Cada enrutador crea una base de datos de enrutamiento basada en las actualizaciones recibidas de los vecinos, pero no tiene conocimiento directo de los enrutadores intermedios y las redes en una ruta específica (Stallings, 2014).

Por otro lado, en un protocolo de enrutamiento link-state, cada enrutador revela sus métricas de enlace a todos los demás encaminadores. Cada enrutador construye una representación completa de la topología de la red y, a continuación, realiza un cálculo de encaminamiento basado en esa información (Stallings, 2014).

### **2.3.1. Protocolos de enrutamiento usados en IPv6**

Los protocolos de enrutamiento IPv6 desempeñan un papel fundamental en la determinación de las rutas óptimas para el envío de datos a través de la red. Estos protocolos, diseñados específicamente para IPv6, aprovechan las características únicas de IPv6 para garantizar una distribución eficaz del tráfico y una adaptabilidad sin problemas a las topologías de red en constante evolución (Wijaya, 2011).

- **OSPF V3:** En base al RFC 8362, Es un protocolo de enrutamiento de estado de enlace abierto diseñado para redes IPv6. El cual permite a los routers intercambiar información de enrutamiento para calcular las mejores rutas a través de una red IPv6. OSPFv3 utiliza algoritmos de enrutamiento avanzados, incluido el algoritmo de Dijkstra, para determinar las rutas más eficientes y fiables. Ofrece funciones como la autenticación de mensajes, la compatibilidad con múltiples áreas de enrutamiento y la capacidad de propagar rutas externas. OSPFv3 se utiliza en redes IPv6 para facilitar la configuración dinámica y el mantenimiento de la tabla de enrutamiento, lo que contribuye a la eficacia y escalabilidad de las redes IPv6 de empresas y proveedores de servicios (Lindem et al., 2018).
- **EIGRP:** El RFC 7868 define el Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP), una tecnología de enrutamiento avanzada utilizada en redes de computadoras. Es un protocolo avanzado de enrutamiento vector distancia diseñado para redes IP, desarrollado por Cisco Systems. El protocolo ofrece características mejoradas en comparación con los protocolos de enrutamiento vector distancia tradicionales, como una convergencia rápida, un uso eficiente del ancho de banda y compatibilidad con la suma de comprobación para asegurar la

integridad de los mensajes de enrutamiento. EIGRP emplea una combinación de métricas de ancho de banda, retardo, fiabilidad y carga para determinar las mejores rutas hacia las redes de destino (Savage et al., 2016).

- **IS-IS:** De acuerdo con el RFC 1195 describe el IS-IS (Intermediate System to Intermediate System) como un protocolo de enrutamiento de estado de enlace utilizado en redes de telecomunicaciones. Es un protocolo de enrutamiento link-state que se utiliza en redes de telecomunicaciones para intercambiar información de enrutamiento entre dispositivos de red conocidos como sistemas intermedios (Ginsberg et al., 2016). Los sistemas intermedios pueden ser enrutadores, conmutadores o cualquier otro dispositivo capaz de reenviar paquetes a través de la red. IS-IS utiliza un algoritmo de enrutamiento de estado de enlace, similar al utilizado por OSPF, donde cada dispositivo de red mantiene una base de datos de enrutamiento que contiene información sobre las redes alcanzables y las métricas asociadas a cada ruta. IS-IS utiliza mensajes de estado de enlace para realizar intercambios de información de enrutamiento entre sistemas intermedios vecinos y para calcular las mejores rutas hacia las redes de destino (Shand & Ginsberg, 2014).

### ***2.3.2. Funcionamiento de los protocolos de enrutamiento en IPv6***

Los routers de una red son los encargados de recibir y enviar paquetes a través de las redes interconectadas. Cada router toma decisiones sobre cómo enrutar estos paquetes en función de la estructura de la red y las condiciones del tráfico. Mientras que en las redes sencillas puede utilizarse el enrutamiento estático, en las más complejas se requiere un enfoque dinámico que permita a los routers adaptarse a los cambios que se produzcan en la

red, como fallos o congestiones. Para lograrlo, los routers intercambian información mediante protocolos de enrutamiento especializados. Esta información incluye detalles sobre las rutas disponibles y las características de latencia asociadas a cada ruta (KHADIRI et al., 2018).

Al estudiar la función de enrutamiento, es importante diferenciar dos aspectos fundamentales:

- **Información de enrutamiento:** Información sobre la topología y los retrasos de Internet.

- **Algoritmo de enrutamiento:** El algoritmo utilizado para tomar una decisión de enrutamiento para un datagrama particular, basado en la información de enrutamiento actual.

#### **2.4. Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA)**

Un Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) define los objetivos de rendimiento y las responsabilidades de ambas partes. El SLA establece expectativas claras sobre la calidad del servicio, los tiempos de respuesta y la disponibilidad del servicio (Rouse, 2018).

El propósito fundamental de los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) es proporcionar un marco claro y medible para la prestación de servicios. Los SLA permiten establecer expectativas en términos de calidad del servicio, tiempos de respuesta y resolución de incidencias, entre otros aspectos importantes (Rios et al., 2022). También fomentan la transparencia y la rendición de cuentas al definir las responsabilidades de ambas partes y los mecanismos de resolución de disputas y reclamaciones (Verma, 2004). Gracias a los SLA, mejora la comunicación y la relación entre el proveedor y el cliente, lo que contribuye a una mayor satisfacción y confianza en la prestación de servicios de Internet.

### **2.4.1. Componentes y estructura de los SLA**

Los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) constituyen documentos que establecen los términos y condiciones para la prestación de servicios de Internet, garantizando un nivel de calidad acordado entre el proveedor de servicios y el cliente (Montoro Mouzo et al., 2011).

Su estructura suele incluir los siguientes componentes:

- **Introducción:** Este apartado del SLA ofrece una visión general del acuerdo, identificando a las partes implicadas y esbozando la finalidad y el alcance del SLA. Es importante establecer expectativas claras desde el principio para evitar malentendidos (Rios et al., 2022).
- **Definiciones:** Aquí se definen los términos clave utilizados en el SLA para garantizar un entendimiento común entre las partes. Esto ayuda a evitar confusiones y ambigüedades en la interpretación de los términos utilizados en el acuerdo.
- **Niveles de servicio:** Establece los objetivos de rendimiento del servicio, incluyendo parámetros como la disponibilidad del servicio, el tiempo de respuesta y la velocidad de transferencia de datos. Estos niveles de servicio son esenciales para medir y evaluar el cumplimiento de las normas acordadas por parte del proveedor.
- **Responsabilidades:** Define claramente las responsabilidades y obligaciones de cada parte implicada en el SLA. Esto incluye la responsabilidad del proveedor de mantener el servicio en funcionamiento y ofrecer el nivel de servicio acordado, así como la responsabilidad del cliente de hacer frente a los pagos y cumplir determinadas obligaciones establecidas en el acuerdo.

- **Medición e informes:** Este punto describe los métodos y herramientas que se utilizarán para medir e informar sobre el rendimiento del servicio. Esto puede incluir el uso de métricas específicas, herramientas de supervisión y sistemas de información para realizar un seguimiento y documentar el cumplimiento de los niveles de servicio.
- **Procesos de escalado:** Se establecen procedimientos para gestionar las quejas, los problemas y los conflictos relacionados con el servicio. Esto puede incluir procesos de escalado para resolver problemas de manera oportuna y eficiente, así como mecanismos de resolución de conflictos para abordar las disputas entre las partes.
- **Rescisión:** Se exponen las condiciones y los procedimientos para rescindir el acuerdo de nivel de servicio, incluidas las circunstancias en las que se puede rescindir el acuerdo y los pasos que se deben seguir para hacerlo de forma adecuada y legalmente válida.

## **2.5.Evaluación de la Factibilidad Técnica de Proyectos**

La factibilidad técnica es el proceso de averiguar cómo va a producir el producto o servicio para determinar si es posible para la empresa. Antes de empezar a ofrecer su producto o servicio, debe planificar cada parte de sus operaciones, desde el aprovisionamiento de los materiales de producción hasta el seguimiento de las operaciones de venta. También se puede definir como una evaluación de si un proyecto, producto o servicio propuesto puede implantarse con éxito utilizando la tecnología actual o disponible. Implica evaluar en detalle los requisitos técnicos, las limitaciones y las capacidades de la solución o el proceso

propuestos para determinar si es factible desarrollarlo, implantarlo y mantenerlo dentro de las limitaciones dadas y los recursos disponibles (Vallero, 2019).

### ***2.5.1. Elementos considerados en la evaluación de la factibilidad técnica***

La factibilidad técnica es una práctica habitual para que las empresas realicen estudios de viabilidad antes de empezar a trabajar en un proyecto. Las empresas realizan un estudio de viabilidad técnica para evaluar la viabilidad de un producto o servicio antes de lanzarlo al mercado (McLeod, 2021).

- ***Disponibilidad de la tecnología:*** Debe evaluarse si existe la tecnología necesaria para el proyecto y si está disponible en el mercado. También hay que considerar si la tecnología es compatible con los recursos y la infraestructura existentes.
- ***Capacidad técnica del equipo:*** Evalúe si el equipo del proyecto tiene las aptitudes y la experiencia necesarias para ejecutar el proyecto con eficacia. Esto incluye la formación, la experiencia y los conocimientos técnicos del equipo.
- ***Recursos disponibles:*** Evalúe si se dispone de los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto, como materiales, equipos, herramientas, software y espacio físico.
- ***Riesgos técnicos:*** Deben identificarse y evaluarse los riesgos técnicos asociados al proyecto, como la posibilidad de fallos técnicos, errores de diseño o problemas de compatibilidad.
- ***Marco normativo:*** Evalúe si el proyecto cumple las normas y reglamentos técnicos vigentes.

- **Coste y presupuesto:** El coste total del proyecto debe estimarse y compararse con el presupuesto disponible.
- **Calendario:** Debe elaborarse un calendario realista para la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta las limitaciones técnicas.
- **Escalabilidad:** Evaluar si el proyecto es escalable, es decir, si puede ampliarse o modificarse en el futuro para adaptarse a nuevas necesidades o cambios en el entorno.

### 2.5.2. *Importancia de la evaluación de la factibilidad técnica en proyectos de telecomunicaciones*

La evaluación de la viabilidad técnica es un paso fundamental en la planificación de proyectos de telecomunicaciones. Determina si el proyecto es técnicamente viable, es decir, si se dispone de los recursos, la tecnología y los conocimientos necesarios para llevarlo a cabo con éxito (Ssegawa & Muzinda, 2021).

- **Minimiza los riesgos:** Permite identificar y evaluar los riesgos técnicos asociados al proyecto, como la posibilidad de fallos técnicos, errores de diseño o problemas de compatibilidad. Esto ayuda a tomar decisiones con conocimiento de causa y a mitigar los riesgos antes de empezar el proyecto.
- **Optimizar los recursos:** Permite determinar la viabilidad técnica del proyecto antes de invertir recursos en su ejecución. Esto ayuda a evitar el despilfarro de recursos y a garantizar que el proyecto se ejecuta de la manera más eficiente posible.

- **Mejora la toma de decisiones:** Proporciona información valiosa a las partes interesadas en el proyecto, como inversores, gestores y proveedores, para que puedan tomar decisiones informadas sobre el proyecto.
- **Garantiza el éxito del proyecto:** Un proyecto con una evaluación técnica favorable tiene más probabilidades de éxito que otro que no la tenga. Esto se debe a que se han tenido en cuenta todos los aspectos técnicos del proyecto y se han tomado medidas para mitigar los riesgos.

## **2.6. Normativas ITU-T para Implementación de Enlaces de Fibra Óptica**

### **2.6.1. ITU T-G652**

Es una recomendación que define las características de la fibra óptica monomodo (SMF) estándar, utilizada principalmente en sistemas de telecomunicaciones terrestres y submarinos. Esta fibra es conocida por su baja atenuación y dispersión, lo que la hace adecuada para transmisiones de larga distancia y alta capacidad (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2016).

La fibra G.652 tiene una atenuación típica de 0.34 dB/km a 1310 nm y de 0.22 dB/km a 1550 nm. Esto permite la transmisión de señales a largas distancias con mínimas pérdidas. La baja atenuación y dispersión permiten la transmisión eficiente de datos a altas velocidades, lo que es crucial para las redes modernas de alta capacidad.

Esta fibra es ampliamente utilizada en enlaces troncales de larga distancia debido a su capacidad para transmitir datos a grandes distancias sin necesidad de repetidores frecuentes, de igual manera en redes metropolitanas (MAN) ya que es adecuada porque proporciona conectividad entre diferentes puntos dentro de una ciudad o región.

### **2.6.2. ITU T-G652 D**

Se trata de una subcategoría de la recomendación ITU-T G.652 que define las características de la fibra óptica monomodo (SMF) estándar con mejoras específicas para su uso en aplicaciones modernas de telecomunicaciones. Esta versión optimiza la fibra para soportar mejor las aplicaciones WDM (Wavelength Division Multiplexing) y es particularmente adecuada para enlaces de larga distancia y alta capacidad (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2016a).

La fibra óptica definida por la normativa ITU-T G.652.D se caracteriza por su baja atenuación, lo que permite la transmisión de señales a largas distancias con mínimas pérdidas. La atenuación típica es de 0.34 dB/km a 1310 nm y de 0.22 dB/km a 1550 nm. Estas características son cruciales para mantener la integridad de la señal en aplicaciones de larga distancia, asegurando que los datos lleguen a su destino con una pérdida mínima.

La fibra G.652.D está diseñada para soportar sistemas de WDM y DWDM. Esta compatibilidad permite la transmisión simultánea de múltiples canales de datos a diferentes longitudes de onda a través de una única fibra, maximizando la utilización del ancho de banda y facilitando la expansión de la capacidad de la red sin necesidad de instalar nuevas fibras.

La fibra en mención es utilizada en enlaces troncales de larga distancia debido a su capacidad para transmitir datos a grandes distancias sin necesidad de repetidores frecuentes. Esto la convierte en una opción ideal para la infraestructura principal de redes de telecomunicaciones.

Por otra parte, soporta transmisiones de alta velocidad y gran ancho de banda, esenciales para las modernas redes de telecomunicaciones. Esto permite a los proveedores de

servicios ofrecer una amplia gama de servicios avanzados, desde transmisión de datos hasta servicios de video de alta definición.

## **2.7. Metodologías de tendido de fibra óptica**

### ***2.7.1. Canalizada (Urbana e Interurbana)***

La metodología canalizada para el tendido de fibra óptica implica la instalación de cables de fibra dentro de conductos o ductos subterráneos. Esta técnica se utiliza comúnmente en áreas urbanas e interurbanas para proteger los cables de condiciones ambientales adversas y de daños físicos. En entornos urbanos, los ductos pueden ser instalados a lo largo de calles, carreteras y avenidas, mientras que, en entornos interurbanos, suelen seguir los derechos de paso de las autopistas y ferrocarriles. Esta metodología permite un fácil acceso para mantenimiento y reparaciones, y ofrece una mayor protección a los cables contra interferencias externas.

### ***2.7.2. Directamente Enterrada***

La instalación de fibra óptica directamente enterrada consiste en colocar los cables de fibra óptica directamente en el suelo, sin el uso de conductos protectores. Este método es común en áreas rurales o en terrenos donde la excavación y el tendido son relativamente fáciles y donde el riesgo de daño físico es menor. Los cables utilizados para esta metodología suelen estar diseñados con recubrimientos adicionales y materiales reforzados para soportar las condiciones del suelo y proteger contra la humedad, la presión y otros factores ambientales. Este método es más rápido y menos costoso que la canalización, pero puede ser más vulnerable a daños causados por excavaciones o actividades agrícolas.

### **2.7.3. Aérea**

La metodología aérea para el tendido de fibra óptica implica la instalación de cables sobre postes o torres. Esta técnica es común en áreas rurales y suburbanas donde la infraestructura de postes ya existe, como en las líneas eléctricas o telefónicas. La fibra óptica aérea es más fácil y rápida de instalar en comparación con las metodologías subterráneas, y permite un acceso más sencillo para el mantenimiento y las reparaciones. Sin embargo, los cables aéreos están más expuestos a condiciones climáticas adversas, como el viento, la lluvia, y el hielo, lo que puede afectar su durabilidad. Esta metodología es especialmente útil en áreas donde el terreno dificulta la excavación o donde los costos de instalación subterránea serían prohibitivos.

## CAPITULO III

### LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS

El Capítulo III del trabajo de titulación se centra en la Fase de Diseño, una etapa crucial para el desarrollo de un enlace troncal que conectará las ciudades de Ibarra, Atuntaqui y Otavalo. Este capítulo expone detalladamente la determinación de requerimientos técnicos y los criterios de diseño específicos para una red de telecomunicaciones con fibra óptica, destacando tanto los materiales como los equipos esenciales para su ejecución.

Se inicia con una sección dedicada a describir los componentes fundamentales de la infraestructura de fibra óptica. Igualmente, se examinan los dispositivos de red esenciales, como routers y switches, que son vitales para gestionar el flujo de datos a través de la red. La siguiente sección aborda las metodologías de tendido de fibra óptica y los criterios para su utilización, asegurando que el diseño cumpla con los requisitos de capacidad y fiabilidad necesarios para soportar un enlace troncal robusto y eficiente.

En este contexto, la normativa ITU-T G.652.D representa un avance significativo en el diseño de fibras ópticas monomodo. Ofreciendo una solución optimizada para las demandas de las modernas redes de telecomunicaciones, esta fibra destaca por su baja atenuación y resistencia a la curvatura, además de ser compatible con tecnologías WDM. La fibra G.652.D es ideal para enlaces de backbone y aplicaciones de alta capacidad. Su implementación asegura una infraestructura de red robusta, eficiente y escalable, capaz de soportar las crecientes necesidades de ancho de banda y transmisión de datos en las redes actuales y futuras.

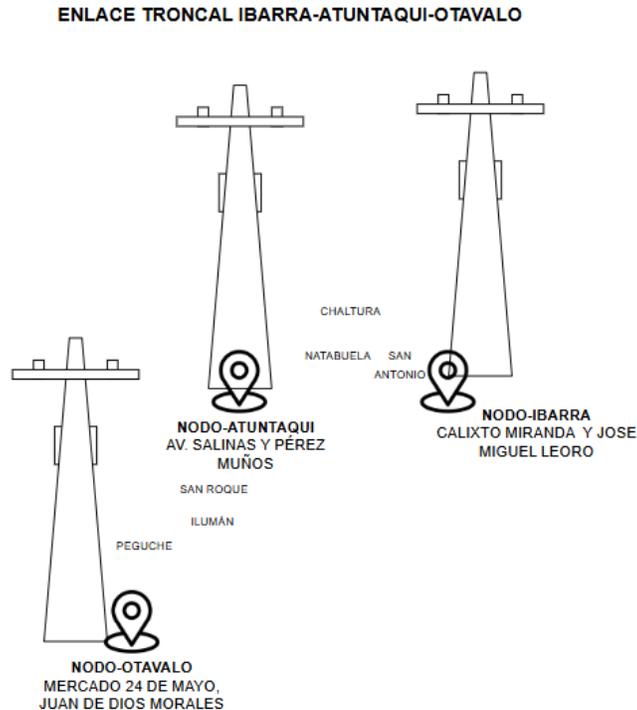
### **3.1.Situación actual de la empresa**

AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A. enfrenta actualmente retos en la eficiencia de su infraestructura de red; entre estos se encuentran el desperdicio de ancho de banda y la necesidad de contar con instalaciones redundantes en cada localidad (lo que incrementa los costos operativos y complica la administración centralizada del servicio). La implementación de un enlace troncal entre Ibarra, Atuntaqui y Otavalo permitiría optimizar los recursos; esta solución consolidaría la infraestructura en un canal de alta capacidad y mejoraría la administración y monitoreo del servicio desde un punto central. Además, reduciría los tiempos de respuesta ante averías y los costes relacionados con el mantenimiento. Por otro lado, la red troncal facilitaría la escalabilidad de la red y garantizaría el cumplimiento de los parámetros establecidos en los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA). Este enfoque garantiza un rendimiento eficiente y fiable, beneficiando tanto a la empresa como a sus clientes.

A continuación, se representa la topología del enlace troncal, que conecta a las ciudades de Ibarra, Atuntaqui y Otavalo, la figura 4 busca mostrar cómo se centralizaría la conectividad entre estas tres localidades optimizando la infraestructura de red al pasar el tráfico por un enlace de alta capacidad.

## Figura 4

### Topología de red



*Nota.* En la figura se muestra cómo se distribuye el enlace troncal por las ciudades de Ibarra, Atuntaqui y Otavalo, de igual manera se encuentran otras localidades por las que pasa el enlace de fibra óptica, Los iconos de postes representan la infraestructura física de red.

### 3.2.Determinación de Requerimientos Técnicos

#### 3.2.1. Fibra óptica y accesorios

##### Fibra óptica monomodo ADSS

El cable de fibra óptica ADSS (Autoportante Totalmente Dieléctrico, por sus siglas en inglés All-Dielectric Self-Supporting) es un tipo de cable de fibra óptica diseñado específicamente para instalaciones aéreas. Este tipo de cable se utiliza para transmitir señales de datos a través de largas distancias con una alta capacidad de ancho de banda y baja pérdida

de señal. Los cables ADSS son ideales para aplicaciones en exteriores, incluyendo telecomunicaciones, servicios públicos, y sistemas de vigilancia, gracias a su resistencia a las condiciones ambientales adversas y a su capacidad de soportar tensiones mecánicas sin el uso de componentes metálicos (Elliott et al., 2002).

A continuación, se presentan los detalles técnicos del Cable de Fibra Óptica Autoportante Totalmente Dieléctrico.

***Detalles técnicos:***

- Fibra: Hasta 288 hilos, relleno de gel.
- Tipos de Fibra: Monomodo y Multimodo.
- Construcción del Cable: Tubo suelto estriado en S-Z.
- Elemento de Refuerzo: FRP (Plastic Reforzado con Fibra).
- Opciones de Vaina: Vaina doble de PE.
- Armadura: Hilo de aramida.
- Temperatura de Operación: -40°C a 70°C.
- Cumplimiento: De acuerdo con las normas IEC, ITU y EIA.

***Aplicaciones:***

Todo tipo de instalaciones aéreas autoportantes dieléctricas.

- Temperatura Máxima de Operación: 70°C
- Temperatura Mínima de Operación: -40°C
- Temperatura de Instalación: -10°C

***Desempeño de Transmisión de Fibra óptica ADSS***

La tabla 1 se muestra los valores de atenuación para diferentes tipos de fibra óptica en cable, medidos en decibelios por kilómetro (dB/km). La atenuación indica la pérdida de



	24							13.4	145
	36							13.9	155
	72							14.8	182
ADSS	96	40000	16000	2200	1000	25D	12.5D	16.4	220
	120							18.0	262
	144							18.9	290

*Nota.* Esta tabla proporciona una visión general de las características de los cables ADSS, destacando su capacidad de soporte de tensión, resistencia al aplastamiento, flexibilidad (radio de curvatura), tamaño y peso.

Donde, RTS, por sus siglas en inglés (Rated Tensile Strength), hace referencia a la resistencia a la tensión nominal del cable. Es la máxima tensión que el cable puede soportar sin romperse.

MAT (Maximum Allowable Tensión) se refiere a la máxima tensión permisible del cable. Es la tensión máxima que el cable puede soportar durante su instalación y operación sin sufrir daños permanentes.

Estas especificaciones son cruciales para seleccionar el cable adecuado para diferentes aplicaciones y entornos de instalación..(Hengtong Group, 2020)

### ***Especificaciones ópticas para fibra monomodo G625D***

Las especificaciones ópticas detalladas en la tabla 3 abarcan una variedad de parámetros cruciales para su rendimiento. Estos incluyen el diámetro del campo modal, el coeficiente de atenuación, la dispersión cromática, la longitud de onda de cero dispersiones, la pendiente de dispersión cero, el índice de refracción, la longitud de onda de corte y la dispersión por modo de polarización (PMD).

**Tabla 3**  
*Especificaciones ópticas para fibra monomodo G652D*

<b>Diámetro Campo Modal</b> (mm)	1310 nm	$9.2 \pm 0.4$
	1550 nm	$10.3 \pm 0.5$
<b>Coefficiente Atenuación</b> (dB/Km)	1310 nm	$\leq 0.35$
	1383 nm	$\leq 0.35$
	1550 nm	$\leq 0.24$
	1525 – 1575 nm	—
<b>Dispersión Cromática</b> (ps/nm·Km)	1285 – 1330 nm	$\leq 3$
	1550 nm	$< 18$
	1530 – 1565 nm	—
	1565 – 1625 nm	—
<b>Longitud Onda Cero</b> Dispersión (nm)		1300 – 1322
<b>Pendiente Dispersión Cero</b> (ps/nm <sup>2</sup> ·Km)		$\leq 0.092$
<b>Índice Refracción</b>	1310 nm	1.467
	1550 nm	1.468
<b>Longitud Onda Corte</b> (nm)	Cableado	$\leq 1260$

---

**Dispersión por modo de**

<b>polarización (PMD)</b>	1550 nm	$\leq 0.1$
<b>(ps/<math>\sqrt{\text{Km}}</math>) Valor Enlace</b>		

---

*Nota.* Estas características aseguran una transmisión eficiente y de alta calidad, haciendo de la G652D una elección ideal para aplicaciones de alta capacidad y larga distancia en el ámbito de las telecomunicaciones. (Silex Fiber, 2016) Esta tabla detalla diversas especificaciones técnicas de la fibra óptica. El **Diámetro del Campo Modal (mm)** indica el diámetro del área de propagación de la luz dentro de la fibra, medido en milímetros. El **Coefficiente de Atenuación (dB/Km)** refleja la pérdida de señal en decibelios por cada kilómetro de fibra. La **Dispersión Cromática (ps/nm·Km)** mide la dispersión de diferentes longitudes de onda de luz a lo largo de un kilómetro de fibra, expresada en picosegundos por nanómetro por kilómetro. La **Longitud de Onda de Cero Dispersión (nm)** es la longitud de onda donde la dispersión cromática es nula. La **Pendiente de Dispersión Cero (ps/nm<sup>2</sup>·Km)** indica el cambio en la dispersión cromática con respecto a la longitud de onda. El **Índice de Refracción** es un valor adimensional que representa la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y su velocidad en la fibra óptica. La **Longitud de Onda de Corte (nm)** es la longitud de onda más corta que puede propagarse sin atenuación significativa. Finalmente, la **Dispersión por Modo de Polarización (PMD) (ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ )** mide la variación en el tiempo de propagación de diferentes modos de polarización de la luz a lo largo de la fibra, expresada en picosegundos por raíz cuadrada de kilómetro.

### **Patch Cord G657A2 SC/APC**

Un patch cord G657A2 SC/APC es un cable de fibra óptica que se utiliza para conectar equipos de red, como switches, routers y transceptores ópticos, con un alto grado de

precisión y baja pérdida de señal. La designación "G657A2" indica que la fibra es del tipo monomodo con una flexibilidad mejorada para curvas y giros, mientras que "SC/APC" se refiere al tipo de conector (Subscriber Connector con terminación de Ángulo Pulido).

**Figura 5**

*Patch Cord G657A2 SC/APC*



*Nota.* Patch cord duplex de 2.0mm de 3 metros. Fuente: (Fiber Optic Patch Cords, 2018)

**Tabla 4**

*Especificaciones técnicas: Patch Cord G657A2 SC/APC*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Tipo de Conector</b>	SC (Subscriber Connector)
<b>Terminación</b>	APC (Ángulo Pulido)
<b>Tipo de Fibra</b>	G657A2 (Monomodo, flexibilidad mejorada)
<b>Pérdida de Inserción</b>	< 0.3 dB
<b>Pérdida de Retorno</b>	> 60 dB

<b>Diámetro del Cable</b>	Varía según el fabricante (típicamente 2 mm o 3 mm)
<b>Temperatura de Operación</b>	-40°C a +85°C
<b>Durabilidad</b>	> 1000 ciclos de inserción/extracción
<b>Cumplimiento de Normas</b>	IEC 61754-4, TIA/EIA-604-3
<b>Material del Conector</b>	Plástico y cerámica
<b>Aplicaciones</b>	FTTH, redes de telecomunicaciones, data centers, MAN

*Nota.* Esta tabla proporciona una visión clara de las especificaciones técnicas del conector SC/APC utilizado en patch cords de fibra óptica G657A2, destacando sus características de rendimiento y aplicaciones comunes.

#### **Pigtail connector G657A2 SC/APC**

Un pigtail conector G657A2 SC/APC es un segmento corto de cable de fibra óptica que tiene un conector SC/APC preinstalado en un extremo. Se utiliza para la terminación de cables de fibra óptica en equipos de red, proporcionando una conexión rápida y fiable. La fibra G657A2 se caracteriza por su alta flexibilidad, permitiendo curvas y giros más cerrados sin pérdida significativa de señal.

**Figura 6***Pigtail connector G657A2 SC/APC*

*Nota.* Los pigtails de fibra óptica se fabrican en 900 o 600  $\mu\text{m}$  de la mayor calidad, terminada con conectores de férula cerámica de distintos tipos. Fuente. (Cablecel, 2019)

**Tabla 5***Especificaciones técnicas: Pigtail connector G657A2 SC/APC*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Tipo de Conector</b>	SC (Subscriber Connector)
<b>Terminación</b>	APC (Ángulo Pulido)
<b>Tipo de Fibra</b>	G657A2 (Monomodo, flexibilidad mejorada)
<b>Pérdida de Inserción</b>	< 0.3 dB
<b>Pérdida de Retorno</b>	> 60 dB
<b>Longitud del Pigtail</b>	Varía según el fabricante (típicamente 1 m, 2 m, 3 m)

<b>Diámetro del Cable</b>	0.9 mm (buffer ajustado) o 2 mm/3 mm (buffer holgado)
<b>Temperatura de Operación</b>	-40°C a +85°C
<b>Durabilidad</b>	> 1000 ciclos de inserción/extracción
<b>Cumplimiento de Normas</b>	IEC 61754-4, TIA/EIA-604-3
<b>Material del Conector</b>	Plástico y cerámica
<b>Aplicaciones</b>	FTTH, redes de telecomunicaciones, data centers, MAN

*Nota.* Esta tabla proporciona una visión detallada de las especificaciones técnicas del conector pigtail G657A2 SC/APC, destacando sus características de rendimiento y aplicaciones comunes. Los aspectos clave incluyen su baja pérdida de inserción, alta pérdida de retorno, flexibilidad mejorada, durabilidad y amplio rango de temperatura de operación.

### **Herrajes para cable de fibra óptica ADSS tipo A**

Los herrajes para cable de fibra óptica ADSS (All-Dielectric Self-Supporting) tipo A están diseñados para soportar y asegurar el cable en sus tramos intermedios y puntos de anclaje en entornos de baja y media tensión.

Estos herrajes se utilizan para colgar el cable ADSS en tramos intermedios, proporcionando soporte y permitiendo un movimiento limitado para reducir la tensión en el cable debido a factores ambientales como el viento. Están diseñadas para distribuir uniformemente la carga sin dañar el cable. Por otro lado, los herrajes de anclaje se emplean en los extremos de los tramos del cable ADSS para asegurar y fijar el cable en los postes o torres.

**Figura 7***Herrajes para cable de fibra óptica ADSS tipo A*

*Nota.* Estos herrajes están diseñados para soportar las tensiones más altas en los puntos de anclaje y generalmente incluyen elementos de sujeción ajustables y revestimientos protectores para evitar el desgaste del cable. (Jastech S.A, 2022)

**Herrajes para cable de fibra óptica ADSS tipo B**

Los herrajes para cable ADSS tipo B están diseñados para aplicaciones en entornos de alta tensión y condiciones más severas. Incluyen componentes más robustos y duraderos para garantizar la seguridad y la integridad del cable bajo tensiones más elevadas. La elección del herraje Tipo B adecuado dependerá de varios factores, como el diámetro del cable, la distancia entre los postes, las condiciones ambientales y las cargas previstas.

Estos herrajes incluyen abrazaderas de suspensión de alta tensión, que son similares a las abrazaderas de suspensión estándar, pero con una capacidad de carga mayor y materiales más resistentes para soportar las condiciones de alta tensión. Estas abrazaderas están diseñadas para minimizar el desgaste y la tensión en el cable debido a factores ambientales extremos. Además, los herrajes de anclaje reforzados se emplean en los puntos de anclaje de

los cables ADSS en entornos de alta tensión, y están diseñados para soportar cargas extremadamente altas, proporcionando una sujeción segura y duradera. Estos herrajes incluyen materiales de alta resistencia y diseños optimizados para reducir el estrés en el cable.

### **Figura**

8

Herrajes para cable de fibra óptica ADSS tipo B



*Nota.* Sirve para sujetar el cable de fibra óptica tipo ADSS en tramos rectos de la ruta para distancias menores de 90 metros. Fuente (MAC Representaciones, 2022)

### **Preformados**

Los preformados son dispositivos diseñados específicamente para la sujeción y protección de los cables de fibra óptica ADSS. Son esenciales para la instalación segura y eficiente del cable. Distribuyen la carga a lo largo del cable de fibra óptica ADSS, evitando que se doble o deforme excesivamente bajo su propio peso o por otras tensiones, protegen el cable de fibra óptica de daños por roce o compresión contra el herraje metálico.

Existen varios tipos de preformados, cada uno con una función específica. Los preformados de suspensión se utilizan para colgar el cable en tramos intermedios,

envolviéndolo para proporcionar soporte y reducir el estrés en los puntos de suspensión. Estos dispositivos distribuyen uniformemente la carga y minimizan la posibilidad de daños al cable durante su vida útil, estando hechos de materiales resistentes a la corrosión y fáciles de instalar.

Por otro lado, los preformados de anclaje se emplean en los puntos de anclaje donde se requiere una sujeción segura del cable. Están diseñados para soportar altas tensiones y proporcionar una fijación robusta del cable en postes o torres, asegurando que el cable permanezca firmemente sujeto incluso bajo condiciones extremas de viento, hielo o cargas mecánicas. Además, estos preformados están fabricados con materiales duraderos y resistentes a la corrosión.

Finalmente, los preformados de protección se utilizan para proteger el cable en puntos donde se puede producir fricción o desgaste, como en los cruces con otros cables o en las curvas cerradas. Actúan como una capa protectora adicional, reduciendo el riesgo de daños y asegurando la longevidad del cable, siendo especialmente útiles en instalaciones donde el cable está expuesto a movimientos frecuentes o a condiciones ambientales adversas.

### **Figura 9**

#### *Preformados*



Nota. Usados para sujetar cables ADSS diámetro 12.4 mm a 12.9 mm para vanos de hasta 100 metros. Fuente (Importrade, 2018)

### **Mangas de empalmes**

La Manga Domo M8 en sus versiones de 24, 48, 96 y 144 hilos, modelo GJS03-M8AX-JX-144D, es un dispositivo diseñado para la gestión y protección de empalmes de fibra óptica, con un sistema de sellos mecánicos reentrables que facilita su acceso y mantenimiento. Su diseño permite realizar el sangrado de cables, lo que brinda flexibilidad en instalaciones de red. La estructura de la manga incluye 1 puerto oval y 4 puertos redondos, lo que permite una distribución eficiente de las fibras ópticas. Fabricada con materiales de alta resistencia, es resistente a la corrosión, el envejecimiento y proporciona protección contra los rayos UV, asegurando una larga vida útil en diversas condiciones ambientales. Su versatilidad la hace apta para instalaciones aéreas, aplicaciones canalizadas y directamente enterradas, ofreciendo soluciones efectivas para infraestructuras de telecomunicaciones de alto rendimiento. La manga cuenta con capacidades de 12, 24, 48, 96 y 144 hilos, asegurando su adaptabilidad a diferentes necesidades de expansión de red. Además, está homologada por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), garantizando su conformidad con los estándares de calidad y normativas vigentes.

**Figura 10***Mangas de empalmes tipo domo*

Nota. Manga tipo domo

A continuación, se presenta en la tabla 6 que expone la utilidad de cada uno de los elementos dentro del enlace troncal de fibra óptica, junto con algunas especificaciones técnicas relevantes:

**Tabla 6**

*Utilidad y Especificaciones Técnicas Elementos Pasivos en el Enlace Troncal de Fibra Óptica*

<b>Elemento</b>	<b>Utilidad en el Enlace Troncal</b>	<b>Especificaciones Técnicas</b>
<b>Cinta Acerada</b>	Utilizada para asegurar y proteger los cables de fibra óptica en instalaciones aéreas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material: Acero inoxidable o galvanizado.</li> <li>- Ancho: 12.7 mm (1/2 pulgada) o 19.1 mm (3/4 pulgada).</li> <li>- Resistencia a la corrosión.</li> </ul>

---

<b>Vinchas Aceradas</b>	Utilizadas para fijar los cables de fibra óptica a postes o estructuras de soporte.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material: Acero inoxidable.</li> <li>- Tamaño: Variado, comúnmente de 1/4 pulgada a 3/4 pulgada de ancho.</li> <li>- Resistencia a la tracción.</li> </ul>
<b>Abrazaderas de Plástico</b>	Utilizadas para agrupar y asegurar cables en conductos y bandejas, facilitando la organización y gestión de cables.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material: Nylon.</li> <li>- Longitud: 100 mm a 1000 mm.</li> <li>- Resistencia a la tracción: 18 kg (40 lbs) a 55 kg (120 lbs).</li> <li>- Resistencia UV para aplicaciones exteriores.</li> </ul>
<b>Etiquetas de Identificación</b>	Utilizadas para identificar cables y componentes en la red de fibra óptica, mejorando la gestión y mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material: Poliéster o vinilo.</li> <li>- Tamaño: Variado, comúnmente 50 mm x 25 mm.</li> <li>- Resistencia a la abrasión y a productos químicos.</li> <li>- Capacidad de impresión o escritura permanente.</li> </ul>

---

---

<b>Thimble Clevis</b>	Utilizados para proporcionar una conexión segura y resistente entre el cable de fibra óptica y los accesorios de soporte aéreo.	- Material: Acero galvanizado.
		- Tamaño: Para cables de diferentes diámetros (1/4 pulgada, 3/8 pulgada, etc.).
		- Resistencia a la tracción y a la corrosión.
		- Diseño para distribuir uniformemente la carga y reducir el desgaste del cable.

---

### 3.2.2. Equipo de red

#### **MikroTik CCR2216-1G-12XS-2XQ**

A continuación, la tabla 7 proporciona las principales especificaciones técnicas del router MikroTik CCR2216-1G-12XS-2XQ el cual está diseñada para ofrecer un rendimiento alto con capacidades de procesamiento avanzadas y múltiples opciones de conectividad de alta velocidad, siendo ideal para entornos de red exigentes.

**Tabla 7**

*Especificaciones técnicas: MikroTik CCR2216-1G-12XS-2XQ*

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
<b>Código del producto</b>	CCR2216-1G-12XS-2XQ
<b>CPU</b>	AL73400, 2 GHz
<b>Arquitectura de CPU</b>	ARM 64bit

<b>Cantidad de núcleos de CPU</b>	16
<b>Tamaño de RAM</b>	16 GB
<b>Tipo de RAM</b>	DDR4
<b>Almacenamiento</b>	128 MB, NAND
<b>Puertos Ethernet 1G</b>	1
<b>Puertos SFP28 de 25G</b>	12
<b>Puertos QSFP28 de 100G</b>	2
<b>Ranuras M.2</b>	2
<b>Sistema operativo</b>	RouterOS (Licencia nivel 6)
<b>Modelo de chip de conmutación</b>	Marvell Prestera 98DX8525
<b>Conexión del switch al CPU</b>	4x25 Gbps
<b>Dimensiones</b>	443 x 367 x 44 mm
<b>Temperatura operativa</b>	-20°C a +60°C
<b>Número de entradas AC</b>	2
<b>Rango de entrada AC</b>	100-240 V

<b>Voltaje nominal del adaptador de poder</b>	12 V
<b>Corriente nominal del adaptador de poder</b>	12.5 A
<b>Consumo máximo de energía (sin accesorios)</b>	80 W
<b>Consumo máximo de energía</b>	121 W

### **MikroTik CCR2004-1G-12S+2XS**

A continuación, la tabla 8 proporciona las principales especificaciones técnicas del router MikroTik CCR2004-1G-12S+2XS, que incluye capacidades de procesamiento avanzadas, almacenamiento y opciones de conectividad, diseñadas para aplicaciones profesionales y de alto rendimiento.

**Tabla 8**

*Especificaciones técnicas: MikroTik CCR2004-1G-12S+2XS*

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
<b>Código del producto</b>	CCR2004-1G-12S+2XS
<b>Arquitectura</b>	ARM 64bit
<b>CPU</b>	AL32400
<b>Cantidad de núcleos del CPU</b>	4
<b>Frecuencia nominal del CPU</b>	1700 MHz

<b>Dimensiones</b>	443 x 224 x 44 mm
<b>Licencia de RouterOS</b>	6
<b>Sistema Operativo</b>	RouterOS v7
<b>Tamaño de RAM</b>	4 GB
<b>Tamaño de almacenamiento</b>	128 MB
<b>Tipo de almacenamiento</b>	NAND
<b>MTBF</b>	Aproximadamente 200,000 horas a 25°C
<b>Temperatura ambiente probada</b>	-20°C a 60°C
<b>Aceleración hardware IPsec</b>	Sí
<b>Puertos Ethernet 10/100/1000</b>	1
<b>Puertos SFP+</b>	12
<b>Puertos SFP28 de 25G</b>	2
<b>Puerto de consola serial</b>	RJ45
<b>Monitor de temperatura del CPU</b>	Sí
<b>Monitor de temperatura del PCB</b>	Sí
<b>Monitor de voltaje</b>	Sí

<b>Número de entradas AC</b>	2
<b>Rango de entrada AC</b>	100-240
<b>Consumo máximo de energía</b>	49 W
<b>Consumo de energía sin accesorios</b>	32 W
<b>Tipo de enfriamiento</b>	2 ventiladores

### Cisco ASR 920

La tabla 9 proporciona un resumen de las especificaciones técnicas clave, la capacidad de almacenamiento y procesamiento de los routers de servicios de agregación Cisco ASR 920,

**Tabla 9**

*Especificaciones técnicas: Router Cisco ASR 920*

<b>Características</b>	<b>Especificaciones ASR-920-12CZ-A/ASR-920-12CZ-D</b>	<b>Especificaciones ASR-920-4SZ-A/ASR-920-4SZ-D</b>
<b>Dimensiones (Ancho x Profundidad x Alto)</b>	17.5 x 9.25 x 1.75 pulgadas	15.5 x 9.25 x 1.75 pulgadas
<b>Peso</b>	3.80 kg / 3.54 kg	3.50 kg / 3.22 kg
<b>Unidad de Rack</b>	Una RU	Una RU
<b>Flujo de Aire</b>	De adelante hacia atrás	De adelante hacia atrás
<b>Acceso a Cables</b>	Acceso frontal a cable	Acceso frontal a cable

<b>Capacidad de Procesamiento del Sistema</b>	32 Gbps	42 Gbps
<b>Especificación de Energía (AC)</b>	115 W	105 W
<b>Especificación de Energía (DC)</b>	110 W	105 W
<b>Configuración de Puertos</b>	12x1G y 2x10G/1G puertos	2x1G y 4x10G/1G puertos
<b>Puertos Combinados</b>	Los puertos 4 a 11 son puertos combinados	No hay puertos combinados
<b>Sensores de Temperatura</b>	Cuatro sensores de temperatura	Tres sensores de temperatura
<b>Rango de Temperatura de Operación</b>	-40° C a 70° C	-40° C a 70° C

### 3.3. Criterios de Diseño de redes aéreas de telecomunicaciones con fibra óptica

#### 3.3.1. Metodologías de tendido de fibra óptica

La metodología aérea para el tendido de fibra óptica implica la instalación de cables sobre postes o torres. Esta técnica es común en áreas rurales y suburbanas donde la infraestructura de postes ya existe, como en las líneas eléctricas o telefónicas. La fibra óptica aérea es más fácil y rápida de instalar en comparación con las metodologías subterráneas, y

permite un acceso más sencillo para el mantenimiento y las reparaciones. Sin embargo, los cables aéreos están más expuestos a condiciones climáticas adversas, como el viento, la lluvia, y el hielo, lo que puede afectar su durabilidad. Esta metodología es especialmente útil en áreas donde el terreno dificulta la excavación o donde los costos de instalación subterránea serían prohibitivos. Las consideraciones para escoger esta metodología se describen a continuación:

- ***Costos Iniciales Reducidos.*** El tendido aéreo de fibra óptica suele ser significativamente menos costoso en términos de instalación inicial en comparación con el tendido subterráneo. No requiere de excavaciones extensas, lo que reduce los costos de maquinaria, mano de obra y restauración del terreno. Elimina la necesidad de excavar zanjas largas y luego reparar carreteras y aceras. Generalmente requiere menos permisos y coordinación con entidades locales en comparación con el tendido subterráneo.
- ***Rapidez en la Implementación.*** El tendido aéreo permite una implementación más rápida, lo cual es crucial para cumplir con los plazos del proyecto y comenzar a ofrecer servicios en el menor tiempo posible. Menor Tiempo de Instalación, Las líneas aéreas pueden ser desplegadas y conectadas más rápidamente. Despliegue por Tramos lo que facilita la segmentación del trabajo, permitiendo que algunas partes de la red comiencen a operar mientras otras aún están en construcción.
- ***Facilidad de Mantenimiento y Reparación.*** Las líneas aéreas son más accesibles para el mantenimiento y las reparaciones, lo que reduce el tiempo de inactividad y los costos operativos a largo plazo. Los equipos de mantenimiento pueden acceder a los cables fácilmente sin necesidad de excavaciones. Los fallos y daños pueden ser identificados y reparados más rápidamente.

- ***Adecuación al Entorno Geográfico.*** La región Ibarra-Atuntaqui-Otavaló presenta características geográficas y de infraestructura que hacen del tendido aéreo una opción viable y eficiente. Infraestructura Existente, Uso de postes existentes para reducir aún más los costos.
- ***Flexibilidad y Escalabilidad.*** El tendido aéreo permite una mayor flexibilidad y escalabilidad, facilitando futuras expansiones de la red sin la necesidad de costosos y complejos trabajos subterráneos. Expansión Simplificada, facilita la adición de nuevas líneas o el aumento de la capacidad existente. Adaptabilidad a cambios, permite realizar modificaciones y actualizaciones de manera más eficiente.

### ***3.3.2. Criterios de utilización de fibra óptica***

La determinación de la metodología constructiva está sujeta a varios aspectos. Para este proyecto, se centrará en definir y caracterizar la metodología aérea como criterio de utilización.:

#### **Aérea**

La metodología aérea de instalación de fibra óptica se refiere al despliegue de cables de fibra óptica suspendidos en postes o estructuras similares, en lugar de ser enterrados o canalizados. Esta técnica es particularmente útil en diversas situaciones y entornos, ofreciendo varias ventajas y presentando ciertos desafíos.

A continuación, se describen las aplicaciones de la metodología aérea del despliegue de fibra óptica.

- **Enlaces Metropolitanos en Áreas Rurales y Urbanas:** La metodología aérea se utiliza en ambas áreas, facilitando la expansión de la infraestructura de telecomunicaciones.

- **Rutas Rurales con Postería Existente:** Es ideal para rutas rurales donde ya existen postes de servicios públicos, aprovechando esta infraestructura para reducir costos y tiempo de instalación.
- **Áreas donde la Canalización no es Posible:** En lugares donde la instalación subterránea no es viable debido a condiciones geográficas, urbanísticas o económicas, la instalación aérea se presenta como la mejor opción.

La utilización de postes existentes disminuye significativamente los costos asociados a la excavación y canalización. Además, permite una instalación más rápida y flexible, adaptándose fácilmente a cambios en el trazado o en las condiciones del terreno. Los cables aéreos son más accesibles para trabajos de mantenimiento y reparaciones, facilitando la identificación y solución de problemas.

### ***3.3.3. Normas para la instalación de Fibra Óptica Aérea***

De acuerdo con los Capítulos I y II de la NORMA TÉCNICA DESPLIEGUE Y TENDIDO DE REDES FÍSICAS DE TELECOMUNICACIONES expedida por la ARCOTEL, se manifiesta que es necesario regular las redes físicas aéreas de servicios de telecomunicaciones, del sector público y privado. Estas normas deben aplicarse a todas las entidades que posean títulos habilitantes para la prestación de estos servicios.

De acuerdo con el Capítulo II: Lineamientos Técnicos de Ordenamiento e Implementación de Redes Físicas Aéreas, se tomarán en cuenta ciertas recomendaciones establecidas en el documento.

En cuanto al artículo 5, que trata sobre la ubicación de redes físicas aéreas en postes, las redes de telecomunicaciones se deben ubicar debajo de las estructuras de redes eléctricas,

la distancia mínima entre el suelo y el último cable debe ser de 5 metros, y los cables deben estar al menos 50 cm debajo del tendido eléctrico de baja tensión.

No se permitirá el uso de elementos y accesorios activos del sistema de distribución eléctrica para el apoyo de las redes. Se deben usar herrajes específicos y empaquetar adecuadamente los cables, limitando el número de cables por poste y asegurando la identificación y ordenamiento adecuado.

Con respecto al artículo 6, se menciona la ubicación en postes de los elementos activos y pasivos. Los elementos pasivos deben instalarse a una distancia de 10 cm bajo el herraje, y los elementos activos deben estar 1 m debajo de los elementos pasivos.

Los elementos pasivos y activos deben estar correctamente identificados y etiquetados para minimizar el impacto visual y asegurar un mantenimiento adecuado.

El artículo 7 trata sobre el material de los herrajes el cual debe ser de metal galvanizado para que exista resistencia a las condiciones climáticas y estos no generen daño en el cable que se encuentra suspendido en el poste.

Para el montaje de redes físicas aéreas en postes, los propietarios de estos ya sean personas naturales o jurídicas, serán responsables de la instalación de herrajes sin dañar la estructura ni las redes eléctricas. La propiedad de los herrajes recaerá sobre los dueños de los postes, quienes deberán ceñirse a los estándares de diseño y fabricación establecidos por ARCOTEL.

El artículo 8 indica como se deben asegurar los cables en cada poste utilizando precintos que deben ser de color negro que de igual manera sean resistentes a la intemperie y a los cambios de temperatura esto no debe afectar la integridad del cable en cuestión.

Por lo que se refiere al etiquetado, el artículo 9 trata sobre la identificación que tendrá la red física de los prestadores de servicios, de acuerdo con esta normativa existe un código de colores que se debe cumplir el cual se encuentra en los anexos de esta norma.

Es esencial identificar los cables y otros elementos de las redes físicas aéreas con etiquetas duraderas y resistentes a la intemperie, según una codificación de colores específica.

### **3.4. Criterios de Diseño de redes soterradas de telecomunicaciones con fibra óptica**

Para garantizar una instalación soterrada eficiente y segura de redes de telecomunicaciones, es fundamental considerar los siguientes aspectos de acuerdo con la NORMA TECNICA PARA DESPLIEGUE Y TENDIDO DE REDES FISICAS SOTERRADAS.

- ***La profundidad de instalación y la protección del cable.*** La fibra óptica debe ser enterrada a una profundidad adecuada, dependiendo de si se encuentra en zonas urbanas o rurales, con el fin de evitar daños mecánicos y climáticos. Además, se deben utilizar ductos o tubos de protección de materiales como PVC o polietileno de alta densidad, los cuales protegen la fibra contra compresión o impactos externos. El relleno con materiales como arena o gravilla también contribuye a amortiguar posibles tensiones y prolongar la vida útil del cable.
- ***La señalización y marcado y accesibilidad para mantenimiento,*** lo que permite una gestión eficiente de la red en el futuro. Para ello, se colocan cintas de advertencia a diferentes niveles de profundidad, identificando claramente la presencia de la infraestructura soterrada y reduciendo el riesgo de daños accidentales durante trabajos de excavación. A su vez, la instalación de cámaras de inspección y registros en puntos

estratégicos permite realizar intervenciones de manera eficiente, con distancias adecuadas que facilitan el acceso sin comprometer la continuidad del servicio.

- ***Normativas de construcción y la planificación georreferenciada*** son esenciales para asegurar la calidad y durabilidad de la red soterrada. Seguir estándares como la normativa ITU-T G.652D garantiza el uso de materiales adecuados y procedimientos de instalación óptimos. Además, la georreferenciación precisa mediante planos detallados y herramientas de gestión digital facilita la ubicación exacta de la red, agilizando futuros trabajos de mantenimiento y expansión sin necesidad de excavaciones innecesarias.

## CAPITULO IV

### DISEÑO Y VALIDACION

En este capítulo, se presenta el diseño del enlace troncal, formulando una solución técnica integral que garantiza una comunicación efectiva y segura entre las ciudades de Ibarra, Atuntaqui y Otavalo. Tras el levantamiento de los requerimientos, se integran todos los elementos técnicos y criterios de diseño necesarios para asegurar que la infraestructura resultante sea sostenible y adecuada para el propósito previsto.

El objetivo principal de este capítulo es diseñar una propuesta técnica detallada, incluyendo la definición de los requerimientos técnicos y la identificación de los recursos necesarios previamente determinados. Este diseño considera todos los aspectos técnicos, desde la selección de los componentes hasta la implementación y mantenimiento de la red. La correcta planificación y ejecución de estos elementos son esenciales para el éxito del proyecto y para garantizar que la red de comunicaciones cumpla con los estándares de calidad y fiabilidad requeridos por AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A.

#### **4.1.Descripción del Enlace Troncal Ibarra-Atuntaqui-Otavalo**

El enlace troncal Ibarra-Atuntaqui-Otavalo está diseñado para proporcionar una comunicación robusta y eficiente entre las ciudades de Ibarra, Atuntaqui y Otavalo, ubicadas en la región norte de Ecuador. Este proyecto de infraestructura es esencial para AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A., ya que permitirá mejorar la conectividad y la calidad del servicio en esta área estratégica.

El diseño del enlace troncal se realizará en las siguientes ciudades correspondientes a la provincia de Imbabura.

**Ibarra:**

**Coordenadas:** 0°21'47"N 78°7'58"O

**Atuntaqui:**

**Coordenadas:** 0°20'38"N 78°13'9"O

**Otavalo:**

**Coordenadas:** 0°13'58"N 78°15'52"O

El enlace troncal se diseñará para conectar estas tres ciudades mediante una red de fibra óptica de alta capacidad. La elección del tendido aéreo permitirá una implementación rápida y eficiente, adaptada a las condiciones geográficas y climáticas de la región. La infraestructura propuesta incluirá:

**Rutas de Fibra Óptica:** Definición precisa de las rutas entre Ibarra, Atuntaqui y Otavalo.

**Postes y Estructuras de Soporte:** Utilización de postes existentes y la instalación de nuevas estructuras donde sea necesario.

**Cable de Fibra Óptica ADSS:** Uso de cables All-Dielectric Self-Supporting (ADSS) para resistir las condiciones ambientales sin necesidad de conductores metálicos.

**Empalmes y Conexiones:** Implementación de empalmes de fibra óptica por fusión para asegurar la mínima pérdida de señal.

El establecimiento de este enlace troncal ofrecerá varios beneficios significativos: proporcionará una conexión rápida y fiable entre las ciudades, mejorando la calidad del servicio para los usuarios finales; fomentará el desarrollo económico al facilitar mejores

comunicaciones para negocios y turismo; y el diseño incluirá enlaces redundantes para garantizar la continuidad del servicio incluso en caso de fallos en la red.

#### **4.2. Selección de la Ruta y Tramos del Enlace**

En esta sección se describe el proceso de selección de la ruta y los tramos específicos del enlace troncal entre las ciudades de Ibarra, Atuntaqui y Otavalo. Se detallarán los criterios utilizados para la selección, así como las consideraciones geográficas, técnicas y logísticas.

A continuación, se realizó la descripción de la Ruta propuesta para los dos tramos del enlace troncal en la cual se incluyen los puntos de inicio y final, la longitud del tramo, y las principales características del terreno y la infraestructura utilizada.

##### ***4.2.1. Tramo Ibarra-Atuntaqui***

La ruta del enlace troncal Ibarra-Atuntaqui se ha seleccionado para minimizar la distancia y la latencia, aprovechando las infraestructuras existentes y considerando la topografía del terreno. El trazado del enlace incluye varios puntos clave que aseguran la cobertura y la fiabilidad del servicio. El punto de partida es en la ciudad de Ibarra, desde la calle Calixto Miranda y Avenida Atahualpa, donde la infraestructura de fibra óptica se conecta a la red existente de la ciudad. A lo largo de la ruta, se sigue un trazado optimizado que incluye el uso de postes y estructuras de soporte aéreas existentes, minimizando la necesidad de nuevas construcciones y reduciendo los costos. A lo largo del enlace, se implementarán empalmes de fibra óptica por fusión para asegurar una mínima pérdida de señal y mantener la calidad de la transmisión. La división del tramo Ibarra-Atuntaqui se evidencia en la Tabla 10, donde se encuentra dividido en subtramos que van desde las oficinas de PLUS en Ibarra, hasta las oficinas de la empresa en la ciudad de Atuntaqui, donde

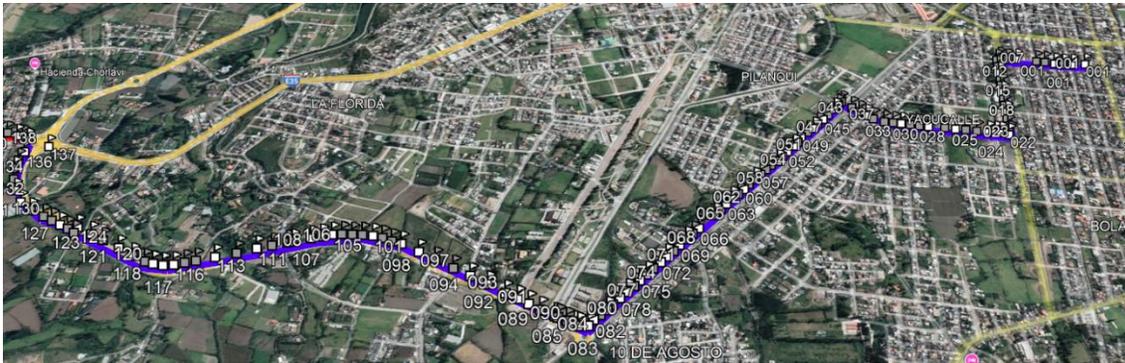
se integra con la infraestructura local de telecomunicaciones para distribuir los servicios de datos y comunicación, la subdivisión de tramos se muestra de la Figura 9 hasta la Figura 13.

**Tabla 10**

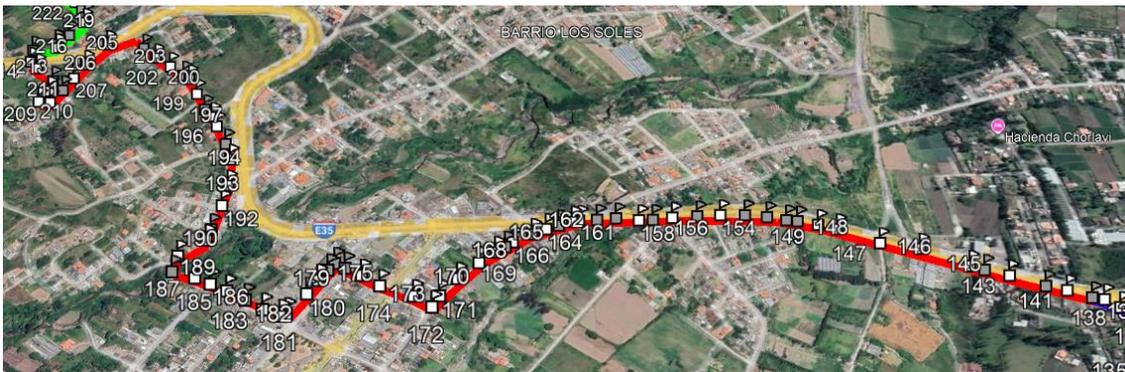
*Tramos recorrido Ibarra-Atuntaqui*

<b>Nro.</b>	<b>Punto de Partida / Destino</b>	<b>Distancia Aproximada</b>
<b>SUBTRAMO</b>		
<b>SUBTRAMO 1</b>	CASA PLUS- E35 CHORLAVI	5.9KM
<b>SUBTRAMO 2</b>	E35 CHORLAVI-SAN ANTONIO	2.8KM
<b>SUBTRAMO 3</b>	SAN ANTONIO-CHALTURA	4KM
<b>SUBTRAMO 4</b>	CHALTURA-NATABUELA- ATUNTAQUI	3.4KM

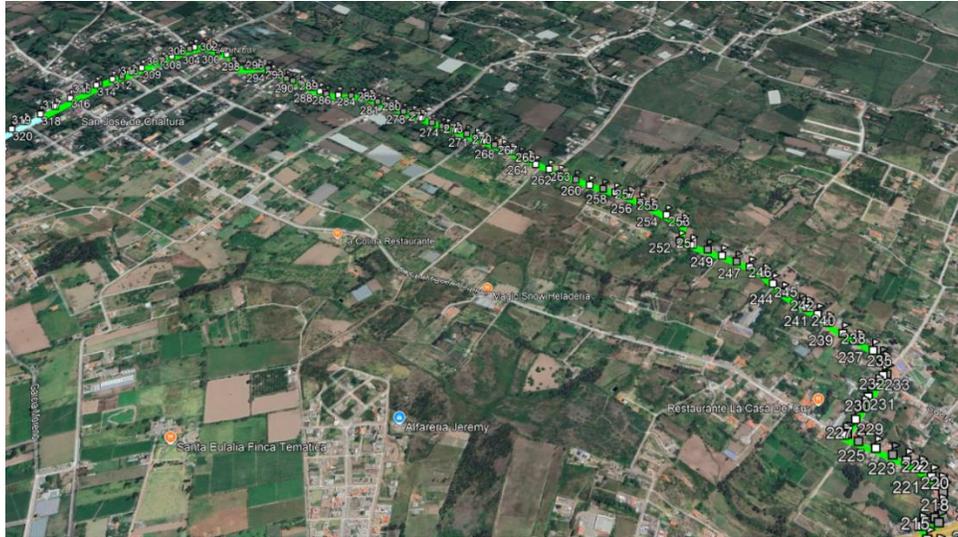
*Nota.* Las descripciones de las localidades y vías ayudan a seguir el recorrido exacto y a planificar las etapas de instalación y mantenimiento de la infraestructura de telecomunicaciones.

**Figura 11****Enlace troncal Ibarra-Atuntaqui Subtramo 1**

*Nota.* En la figura se muestra la subdivisión de tramos del enlace de Ibarra a Atuntaqui, en este caso es el subtramo 1 el cual se extiende a través del periférico Sur la cual conecta con la troncal de la Sierra E35, hasta frente a la entrada de la Hacienda Chorlavi.

**Figura 12****Enlace troncal Ibarra-Atuntaqui Subtramo 2**

*Nota.* Continuando el subtramo dos, el cual se extiende desde frente de la entrada de la Hacienda Chorlavi, continua por la E35, hasta San Antonio donde ingresa a la parroquia, hasta llegar al cruce con Chaltura.

**Figura 13***Enlace troncal Ibarra-Atuntaqui Subtramo 3*

*Nota.* El subtramo tres del enlace se extiende a través de Chaltura, parroquia perteneciente a Atuntaqui,

**Figura 14***Enlace troncal Ibarra-Atuntaqui Subtramo 4*

*Nota.* El subtramo cuatro del enlace se extiende a través de Natabuela, hasta llegar a la oficina de PLUS en Atuntaqui.

El trayecto total desde la oficina de PLUS en Ibarra, hasta las oficinas de ATUNTAQUI, pasando por San Antonio, Chaltura y Natabuela, sigue principalmente carreteras paralelas a la carretera E35. Este trayecto cubre varias paradas clave y puntos intermedios, asegurando una cobertura completa y una instalación eficiente de la fibra óptica. Las coordenadas proporcionadas ayudan a seguir el recorrido exacto y a planificar las etapas de instalación y mantenimiento de la infraestructura de telecomunicaciones.

#### **4.2.2. Tramo Atuntaqui-Otavaló**

La división del tramo Atuntaqui-Otavaló se evidencia en la Tabla 11, donde se encuentra dividido en subtramos que van desde las oficinas de PLUS en Atuntaqui, hasta las oficinas de la empresa en la ciudad de Otavaló, donde se integrara con la infraestructura local de telecomunicaciones para distribuir los servicios de datos y comunicación, la subdivisión de tramos se muestra de la Figura 14 hasta la Figura 17.

**Tabla 11**

*Tramos recorrido Atuntaqui-Otavaló*

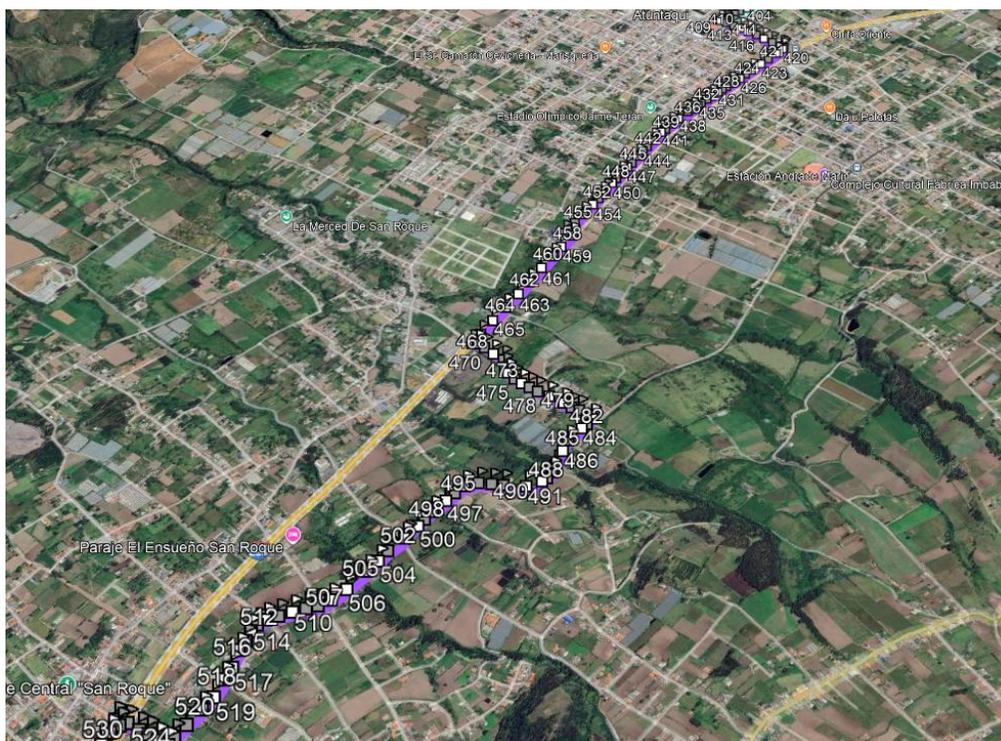
<b>Nro.</b>	<b>Punto de Partida / Destino</b>	<b>Distancia Aproximada</b>
<b>SUBTRAMO</b>		
<b>SUBTRAMO 1</b>	PLUS ATUNTAQUI- SAN ROQUE	5.1KM
<b>SUBTRAMO 2</b>	SAN ROQUE-ILUMAN	3KM

<b>SUBTRAMO 3</b>	<b>ILUMAN-PEGUCHE</b>	<b>3.3KM</b>
<b>SUBTRAMO 4</b>	<b>PEGUCHE-PLUS OTAVALO</b>	<b>3.7KM</b>

*Nota.* Las descripciones de las localidades y vías ayudan a seguir el recorrido exacto y a planificar las etapas de instalación y mantenimiento de la infraestructura de telecomunicaciones.

### Figura 15

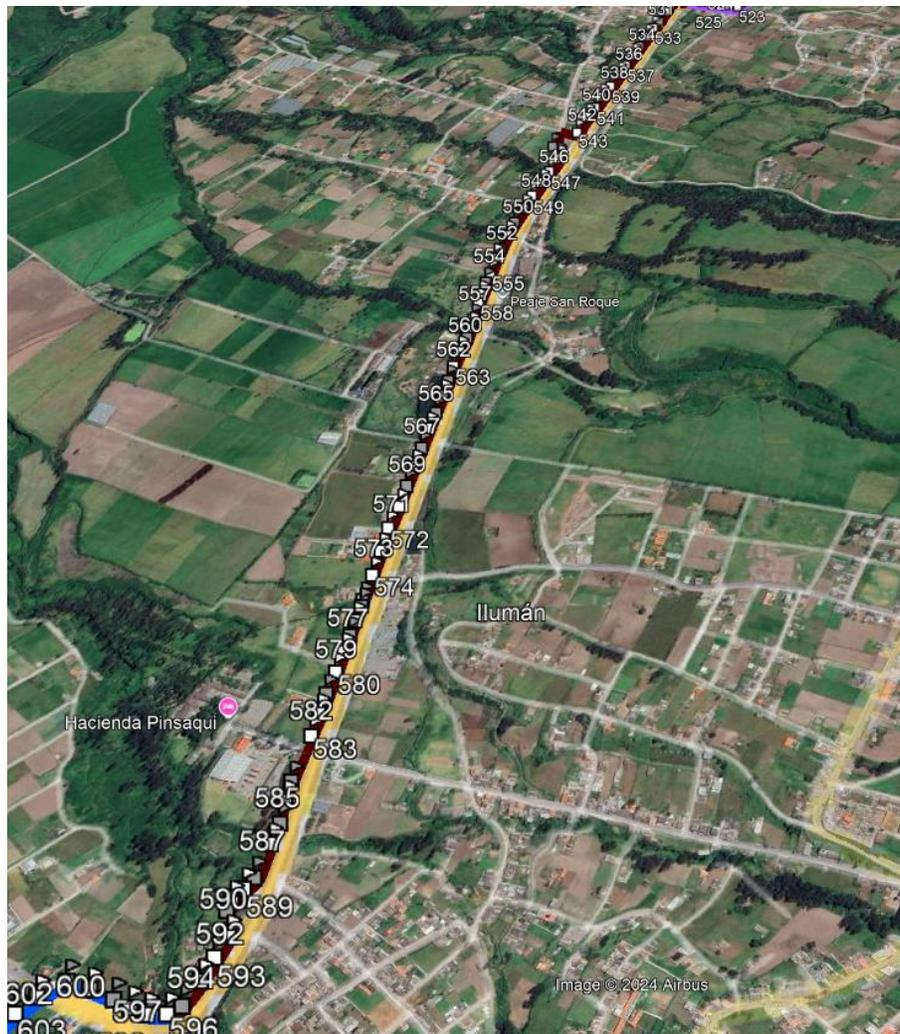
#### *Enlace troncal Atuntaqui-Otavaló Subtramo 1*



*Nota.* En la segunda etapa del enlace troncal, se extiende desde la sucursal de PLUS en Atuntaqui hasta la sucursal de PLUS Otavaló, de igual manera se subdivide el tramo en subtramos para facilitar la caracterización de este. El primer subtramo se extiende desde las oficinas de PLUS en Atuntaqui, hasta San Roque, por una vía alterna a la Autopista E35.

**Figura 16**

*Enlace troncal Atuntaqui-Otavalo Subtramo 2*



*Nota.* Continuando con el subtramo dos el cual se extiende por la Autopista E35, de San Roque hasta la entrada a Ilumán.

**Figura 17**

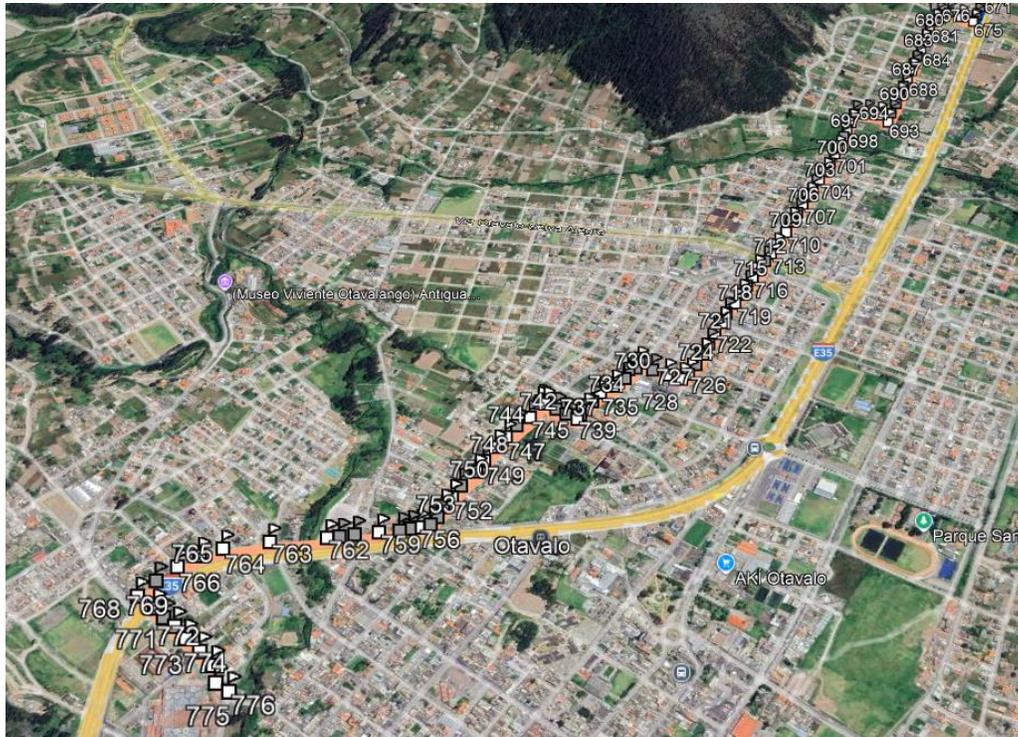
*Enlace troncal Atuntaqui-Otavalo Subtramo 3*



*Nota.* El subtramo tres se extiende a través de Ilumán hasta la entrada a la comunidad de Peguche.

**Figura 18**

*Enlace troncal Atuntaqui-Otavallo Subtramo 4*



*Nota.* El siguiente subtramo se extiende desde la entrada de Peguche, ingresa a la ciudad de Otavalo, hasta llegar al Mercado donde se encuentran las oficinas de PLUS Otavalo.

### **4.3. Planimetría**

#### **4.3.1. Postes y Estructuras de Soporte**

Ubicación de los postes y estructuras de soporte aéreas existentes que se utilizarán. En el Anexo B. se encuentran la georeferenciación de los postes pertenecientes a la ruta del enlace troncal.

### ***4.3.2. Puntos de Empalme y Conexión***

Ubicación de Empalmes: Puntos específicos donde se realizarán los empalmes de fibra óptica cada 4000 metros aproximadamente. En la figura 18 y 19 se muestran gráficamente la ubicación de los empalmes del enlace troncal.

#### **Empalme 1**

- **Ubicación:** Corredor Periférico Sur Ibarra a Chaltura.
- **Coordenadas:** 17 N 817859 36742

#### **Empalme 2**

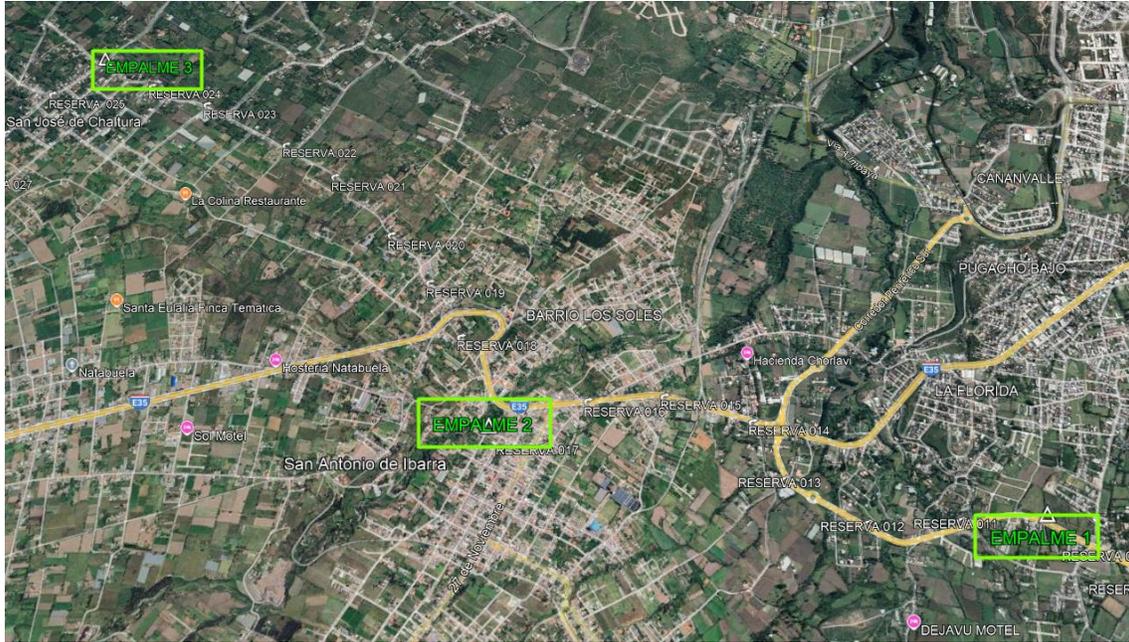
- **Ubicación:** En Chaltura, a lo largo de la Panamericana Norte (E35).
- **Coordenadas:** 17 N 814853 37231

#### **Empalme 3**

- **Ubicación:** En Natabuela, siguiendo la E35 hacia el sur.
- **Coordenadas:** 17 N 812383 39633

**Figura 19**

*Empalmes ubicados en el tramo Ibarra-Atuntaqui*



*Nota.* En la figura se muestran gráficamente la ubicación de los empalmes que se ubican en el primer tramo del enlace trocal (Ibarra-Atuntaqui), anterior a la imagen se encuentran las coordenadas y ubicaciones de los empalmes.

#### **Empalme 4**

- **Ubicación:** Autopista Troncal de la Sierra E35, cerca al estadio Olímpico Jaime Terán de la ciudad de Atuntaqui
- **Coordenadas:** 17 N 810044 36769

#### **Empalme 5**

- **Ubicación:** Sector Estación de Tren San Roque
- **Coordenadas:** 17 N 808810 33904

#### **Empalme 6**



### 4.3.3. Ubicación de Reservas

Ubicación de reservas: Puntos específicos donde se ubicarán las reservas de fibra óptica de 30 metros cada una. La ubicación y el tramo al que pertenece se encuentra en la Tabla 12 para la primera parte del tramo, y en la Tabla 13 para el tramo siguiente.

**Tabla 12**

*Reservas ubicadas en el tramo Ibarra-Atuntaqui*

<b>RESERVAS TRAMO IBARRA-ATUNTAQUI</b>		
<b>Nro. RESERVA</b>	<b>UBICACION</b>	<b>TRAMO</b>
1		
2		
3		
4	CASA PLUS (CALIXTO MIRANDA	
5	Y AV ATAHUALPA)- INICIO DEL	IBARRA-ATUNTAQUI
6	PERIFERICO SUR	
7		
8		
9		
10		
11	PERIFERICO SUR	IBARRA-ATUNTAQUI
12		
13		
14		
15		
16	TRONCAL DE LA SIERRA E35-	
17	SAN ANTONIO	IBARRA-ATUNTAQUI
18		

19		
20		
21		
22	CRUCE CHALTURA-NATABUELA	IBARRA-ATUNTAQUI
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29	NATABUELA- OFICINAS PLUS	IBARRA-ATUNTAQUI
30	ATUNTAQUI	
31		
32		
33		

Nota. En la tabla se muestran el número de reservas ubicadas en el tramo Ibarra-Atuntaqui con su respectiva ubicación.

**Tabla 13**

*Reservas ubicadas en el tramo Atuntaqui-Otavalo*

<b>RESERVAS TRAMO ATUNTAQUI-OTAVALO</b>		
<b>Nro. RESERVA</b>	<b>UBICACION</b>	<b>TRAMO</b>
34		
35	PLUS ATUNTAQUI-	ATUNTAQUI-OTAVALO
36	GASOLINERA PRIMAX	
37		
38		ATUNTAQUI-OTAVALO

39		
40		
41	SUBIDA GASOLINERA PRIMAX-	
42	ESTACION DEL TREN SAN	
43	ROQUE	
44		
45		
46		
47		
48	SAN ROQUE- E35-	
49	INTERCAMBIADOR COTACACHI	ATUNTAQUI-OTAVALO
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57	ILUMAN-PEGUCHE-OTAVALO-	
58	OFICINAS PLUS OTAVALO	ATUNTAQUI-OTAVALO
59		
60		
61		
62		

Nota. En la tabla se muestran el número de reservas ubicadas en el tramo Ibarra-Atuntaqui con su respectiva ubicación.

#### 4.4. Volúmenes de obra

##### 4.4.1. Longitud del Enlace

Total, de Kilómetros: Una vez que se exporto los datos obtenidos por el software de GPS y se exporto los datos a Mapsource se puede delimitar la distancia de los tramos que constituyen el enlace troncal estas mediciones se encuentran en las Tabla 14 que se expone a continuación.

**Tabla 14**

*Longitud total del enlace en kilómetros*

<b>Nro. TRAMO</b>	<b>LOCALIZACION</b>	<b>DISTANCIA (KM)</b>
TRAMO 1	IBARRA-ATUNTAQUI	15.9 KM
TRAMO 2	ATUNTAQUI-OTAVALO	15.2 KM
<b>TOTAL</b>		<b>31.10 KM</b>

*Nota.* En la tabla se indica el numero tramo correspondiente, la localización, la distancia en kilómetros.

Segmentos por Tramo: De acuerdo con las medidas tomadas en el proceso de geolocalización y una vez que se delimito los subtramos de los dos tramos principales cuya subdivisión se puede visualizar en la Tabla 10, la segmentación del tramo Ibarra-Atuntaqui y en la Tabla 11 para la segmentación de tramos Atuntaqui-Otavaló.

##### 4.4.2. Cantidad de Cable de Fibra Óptica

Metraje Total: Para determinar la cantidad total de cable de fibra óptica que se utilizara en el enlace troncal se tomara en cuenta la longitud del enlace que se evidencia en la Tabla 14 y la cantidad de cable de fibra óptica que se utilizara en las reservas que se

encuentran expuestas en la Tabla 12 y Tabla 13 correspondiente a los tramos Ibarra-Atuntaqui y Atuntaqui Otavalo, respectivamente.

**Tabla 15**

*Cantidad de cable de fibra óptica*

TRAMO	METROS DE CABLE DE FO POR TRAMO	RESERVAS		TOTAL, DE
		Nro. RESERVAS	METRO DE CABLE FO USADO EN RESERVAS	METROS DE FO POR TRAMO
IBARRA- ATUNTAQUI	15900 m	33	990 m	19890 m
ATUNTAQUI- OTAVALO	15200 m	29	870 m	16070 m
<b>TOTAL, DE METROS DE FIBRA OPTICA A UTILIZARSE</b>				<b>35960 m</b>

Nota: En la tabla se expone la cantidad de fibra óptica, tomando en cuenta el número de reservas y la distancia de los tramos

#### **4.4.3. Postes y Estructuras de Soporte**

Número de Postes Existentes: En el contexto del diseño de redes de telecomunicaciones, la reutilización de infraestructuras existentes, como los postes de las empresas de distribución eléctrica, es una estrategia clave para optimizar recursos y reducir costes. En este caso, se identificó que un total de 773 postes propiedad de la compañía eléctrica EMELNORTE pueden reutilizarse para el despliegue de la red. Este planteamiento no sólo contribuye a minimizar el impacto ambiental al evitar la instalación de nuevos postes, sino que también acelera considerablemente los plazos de ejecución del proyecto. Además, al aprovechar una infraestructura ya establecida, se garantiza la compatibilidad estructural y

normativa, lo que facilita la instalación de elementos como cables de fibra óptica, antenas y otros equipos necesarios para la conectividad de telecomunicaciones, cumpliendo las normas exigidas y garantizando la estabilidad a largo plazo de las implantaciones. La información sobre la geo referencias de los postes existentes se encuentran en el ANEXO B.

Número de Postes Nuevos: Cantidad de postes nuevos que se instalarán. En el tramo correspondiente a Atuntaqui-Otavaló, se identifican un total de tres postes proyectados con ubicaciones específicas determinadas por sus coordenadas UTM. Estos postes son estratégicamente diseñados para complementar la infraestructura existente y asegurar la continuidad del sistema de telecomunicaciones. Las posiciones de los postes proyectados se exponen en la Tabla

**Tabla 16**

*Información sobre postes proyectados*

<b>NUMERO DE POSTE</b>	<b>COORDENADAS UTM</b>			<b>TRAMO</b>
512	17S	808397	33570	ATUNTAQUI- OTAVALO
515	17S	808351	33500	
518	17S	808308	33376	

Nota. presenta información sobre tres postes proyectados en el tramo Atuntaqui-Otavaló, detallando su identificación por número de poste y sus respectivas coordenadas UTM.

#### **4.5. Esquemas de conexión**

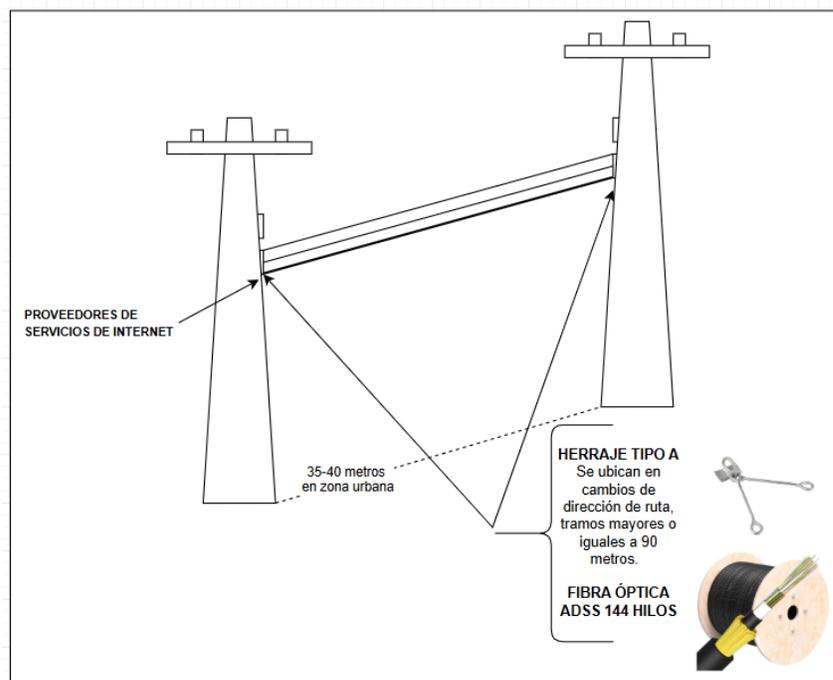
##### **4.5.1. Conexión poste a poste**

La figura 20 muestra un esquema de instalación de fibra óptica ADSS de 144 hilos en postes de infraestructura eléctrica, donde se muestran las líneas de alta tensión o trifásica

ubicadas en la parte superior y las de baja tensión o bifásica en un nivel inferior. Además, se identifican los cables destinados a servicios de empresas públicas y proveedores de internet. Se especifica el uso del herraje tipo A, el cual se coloca en cambios de dirección de ruta o en tramos de 90 metros o más para garantizar el soporte adecuado del cableado. La fibra óptica ADSS, al ser dieléctrica y autosostenida, permite su instalación en la infraestructura eléctrica sin riesgo de interferencias, asegurando la conectividad en áreas urbanas.

**Figura 21**

*Conexión poste a poste del enlace troncal.*



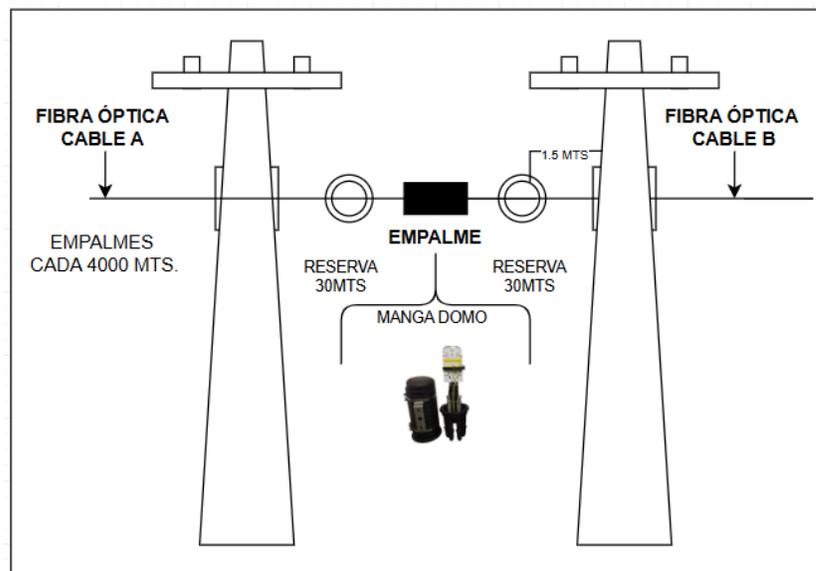
#### 4.5.2. Conexión empalme

La figura muestra un esquema de empalme de fibra óptica en una infraestructura de postes eléctricos, donde se conectan dos tramos de cable de fibra óptica, denominados como "Cable A" y "Cable B". Se indica que los empalmes se realizan cada 4000 metros, asegurando la continuidad de la red. En el punto de empalme, se reserva un tramo de 30 metros de fibra

óptica a cada lado para facilitar futuras intervenciones o mantenimientos. La unión de los cables se realiza mediante una manga tipo domo, la cual proporciona protección mecánica y ambiental al empalme. Además, se especifica que la distancia entre los puntos de sujeción del empalme es de 1.5 metros, garantizando una instalación segura y estable en la infraestructura de soporte.

**Figura 22**

*Conexión y partes de un empalme*



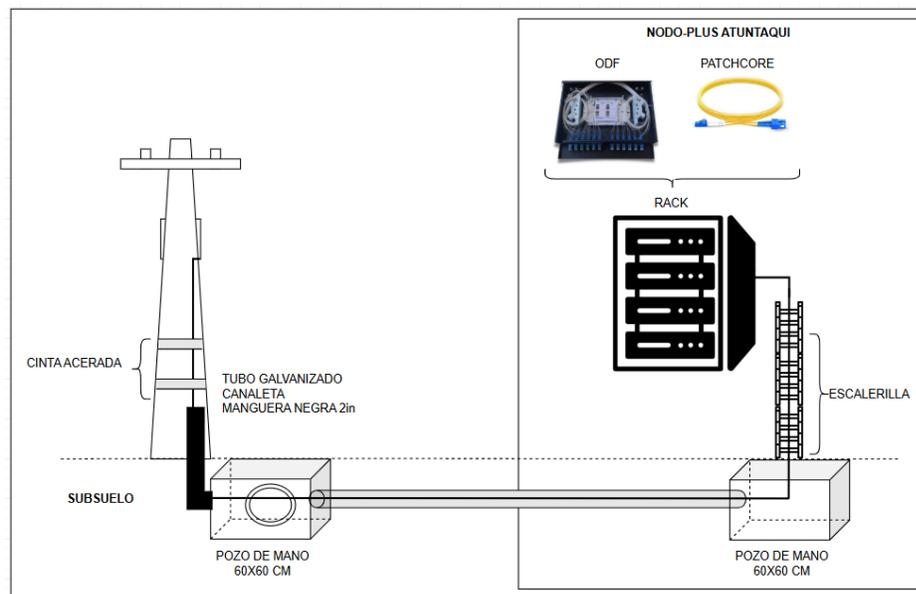
#### **4.5.3. Conexión de llegada al nodo**

La figura 22 muestra un esquema de instalación de fibra óptica en la cual se conecta un poste con el NODO-PLUS ATUNTAQUI. La fibra óptica se despliega desde el poste mediante una cinta acerada y desciende a través de un tubo galvanizado, canaleta y una manguera negra de 2 pulgadas de diámetro hasta el subsuelo. La infraestructura subterránea incluye pozos de mano de dimensiones 60x60 cm, utilizados para facilitar la instalación, inspección y mantenimiento del cableado. La fibra óptica llega a un rack ubicado en el nodo,

donde es organizada mediante una escalera de cables o escalerilla. Dentro del nodo se encuentran componentes como el ODF (Optical Distribution Frame), encargado de la distribución y gestión de la fibra óptica, y los patchcords, que permiten la conexión entre equipos de red. Este diseño garantiza una conexión segura y eficiente del cableado de fibra óptica desde la infraestructura exterior hasta el nodo de red.

**Figura 23**

*Conexión de llegada al nodo de Atuntaqui*



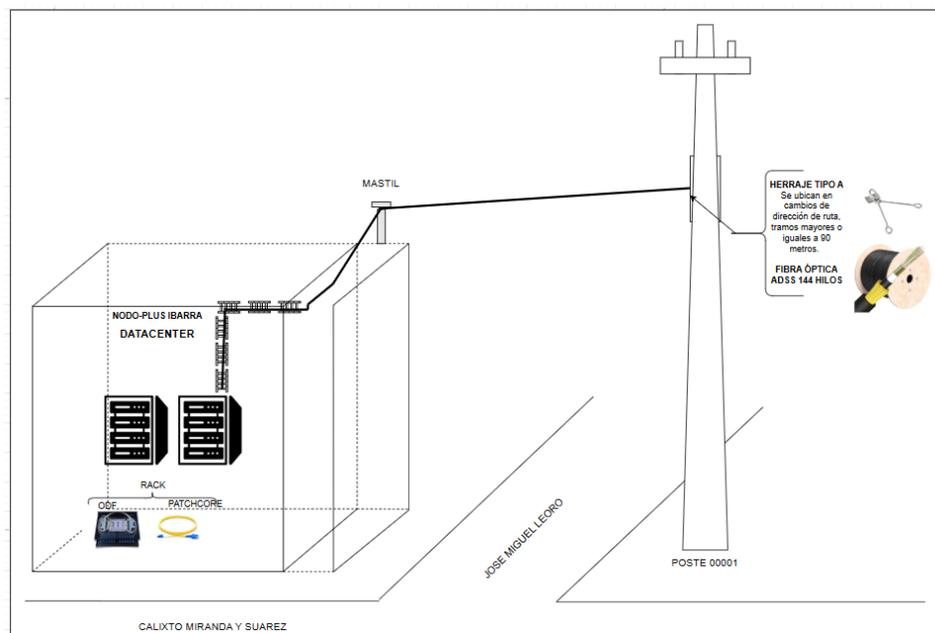
#### **4.5.4. Conexión inicio del enlace troncal**

La figura 23 muestra el esquema de conexión del inicio del enlace troncal de fibra óptica desde un poste de infraestructura eléctrica hasta el NODO-PLUS IBARRA DATACENTER. La conexión se realiza utilizando fibra óptica ADSS de 144 hilos, la cual es soportada mediante un mástil instalado en la edificación del datacenter. En el poste se coloca un herraje tipo A, el cual se utiliza en cambios de dirección de ruta o en tramos mayores o iguales a 90 metros para asegurar la estabilidad de la fibra.

Dentro del datacenter, la fibra óptica se organiza en un rack que contiene un ODF (Optical Distribution Frame) y patchcords, los cuales permiten la conexión de los equipos de red a la infraestructura de fibra óptica. La conexión se realiza a través de una escalerilla que guía el cableado desde el mástil hasta el rack. La ubicación de la infraestructura está señalizada en las calles Calixto Miranda y Suárez con José Miguel Leoro, garantizando un punto de referencia para futuras inspecciones o mantenimientos. Este diseño proporciona una solución estructurada para la conectividad del enlace troncal, asegurando una instalación eficiente y confiable.

**Figura 24**

*Conexión inicio del enlace troncal Nodo Ibarra*



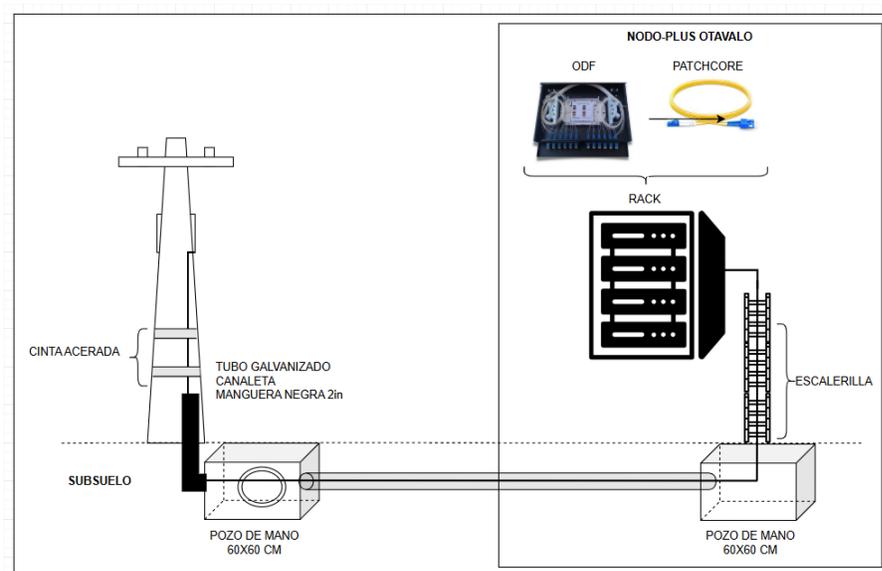
#### 4.5.5. Conexión final del enlace troncal

La figura 24 muestra el esquema de conexión final del enlace troncal de fibra óptica en el NODO-PLUS OTAVALO. La fibra óptica llega desde la infraestructura aérea a través

de una cinta acerada que la sujeta al poste y desciende mediante un tubo galvanizado, canaleta y una manguera negra de 2 pulgadas de diámetro hasta el subsuelo. En el subsuelo, el cableado se dirige a través de un pozo de mano de dimensiones 60x60 cm, que permite la inspección y el acceso para mantenimiento. El esquema es equivalente al esquema de la figura 22 debido a que de igual manera es la conexión de un nodo.

**Figura 25**

*Conexión final del enlace troncal en el nodo de Otavalo*



#### **4.5.6. Conexión soterrada hacia el nodo de Otavalo**

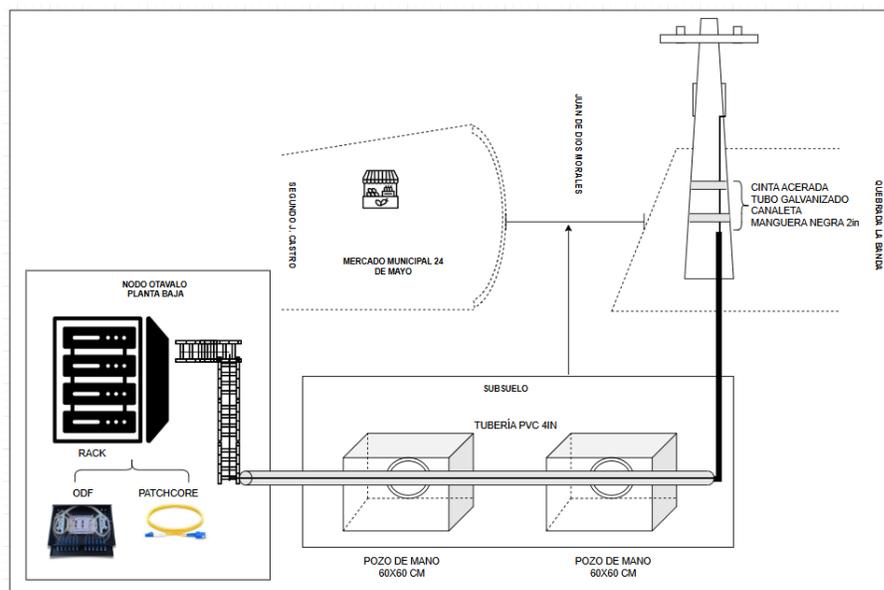
La figura 25 ilustra el esquema de conexión soterrada de fibra óptica hacia el Nodo Otavalo, detallando el recorrido desde la infraestructura aérea hasta el subsuelo. La fibra óptica desciende desde el poste a través de una cinta acerada, tubo galvanizado, canaleta y una manguera negra de 2 pulgadas, ingresando a la red subterránea. A nivel del subsuelo, el cableado se canaliza mediante una tubería de PVC de 4 pulgadas, pasando a través de dos

pozos de mano de dimensiones 60x60 cm, los cuales permiten el acceso para inspección y mantenimiento.

El trazado de la conexión atravesará la calle Juan de Dios Morales, hasta llegar a la planta baja del Mercado Municipal 24 de mayo, donde se encuentra el nodo de Otavalo. Esta conexión facilita la conectividad en la zona. Dentro del nodo, el cableado es organizado mediante una escalerilla hacia un rack, que aloja el ODF y los patchcords para la distribución y conexión de los equipos de red.

**Figura 26**

*Conexión soterrada hacia el nodo de Otavalo*



#### 4.6. Validación del diseño

De acuerdo con el **INSTRUCTIVO PARA LA ENTREGA DE LA INFORMACION GEO REFERENCIADA DE LAS REDES FISICAS DE LOS SERVICIOS DEL REGIMEN GENERAL DE TELCOMUNICACIONES Y REDES PRIVADAS (ANEXO C)** emitido por el ARCOTEL, el cual establece una metodología que

permita la entrega de información georreferenciada sobre las redes físicas utilizadas en los servicios del régimen general de telecomunicaciones, así como en redes privadas. Esto incluye redes de transporte, troncales, de distribución, de acceso, de última milla, acometidas y conexiones internacionales.

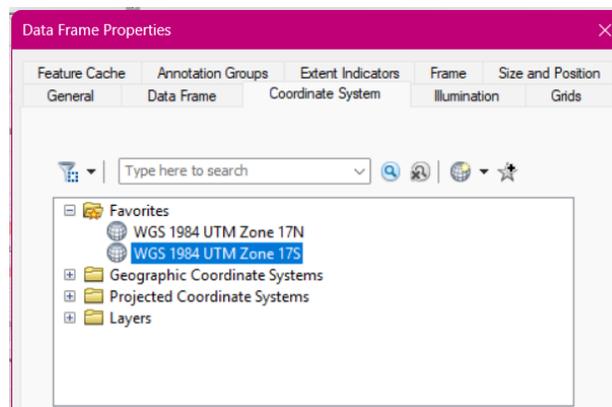
La validación del diseño planteado se hará en base al instructivo antes mencionado tomando en cuenta los parámetros que en este se exhiben.

#### 4.6.1. *Sistema de información geográfico y georeferenciación.*

La información geográfica del diseño está representada en el sistema de coordenadas UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM) y utiliza el DATUM WGS\_1984 ZONA 17S, haciendo uso de herramientas de software para sistemas de información geográfico.

#### **Figura 27**

*Sistema de coordenadas UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM), DATUM WGS\_1984 ZONA 17S*



*Nota.* Propiedades de data frame usadas dentro del software.

#### 4.6.2. Sistema de coordenadas geográficas para el Ecuador

La información geo referenciada se encuentra dentro de los límites geográficos establecidos por el instructivo, se puede evidenciar en el Anexo B: Georeferenciación de los postes pertenecientes a la ruta del enlace Troncal.

**Tabla 17**

*Límites establecidos para Ecuador Continental.*

<b>Latitud norte</b>	1°27'06"	160454.08 UTM (Y)
<b>Latitud sur</b>	5°0'56"	9445616.20 UTM (Y)
<b>Longitudes oeste</b>	75°11'49"	478091.95 UTM (X)
	81°0'40"	498768.31 UTM (X)

*Nota.* Límites establecidos para Ecuador Continental. De acuerdo con el instructivo de Georeferenciación planteada por ARCOTEL.

#### 4.6.3. Utilización de herramientas de software para georeferenciación

En base a lo expuesto en el instructivo se hará uso del software ARCGIS DESKTOP.

En un sistema de información geográfica (GIS), las capas o layers deben representarse gráficamente mediante puntos y líneas. La información gráfica de estas capas estará asociada a una base de datos que incluirá los siguientes campos:

##### 4.6.3.1. Capas de Puntos de enlace

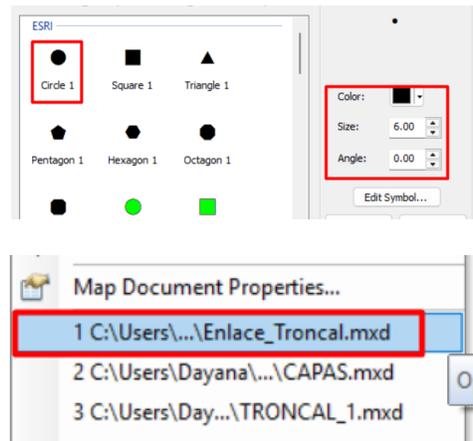
Está representada por una capa de puntos. Los cuales son todos los dispositivos y elementos de la red. En este caso son los postes correspondientes a cada tramo, se debe crear una capa de puntos considerando la posición geo referenciada de las capas de postes. A continuación, se describen las características que debe cumplir esta capa.

- Postes: círculo de color negro con una dimensión de 6 unidades.

- Formato de archivo: mxd

**Figura 28**

*Características Capas de puntos de enlace*



*Nota.* En las figuras se muestran las características expuestas dentro del instructivo.

Esta capa contendrá los siguientes campos, los cuales no podrán ser alterados, modificados o cambiados. Los campos mencionados se van llenando dentro del software ARCGIS y posteriormente se exporta los datos a Excel. ANEXO F.

**Tabla 18**

Tabla de atributos de puntos de enlace

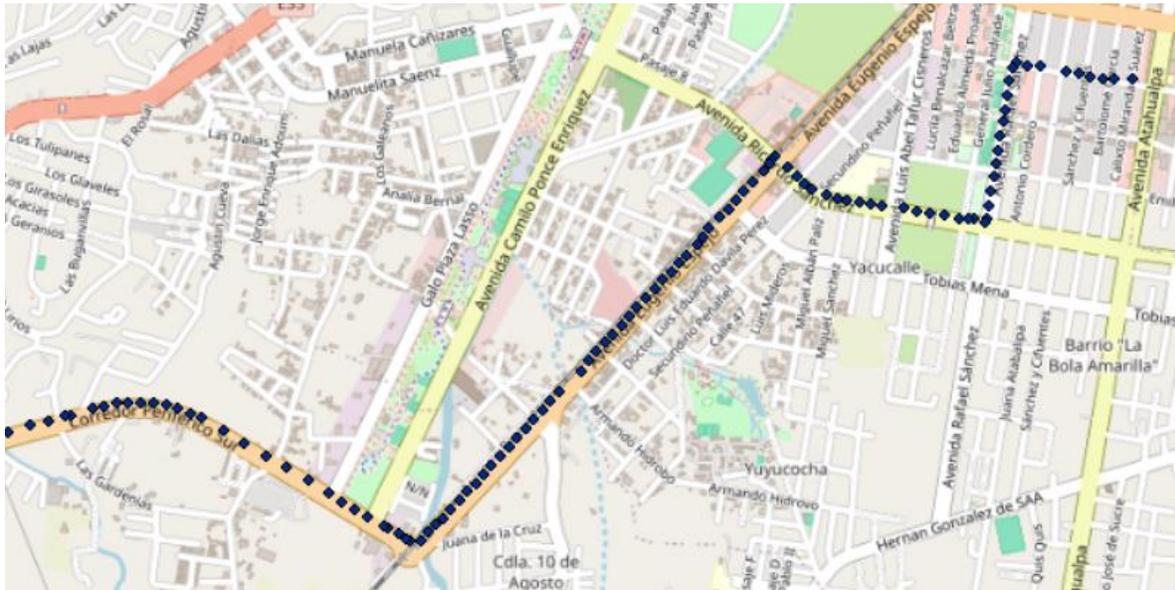
Puntos_enlace																				
FID	Shape	Id	cod_punto	prop_poste	iden	cod_prov	cod_cant	cod_parr	provincia	canton	parroquia	direccj	longitud	latitud	operadora	estado	tipo_servi	tipo_punto	desc_punto	situacion
0	Point	0	00001	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820532	10037717	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
1	Point	0	00002	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820479	10037715	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
2	Point	0	00003	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820444	10037718	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
3	Point	0	00004	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820411	10037723	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
4	Point	0	00005	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820376	10037734	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
5	Point	0	00006	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820343	10037739	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
6	Point	0	00007	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820266	10037753	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
7	Point	0	00008	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820228	10037754	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
8	Point	0	00009	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820198	10037765	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
9	Point	0	00010	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820185	10037751	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
10	Point	0	00011	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820178	10037710	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
11	Point	0	00012	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820172	10037670	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
12	Point	0	00013	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820164	10037626	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	
13	Point	0	00014	emeinorte	10	01	50	imbabura	ibarra	san_miguel_de_ibarra		820158	10037594	emeinorte	aereo	sai	poste	herraje	r	

*Nota.* En la tabla se exponen los campos que se encuentran en el instructivo y hacen parte de los datos necesarios sobre los puntos de enlace.

Con los datos de la tabla, los parámetros de señalización que se exponen en el instructivo la capa de puntos de enlace se encuentran representada por a figura 28.

**Figura 29**

*Capas de Puntos de enlace*

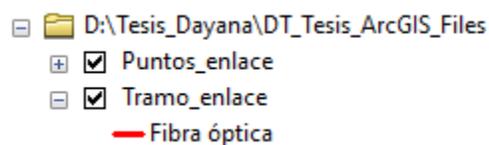


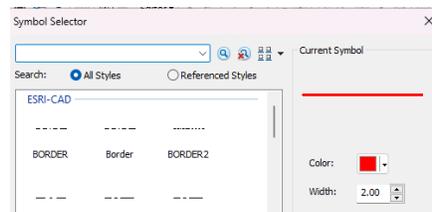
#### 4.6.3.2. Capas Tramos de enlace

Esta capa se encuentra representada por líneas, las cuales son el resultado de unir la capa de puntos creada anteriormente, esta capa indica los cables o ductos utilizados dentro de una red de transporte, troncal, de distribución o acceso. En este caso el formato de líneas para el proyecto serán líneas continuas de color rojo representando que se trata de un cable de fibra óptica.

**Figura 30**

*Características Capas tramos de enlace*



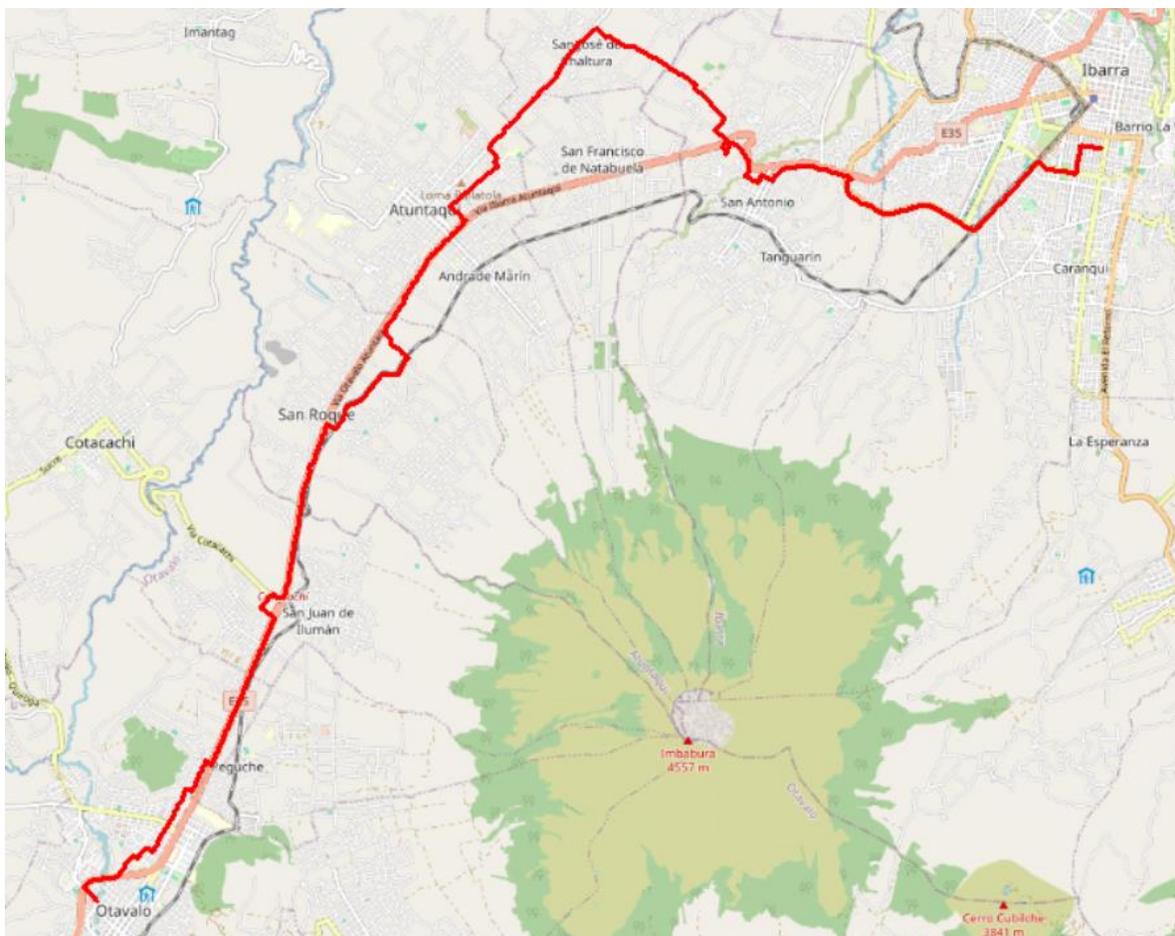


*Nota.* En las figuras se muestran las características expuestas dentro del instructivo para las capas tramos de enlace.

Una vez aplicados los parámetros que indica el instructivo, el diseño del enlace troncal de fibra óptica se muestra como en la figura 30.

### Figura 31

Capa tramos de fibra óptica- Enlace troncal



*Nota.* Capa tramos de enlace representada en ARCGIS

**Tabla 19**

*Cumplimiento de requerimientos de acuerdo con el instructivo de presentación de la información georreferenciada de las redes físicas de los servicios del régimen general de telecomunicaciones y redes privadas,*

ID	REQUERIMIENTO	DETALLE	ESTADO	
			CUMPLE	NO CUMPLE
RQ_1	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO Y GEOREFERENCIACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenadas UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)</li> <li>• DATUM WGS_1984 ZONA 17S.</li> <li>• ARCGIS DESKTOP/QUATUM GIS</li> </ul>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RQ_2	SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS PARA EL ECUADOR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Información válida dentro de los límites geográficos para el Ecuador</li> </ul>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RQ_3	UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SOFTWARE PARA GEOREFERENCIACIÓN: Capas de Puntos de Enlace	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se considera puntos a todos los dispositivos, elementos de red (equipos activos, pasivos)</li> </ul>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**RQ\_4 UTILIZACIÓN DE  
HERRAMIENTAS DE  
SOFTWARE PARA  
GEOREFERENCIACIÓN:  
Capas de Puntos de tramos  
de enlace**

- El formato de los puntos para el proyecto. mxd
- Postes: círculo de color negro con una dimensión de 6 unidades.
- La capa cumple con los 18 campos presentes dentro del instructivo
- Está representada por líneas, Se considerarán como líneas a los tramos que resultan de unir la capa de puntos creada y representan los cables y ductos.
- El formato de las líneas para el proyecto. mxd
- Fibra óptica: líneas continuas de color rojo con un ancho de 2 unidades.
- La capa cumple con los 27 campos presentes dentro del instructivo



#### ***4.6.4. Análisis de factibilidad de enlace troncal***

La implementación del enlace troncal Ibarra-Atuntaqui-Otavalo requiere una evaluación detallada de la viabilidad técnica en función de los siguientes aspectos:

##### **Disponibilidad de Tecnología**

La fibra óptica seleccionada (G.652.D ADSS) es ampliamente utilizada en proyectos de telecomunicaciones y cumple con las normativas ITU-T.

Los equipos de red propuestos (MikroTik y Cisco) son compatibles con IPv6 y ofrecen un alto rendimiento para el tráfico esperado.

##### **Capacidad Técnica del Equipo Humano**

AIRMAXTELECOM cuenta con un equipo técnico capacitado para la instalación y mantenimiento de infraestructuras de fibra óptica, aunque podría ser necesario un refuerzo especializado para la instalación aérea y el empalme de fibra óptica.

##### **Infraestructura Existente**

Se pueden reutilizar postes existentes para minimizar costos y tiempos de instalación.

La geografía del terreno no presenta grandes barreras para la instalación aérea del cableado, aparte del tramo del enlace que va por las vías del tren en la vía a San Roque.

##### **Evaluación de Recursos Necesarios**

En la tabla 19 se exponen los valores referenciales de los recursos necesarios para el enlace troncal.

**Tabla 20***Costos estimados de fibra óptica y accesorios*

<b>IMPLEMENTO</b>	<b>CANTIDAD ESTIMADA</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>COSTO</b>		<b>COSTO TOTAL (USD)</b>	
			<b>UNITARIO (USD)</b>			
FIBRAOPTICA MONOMODO ADSS						
G.652.D	50000	METROS	\$1.50	\$2.00	\$75,000.00	\$100,000.00
PATCH CORDS G657A2 SC/APC	200	UNIDADES	\$15.00	\$20.00	\$3,000.00	\$4,000.00
PIGTAIL CONNECTOR G657A2						
SC/APC	200	UNIDADES	\$5.00	\$10.00	\$1,000.00	\$2,000.00
HERRAJES PARA CABLE DE FIBRA						
OPTICA ADSS						
TIPO A DE ABRAZADERA	800	UNIDADES	\$40.00	\$45.00	\$32,000.00	\$36,000.00
HERRAJES PARA CABLE DE FIBRA						
OPTICA ADSS						
TIPO B	90	UNIDADES	\$7.00	\$8.00	\$630.00	\$720.00
HERRAJE TIPO FAROL	20	UNIDADES	\$35.00	\$40.00	\$700.00	\$800.00
HERRAJES PARA CRUCE						
AMERICANO	10	UNIDADES	\$2.50	\$3.50	\$25.00	\$35.00
PREFORMADOS	1600	UNIDADES	\$3.00	\$5.00	\$4,800.00	\$8,000.00
AMARRAS 20CM	20	PAQUETES	\$6.00	\$7.00	\$120.00	\$140.00
MANGAS DE EMPALME PARA						
FIBRA ÓPTICA DE 144 HILOS	10	UNIDADES	\$180.00	\$200.00	\$1,800.00	\$2,000.00
EMPALMES DE FIBRAOPTICA POR						
FUSION	10	UNIDADES	\$20.00	\$50.00	\$200.00	\$500.00

ARRENDAMIENTO DE POSTERIA						
POR MES	773		\$0.90	\$0.90	\$695.70	\$695.70
POSTES Y ESTRUCTURAS DE						
SOPORTE	4	UNIDADES	\$380.00	\$300.00	\$1,520.00	\$1,200.00
CINTA ACERADA 3/4"	14	ROLLO	\$18.00	\$20.00	\$252.00	\$280.00
ETIQUETAS ACRILICAS	800	UNIDADES	\$0.35	\$0.50	\$280.00	\$400.00
CABLE ACERADO	400	METROS	\$0.25	\$0.50	\$100.00	\$200.00
MANO DE OBRA POR METRO DE						
FIBRA	50000		\$0.65	\$0.65	\$32,500.00	\$32,500.00

---

Nota. Los valores referenciales son tomados de archivos de proyectos previos de despliegues de fibra realizados por la empresa.

### **Costos y Presupuesto**

El costo total estimado del proyecto está entre \$150,000 y \$200,000, lo que incluye materiales, equipos. Basado en el análisis técnico realizado, se concluye que: La implementación es técnicamente viable, siempre que se tomen en cuenta las recomendaciones de mitigación de riesgos y se gestione adecuadamente el proceso de adquisición e instalación. Se recomienda la implementación del enlace troncal, ya que proporcionará una infraestructura de red robusta, escalable y capaz de satisfacer la demanda de tráfico actual y futura en la región.

### **Cumplimiento de Normativas**

La implementación del enlace debe cumplir con las siguientes regulaciones:

#### ***Normativas Técnicas Internacionales:***

- ITU-T G.652.D para la fibra óptica.

#### ***Normativas Locales en Ecuador:***

- Regulaciones de la ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones).
- Normas de seguridad eléctrica y telecomunicaciones.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

La implementación del enlace troncal entre las ciudades de Ibarra, Atuntaqui y Otavalo permite centralizar la conectividad, reduciendo el desperdicio de ancho de banda y eliminando la necesidad de instalar carriers independientes en cada localidad. Esto no solo optimiza la infraestructura existente, sino que también mejora la eficiencia operativa y reduce los costos asociados al mantenimiento y expansión de la red.

La implementación de un único enlace troncal optimiza la infraestructura de red, debido a que la gestión centralizada permite una supervisión más efectiva, minimizando los tiempos de respuesta ante fallos y garantizando una mayor continuidad del servicio. Además, la consolidación del ancho de banda en un solo enlace optimiza la utilización de los recursos disponibles, evitando la fragmentación del tráfico y asegurando un mejor rendimiento en la transmisión de datos.

La propuesta técnica para el enlace troncal se desarrolló considerando todos los aspectos críticos identificados en las fases de análisis y levantamiento de requerimientos. El diseño incluyó una definición precisa de rutas, empalmes y reservas de fibra óptica, asegurando una infraestructura bien planificada y documentada. La segmentación del enlace en subtramos permitió una planificación detallada y la identificación de puntos clave para el monitoreo y mantenimiento.

El diseño del enlace troncal no solo se basó en la optimización técnica, sino también en la adaptabilidad al entorno geográfico y las condiciones locales. La metodología aérea seleccionada asegura una implementación rápida y flexible, aprovechando la infraestructura de posteraía existente lo cual reduce costos y tiempos de instalación. El uso de fibra óptica monomodo, con especificaciones ajustadas a las demandas del proyecto, asegura alta capacidad y baja atenuación, mejorando la eficiencia operativa de la red

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda a la empresa plantear un programa de mantenimiento periódico para la fibra óptica, equipos de red y estructuras de soporte. Esto garantizará que el enlace troncal en el caso que se implemente mantenga su desempeño óptimo frente a condiciones climáticas adversas y desgaste natural. En el cual se debería dar prioridad a la inspección y mantenimiento de puntos clave como empalmes, reservas y tramos con mayor exposición a riesgos ambientales o deterioro.

Es fundamental mantener actualizada la documentación y la georreferenciación de la infraestructura utilizando herramientas GIS, lo que permitirá una gestión eficiente de futuras expansiones y mantenimientos. Además, se debe garantizar el cumplimiento de la normativa ITU-T G.652.D para la fibra óptica, así como de las regulaciones locales establecidas por ARCOTEL en Ecuador, asegurando que la implementación se alinee con los estándares técnicos exigidos. Para ello, es recomendable realizar auditorías periódicas que verifiquen la correcta operación del enlace troncal, garantizando su calidad, seguridad y continuidad en el tiempo.

## REFERENCIAS

- Booker, G., Sprintson, A., Singh, C., & Guikema, S. (2008). Efficient availability evaluation for transport backbone networks. *2008 International Conference on Optical Network Design and Modeling*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ONDM.2008.4578386>
- Cablecel. (2019). *PIGTAIL SC/APC OS2 9/125 MONOMODO 1MT G657A2*. <https://www.cablecel.com/wp-content/uploads/2018/06/PIGTAIL-DE-FIBRA-SC-APC-1.pdf>
- Cao, S., Zheng, W., Mo, S., Jin, X., Dai, C., Fan, Z., Qu, Y., Zhou, J., & Deng, F. (2018). Access control of cloud users credible behavior based on IPv6. *2018 IEEE 3rd International Conference on Big Data Analysis (ICBDA)*, 303–308. <https://doi.org/10.1109/ICBDA.2018.8367697>
- Elliott, B. J., Elliott, B., & Gilmore, M. (2002). *Fiber Optic Cabling*. Newnes.
- Fiber Optic Patch Cords. (2018). *FIBRAEC Patch Cord Duplex 3M G657A2*. [https://drive.google.com/file/d/1N1w5nAPOpz7psVnNhXsaSLrSrwtTK03A/view?\\_ga=2.12694135.1917785849.1717520486-733747798.1717520486](https://drive.google.com/file/d/1N1w5nAPOpz7psVnNhXsaSLrSrwtTK03A/view?_ga=2.12694135.1917785849.1717520486-733747798.1717520486)
- Ginsberg, L., Decraene, B., Previdi, S., Xu, X., & Chunduri, U. (2016). *IS-IS Prefix Attributes for Extended IPv4 and IPv6 Reachability* (Request for Comments RFC 7794). Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC7794>

Hengtong Group. (2020). *Hengtong Group Annual Report. General Outdoor Optical Fiber Cable.* ADSS.

<http://www.hengtonggroup.com/en/public/upload/file/20201229/34860998fd12d362cecd10658bdc7797.pdf>

Hinden, B., & Deering, S. E. (1998). *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification* (Request for Comments RFC 2460). Internet Engineering Task Force.

<https://doi.org/10.17487/RFC2460>

Importtrade. (2018). *PREFORMADO 10.6-11.6 90CM.*

<https://www.importtrade.ec/product/preformado-10-6-11-6-90cm/>

Jain, N., Payal, A., & Jain, A. (2021). Performance Analysis of Routing Protocols On IPv4 and IPv6 Addressing Networks. *Journal of Web Engineering*, 20(5), 1389–1428.

<https://doi.org/10.13052/jwe1540-9589.2055>

Jastech S.A. (2022, March 24). *Herraje terminal Tipo A para cable de fibra óptica* › Jastech

S.A. <https://www.jastech.com.ec/producto/herraje-terminal-tipo-a-para-cable-de-fibra-optica/>

KHADIRI, K. E., LABOUIDYA, O., ELKAMOUN, N., & HILAL, R. (2018). Comparative Study Between Dynamic IPv6 Routing Protocols of Distance Vectors and Link

States. *2018 6th International Conference on Wireless Networks and Mobile*

*Communications (WINCOM)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/WINCOM.2018.8629745>

Lara Nuñez, D. F. (2009). *ESTUDIO PARA LA MIGRACIÓN DE IPV4 A IPV6 PARA LA EMPRESA PROVEEDORA DE INTERNET MILLTEC S.A.* [bachelorThesis].

Escuela Politécnica Nacional.

Lindem, A., Roy, A., Goethals, D., Vallem, V. R., & Baker, F. (2018). *OSPFv3 Link State Advertisement (LSA) Extensibility* (Request for Comments RFC 8362). Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC8362>

MAC Representaciones. (2022). Herraje tipo B cónico para cable de fibra óptica ADSS. *MAC Representaciones*. <https://macrepresentaciones.com/producto/herraje-tipo-b-conico-para-cable-de-fibra-optica-adss/>

McLeod, S. (2021). Feasibility studies for novel and complex projects: Principles synthesised through an integrative review. *Project Leadership and Society*, 2, 100022. <https://doi.org/10.1016/j.plas.2021.100022>

Montoro Mouzo, D., Piñero Escuer, P. J., Manzanares López, P., & Muñoz Gea, J. P. (2011). Monitorización de contratos Service Level Agreement en un entorno de negocio inter-ISP. *Jornadas de introducción a la investigación de la UPCT*, 4, 124–126.

Oduro-Gyimah, F. K., & Arthur, J. K. (2019). Modelling of an Optimised Intelligent System for Backbone Links (Terrestrial Microwave line-of-sight and Terrestrial fibre-optic) of Telecommunication Networks. *2019 International Conference on*

*Communications, Signal Processing and Networks (ICCSPN)*, 1–6.

<https://doi.org/10.1109/ICCSPN46366.2019.9150182>

Rios, E., Higuero, M., Larrucea, X., Rak, M., Casola, V., & Iturbe, E. (2022). Security and Privacy Service Level Agreement composition for Internet of Things systems on top of standard controls. *Computers & Electrical Engineering*, 98, 107690.

<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107690>

Rouse, M. (2018). *¿Qué es Acuerdo de nivel de servicio o SLA?* ComputerWeekly.es.

[https://www.computerweekly.com/es/definicion/Acuerdo-de-nivel-de-servicio-o-](https://www.computerweekly.com/es/definicion/Acuerdo-de-nivel-de-servicio-o-SLA)

[SLA](https://www.computerweekly.com/es/definicion/Acuerdo-de-nivel-de-servicio-o-SLA)

Savage, D., Ng, J., Moore, S., Slice, D., Paluch, P., & White, R. (2016). *Cisco's Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP)* (Request for Comments RFC 7868).

Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC7868>

Shand, M., & Ginsberg, L. (2014). *Reclassification of RFC 1142 to Historic* (Request for Comments RFC 7142). Internet Engineering Task Force.

<https://doi.org/10.17487/RFC7142>

Silex Fiber. (2016). *Cable Fibra Optica Monomodo SM G652D*. <https://silexfiber.com/wp-content/uploads/2018/11/Datasheet-silexfiber-G652D-v01.pdf>

- Ssegawa, J. K., & Muzinda, M. (2021). Feasibility Assessment Framework (FAF): A Systematic and Objective Approach for Assessing the Viability of a Project. *Procedia Computer Science*, 181, 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.180>
- Stallings, W. (2014). *Data and Computer Communications* (10th ed.). Pearson Education. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/data-and-computer-communications/P200000003353/9780137561704>
- Sun, J., Zhang, Y., Liu, F., Wang, H., Xu, X., & Li, Y. (2022). A survey on the placement of virtual network functions. *Journal of Network and Computer Applications*, 202, 103361. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2022.103361>
- Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de computadoras*. Editorial Alhambra S. A. (SP).
- Union Internacional de Telecomunicaciones. (2016). *G.652: Características de las fibras y cables ópticos monomodo*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I/es>
- Vallero, D. A. (2019). Chapter 36—Evaluating the Feasibility of Public Projects. In T. M. Letcher & D. A. Vallero (Eds.), *Waste (Second Edition)* (pp. 741–755). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815060-3.00036-0>
- Verma, D. C. (2004). Service level agreements on IP networks. *Proceedings of the IEEE*, 92(9), 1382–1388. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2004.832969>

Wijaya, C. (2011). Performance Analysis of Dynamic Routing Protocol EIGRP and OSPF in IPv4 and IPv6 Network. *2011 First International Conference on Informatics and Computational Intelligence*, 355–360. <https://doi.org/10.1109/ICI.2011.64>

## ANEXOS

**ANEXO A:** Formato de entrevista tomada al personal de la empresa.

### **Entrevista de Evaluación Técnica para la Implementación del Enlace Troncal IPv6**

**Objetivo:** Recoger información detallada sobre los requerimientos técnicos y recursos necesarios para la implementación eficiente de un enlace troncal entre las ciudades de Ibarra, Atuntaqui y Otavalo.

**Proyecto de titulación:** Análisis de la factibilidad técnica de la implementación de un enlace troncal Ibarra-Atuntaqui-Otavalo usando protocolos de enrutamiento en IPv6, para la empresa AIRMAXTELECOM Soluciones Tecnológicas S.A

**Instrucciones:** Por favor, responda las siguientes preguntas basándose en su experiencia y conocimientos técnicos. Sus respuestas son cruciales para el éxito de la implementación del proyecto.

#### **Información General**

- Nombre: Ing. Javier Lucas
- Cargo: jefe Técnico

1. ¿Cuáles son las normativas técnicas y estándares vigentes que sigue la empresa para el diseño de redes de telecomunicaciones con fibra óptica?

- ITU T-G652
- ITU T-G652 D
- ITU T G657
- UIT-T G.984.2

#### **Sección de Equipos**

2. ¿Qué marcas y modelos de routers y switches considera más adecuados para la implementación del enlace troncal IPv6? Por favor, especifique razones basadas en su experiencia o conocimiento técnico.

Revisar los siguientes datasheets

- [Cisco ASR 920 Series Aggregation Services Router Overview](#)
  - [MikroTik Routers and Wireless - Products: CCR2216-1G-12XS-2XQ](#)
    - [MikroTik Routers and Wireless - Products: CCR2004-1G-12S+2XS](#)
3. En términos de capacidad y rendimiento, ¿cuáles son los requisitos mínimos que deben cumplir los dispositivos de red para este proyecto?
- La información requerida se encuentra en los datasheet previamente adjuntados
4. En términos de procesamiento y almacenamiento, ¿cuáles son los requisitos mínimos que deben cumplir los dispositivos de red para manejar el tráfico esperado en el enlace troncal?
- La información requerida se encuentra en los datasheet previamente adjuntados

### **Sección de Equipos y Materiales**

5. ¿Qué tipos de fibra óptica y accesorios recomienda para el enlace troncal entre

Ibarra, Atuntaqui y Otavalo, y por qué?

- FO monomodo ADSS
- Herrajes tipo A para fo.
- Herrajes tipo B para fo.
- Preformados.
- Cinta acerada.
- Vinchas aceradas.

6. De acuerdo con el diseño y construcción de redes de telecomunicaciones con fibra óptica, cuál es la metodología de tendido, criterios de utilización y aplicación cable de fibra óptica.
- El tendido a realizarse es aéreo usando equipos de alojamiento de las bobinas de fo para un despliegue sin riesgos de roturas al momento de ser instalada.
  - Se utiliza la fo como medio de transmisión para esta troncal tomado en cuenta que mediante ella se logra enlaces físicos de largas distancias y grandes cantidades de BA
7. En el mismo contexto de la pregunta anterior, cuáles son los tipos de empalmes, tipo de tendido de fibra, tipo de pigtail, patchcord a utilizarse.
- Tendido tipo aéreo
  - Pigtail conector G657 A2 SC/apc
  - Patchcord G657 A2 SC/apc

### **Sección de diseño**

8. ¿Cuáles son los principales desafíos técnicos que anticipa en el diseño e implementación de esta red de fibra óptica?
- Tener una transmisión eficiente de alta capacidad e interconectar nuestros nodos para una mejor administración y gestión.
9. Desde su perspectiva técnica, ¿qué consideraciones especiales deberían tenerse en cuenta para garantizar la escalabilidad y sostenibilidad del enlace troncal?
- Instalar la fibra en una ruta donde no se encuentre saturada por otras operadoras, evitando ser afectados físicamente al compartir

**infraestructura.****Volumen de Obra y Planimetría**

10. Estime los volúmenes de obra necesarios para la implementación de la red, incluyendo, postería, herrajes, instalaciones y entre otros trabajos de infraestructura relevantes.

- Revisar los archivos adjuntos

11. ¿Cuáles son los criterios para considerar dentro de la planimetría del proyecto? •

Revisar los archivos adjuntos

**ANEXO B:** Georeferenciación de los postes pertenecientes a la ruta del enlace Troncal.

[ANEXO B GEOREFERENCIACION ENLACETRONCAL](#)

<b>GEOREFERENCIACION POSTES RUTA DE ENLACE TRONCAL</b>					
<b>NUMERO DE POSTE</b>	<b>TIPO</b>	<b>UT M</b>	<b>COORDENADA X</b>	<b>COORDENADA Y</b>	<b>RUTA</b>
1	Waypoint	17S	820532	37717	IBARRA-ATUNTAQUI
2	Waypoint	17S	820479	37715	IBARRA-ATUNTAQUI
3	Waypoint	17S	820444	37718	IBARRA-ATUNTAQUI
4	Waypoint	17S	820411	37723	IBARRA-ATUNTAQUI
5	Waypoint	17S	820376	37734	IBARRA-ATUNTAQUI
.					
405	Waypoint	17S	810117	36851	IBARRA-ATUNTAQUI
406	Waypoint	17S	810091	36829	IBARRA-ATUNTAQUI

407	Waypoint	17S	810062	36805	IBARRA-ATUNTAQUI
408	Waypoint	17S	810042	36782	IBARRA-ATUNTAQUI
409	Waypoint	17S	810020	36773	IBARRA-ATUNTAQUI
410	Waypoint	17S	810044	36769	IBARRA-ATUNTAQUI
.					
411	Waypoint	17S	810044	36753	ATUNTAQUI-OTAVALO
412	Waypoint	17S	810075	36727	ATUNTAQUI-OTAVALO
413	Waypoint	17S	810107	36706	ATUNTAQUI-OTAVALO
414	Waypoint	17S	810135	36677	ATUNTAQUI-OTAVALO
415	Waypoint	17S	810167	36648	ATUNTAQUI-OTAVALO
416	Waypoint	17S	810195	36616	ATUNTAQUI-OTAVALO
.					
770	Waypoint	17S	804186	25732	ATUNTAQUI-OTAVALO
771	Waypoint	17S	804211	25713	ATUNTAQUI-OTAVALO
772	Waypoint	17S	804237	25686	ATUNTAQUI-OTAVALO
773	Waypoint	17S	804268	25658	ATUNTAQUI-OTAVALO
774	Waypoint	17S	804297	25629	ATUNTAQUI-OTAVALO
775	Waypoint	17S	804308	25592	ATUNTAQUI-OTAVALO
776	Waypoint	17S	804335	25575	ATUNTAQUI-OTAVALO

**ANEXO C: Instructivo Presentación De La Información Geo Referenciada De Las Redes Físicas De Los Servicios Del Régimen General De Telecomunicaciones Y Redes Privadas**

[https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/01/Instructivo\\_georeferenciacion.pdf](https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/01/Instructivo_georeferenciacion.pdf)

**ANEXO D: Norma Técnica Despliegue Y Tendido Redes físicas Telecomunicaciones**

[https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/02/029\\_norma-tecnica-despliegue-redes-fisicas-servicios-telecomunicaciones.pdf](https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/02/029_norma-tecnica-despliegue-redes-fisicas-servicios-telecomunicaciones.pdf)

**ANEXO E: Instituto Nacional de Estadística y censo: Código provincia, cantón, parroquia.**

[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion\\_y\\_Demografia/CPV\\_aplicativos/modulo\\_cpv/dpa\\_.xls](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/CPV_aplicativos/modulo_cpv/dpa_.xls)

**ANEXO F: Norma técnica para despliegue y tendido de redes físicas soterradas**

[https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/029\\_norma-tecnica-despliegue-redes-fisicas-servicios-telecomunicaciones.pdf](https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/029_norma-tecnica-despliegue-redes-fisicas-servicios-telecomunicaciones.pdf)

**ANEXO G: Utilización De Herramientas De Software Para Georeferenciación Capas Puntos De Enlace**

[AnexoG\\_Capas\\_Puntos\\_De\\_enlace](#)