



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL**

**Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones**

**TEMA:**

---

**SISTEMA ALTERNATIVO DE TRANSMISIÓN DE DATOS ENTRE LA  
CENTRAL Y LAS SUBESTACIONES DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
COTOPAXI CON TECNOLOGÍA DWDM.**

---

Proyecto de trabajo de Graduación Modalidad: TEMI. Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo la obtención del título de Ingeniera en Electrónica y Comunicaciones

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Comunicaciones Ópticas

**AUTOR:** Elisa Salomé Núñez Velasteguí

**PROFESOR REVISOR:** Ing. Mg. Edgar Freddy Robalino Peña

Ambato – Ecuador

Enero 2015

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el tema:

**“SISTEMA ALTERNATIVO DE TRANSMISIÓN DE DATOS ENTRE LA CENTRAL Y LAS SUBESTACIONES DE LA EMPRESA ELÉCTRICA COTOPAXI CON TECNOLOGÍA DWDM”**, de la Srta. Elisa Salomé Núñez Velasteguí, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo directivo designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Ambato, Enero 2015

EL TUTOR

-----  
Ing. Mg. Edgar Freddy Robalino Peña

## **Autoría**

El presente trabajo de Investigación “SISTEMA ALTERNATIVO DE TRANSMISIÓN DE DATOS ENTRE LA CENTRAL Y LAS SUBESTACIONES DE LA EMPRESA ELÉCTRICA COTOPAXI CON TECNOLOGÍA DWDM”. Es absolutamente original, autentico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Enero 2015

---

Elisa Salomé Núñez Velasteguí

C.C: 1804159349

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

El tribunal receptor de la defensa del trabajo de investigación con el tema: “SISTEMA ALTERNATIVO DE TRANSMISIÓN DE DATOS ENTRE LA CENTRAL Y LAS SUBESTACIONES DE LA EMPRESA ELÉCTRICA COTOPAXI CON TECNOLOGÍA DWDM”, presentado por la Srta. Elisa Salomé Núñez Velasteguí y conformado por el Ing. Vicente Morales Presidente del Tribunal, una vez escuchada la defensa oral, el Tribunal aprueba y remite el trabajo de investigación para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

-----  
Ing. Vicente Morales Mg.  
Presidente del tribunal de defensa

-----  
Ing. Geovanni Brito Mg.  
Miembro del tribunal de defensa

-----  
Ing. Santiago Altamirano Mg.  
Miembro del tribunal de defensa

## Dedicatoria

*Para mis Padres, Pedro Nuñez y Ligia Velasteguí quienes con sacrificio y apoyo lograron que termine de estudiar la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, a mi hija Salomé Acosta quien con su paciencia y fortaleza ha permitido mi ausencia en los acontecimientos importantes dentro de su crecimiento.*

*Elisa Salomé Nuñez Velasteguí*

## Agradecimiento

*Agradezco primero a Dios por ser la luz que guía mi vida, a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, por permitirme ser parte del alumnado de la misma, a cada uno de los profesores quienes con dedicación y sabiduría han sabido compartir todos sus conocimientos, a mi esposo por brindarme apoyo incondicional, de igual manera a todos mis familiares y amigos.*

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
Tema.....	i
Aprobación del Tutor.....	ii
Autoría .....	iii
Aprobación del Tribunal de Grado .....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tablas .....	xii
ABSTRACT.....	xv
Glosario de Términos.....	xvi
Lista de Símbolos .....	xix
Introducción .....	xx

### CAPITULO I EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Tema .....	1
1.2 Planteamiento del Problema .....	1
1.3 Delimitación del Problema .....	2
1.4 Justificación .....	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 General.....	4
1.5.2 Específicos.....	4

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1 Antecedentes Investigativos .....	5
2.2 Fundamentación Teórica.....	6
2.2.1 Telecomunicaciones.....	6
2.2.2 Redes de comunicaciones .....	7
2.2.3 Medios de Transmisión .....	7
2.2.4 Fibra óptica .....	10
2.2.5 Principio Físico de Propagación .....	16
2.2.6 Pérdidas de la Fibra Óptica .....	18
2.2.7 Tendido de Fibra Óptica .....	19
2.2.8 Equipamiento para el enlace de fibra óptica.....	25
2.2.9 Pérdidas en un enlace de fibra óptica.....	26
2.2.10 Relación Señal Ruido.....	28
2.2.11 Técnicas de Multiplexación.....	28
2.2.12 CWDM (Multiplexación por división en longitudes de onda ligeras).....	29
2.2.13 DWDM (Multiplexación por división en longitudes de onda densas) .....	30
2.2.14 Topologías de Red .....	32
2.2.15 Calidad de Transmisión .....	34
2.2.16 Redes Ópticas .....	35
2.3 Propuesta de Solución.....	38

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

3.1 Modalidad Básica de la Investigación .....	39
3.2 Plan de Recolección de Información .....	39
3.3 Procesamiento y Análisis de la Información .....	40
3.4 Desarrollo del Proyecto.....	40

## **CAPÍTULO IV DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

4.1 Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi S.A. ....	41
4.2 Red actual del sistema de comunicación de la Empresa ELEPCO S.A.....	42
4.3 Equipos del Sistema de Comunicación actual .....	44
4.4 Transmisión de datos entre estaciones.....	46
4.5 Toma de Datos .....	50
4.6 Análisis de la Red .....	52
4.7 Requerimientos Empresariales .....	52
4.8 Diseño del Sistema de Comunicación Alternativo .....	53
4.8.1 Etapa I: Análisis de los requerimientos para el envío de datos.....	56
4.8.2 Etapa II: Ubicación Geográfica. ....	58
4.8.3 Etapa III: Análisis de requerimientos del enlace entre la matriz y las subestaciones de ELEPCO S.A. ....	65
4.8.4 ETAPA IV: Conexión de los diferentes nodos del sistema de comunicación alternativo.....	76
4.8.5 ETAPA V: Cálculos de los pérdidas producidas en el enlace óptico .....	80
4.8.6 Etapa VI: Diseño de la estructura de los nodos y de los diagramas de red del sistema de comunicación alternativo.....	88
4.9 Simulación del sistema alternativo .....	92
4.10 Desarrollo del Presupuesto del presente proyecto .....	95

## **CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES .....	98
RECOMENDACIONES.....	99
REFERENCIAS.....	100
ANEXOS .....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.- Fibra Óptica.....	10
Figura 2.2.- Componentes de la Fibra óptica.....	10
Figura 2.3.- Espectro Electromagnético .....	15
Figura 2.4.-Ventanas operativas de Fibra Óptica. ....	16
Figura 2.5.- a) Cono de aceptación, b) Ángulo de aceptación.....	17
Figura 2.6.- Tendido Aéreo.....	21
Figura 2.7.- Herraje Terminal tipo A.....	23
Figura 2.8.- Herraje Terminal tipo B .....	24
Figura 2.9.- Tendido Subterráneo .....	24
Figura 2.10.- Clases de conectores de fibra óptica .....	26
Figura 2.11.- Tecnología CWDM.....	30
Figura 2.12.- Técnica de Multiplexación DWDM.....	31
Figura 2.13.- Estructura de un sistema DWDM .....	31
Figura 2.14.- Topologías de Red .....	32
Figura 2.15.- Funcionamiento de una red PON .....	36
Figura 4.1.- Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A. y sus Subestaciones .....	42
Figura 4.2.- Diagrama de red del Sistema de Comunicación Actual de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi ELEPCO S.A. ....	43
Figura 4.3.- Programación de equipos en la aplicación “THE DUDE” .....	47
Figura 4.4.- Servicio desactivado en la sucursal de Salcedo .....	48
Figura 4.5.- Tiempos de respuestas generados en La Matriz.....	48
Figura 4.6.- Datos enviados desde la Matriz hacia las sucursales .....	49
Figura 4.7.- Ejecución del comando ping para generar tiempos de respuestas en las sucursales.....	49

Figura 4.8. Diagrama de bloques del sistema de comunicación alternativo para ELEPCO S.A.....	54
Figura 4.9.- Ubicación de Terminales .....	58
Figura 4.10.- La Matriz - Latacunga.....	60
Figura 4.11.- Sucursal Salcedo .....	60
Figura 4.12.- Sucursal El Calvario.....	61
Figura 4.13.- Sucursal El Salto .....	61
Figura 4.14.- Sucursal La Estación.....	62
Figura 4.15.- Sucursal Pujilí .....	62
Figura 4.16.- Sucursal Saquisilí.....	63
Figura 4.17.- Sucursal Sigchos .....	63
Figura 4.18.- Diseño de la ruta a través de la aplicación Google Earth.....	65
Figura 4.19.- Rack para equipos OptiX OSN .....	88
Figura 4.20.- ODFS para OptiX OSN.....	89
Figura 4.21.- Diagrama Físico de Red del Sistema de Comunicación Alternativo ....	90
Figura 4.22.- Diagrama Lógico de Red del Sistema de Comunicación Alternativo ..	91
Figura 4.23.- Simulación del enlace Matriz-GPON, a través de Optisystem .....	92
Figura 4.24.- Parámetros de la OLT .....	93
Figura 4.25.- Parámetros del Canal Óptico.....	93
Figura 4.26.- Parámetros de la ONU .....	94
Figura 4.27.- Visualización del BER obtenido.....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1.- Tipos de Enlaces en el Sistema de Comunicación actual de la Empresa ELEPCO S.A.....	44
Tabla 4.2.- Equipos del sistema de comunicación actual de ELEPCO S.A. ....	44
Tabla 4.3.- Equipos y Descripción del Sistema de Comunicación actual de ELEPCO S.A.....	45
Tabla 4.4.- Direccionamiento IP actual de Empresa ELEPCO S.A. ....	47
Tabla 4.5.- Toma de Datos en diferentes en las diferentes Sucursales .....	50
Tabla 4.6.- Características técnicas de la Fibra Óptica.....	56
Tabla 4.7.- Ubicación Geográfica de las Terminales en coordenadas planas.....	59
Tabla 4.8.- Distancias entre los diferentes Enlaces .....	64
Tabla 4.9.- Tipos de Tendido.....	66
Tabla 4.10.- Selección de Fibra Óptica.....	68
Tabla 4.11.- Tecnologías xWDM .....	69
Tabla 4.12.- Equipo OLT de Huawei .....	71
Tabla 4.13.- Equipo OLT de Furukawa.....	72
Tabla 4.14.- Equipos ONT.....	74
Tabla 4.15.- Conectores de Fibra Óptica SC Y LC .....	75
Tabla 4.16.- Cálculo de número de postes.....	76
Tabla 4.17.- Parámetros para el Tendido Aéreo .....	77
Tabla 4.18.- Parámetros del enlace del Sistema Alternativo .....	79
Tabla 4.19.- Pérdidas producidas en el canal óptico.....	80
Tabla 4.20.- Cálculo de las pérdidas causadas por la Fibra Óptica. ....	81
Tabla 4.21.- Tipos de Empalmes .....	82
Tabla 4.22.- Cálculo de la atenuaciones por Empalmes .....	83
Tabla 4.23.- Pérdidas causadas por los Conectores .....	84

Tabla 4.24.- Cálculo de Margen de Diseño .....	85
Tabla 4.25.- Atenuaciones del Enlace Óptico.....	85
Tabla 4.26.- Máximo de Ancho de Banda en los enlaces.....	87
Tabla 4.27. Plan de Direccionamiento del sistema de comunicación alternativo.....	91
Tabla 4.28. Asignación de puertos para las VLAN .....	92
Tabla 4.29.- Costos estimativos de los Equipos y Accesorios.....	96
Tabla 4.30.- Costos estimativos de la instalación de los Equipos y Accesorios.....	97
Tabla 4.31.- Presupuesto Total del Proyecto .....	97

## ***Resumen***

El presente proyecto titulado “**Sistema alternativo de transmisión de datos entre la central y las subestaciones de la Empresa Eléctrica Cotopaxi con tecnología DWDM**”, tiene como objetivo diseñar un sistema de comunicación alternativo que permita mejorar la calidad de transmisión de datos entre la Empresa ELEPCO S.A., hacia sus sucursales.

Se analizó el sistema de comunicación de radioenlaces, de la Empresa ELEPCO S.A., determinando que el principal problema es la interferencia producida por el medio de comunicación y el ambiente.

En función de los requerimientos empresariales se diseñó el sistema de comunicación alternativo, para tendido aéreo, con fibra óptica monomodo, tipo ADSS y tecnología de multiplexación DWDM, mediante cálculos matemáticos se obtuvo las pérdidas producidas en el enlace, mismas servirán como base teórica para determinar la eficacia del enlace.

La herramienta de Optysystem, permitió simular el enlace del sistema de comunicación propuesto y determinar la factibilidad del mismo.

### **Palabras Claves**

Sistemas de Comunicación, Fibra Óptica, WDM, DWDM, PON, GPON.

## **ABSTRACT**

*This project entitled "Alternative System data transmission between the central and the substations of the Empresa Eléctrica Cotopaxi with DWDM technology," aims to design an alternative communication system that improves the quality of data transmission between the ELEPCO Company SA toward its branches.*

*For which the radio relay communication system, ELEPCO S.A. Company, determining that the main problem is the interference from the media and the environment was analyzed.*

*Depending on the business requirements design alternative communication system for overhead lines was carried out with single mode optical fiber , ADSS type , by mathematical calculations the losses on the link , same was obtained will serve as a theoretical basis for determining the effectiveness of link.*

*The tool Optysistem allowed simulate the proposed link communication system and determine the feasibility.*

### **Keywords**

*Communication Systems, Fiber Optic, WDM, DWDM, PON, GPON.*

## Glosario de Términos

**Add- dropp.-** Multiplexor de inserción y extracción.

**ADP.-** Fotodiodo tipo avalancha, compuesta por una unión PN polarizada en inversa cerca de la región de ruptura.

**AES (Advanced Encryption Standard).-** es la codificación autorizada estándar más fuerte Wi-Fi.

**ADSS (All Dielectric self-Supported).-** ópticos auto-sustentados totalmente dieléctricos.

**ANSI (American National Standards Institute).** - Es una organización sin ánimo de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos.

**APON (ATM (Asynchronous Transfer Mode) Passive Optical Network).** - Red óptica Pasiva ATM (Modo de Transferencia Asíncrona).

**ATM.-** Acrónimo para modo de transferencia asíncrona.

**BER.-** La tasa de error binario (Bit Error Rate), se define como el número de bits recibidos de forma incorrecta respecto al total de bits enviados durante un intervalo específico de tiempo.

**BPON (Broadband PON).** - Red Óptica Pasiva de Banda Ancha.

**CNT-EP.-** Corporación Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador.

**CWDM (Coarse wavelength Division Multiplexing).** - Multiplexación por división en longitudes de onda ligeras.

**Downstream.-** Datos de bajada.

**DWDM (Dense wavelength Division Multiplexing).** - Multiplexación por división en longitudes de onda densas.

**EIA:** Electronics Industry Association Hoy en día Electronics Industry Alliance.

**EPON (Ethernet Passive Optical Networks).-**Ethernet sobre redes ópticas pasivas.

**Ethernet.-** Tecnología de red con capacidad de velocidad de transmisión de  $10 \times 10^6$  bits por segundo.

**FEC (Forward Error Correction).-** corrección de errores hacia adelante.

**Fotodiodo PIN.-** Se llama diodo PIN a una estructura de tres capas, siendo el intermedio semiconductor intrínseco, y las externas, una de tipo P y la otra tipo (estructura P-I-N que da nombre al diodo).

**GEM (GPON Encapsulation Method).-** protocolo definido por la G.984s para redes GPON.

**GPON (Gigabit-capable PON).-** Red óptica pasiva para velocidad de transmisión de Gigabit.

**HF (High Frequency).** - Altas frecuencias.

**IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).** -Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

**ISO (International Organization for Standardization).-** Organización Internacional de Normalización.

**IUT (Internacional Telecommunications Union).-** Unión Internacional de Telecomunicaciones.

**LAN (Local Area Network).-** Red de Área Local.

**LASHED.** Cables ópticos dieléctricos para tendido aéreo.

**LF (Low Frequency).** - Baja frecuencia.

**MAN (Metropolita Area Network).-** Red de Área Metropolitana.

**MF (Medium Frequency).** - Frecuencia Media.

**OADM (Optical Add and Drop Multiplexers).** - Multiplexores Ópticos Add y Drop.

**ODF (Optical Distribution Frame).-** El distribuidor de fibra óptica.

**OLA (Optical Line Amplifier).-** Amplificador de Línea Óptica.

**OLT (Optical Line Terminal).-** Terminal de Línea Óptica.

**ONT/ ONU (Optical Network Unit).** - Unidad de Red Óptica.

**OPGW (Óptica Ground Wire).**- cable compuesto tierra-óptico.

**OTM (Optical Terminal Multiplexer).** - Multiplexor óptico Terminal.

**OXC (Optical Cross Connects).** - Conexiones Ópticas.

**PIN.**- Es un detector óptico, trabaja polarizado en inversa, en las ventanas 850 y 1300nm.

**PMD.**- Dispersión por modo de polarización.

**PON (Passive Optical Networks).** - Red Óptica Pasiva.

**QoS.**- Calidad de Servicio.

**SDH (Synchronous Digital Hierarchy).**- Jerarquía digital síncrona.

**SONET (Synchronous Optical Network).** - Red Óptica Síncrona.

**TDM (Time Division Multiple Access).** - Multiplexación por división de tiempo.

**TIA (Telecommunications Industry Association).** - Asociación de la Industria de Telecomunicaciones.

**Upstream.**- Datos de subida.

**UTP (Unshielded Twisted Pair).** - Par trenzado sin blindaje.

**VHK (Very High Frequency).** - Muy Altas frecuencias.

**WDM (Wavelength Division Multiplexing).** - Multiplexación por división de longitud de onda.

**10GbE.**- Capacidad de transmisión de datos a una velocidad de  $10 \times 10^9$  bits por segundo.

## Lista de Símbolos

**A/W:** Amperios por Watt.

**dB:** Decibeles.

**dBm:** Decibeles referenciados a 1 miliwatt.

**Gb/s:** Giga bits por segundo.

**Ghz:** Giga Hertz.

**Km:** Kilómetros

**m:** metros

**ms:** milisegundos

**m/s:** Metros por segundo.

**nm:** nanómetros.

**ps/(nm-km):** Picosegundos por nanómetro kilómetro.

**THz:** Tera Hertz.

**um:** Micrómetros.

**V:** Voltios.

## **Introducción**

La evolución de los medios de comunicación durante los últimos años, ha permitido a los usuarios, transmitir gran cantidad de datos, a mayores velocidades en los diferentes lugares del mundo, esto se debe al uso de la fibra óptica, ya que es el medio de transmisión más seguro y rápido. Las redes de fibra óptica tienen ventajas sobre los otros canales de transmisión, debido a su estructura y a sus características, no obstante el empleo de diversas técnicas de multiplexación, permiten incrementar la capacidad de las mismas. El proyecto que se detalla en este documento tiene como finalidad realizar un Sistema alternativo de transmisión de datos entre la central y las subestaciones de la Empresa Eléctrica Cotopaxi con tecnología DWDM, fue desarrollado de acuerdo a la información que se muestra a continuación:

Capítulo I, involucra el planteamiento del problema, la delimitación de contenido en espacio y tiempo, el desarrollo de la justificación y de los objetivos general y específicos, mismos que servirán como guía en el desarrollo del proyecto.

Capítulo II, contiene el marco teórico, que será el soporte técnico científico del proyecto.

Capítulo III, describe la metodología empleada en el desarrollo de la investigación, además indica los pasos a seguir en el desarrollo del presente proyecto.

Capítulo IV, indica el desarrollo de la propuesta, Sistema alternativo de transmisión de datos entre la central y las subestaciones de la Empresa Eléctrica Cotopaxi con tecnología DWDM.

Capítulo V, señala las conclusiones y recomendaciones, resultantes de la elaboración del proyecto.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Tema**

Sistema Alternativo de transmisión de datos entre la central y las subestaciones de la Empresa Eléctrica Cotopaxi con tecnología DWDM.

### **1.2 Planteamiento del Problema**

Desde sus inicios el hombre ha tenido la necesidad de comunicarse, con el paso del tiempo se ha incrementado considerablemente, de tal manera que la comunicación a distancia forma parte de las necesidades fundamentales de las personas, sin embargo la necesidad de mejorar los métodos de comunicación ha permitido emplear nuevas tecnologías de comunicación, tanto para medios guiados como para medios no guiados para poder brindar mayor calidad de servicios.

En Latino América los sistemas de comunicación inalámbricos son los que predominan, entre ellos, la tecnología de banda ancha fija ha obtenido crecimientos positivos en los últimos años, esto se debe al desarrollo de nuevas tecnologías de comunicación, que potencian las redes actuales y pueden prestar servicios de alta calidad con velocidades hasta de 100 Mbps por usuario. El director de mercadeo de Alcatel-Lucent Tim Krause

calcula que en 2015 habrá 350 millones de latinoamericanos con acceso a banda ancha fija, dicho acceso será gradual por las adecuaciones tecnológicas que se tendrán que hacer [1], con lo que se logrará buenos resultados en conectividad y cobertura, además se cumplirán con los parámetros de calidad (ancho de banda, velocidad de transmisión, tasa de error, seguridad, interferencia), los cuales han venido siendo los principales impedimentos para la mejora de los sistemas de comunicación y los servicios que ofrecen.

No obstante, en el Ecuador, se ha considerado indispensable proveer servicios de telecomunicaciones con mejoras permanentes en la prestación de los mismos, es por ello que empresas como: TRANSELECTRIC S.A., OCTACEL S. A. y CNT S.A, han tenido la necesidad de mejorar la tecnología utilizada en el sistema de comunicación, para brindar servicios de calidad en la transmisión de datos, actualmente cuentan con sistemas de comunicación por fibra óptica, extendiendo sus redes a lo largo del Ecuador de acuerdo a las necesidades del desarrollo social y económico del país. [2]

La Empresa Eléctrica Cotopaxi ELEPCO S.A. se comunica con sus subestaciones ubicadas en la provincia de Cotopaxi, a través de radioenlaces, los mismos que no cubre satisfactoriamente con las necesidades de la misma ya que ha venido incidiendo en problemas de retardo en la transmisión de datos, ocasionando congestión en las redes, e impidiendo que la información enviada o recibida llegue al destinatario a tiempo, otros de los problemas incidentes es la interferencia ocasionada por el medio utilizado, la misma que es provocada por los diferentes comportamientos del clima, el índice de interferencia alto provoca interrupciones en la comunicación. La pérdida de información en el envío de datos es otra de las razones por la que el sistema de comunicación tienen falencias, por este motivo en el destinatario la información recibida no es la correcta, por ende la Empresa ve afectada su economía y su imagen de calidad de servicio ante el usuario.

### **1.3 Delimitación del Problema**

**Área:** Comunicaciones

**Línea de Investigación:** Tecnologías de Comunicación

**Sub línea de Investigación:** Área: Comunicaciones Ópticas

## **Delimitación Espacial**

El presente proyecto se desarrolló en la ciudad de Latacunga, específicamente en la Empresa Eléctrica Cotopaxi, ubicada en las calles Marquéz de Maenza 5-44 y Quijano Ordóñez.

## **Delimitación Temporal**

El desarrollo del presente proyecto de investigación se realizó durante el mes de Septiembre al mes de Diciembre del año 2014, a partir de su aprobación, en el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

### **1.4 Justificación**

El sistema de comunicación actual de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi no cumple con los parámetros de calidad como: velocidad de transmisión, ancho de banda, interferencia, seguridad, y cobertura por lo que requirió el diseño de un sistema de comunicación con la tecnología adecuada para brindar calidad y seguridad en la transmisión los datos.

El diseño del presente proyecto, cubre varias deficiencias en la transmisión de datos que presenta la Empresa Eléctrica de Cotopaxi y permite el desarrollo de los parámetros de calidad y servicio empleando la tecnología DWDM, ya que es una tecnología que introduce longitudes de onda distintas en cada fibra, permitiendo multiplicar el ancho de banda efectivo de la misma, así como facilitar comunicaciones bidireccionales [3].

El trabajo investigado es de gran importancia para la Empresa ya que al corregir los problemas en el rendimiento del sistema de comunicación actual, disminuye la tasa de error en envío de paquetes, aumenta la velocidad en la transmisión y mejora el ancho de banda, permitiendo optimizar la calidad de servicio, evitar pérdidas económicas y fortalecer el Sistema de Comunicación actual.

Los beneficiarios del proyecto son, directamente la Empresa ELEPCO S.A. y a su vez los usuarios internos y externos, quienes al tener un sistema de comunicación de respaldo con la tecnología adecuada, mejorará la transmisión de datos y el rendimiento de los servicios que ofrecen a sus clientes (acceso a internet, facturación correcta e información en las portales web).

Además la investigación realizada sirve como una base teórica para su implementación ya que los datos obtenidos son de los reportes estadísticos de las pruebas realizadas en los diferentes nodos del enlace, las mismas que se ejecutaron para determinar las principales deficiencias del sistema de comunicación actual y con ello se propuso la solución a las diferentes falencias encontradas.

El presente proyecto es factible dado que la Empresa brindó la información necesaria para el desarrollo de la investigación, además los recursos tecnológicos se encontraron al alcance para su desarrollo, se contó con el recurso humano, el apoyo y asesoría especializada.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 General**

- Diseñar un sistema alternativo de transmisión de datos entre la central y las subestaciones de la Empresa Eléctrica Cotopaxi con tecnología DWDM.

### **1.5.2 Específicos**

- Analizar el Sistema de Comunicación actual de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi “ELEPCO S.A.”
- Realizar el diseño del enlace de fibra óptica entre la matriz y las subestaciones de la Empresa ELEPCO S.A.
- Simular el sistema alternativo de transmisión de datos, utilizando las características técnicas de la fibra óptica con la técnica DWDM.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes Investigativos**

Del análisis bibliográfico y virtual realizado sobre investigaciones referidas a sistemas de comunicaciones y su incidencia en la calidad de transmisión de datos, se encontró tesis de grado, papers y libros que tienen relación al tema propuesto:

En la búsqueda bibliográfica se encontró la tesis realizada por Andrea Proaño, quien utiliza el Anillo de fibra óptica de Última Milla para optimizar y mejorar los recursos de planta externa en el centro de la ciudad de Ambato, esta tecnología no se verá afectada por los avances tecnológicos debido a la escalabilidad que presenta el uso de la fibra óptica. Los servicios de la empresa tendrán respuestas rápidas a cualquier requerimiento del cliente, gracias a las ventajas del diseño realizado. La investigación fue realizada para la CNT – EP (Corporación Nacional de Telecomunicaciones EP). [4]

En la tesis realizada por Juan Pablo Pallo, explica el Estudio de factibilidad de la técnica de modulación DWDM en las principales ciudades del Ecuador, el mismo que le permitió demostrar que las aplicaciones de la fibra óptica son mejores que en otros medios de transmisión, tales como: escalabilidad, capacidad de transporte y por ende mejoras en la calidad de servicios. [5]

En la tesis realizada por Christian Orellana, desarrolla la Expansión de una red SDH con tecnología DWDM, en donde indica que la técnica de multiplexación DWDM es una tecnología que brinda optimización a la fibra existente, siendo más rentable con lo que respecta al transporte de datos y solucionando la demanda de ancho de banda por parte de los usuarios y la saturación de tráfico de datos que se genera en redes existentes con determinada tecnología [6].

La Corporación AT&T publicó el paper: Choosing the Right Metropolitan Ring for Your Business, en donde indica que las empresas están evolucionando y buscando métodos más efectivos y eficientes para el manejo de las necesidades de ancho de banda, rendimiento y calidad de servicio, para lo que recomienda utilizar estándares ópticos que se utilizan hoy en día con arquitecturas en anillo para transportar información, Red óptica síncrona (SONET) y Dense Wave Division Multiplexing (DWDM) [7].

En el libro de Daniel Pastor Abellán, Francisco Ramos Pascual y José Capmany, indica que la tecnología WDM conocida como Multiplexación por división en longitudes de onda, se crearon por la necesidad de ampliar el número de portadoras que viajan a través de la fibra. Los sistemas WDM se han venido refiriendo como CWDM (Coarse WDM), para separaciones de 20nm y DWDM, para separaciones inferiores a 1nm [8].

## **2.2 Fundamentación Teórica**

### **2.2.1 Telecomunicaciones**

La telecomunicación es el estudio que permite la comunicación a larga distancia, a través de toda emisión, transmisión y recepción de signos, señales, escritos e imágenes, sonidos e informaciones de cualquier naturaleza, por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos [9].

En la telecomunicación se incluyen tecnologías como la radio, televisión, teléfono y telefonía móvil, comunicaciones de datos y redes informáticas, estas tecnologías son importantes en el contexto socioeconómico actual.

### **2.2.2 Redes de comunicaciones**

Un sistema de comunicaciones permite transmitir y/o recibir información. Las características y componentes del sistema determinan el tipo de información que puede ser transmitida o recibida, la frecuencia, la rapidez, la seguridad, la distancia, el costo, la cobertura, la protección a interferencias y otros parámetros de operación. La red de telecomunicaciones, se define como el conjunto de equipos, sistemas y medios de transmisión que posibilitan que la información se traslade de un lugar a otro [10].

### **2.2.3 Medios de Transmisión [11]**

En las redes de datos la información se transmite a través de señales eléctricas, ópticas o radiofrecuencia, a través de un medio de transmisión determinado. Los medios de transmisión se pueden ser guiados y no guiados.

#### **a) Medios de Transmisión Guiados**

En los medios de transmisión guiados las señales viajan a través de un cable que se encarga de la conducción desde la fuente hacia el destinatario.

#### **Características:**

- ✓ La velocidad máxima de transmisión, depende directamente de la distancia entre los terminales y del medio utilizado para realizar un enlace.
- ✓ Distancias largas entre repetidores.
- ✓ Inmunidad a interferencias electromagnéticas.
- ✓ Facilidad de instalación.
- ✓ Soporta diferentes tecnologías a nivel de enlace.

Los medios de transmisión guiados pueden ser: Par Trenzado, Cable Coaxial, Fibra Óptica, como se muestra en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1.- Medios de Transmisión Guiados**

Medio de Transmisión	Velocidad de transmisión	Ancho de Banda	Separación entre repetidores	Interferencias Electromagnéticas
Par Trenzado	10 Mbps - 100 Mbps	3 MHz	2 a 10 Km	Alta
Cable Coaxial	500 Mbps	350 MHz	1 a 10 Km	Alta
Fibra Óptica	2 Gbps	2 GHz	10 a 100 Km	Nula

**Realizado por:** El Investigador

**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Medio\\_de\\_transmisi%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Medio_de_transmisi%C3%B3n)

### b) Medios de Transmisión No Guiados

Los medios de transmisión no guiados, intercambian información a través de antenas.

#### Características:

- ✓ Las transmisiones no guiadas pueden ser direccional y omnidireccional.
- ✓ Problemas inducidos por la reflexión, producida por los obstáculos del medio.

Según el rango de frecuencias de trabajo, las transmisiones no guiadas se pueden clasificar en tres tipos: radio, microondas y luz (infrarrojos/láser), como se muestra en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2.- Medios de Transmisión No Guiados.**

Radio	Microondas	Satélite
- Omnidireccionales	- Frecuencias muy altas de 3 GHz a 100 GHz.	- Cobertura de zonas grandes: país, continente.
- Un emisor y uno o varios receptores	- Longitud de onda muy pequeña	- Disponibilidad de ancho de banda.
- Bandas de frecuencias LF, MF, HF y VHF	- Antenas parabólicas	- Independencia de la estructura de comunicaciones en Tierra.
- Fáciles de generar	- Receptor y Transmisor en línea visual	- Instalación rápida de una red.
- Largas distancias	- A 100m de altura s	- Bajo costo para añadir un

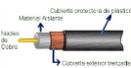
edificios  - Sujetas a interferencias por los equipos eléctricos	alcanzan unos 80 Km sin repetidores  - Rebotan en los metales	nuevo receptor.  - Servicio total proporcionado por un único proveedor.
--	---	---

**Realizado por:** El Investigador

**Fuente:** <http://es.slideshare.net/JacquelineMuozAnacona/medios-de-transmision-jacqueline-muoz>

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los tipos de medios de transmisión

**Tabla 2.3.-** Resumen de los Medios de Transmisión

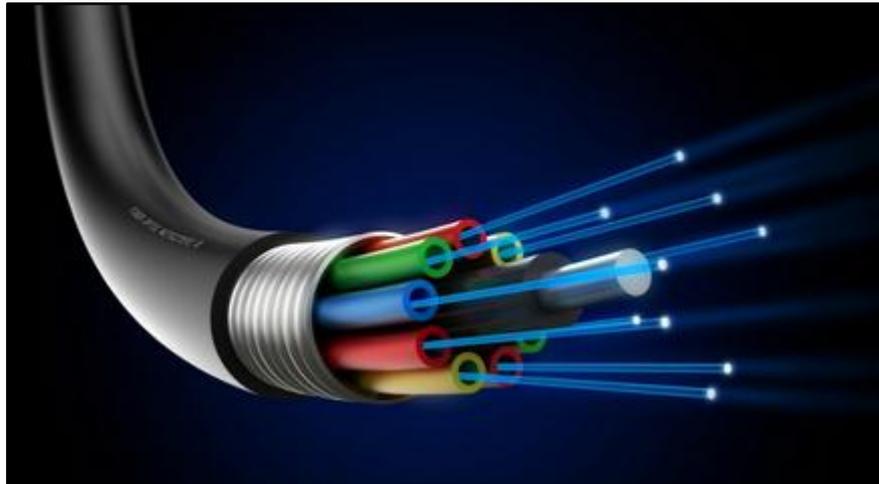
Medios Guiados			Medios No Guiados		
Medio	Ventajas	Desventajas	Medio	Ventaja	Desventajas
<b>Par Trenzado</b> 	-Fácil de empalmar  - Bajo precio	-Interferencias	<b>Radio</b> 	- Flexible  - Portátil	-Interferencias  -Velocidad de transmisión baja
<b>Coaxial</b> 	-Inmune a interferencias  -Velocidad de transmisión mayor	-Pesado y voluminoso  -Reforzar dependiendo la distancia	<b>Microondas</b> 	-Velocidad de la luz	-Necesita línea de vista  -Interferencias
<b>Fibra Óptica</b> 	- Pequeña  - Liviana  - Gran velocidad de transmisión  - Inmune a interferencias	- Alto precio	<b>Satélite</b> 	-Cobertura de zonas muy grandes	- Posicionamiento y descenso muy caros

**Realizado por:** El Investigador

**Fuente:** <http://es.slideshare.net/misuacar/medios-guiados-y-no-guiados-14789743?related=1>

## 2.2.4 Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión de ondas luminosas, utilizadas para la comunicación de datos, constituida por un hilo fino de material transparente (vidrio), por el que se envían los datos a transmitir como se muestra [12] en la Figura 2.2. La fuente de luz puede ser láser o LED.



**Figura 2.1.-** Fibra Óptica

**Fuente:** <http://www.grupogmaes.com/solucoes/cidades-inteligentes/interligacao-em-fibra-optica/>

### Componentes de la fibra óptica [13]

Los principales componentes de la fibra óptica son: El núcleo, la cubierta y el revestimiento como se muestra en la Figura 2.2.



**Figura 2.2.-** Componentes de la Fibra óptica

**Fuente:** <https://www.google.com.ec/search?q=fibra+optica>

**El Núcleo:** construido con materiales de sílice, cuarzo fundido o plástico, de forma cilíndrica, donde se propagan las ondas ópticas.

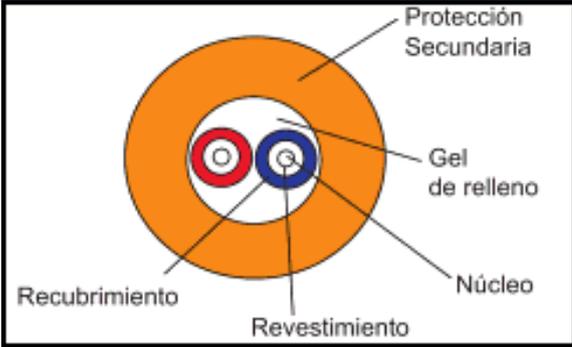
**La Funda Óptica o cubierta:** Compuesta por los mismos materiales que el núcleo pero con aditivos que enclaustran las ondas ópticas en el núcleo.

**El revestimiento de protección:** Generalmente está fabricado en plástico y asegura la protección mecánica de la fibra.

### Estructuras de protección de cables de Fibra Óptica [14]

En los cables ópticos se diferencian estructuras de protección, como se muestra en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4.-** Estructuras de Protección del cable de fibra óptica

Estructura Holgada	Estructura Ajustada
 <p>Protección Secundaria Gel de relleno Núcleo Revestimiento Recubrimiento</p>	 <p>(Cubierta plástica muy gruesa) Recubrimiento Protección Secundaria Núcleo Revestimiento</p>
<p><b>Características:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Protección secundaria de 2 a 3mm.</li> <li>✓ Tendidos exteriores.</li> <li>✓ Insensibles al curvado.</li> </ul>	<p><b>Características:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Protección primaria de silicona o acrilato.</li> <li>✓ Grosor de 250um o 500um.</li> <li>✓ Protección secundaria de 900um.</li> <li>✓ Sensibles al doblado.</li> <li>✓ Tendidos interiores.</li> </ul>

**Realizado por:** El Investigador

**Fuente:** [13]

## Tipos de Fibras ópticas

Las fibras ópticas se clasifican según el modo de propagación en: Fibras Multimodo y Fibras Monomodo.

### Fibra Multimodo (Multi Mode)

La fibra multimodo presenta mayor diámetro del núcleo y trayectorias que las fibras monomodos, en la fibra multimodo la luz entra formando ángulos diferentes. Según la recomendación UIT-T G.651.1 aprobada el 29 de julio de 2007 por la UIT -T Study Group 15 (2005-2008) en el marco del procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8, las características de una fibra multimodo 50/125 micras, para la red de acceso óptico [15], se muestran en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5.-** Características Técnicas de la Fibra Multimodo

<b>Fibra Óptica Multimodo 50/15 micras-índice gradual</b>		
<b>Características</b>	<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>
Región	Ventana de operación	850 nm o 1300nm
Revestimiento de diámetro	Nominal	125 micras
	Tolerancia	± 2 micras
Diámetro del núcleo	Nominal	50 micras
	Tolerancia	± 3 micras
Error de concentricidad	Máximo	3 micras
Apertura Numérica	Nominal	0.20
	Tolerancia	± 0,015
Pérdida de macrocurvatura	Radio	15nm
	Número de vueltas	2
	Máxima a 850nm	1 dB
	Máxima a 1300 nm	1 dB
Longitud de ancho de banda	Mínimo a 850 nm	500 MHz. Km
	Mínimo a 1300 nm	500 MHz. Km
Velocidad de transmisión		1 Gbit/s

Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0min}$	1295nm
	$\lambda_{0max}$	1340nm
	$S_{omax}$ para	$\leq 0.105$
	$1295 \leq \lambda_0 \leq 1310$ nm	ps/nm <sup>2</sup> *km
<b>Características del Cable</b>		
Características	Descripción	Valor
Coeficiente de Atenuación	Máximo a 850 nm	4.8 dB/km
	Máximo a 1300 nm	1.0 dB/km

**Realizado por:** El Investigador.  
**Fuente:** [14]

### Fibra Monomodo (Single Mode) [16]

La luz recorre una única trayectoria en el interior del núcleo, posee gran ancho de banda, ventajosamente para minimizar el número de reflexiones el núcleo es lo más estrecho posible, por ende su fabricación es compleja. En la recomendación UIT-T G.656 de Fibra Monomodo con dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha, indica la optimización para la operación en el rango de longitud de onda de 1460-1625nm, manejando valores de dispersión cromática desde (1.0 a 1.4 ps/nm\*Km) pudiéndose utilizar en CWDM y DWDM, está diseñado para redes dorsales de alta capacidad. En la Tabla 2.6 se describe las características del cable óptico monomodo G.652.D.

**Tabla 2.6.-**Características de la Fibra Monomodo G.652.D

<b>ITU-T G.652.D</b>			
<b>Características</b>	<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>	<b>Ancho de Banda de transmisión</b>
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 – 1550nm	Amplia cobertura, permite transmisión en ancho de banda extendido de 1360nm a 1530nm
	Valores nominales	8.6-9.5 micras	
	Tolerancia	$\pm 0.6$ micras	
Revestimiento de diámetro	Nominal	125,0 micras	
	Tolerancia	$\pm 1$ micra	

Error de concentricidad del núcleo de revestimiento	Máxima	0,6 micras	La Dispersión cromática, se define únicamente en las bandas (1260-1360nm) y (1530-1565nm), estas fibras pueden ser utilizadas en bandas (1565-1625nm) para DWDM y (1460-1625nm), en sistemas CWDM
Longitud de onda de corte	Máxima	1260nm	
Pérdida de macrocurvatura	Radio	30nm	
	Número de vueltas Máxima a 1625nm	100 0.1 dB	
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{Omin}$	1300nm	
	$\lambda_{Omin}$	1324nm	
	$S_{Omin}$	0,092 ps/nm <sup>2</sup> *km	
<b>Características del Cable</b>			
Características	Descripción	Valor	
Coeficiente de Atenuación	Máximo de 1310nm a 1625nm	0,4 dB/Km	
	Máximo de 1383nm $\pm$ 3nm	0,4 dB/Km	
	Máximo a 1550nm	0,3 dB/Km	
Coeficiente de PMD	M	20 cables	
	Q	0,01%	
	Max PMD <sub>Q</sub>	0,20 ps/ $\sqrt{Km}$	

**Realizado por:** El Investigador.

**Fuente:** <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200911-I>

## Emisores y Receptores [14]

En los sistemas de transmisión de fibra óptica se considera el transmisor, que convierte la tensión en luz, el medio la fibra óptica que la transmite, y un receptor que convierte la luz en tensión. Los emisores pueden ser: LED o láser, siendo el láser mejor ya que al generar una luz más pura (menor dispersión de la longitud de onda), permite obtener mayor ancho de banda en el cable óptico. Los receptores ópticos son aquellos que se encargan de convertir la señal óptica en señal eléctrica, existen dos tipos de detectores ópticos PIN o ADP, amplificadores y circuitería de interfaz de línea necesaria para el desarrollo óptimo del enlace. En la tabla 2.7, se compara los tipos de fotodiodos.

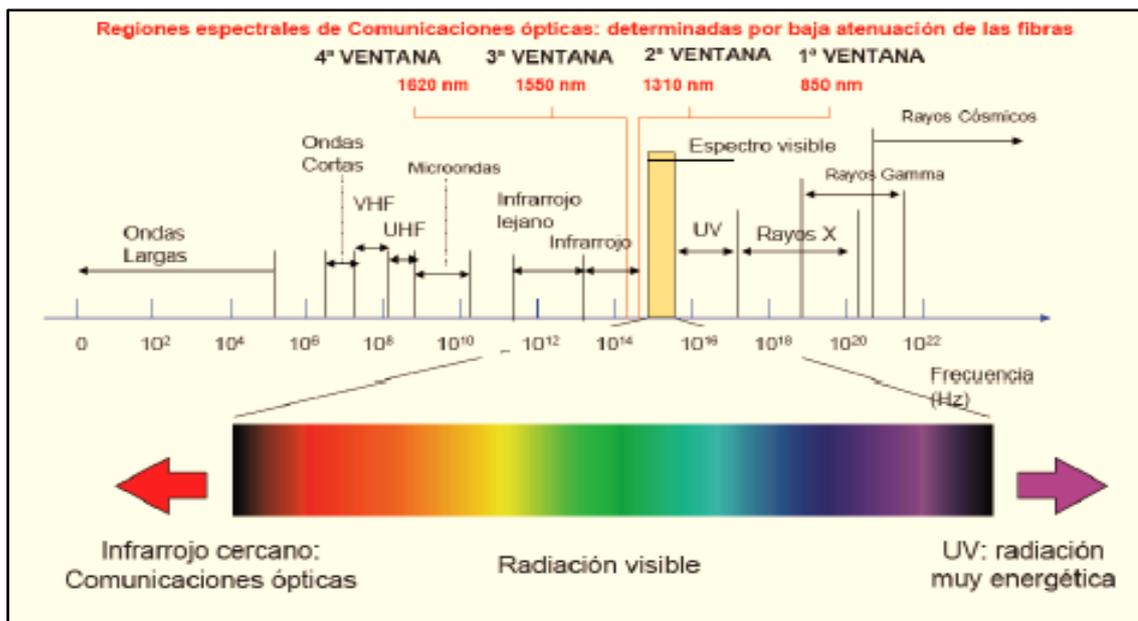
**Tabla 2.7.-** Clases de Fotodiodos

Características	Fotodiodo PIN	Fotodiodo Avalancha
Sensible a los cambios de Temperatura	Menor	Mayor
Distancia	Corta	Larga
Responsividad	Menor	Mayor
Velocidad de respuesta	Alta	Alta

Realizado por: El Investigador

### Espectro Electromagnético

Las fibras ópticas trabajan en la región del espectro en infrarrojo y luz visible, por las altas frecuencias empleadas se utiliza longitud de onda (distancia que recorre una onda en un intervalo de tiempo) en lugar de frecuencia [17].



**Figura 2.3.-** Espectro Electromagnético

Fuente: <http://www.vidadigitalradio.com/el-espectro-radioelectrico/>

### Ventanas de operación de la Fibra Óptica

La región óptica es desde 50nm (ultravioleta) hasta 100µm, la utilización de las ventanas sirven para determinar la atenuación que sufrirá la señal transmita por kilómetro. Las ventanas de operación más utilizadas son:

La primera está entre 800 y 900nm, la segunda entre 1300 y 1400nm y la tercera entre 1550 y 1600nm [18], como aprecia en la Figura 2.4.

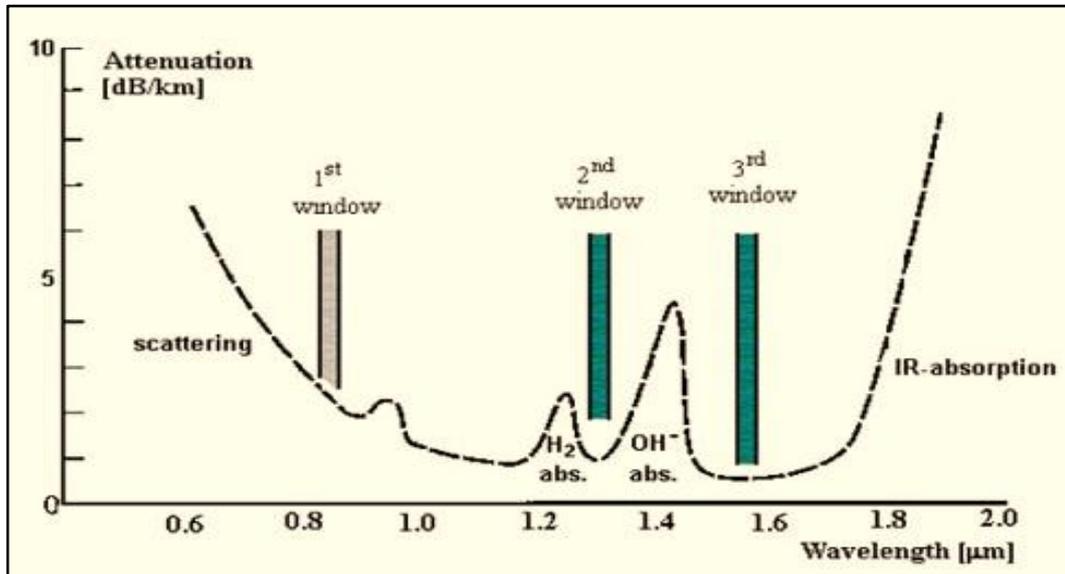


Figura 2.4.-Ventanas operativas de Fibra Óptica.

Fuente: [18]

### 2.2.5 Principio Físico de Propagación

La forma de propagación de la señal en los cables de fibra óptica se basa en las propiedades de refracción y reflexión de la luz.

#### Ley de Snell

Cuando la luz pasa de un medio transparente a otro con diferente índice de refracción, parte de la luz incidente se refleja en la frontera, la restante pasa al nuevo medio. Si un rayo de luz es incidente en un ángulo con la superficie no perpendicular, el rayo cambia de dirección conforme entra al nuevo medio, este cambio de dirección o doblado, se llama refracción. El ángulo de refracción depende de la rapidez de la luz en los medios y del ángulo de incidencia [19].

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.1) \text{ Ley de Snell (Ley de Refracción)}$$

## Ángulo crítico

Cuando la luz pasa de un material a otro índice de refracción es menor, la luz se dobla alejándose de la normal. A un ángulo incidente particular, el ángulo de refracción será de  $90^\circ$  y el rayo refractado rozaría la superficie. El ángulo incidente al que le ocurre esto se llama ángulo crítico  $\theta_c$  [19].

A partir de la ley de Snell  $\theta_c$  está dado por:

$$\text{sen}\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \text{sen } 90^\circ = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.2) \text{ Ángulo Crítico}$$

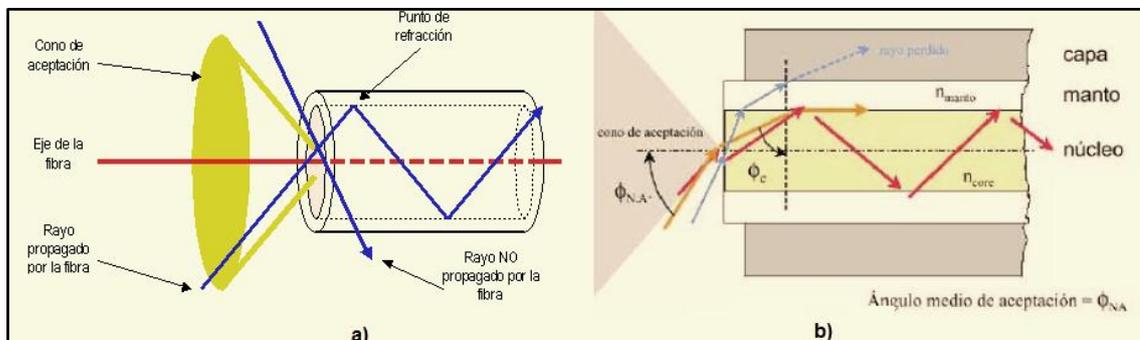
## Reflexión total interna (TIR)

La ley de Snell para ángulos incidentes mayores  $\theta_c$  diría que el  $\text{sen } \theta_2$  es mayor que 1.00, aunque el seno de un ángulo nunca puede ser mayor a 1.00. En este caso no existe rayo refractado y toda luz es reflejada. A este efecto se lo conoce como reflexión interna total, la misma que solo puede ocurrir cuando la luz toca una frontera donde el medio tiene un índice de refracción más bajo [19].

$$\theta_i > \theta_c \Leftrightarrow \text{TIR} \quad (2.3) \text{ Reflexión total interna}$$

## Ángulo de aceptación y cono de aceptación

Define al ángulo máximo que puede formar los rayos luminosos externos al llegar a la interfaz aire-fibra para poder propagarse por la fibra, con una respuesta no mayor de 10 dB menos que el valor máximo [20].



**Figura 2.5.-** a) Cono de aceptación, b) Ángulo de aceptación.  
**Fuente:** [http://www.tecnoficio.com/optica/fibra\\_optica\\_conceptos.php](http://www.tecnoficio.com/optica/fibra_optica_conceptos.php)

En la Figura 2.8, en a) se ve el ángulo de aceptación, al girar este ángulo entorno al eje de la fibra se obtiene el cono de aceptación de la entrada de la fibra b).

Matemáticamente el ángulo de aceptación se puede expresar de la siguiente manera:

$$\Theta_{\text{ent(máx)}} = \text{sen}^{-1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.4) \text{ Ángulo de Aceptación}$$

### **Apertura Numérica**

La apertura numérica es una cantidad adimensional que determina la cantidad de luz que puede ser guiada dentro de una fibra óptica, al aumentar la apertura numérica más rayos de luz son aceptados por la fibra. Matemáticamente se calcula de la siguiente manera [21].

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.5) \text{ Apertura Numérica}$$

**Donde:**  $n_1, n_2$ : son los índices de refracción del núcleo y de la cubierta de la fibra respectivamente

### **2.2.6 Pérdidas de la Fibra Óptica [22]**

A la pérdida de potencia a través del medio se conoce como Atenuación, es expresada en decibelios, con un valor positivo en dB, es causada por distintos motivos, como la disminución en el ancho de banda del sistema, velocidad, eficiencia. La fibra de tipo multimodal, tiene mayor pérdida debido a que la onda luminosa se dispersa originada por las impurezas. Las principales causas de pérdida en el medio son:

- ✓ Pérdidas por absorción
- ✓ Pérdida de Rayleigh
- ✓ Pérdidas por radiación
- ✓ Dispersión
- ✓ Pérdidas por acoplamiento

**Pérdidas por absorción.** Ocurre cuando las impurezas en la fibra absorben la luz, y esta se convierte en energía calorífica; las pérdidas normales van de 1 a 1000 dB/km.

**Pérdida de Rayleigh.** En el momento de la manufactura de la fibra, existe un momento donde no es líquida ni sólida y la tensión aplicada durante el enfriamiento puede provocar microscópicas irregularidades que se quedan permanentemente; cuando los rayos de luz pasan por la fibra, estos se difractan haciendo que la luz vaya en diferentes direcciones.

**Pérdidas por radiación.** Estas pérdidas se presentan cuando la fibra sufre de dobleces, esto puede ocurrir en la instalación y variación en la trayectoria, cuando se presenta discontinuidad en el medio.

**Dispersión.-** Es causada por las características dispersivas de la fibra sobre la señal en un intervalo de tiempo, lo que provoca ensanchamiento en el tiempo de los impulsos a medida que avanza en su recorrido, ocasionando errores que limitan la velocidad de transmisión en la fibra, pueden ser de dos clases: Material y Cromática.

- **La Dispersión Material**, ocurre porque el índice de refracción depende de la frecuencia o longitud de onda [20].
- **La Dispersión Intermodal o Cromática:** Este tipo de dispersión se debe a que, para un mismo modo de la fibra, la constante de propagación depende de la frecuencia en forma no lineal [20].

**Pérdidas por acoplamiento.** Las pérdidas por acoplamiento se dan cuando existen uniones de fibra, se deben a problemas de alineamiento.

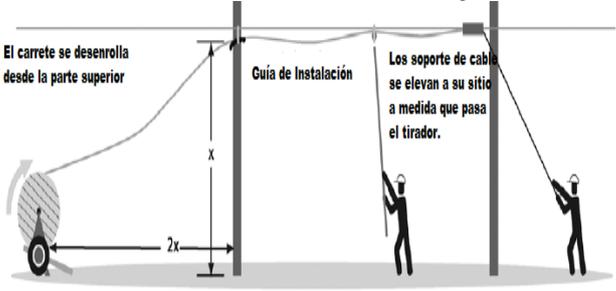
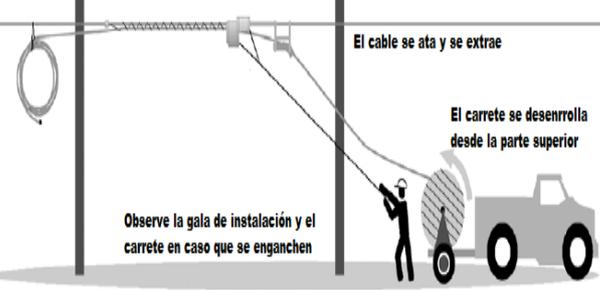
### **2.2.7 Tendido de Fibra Óptica**

Existen dos alternativas comunes para realizar el tendido de fibra óptica: Aéreo y Subterráneo

## Tendido Aéreo

Existen dos tipos de tendido aéreo: Enrollado retractable/fijo, Instalación con desplazamiento de carrete y atadura de cables, (ver Tabla 2.8), el entorno del sitio de construcción, la disponibilidad de equipos y mano de obra determinarán el método de tendido de cables a usar.

Tabla 2.8.- Métodos de Tendido Aéreo

Método	Descripción
<p style="text-align: center;"><b>Enrollado retractable/fijo</b></p>  <p>El carrete se desenrolla desde la parte superior</p> <p>Guía de Instalación</p> <p>Los soportes de cable se elevan a su sitio a medida que pasa el tirador.</p>	<p>Es el método usual de tendido de cable. El cable se coloca desde el carrete yendo hacia arriba por el alambre, tirado por un dispositivo que solamente viaja hacia adelante y es mantenido en alto por los soportes de cables. Durante la extracción se forman bucles de exceso (flojedad). El atado de hilos de cables se realiza después de tender los cables. [23]</p>
<p style="text-align: center;"><b>Instalación con desplazamiento de carrete y atadura de cables</b></p>  <p>El cable se ata y se extrae</p> <p>El carrete se desenrolla desde la parte superior</p> <p>Observe la gala de instalación y el carrete en caso que se enganchen</p>	<p>En este tipo de método, el cable se acopla al alambre y se desenrolla al alejar el carrete del mismo. El cable se ata a medida que se tira. Durante la atadura se guardan los bucles de cable adicional (flojedad). [23]</p>

Realizado por: El Investigador

### Requerimientos para realizar el Tendido Aéreo [24]:

- ✓ Precauciones de seguridad (desconexión eléctrica, etc).
- ✓ Instalar el fiador (correcto conexionado a tierra).
- ✓ Instalar cable guía y fijador al fiador.

- ✓ Respetar los radios de curvatura apropiados.
- ✓ Elevar el cable de Fibra óptica hasta el cable guía y fijador y mantener la distancia de seguridad de la bobina de cable (15 mts) en relación al fijador.
- ✓ Instalar fijador y asegurar al fiador (abrazadera de fijación).
- ✓ Atar el cable al fiador en la abrazadera de manera temporal.
- ✓ Ajustar el fijador para una adecuada operación, fijar un cabo de tiro al fijador.
- ✓ Iniciar la operación de estirar a mano sin brusquedad y mantener la velocidad de estirado respetando la distancia de seguridad de la bobina (ver Fig. 2.6 a)).
- ✓ En cada poste se detiene el tendido y se realiza el lazo de expansión (ver Fig. 2.6 b)) si este es preciso (no es necesario en cables auto-portantes).
- ✓ Continuar el tendido identificando en cada poste con etiquetas de aviso de cable óptico, cuando sea preciso, las cajas de empalmes se pueden montar en postes (ver Fig. 2.6 c)) o en el cable fiador (ver Fig. 2.6 d)).

En la Figura 2.9, se identifica los aspectos que se deben considerar para realizar el tendido aéreo:

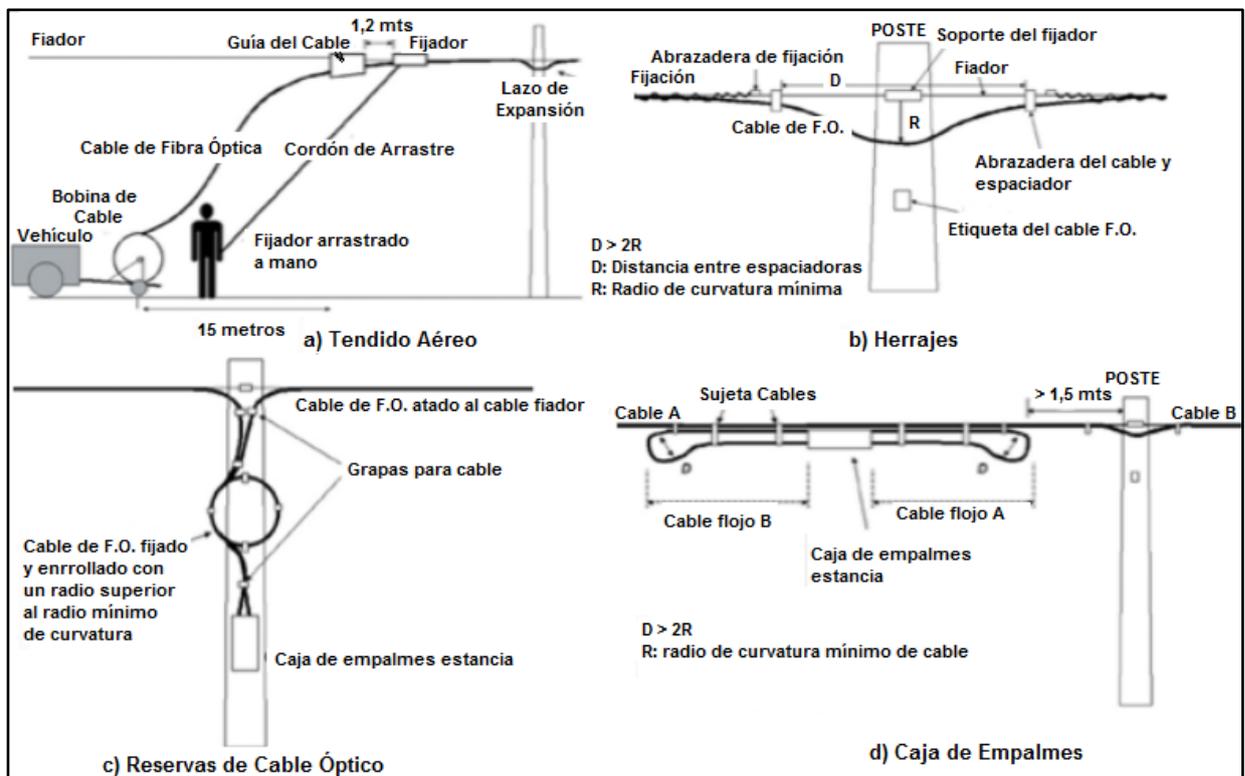


Figura 2.6.- Tendido Aéreo

Fuente: [24]

## **Clases de cables ópticos para instalaciones aéreas**

Dentro de las fibras para instalaciones aéreas se puede denotar tres alternativas: ADSS, OPGW, LASHED.

**ADSS (All Dielectric self-Supported).** - Estos cables ópticos auto-sustentados totalmente dieléctricos, han sido sometidos a rigurosas pruebas ambientales y mecánicas, de acuerdo a las normas de EIA / TIA, IEEE y ASTM. Con el uso de cables ópticos auto-sustentados ADSS se eliminó la necesidad de un cable mensajero, esto permitió utilizar en distancias largas ofreciendo ventajas en costo y facilidad de instalación [25]. Los cables ópticos ADSS son inmunes a interferencias de las redes eléctricas y no se ven afectados por las caídas de rayos, ya que carecen de elementos metálicos.

**OPGW (Óptica Ground Wire).**- El cable compuesto tierra-óptico (OPGW), es un cable de tierra que tiene fibras ópticas insertadas dentro de un tubo en el núcleo central del cable. Las fibras ópticas están protegidas y rodeadas por pesados cables a tierra. Este cable está diseñado para extenderse hasta 10 Km, reemplazando al cable de guarda existente en la red de transmisión eléctrica, permitiendo un doble uso real aprovechando, mejor los recursos de la torre de transmisión eléctrica. Individualmente las fibras ópticas son protegidas por una cubierta de plástico que protege los daños físicos, ambientales y de manipulación [12].

**LASHED.**- Los cables ópticos tipo Lashed son dieléctricos, instalados longitudinalmente a lo largo de conductos en tierra, a través de fibras de rifle, elementos de grampas de fijación. Posee un diseño totalmente dieléctrico, este cable es de baja resistencia a la tracción, no posee un elemento de tracción propio para su soporte, dependiendo totalmente de la resistencia del cable metálico. La instalación del cable LASHED es más lenta y más costosa en comparación a otros cables auto-sustentados [26].

En la Tabla 9, se detallan las características de los diferentes tipos de cable para tendido aéreo

**Tabla 2.9.-** Cables para Tendido Aéreo

<b>Características</b>	<b>ADSS</b>	<b>OPGW</b>	<b>LASHED</b>
Confiabilidad	Alta	Alta	Baja
Independencia de pararrayo	Total	Total	Ninguna
Sobrecarga Estructural	Pequeña	Razonable	Pequeña
Instalación en sistema nuevo	Simple	Simple	Media
Instalación en sistema existente	Simple	Compleja	Compleja
Trabajo con tensión enganchada	Simple	Compleja	Compleja
Facilidad de Mantenimiento	Fácil	Difícil	Difícil
Costo del producto	Bajo	Alto	Bajo
Costo de instalación	Bajo	Alto	Muy alto
Costo total del sistema	Bajo	Alto	Alto
Transferencia de esfuerzos para fibras con el tiempo	Bajo	Medio	Alto
Acceso a fibras ópticas	Fácil	Difícil	Fácil

**Fuente:** [http://wikitel.info/wiki/UA-Redes\\_PON\\_Instalacion](http://wikitel.info/wiki/UA-Redes_PON_Instalacion)

### **Elementos para la fijación de cables ópticos aéreos**

Los elementos de fijación constituyen componentes integrales en la instalación de la fibra óptica, se especificaran diferentes tipos de elementos de fijación, utilizados para mejor eficiencia en el tendido de la fibra.

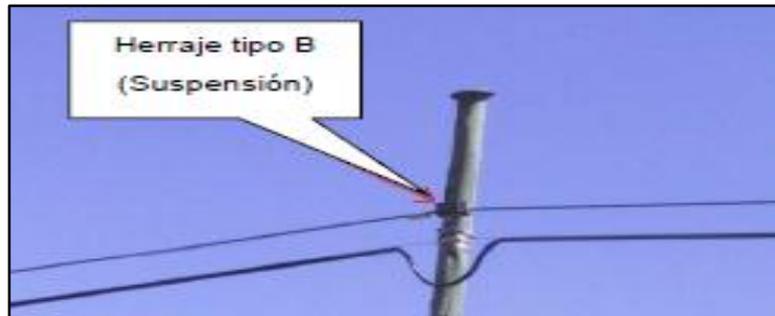
- **Herraje terminal tipo A.-** También llamado herraje de sujeción, en la Figura 2.7 se observa la función principal del herraje tipo A, que es cambiar de dirección del cable óptico dependiendo las necesidades del proyecto [27].



**Figura 2.7.-** Herraje Terminal tipo A

**Fuente:** [bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1386/1/CD-2673.pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1386/1/CD-2673.pdf)

- **Herraje terminal tipo B.-** También llamado herraje de suspensión, es utilizado para tramos de cortas distancias y rectos, posee movimiento lateral para no dañar a la fibra [27], como se muestra en la Figura 2.8.



**Figura 2.8.-** Herraje Terminal tipo B

**Fuente:** [bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1386/1/CD-2673.pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1386/1/CD-2673.pdf)

### Tendido Subterráneo

Para la instalación de la fibra óptica primero se realiza la instalación de los ductos; La profundidad para estos ductos dependen de factores como: tipo de suelo, condiciones propias del lugar a instalarse, realización de otros trabajos sobre la misma superficie, (ver Figura 2.9). Como referencia se tiene que para suelo normal la profundidad debe ser de 1.2 metros [28].



**Figura 2.9.-** Tendido Subterráneo

**Fuente:** <http://www.cadenanueve.com/wp-content/uploads/2012/01/P1000389.jpg>

En la norma UIT L-35 (Instalación de cables de fibra óptica en la red de acceso) se recomienda:

- ✓ Número de cámaras, arquetas y cajas de empalme por kilómetro a lo largo de la ruta: 1- 30.
- ✓ Material del conducto: PVC, HDPE, arcilla y acero.
- ✓ Diámetro interno del conducto: 27 - 125 milímetros.
- ✓ Material del subconducto: PVC y PE.
- ✓ Diámetro interno de los subconductos: 14 - 44 milímetros.

### **2.2.8 Equipamiento para el enlace de fibra óptica**

Los equipos utilizados para la interconexión de terminales se denotan a continuación:

**OLT (Optical Line Terminal).**- La Terminal de Línea Óptica, se encuentra en el edificio central, forma parte de los elementos activos de red, se encarga de interconectar la red de acceso con el backbone del operador, gestiona, administra y sincroniza el tráfico producido por los equipos terminales [29].

**ONT (Optical Network Termination).**- La terminal de Red Óptica, se encuentra situado en el usuario, está fabricada para que soporte adversidades ambientales, ofrece interfaces con Ethernet y gigaethernet [29].

**Divisor Óptico pasivo (Splitter).**- El Divisor Óptico, o Splitter Óptico, es un elemento pasivo utilizado en Redes PON (Passive Optical Networks o Redes Ópticas Pasivas) que realiza la división de la señal óptica proveniente de una fibra para varias otras.

La utilización de divisores en una red óptica proporciona la arquitectura punto a multipunto, o sea, una fibra o cabo proveniente de la central se subdivide para atención a incontables usuarios en diferentes localidades [30].

**ODF (Optical Distribution Frame).**- El distribuidor de fibra óptica es el punto de interconexión entre la fibra óptica proveniente de la planta externa y equipos activos de la red, presenta una caja metálica que posee uno o varios puertos de ingreso de cables y área de patcheo con adaptadores, en el que se conectan la terminaciones del cable de óptico, en su interior se encuentran bandejas de empalme, en donde se alojan las fusiones de fibra óptica, en el mercado existen de varias capacidades con diferentes tipos de adaptadores

**Conectores de fibra óptica.-** Son elementos de gran importancia dentro de los dispositivos pasivos necesarios para establecer un enlace óptico, permiten el alineamiento y unión temporal repetitivamente, de dos o más fibras ópticas entre sí, en las mejores condiciones ópticas posibles [31]. En la Figura 2.10, se ilustran varios tipos de conectores



**Figura 2.10.-** Clases de conectores de fibra óptica

**Fuente:** <https://sites.google.com/site/stigestionydesarrollo/recuperacion/desarrollo-1/tema11/8---propiedades-y-tipos-de-conectores-de-fibra-optica>

**Empalmes.-** Permiten la unión permanente de dos fibras ópticas, estas uniones producen atenuaciones de valor pequeño, sin embargo acumuladas en varios kilómetros de trayectoria puede ser una limitación importante en la longitud del enlace. En un empalme, las pérdidas son menores que 0.01dB [32].

**Mangas de Empalmes.-** Son elementos utilizados para proteger las fusiones, se pueden utilizar en empalmes aéreos, canalizados o directamente enterrados, posee resistencia mecánica en la cubierta, garantía de por vida.

### 2.2.9 Pérdidas en un enlace de fibra óptica

Para diseñar un sistema de fibra óptica, hay que tomar en cuenta las pérdidas ópticas producidas en la potencia, es decir el presupuesto de pérdidas ópticas es la indicación de cómo se utilizará la potencia óptica disponible.

**Potencia del transmisor.-** Es la potencia en las terminales de salida del transmisor que recibe la fibra óptica.

**Sensitividad del receptor.-** Es la potencia mínima a la que el receptor puede interpretar la información sin dificultad.

**Ganancia del sistema.-** es el total de la potencia del emisor y el receptor.

**Margen de seguridad.-** Es un determinado valor de pérdidas que se genera debido a diferentes factores como: vida útil de los componentes, factores ambientales, dispersión, errores en el diseño del enlace. Este valor de pérdida tiene un aproximado entre 5 a 10 dB.

**Presupuesto de pérdidas.-** Es el valor máximo de pérdidas en un enlace causado por los conectores, empalmes y atenuaciones.

**Pérdidas por conectores.-** Las pérdidas por conectores son causadas principalmente por: alineación errónea, reflexión en las superficies aire-vidrio, separación entre las fibras, diferentes tamaño de núcleo, entre otros [33].

**Pérdidas por empalmes.-** Las pérdidas por empalmes se atribuye a diferentes factores como: mal corte, desalineamiento de los núcleos de las fibras, burbujas de aire, desadaptación del índice de refracción, etc. [33].

**Pérdidas por otros componentes ópticos.-** Existen otros componentes ópticos pasivos que se utilizan adicionalmente que generan pérdidas como los splitters, combinadores, estrellas, entre otros.

**Atenuación en el cable disponible.-** Corresponde a la disminución de potencia que se genera a medida que la luz óptica viaja a través de la fibra óptica.

**Pérdida total en la fibra.-** Para obtener la pérdida total en la fibra, se utiliza la constante de atenuación.

**Potencia en el receptor.-** Es la potencia que llega al receptor proveniente de la potencia del emisor.

**Rango dinámico.-** Es la diferencia entre la potencia máxima del receptor y la sensibilidad [34].

### 2.2.10 Relación Señal Ruido

La Relación Señal Ruido sirve para cuantificar la cantidad presente de ruido en alguna señal dada [35]. La expresión matemática para el caso de la fibra óptica es:

$$\text{SNR} = \frac{\text{Potencia Señal}}{\text{Potencia Ruido Total}} \quad (2.1) \text{ Relación Señal-Ruido}$$

### 2.2.11 Técnicas de Multiplexación.

Es la función de repartir un único canal de comunicaciones de capacidad (K) entre subcanales de entrada ( $n_i$ ) de capacidades ( $K_i$ ), en donde la sumatoria de las velocidades no puede ser mayor al valor de la capacidad (K) [36].

#### **Tipos de Tecnología de Multiplexación por Fibra Óptica.**

Entre los principales tipos de multiplexación se puede mencionar los siguientes:

**Multiplexación por división en el tiempo:** La multiplexación por división en el tiempo, es utilizada en señales digitales, para transmitir diferentes tipos de datos, los mismos que viajan por el canal en distintos espacios de tiempo [37].

**Multiplexación por división de longitud de onda:** La Multiplexación por división de longitud de onda consiste en adaptar múltiples señales de luz en un solo cable de fibra óptica, utilizando diferentes frecuencias [38].

Los sistemas WDM se han aplicado como CWDM y DWDM. En la Tabla 2.10, se muestra una comparación entre las principales características de las diferentes técnicas de multiplexación.

**Tabla 2.10.-Técnicas de Multiplexación**

TDM [37]	WDM[39]
<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad alta</li> <li>Costo bajo</li> <li>- No es necesario incluir la identificación de la corriente de tráfico en cada paquete.</li> </ul> <p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo inicial alto</li> <li>Complejidad técnica</li> <li>- Ruido causada por la comunicación análoga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite la transmisión simultánea de diferentes longitudes de onda por un mismo cable de fibra, es decir aumenta la capacidad del canal de transmisión.</li> <li>- Aprovecha el ancho de banda de la fibra óptica.</li> <li>- El sistema es escalable.</li> <li>- El diseño de los sistemas WDM es transparente al formato y velocidad de transmisión de los datos. Lo cual es la principal ventaja de esta técnica.</li> <li>- En redes complejas es más sencillo emplear WDM porque la extracción y la inserción de canales son más sencilla gracias a los elementos ópticos como los AODM.</li> </ul>

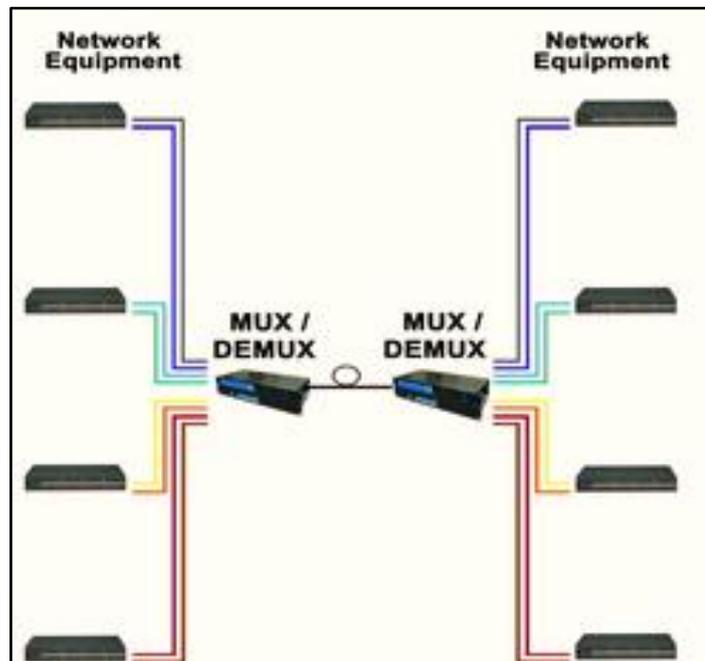
**Realizado por:** El Investigador

**Fuentes:** [37], [38].

### 2.2.12 CWDM (Multiplexación por división en longitudes de onda ligeras) [39]

CWDM es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica, se utiliza en conductores de fibra multimodo, fue estandarizado por la ITU-T (Internacional Telecommunication Union – Telecommunication sector), en la recomendación G.694.2 en el año 2002. Los sistemas CWDM requieren de un espaciamiento entre longitudes de onda, mayor o igual a 20 [nm], esta amplitud permite utilizar componentes que no tengan alta precisión.

En la Figura 2.11 se muestra se muestra el principio de funcionamiento.



**Figura 2.11.-** Tecnología CWDM

**Fuente:** [http://www.optech.com.tw/WebMaster/?module=news&func=\\_detail&id=21](http://www.optech.com.tw/WebMaster/?module=news&func=_detail&id=21)

CWDM es una implementación de WDM para redes de cortas distancias, puede operar con 8 longitudes de onda, cada una operando a un Bit Rate que va desde los 156 [Mbps] a los 10 [Gbps], obteniendo anchos de banda de hasta 100 [Gbps].

### **2.2.13 DWDM (Multiplexación por división en longitudes de onda densas)**

Los sistemas DWDM pueden acoplar la salida de diferentes fuentes emisoras de luz a una longitud de onda diferente, sobre una misma fibra óptica.

Las señales se multiplexación y demultiplexación, para ser enviadas por un canal óptico, después de la transmisión a través de la fibra, cada una de estas señales o canales ópticos en distintas longitudes de onda, pueden ser separadas entre sí hacia diferentes detectores en su extremo final [40].

En la Figura 2.12, se ilustra la multiplexación DWDM

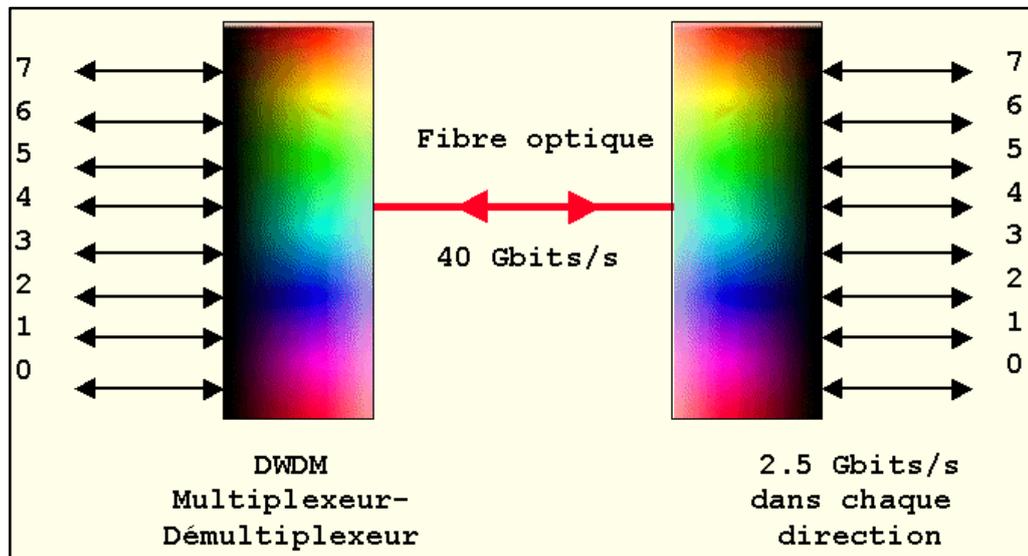


Figura 2.12.- Técnica de Multiplexación DWDM  
Fuente: <http://sx-de-tx.wikispaces.com/DWDM+y+CWDM>

### Funcionamiento de un Sistema DWDM

Para el funcionamiento de un sistema DWDM se puede distinguir cuatro etapas, como se puede observar en la Figura 2.13.

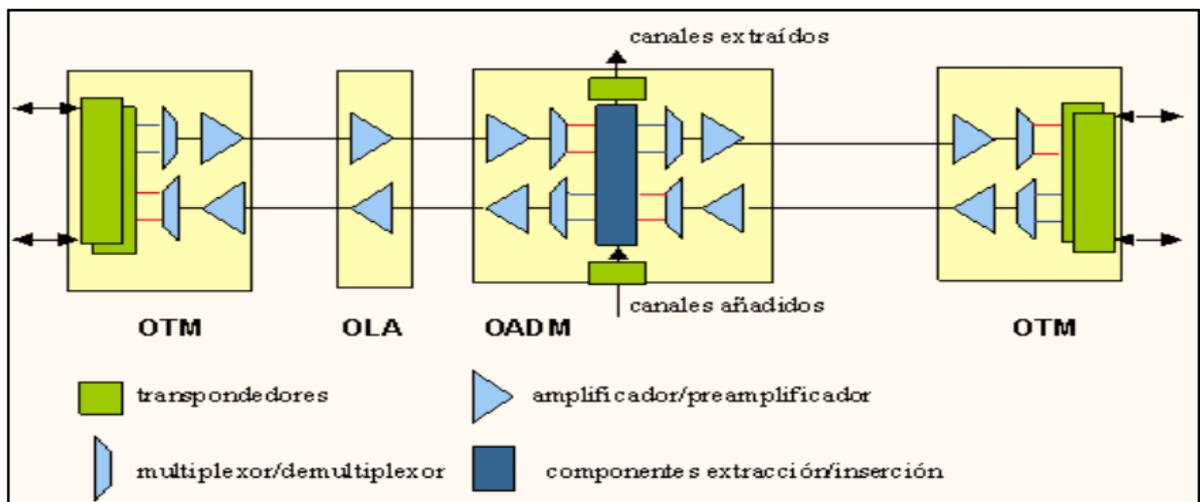


Figura 2.13.- Estructura de un sistema DWDM  
Fuente: <http://es.slideshare.net/geronchavarriavera/redes-dwdm>

**OTM (Optical Terminal Multiplexer).**- Es el dispositivo encargado de multiplexar en la transmisión y demultiplexar en la recepción.

**OLA (Optical Line Amplifier).**- Es el dispositivo encargado de amplificar la señal multiplexada.

**OADM (Optical Add and Drop Multiplexers).** - Es el dispositivo encargado de tomar información de un canal óptico determinado y enviar otra información sobre el mismo canal o diferente.

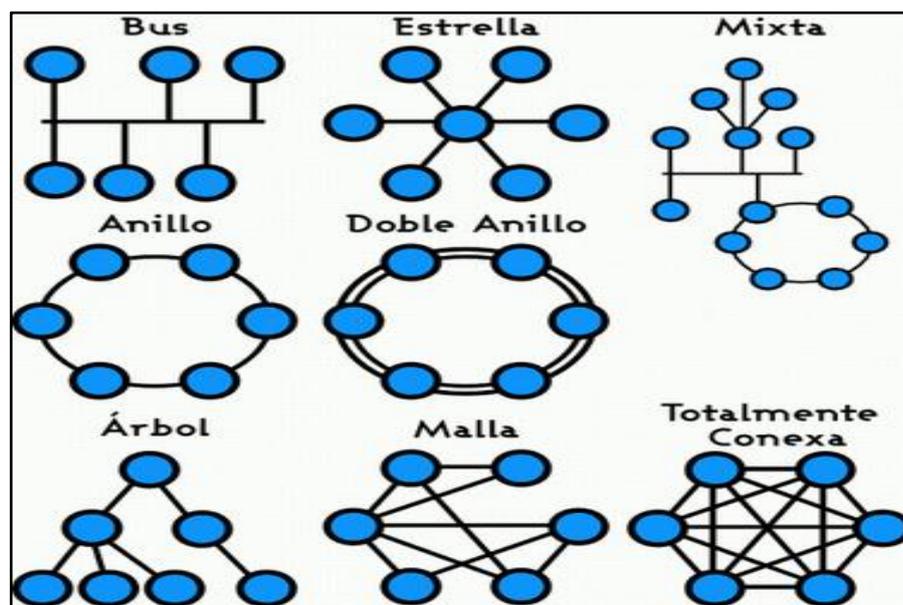
**OXC (Optical Cross Connects).**- Es un conmutador de canales entre fibras de entradas y fibras de salida.

### Ventajas

- ✓ Baja atenuación.
- ✓ Fácil instalación, inmunidad a interferencias electromagnéticas.
- ✓ Alta seguridad de la señal, posibilidad de integración.
- ✓ Alto ancho de banda.

### 2.2.14 Topologías de Red

La topología de red se define como un plano físico o lógico de un conjunto de equipos conectados para intercambiar información, pertenecientes a una red determinada (conjunto de nodos conectados).



**Figura 2.14.-** Topologías de Red

**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos53/topologias-red/topologias-red.shtml>

Para identificar los tipos de topologías de red se les asignado diferentes nombres, dependiendo de sus características. Las topologías de Red pueden ser: Estrella, Bus, Anillo, Dorsal, Árbol, Completa, como se muestran en la Figura 2.14. En la Tabla 2.11, se describen las ventajas y desventajas de las topologías de red más utilizadas: Estrella, Anillo y Malla

**Tabla 2.11.-Topología de Red**

<b>Estrella</b>	<b>Anillo</b>	<b>Malla</b>
<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilita el incremento de equipos.</li> <li>- Reconfiguración rápida.</li> <li>- Diagnóstico fácil de daños y/o conflictos.</li> <li>- Centralización de la red.</li> <li>-Simplicidad de conexión de equipos.</li> </ul> <p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falla el switch central, toda la red deja de funcionar.</li> <li>- Requiere más cable que la topología en anillo.</li> </ul>	<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El sistema sigue siendo óptimo cuando muchos usuarios utilizan la red.</li> <li>- Arquitectura sólida.</li> <li>- Cuando falla un dispositivo, la dirección de la información cambia de sentido.</li> </ul> <p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La información pasar por las estaciones intermedias.</li> <li>- La red tiende a crecer el sistema se degrada.</li> <li>- Dificulta diagnosticar y reparar los problemas.</li> <li>- Los archivos podrán ser vistos por las estaciones intermedias antes de llegar al destino.</li> </ul>	<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La información puede viajar por diferentes caminos.</li> <li>- Al fallar un cable de un tramo, otro cable perteneciente a otro tramo se encargará del tráfico.</li> <li>- Se reduce el mantenimiento ya que no requiere un nodo central.</li> <li>- Cuando falla un dispositivo de un nodo no afecta en absoluto a los demás nodos.</li> </ul> <p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementación de la red costosa.</li> <li>- Cuando la población supera a 5000 habitantes, el ancho de banda puede afectarse.</li> </ul>

**Realizado por:** El Investigador.

**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa\\_de\\_red](http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa_de_red)

## **2.2.15 Calidad de Transmisión**

### **QoS o Calidad de Servicio**

La recomendación UIT-T G.1000 es tomada como referencia, debido a que proporciona definiciones de calidad de servicio con un enfoque uniforme y coherente. Sin embargo a continuación se enlista las definiciones que ilustran de manera más precisa el significado que encierra (QoS) calidad de servicio [41]:

- ISO 8402: “el total de las características de una entidad que afectan su habilidad para satisfacer necesidades declaradas e implícitas”.
- La ISO 9000 define la calidad como “grado en el que un conjunto de características inherentes satisface los requisitos”.
- Desde una perspectiva normativa, la norma UNE- EN-ISO 9000:2000 se refiere a la calidad como el grado en que un conjunto de características inherentes cumple con las necesidades o expectativas establecidas, que suelen ser implícitas u obligatorias. [42]

Calidad de servicio, es el rendimiento promedio de una red, particularmente el rendimiento visto por los usuarios de la misma.

Para medir cuantitativamente la calidad de servicio son considerados varias prestaciones exigidas a la red en función de parámetros, tales como:

- Ancho de banda
- Velocidad de transmisión
- Capacidad de transferencia
- Retardo (Tiempo de transmisión o latencia)
- Latencia
- Jitter
- Tiempo de Respuesta
- Eficiencia Espectral

## 2.2.16 Redes Ópticas

El desarrollo de las comunicaciones ópticas fue posible con la invención del láser y los Leds sobre la óptica, este método se desarrolló para transportar gran cantidad de datos.

### Red PON

Una red PON está considerada como una red óptica pasiva, ya que los elementos de la misma son pasivos, los elementos que conforman una red PON son los siguientes:

#### Elementos Activos

- OLT
- ONT

#### Elementos Pasivos

- Splitters
- Fibra Óptica
- Empalmes

**OLT (Optical Line Terminal).**- La Terminal de Línea Óptica, es el equipo concentrador, encargado de proveer enlaces de fibra óptica hacia la red de usuarios.

**ONT/ ONU (Optical Network Unit).** - La Unidad de Red Óptica, es el equipo que se encuentra en la terminal de usuario.

### Ventajas:

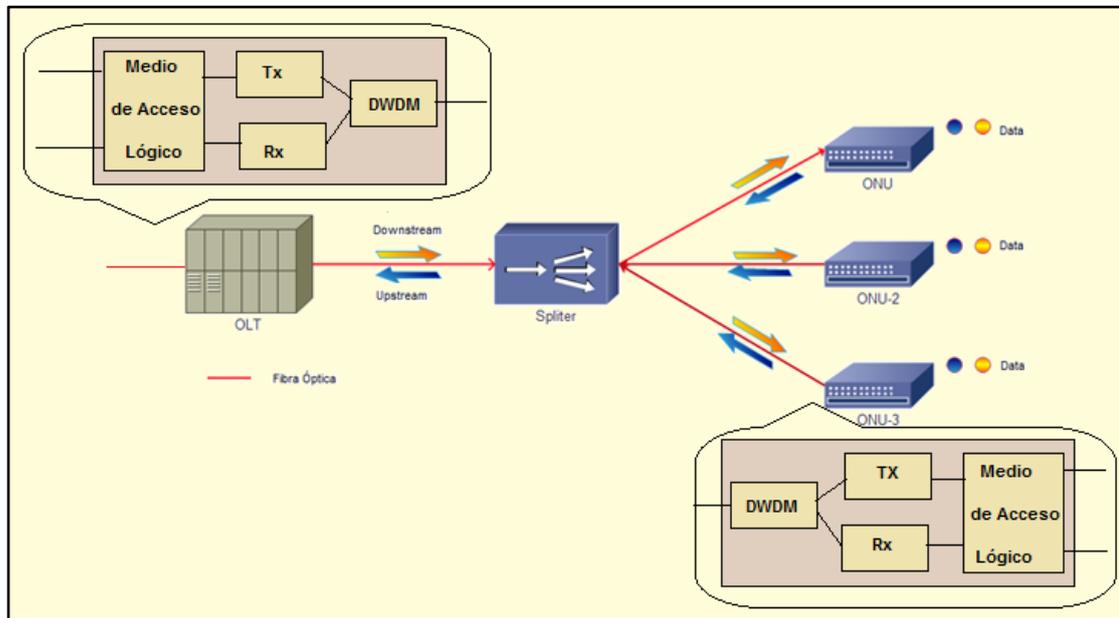
Entre las principales ventajas de una red PON:

- ✓ Empleo de menor cantidad de Fibra ópticas
- ✓ Los equipos activos se encuentran ubicados en los interiores de las instalaciones.
- ✓ Escalabilidad y actualizaciones sin cambios de equipos.
- ✓ Costo bajo

### Funcionamiento de una red PON

Por medio de la multiplexación WDMx (Multiplexación de longitud de onda) se dividen todas las componentes necesarias para realizar la transmisión Upstream (Tráfico hacia la Central), Downstream (Tráfico hacia el usuario).

En la Figura 2.15, se ilustra la transmisión de datos desde la OLT hasta la ONU, utilizando un splitter para multiplexar las señales.



**Figura 2.15.-** Funcionamiento de una red PON  
**Realizado por:** El Investigador

### Parámetros de Redes PON [43]

Las redes PON presentan los siguientes parámetros:

#### Forward Error Correction (FEC)

- ✓ FEC es un mecanismo utilizado por GPON para mejorar la calidad de transmisión
- ✓ Permite mejorar el “Budget” ‘optico en 3 dB

#### Seguridad en el envío de datos

- ✓ Utiliza algoritmos de encriptación.
- ✓ Generan llaves individuales entre cada ONT y OLT.
- ✓ Utiliza modo de operación “Counter-Mode” que permite incrementar robustez.

## Calidad de Servicio (QoS) en la ONT

- ✓ Clasificación de tráfico basado en VLAN/802.1p.
- ✓ Scheduling de servicios basado en la combinación de prioridades por algoritmos SP (Strict Priority) y WRR (Weighted Round Robin).
- ✓ Transmisión de servicios basada en el mapeo en diferentes T-CONTS, mejorando la utilización de los enlaces.

## Calidad de servicio (QoS) en la OLT

- ✓ Clasificación de tráfico basado en VLAN/802.1p.
- ✓ Scheduling de servicios basado en la combinación de prioridades por algoritmos SP (Strict Priority) y WRR (Weighted Round Robin).
- ✓ Algoritmo DBA, mejora la utilización del ancho de banda en sentido upstream.
- ✓ Control de acceso basado en ACLs de capa 2 y superiores.

## Tecnología PON

Las tecnologías PON, se subdividen en: BPON, EPON, GPON

**Tabla 2.12.-** Tecnologías PON

BPON	EPON	GPON
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Estándar ITU-T G.983</li> <li>•Tasa de transmisión en Downstream: 155/622/1244 Mbps</li> <li>•Tasa de transmisión en Upstream: 155/622 Mbps</li> <li>•Splitting Factor de 1:32</li> <li>•Eficiencia del 70%</li> <li>•Transporte por medio de celdas ATM</li> <li>•Permite el transporte de señales CATV-RF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Estándar IEEE 802.3ah</li> <li>•Tasa de transmisión en Downstream: 1.2 Gbps</li> <li>•Tasa de transmisión en Upstream: 1.2 Gbps</li> <li>•Splitting Factor de 1:16 / 1:32</li> <li>•Eficiencia del 80% y del 60% cuando se utilizan servicios de voz</li> <li>•Transporte por medio de tramas Ethernet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Estándar ITU-T G.984</li> <li>•Tasa de transmisión en Downstream: 1.2 Gbps / 2.4 Gbps</li> <li>•Tasa de transmisión en Upstream: 1.2 Gbps / 2.4 Gbps</li> <li>•Splitting Factor de 1:64 / 1:128 (en desarrollo)</li> <li>•Eficiencia del 93% para todos los tipos tráfico de servicios</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>•Provee protección de los puertos PON</li> <li>•Provee seguridad en Downstream por medio de AES</li> <li>•No posee corrección de errores por FEC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•No permite el transporte de señales CATV-RF</li> <li>•No existe un estándar para la protección de los puertos PON</li> <li>•No provee seguridad en Downstream</li> <li>•Provee un mecanismo de corrección de errores por FEC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Transporte por medio de tramas GEM</li> <li>•Permite el transporte de señales CATV-RF</li> <li>•Estándar para la protección de los puertos PON</li> <li>•Provee seguridad en Downstream por medio de AES</li> <li>•Provee un mecanismo de corrección de errores por FEC</li> </ul>
--	---	--

Fuente: [43]

Realizado por: El Investigador

### 2.3 Propuesta de Solución

El presente proyecto propone diseñar un Sistema alternativo de transmisión de datos para la Empresa Eléctrica de Cotopaxi y sus subestaciones, utilizando fibra óptica con la técnica DWDM (Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda), para mejorar la calidad de transmisión de datos y optimizar los servicios de sus clientes.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Modalidad Básica de la Investigación**

Se ejecutó la investigación de campo, porque el estudio realizado, se lo hizo directamente en la Empresa Eléctrica de Cotopaxi donde se obtuvieron datos reales, para dar solución al problema.

Se utilizó una investigación bibliográfica ya que la información se recopiló en libros, reportajes, papers, tesis de grado y en el Internet, teniendo como objetivo mejorar el conocimiento, criterio y enfoque, todo en cuanto esté relacionado a los Sistemas de Comunicación y calidad de servicio.

Se empleó la investigación experimental, puesto que se utilizó tecnologías en comunicaciones ópticas así como la simulación del Sistema alternativo de transmisión de datos con tecnología DWDM.

#### **3.2 Plan de Recolección de Información**

La recolección de información se realizó en base a guías de observación, que permitieron tomar información del funcionamiento del actual sistema de transmisión de datos, se buscó criterios e información de los funcionarios técnicos a través de entrevistas.

### **3.3 Procesamiento y Análisis de la Información**

Una vez recolectada la información, se sometió a procesos de análisis mediante la tabulación de los datos en cuadros y gráficos, y se realizó el análisis de la información obtenida.

### **3.4 Desarrollo del Proyecto**

Para el desarrollo del proyecto se realizaron los pasos que se listan a continuación:

- Obtención de información del Sistema de Comunicación actual de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi.
- Análisis de información, para fundamentar el desarrollo de la investigación.
- Ejecución de pruebas de transmisión de datos, de una estación a otra, en sistema de comunicación actual.
- Identificación de los problemas incidentes en el sistema de comunicación de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi.
- Definición de los requerimientos técnicos empresariales, para la transmisión de datos entre la central y subestaciones de ELEPCO S.A.
- Determinación de la ubicación geográfica de la matriz y subestaciones de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi.
- Análisis del medio que mejor se adapte a los requerimientos empresariales.
- Selección de los equipos que se puedan adaptar al sistema de comunicación alternativo.
- Diseño de los diagrama de red (lógico y físico), del sistema de Comunicación Alternativo.
- Simulación del sistema alternativo de comunicación con DWDM.
- Desarrollo del presupuesto total del proyecto.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

A continuación se indica el desarrollo de la propuesta de acuerdo a los objetivos planteados.

#### **4.1 Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi S.A.**

El 25 de noviembre de 1983 se otorga la escritura pública de constitución de la compañía anónima denominada "EMPRESA ELECTRICA PROVINCIAL DE COTOPAXI S.A., ELEPCO S.A.". El primero de febrero de 1984 entra en funcionamiento la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, es una sociedad anónima, siendo su objeto social, la prestación del servicio público de electricidad en su área de servicio. El área de servicio es la Provincia de Cotopaxi.

Los accionistas de ELEPCO S.A. son instituciones del sector público: Fondo de Solidaridad, H. Consejo Provincial de Cotopaxi y los Municipios de Latacunga, Salcedo, Saquisilí, Pangua y Pujilí, estos dos últimos recientemente incorporados.

Las actividades principales o sustantivas de la empresa, son la generación, transporte, distribución y comercialización de la energía eléctrica dentro de su ámbito de concesión geográfica. Se rige por la Ley de Compañías, Ley de Régimen del Sector Eléctrico, el

Consejo Nacional de Electrificación (CONELEC), el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) y por sus propios Estatutos y Reglamentos.

En la Figura 4.1 se muestra la ubicación de las sucursales de la Empresa Eléctrica Cotopaxi mencionadas en el proyecto, sobre el mapa de la provincia de Cotopaxi.

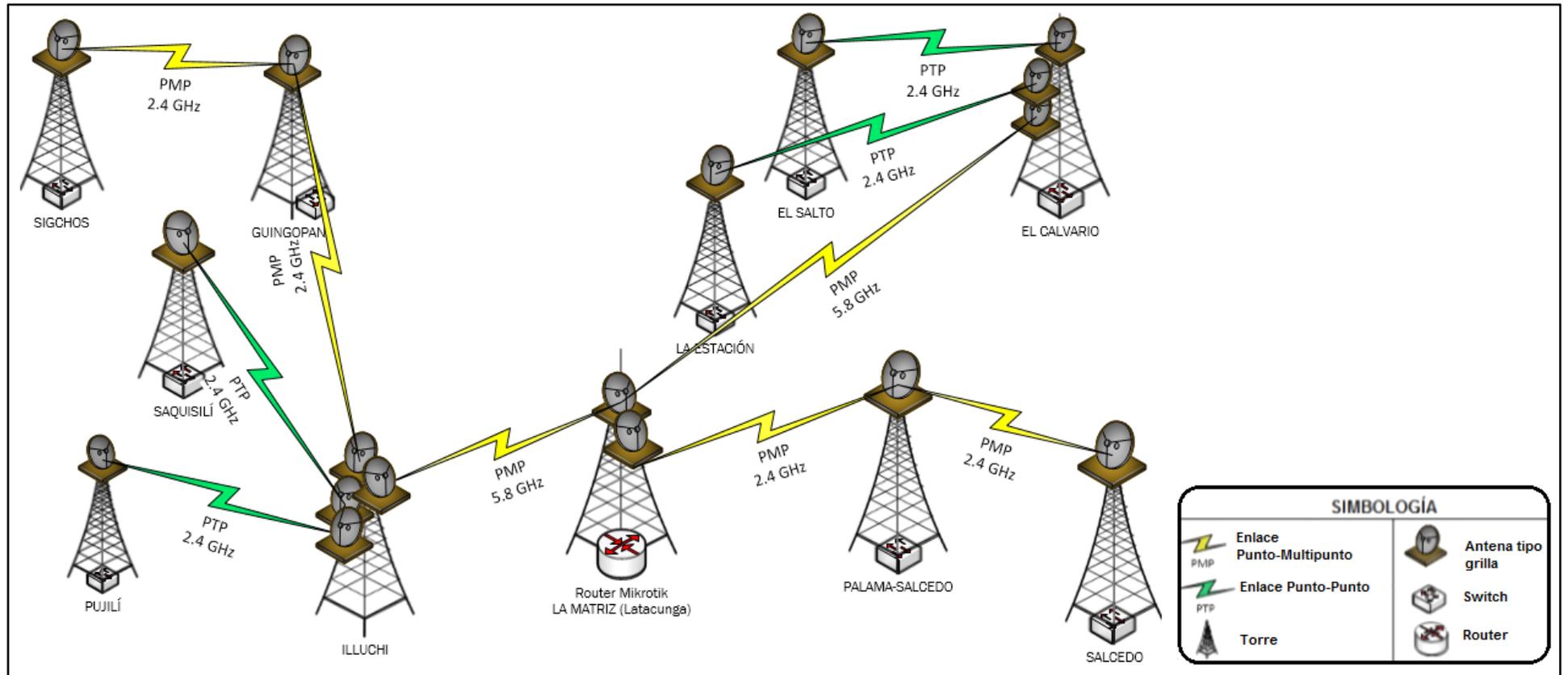


**Figura 4.1.- Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A. y sus Subestaciones**  
**Realizado por: El Investigador**

#### **4.2 Red actual del sistema de comunicación de la Empresa ELEPCO S.A.**

La Empresa Eléctrica de Cotopaxi tiene un sistema de comunicación a través de radioenlaces, estructurada por: enlaces punto-multipunto y punto-punto, como se muestra en la Figura 4.2.

## Diagrama de Red del Sistema de Comunicación Actual



**Figura 4.2.-** Diagrama de red del Sistema de Comunicación Actual de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi ELEPCO S.A.  
**Realizado por:** El Investigador

En la Tabla 4.1, se describe las sucursales que tienen los diferentes tipos de enlaces.

**Tabla 4.1.-** Tipos de Enlaces en el Sistema de Comunicación actual de la Empresa ELEPCO S.A.

<b>Enlace</b>	<b>Descripción</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Punto-Multipunto</b>	✓ La Matriz, Illuchi y El Calvario,	✓ 5.8 GHz
	✓ Quingopana, Illuchi y Sigchos	✓ 2.4 GHz
	✓ LaMatriz, Palama-Salcedo y Salcedo	✓ 2.4 GHz
<b>Punto-Punto</b>	✓ El Calvario, El Salto.	✓ 2.4 GHz
	✓ El Calvario, La Estación	✓ 2.4 GHz
	✓ Illuchi, Pujili	✓ 2.4 GHz
	✓ Illuchi, Saquisili	✓ 2.4 GHz

**Realizado por:** El Investigador

### 4.3 Equipos del Sistema de Comunicación actual

Los equipos que se muestran en la Tabla 4.2, son los que se encuentran en la subestaciones de la Empresa Eléctrica Cotopaxi.

**Tabla 4.2.-** Equipos del sistema de comunicación actual de ELEPCO S.A.

<b>Estaciones</b>	<b>Equipos</b>
Matriz	✓ Antenas tipo grilla Hyperlink 24dB
	✓ Radio Mikrotik 5.8 GHz
	✓ Router Mikrotik
	✓ Swicht 3Com
El Calvario – Centro	✓ Antenas tipo grilla Hyperlink 24dB
	✓ Radio Mikrotik 2.4GHz y 5.8 GHz
	✓ Swichth 3Com
La Estación	✓ Antenas tipo grilla Hyperlink 24dB
	✓ Radio Orinoco 2.4 GHz
	✓ Swicht 3Com
El Salto	✓ Antenas tipo grilla Hyperlink 24dB
	✓ Radio Mikrotik 2.4 GHz
	✓ Swicht 3Com

Illuchi	✓ Antenas tipo grilla Hyperlink 24dBi
	✓ Radio Mikrotik 2.4GHZ y 5.8GHZ
	✓ Swicht 3Com
Saquisilí	✓ Antena tipo grilla Hyperlink 24dBi
	✓ Radio de Mikrotik 2.4 GHz
	✓ Swicht 3Com
Pujilí	✓ Antena tipo grilla Hyperlink 24dBi
	✓ Radio de Mikrotik 2.4 GHz
	✓ Swicht 3Com
Sigchos	✓ Antena tipo grilla Hyperlink de 24 dBi
	✓ Radio Mikrotik de 2.4 GHz
	✓ Swicht 3Com
Salcedo	✓ Antena tipo grilla Hyperlink de 24 dBi
	✓ Radio Mikrotik de 2.4 GHz
	✓ Swicht 3Com
Quingopana	✓ Antenas tipo grilla Hyperlink de 24 dBi
	✓ Radio Mikrotik de 2.4 GHz
	✓ Swicht 3Com

**Realizado por:** El Investigador

En la Tabla 4.3 se muestran los diferentes dispositivos del Sistema de Comunicación actual de la Empresa ELEPCO S.A.

**Tabla 4.3.-** Equipos y Descripción del Sistema de Comunicación actual de ELEPCO S.A.

Equipos	Descripción
<p><b>RADIO</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Marca: Mikrotik</li> <li>✓ Bandas: 5,8 GHz</li> <li>✓ Velocidad de Transmisión: 6 Mbps</li> </ul>

<p style="text-align: center;"><b>ANTENA</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Marca: Hiperlink</li> <li>✓ Tipo: Grilla</li> <li>✓ Frecuencia: 2.4GHz</li> <li>✓ Ganancia 24dBi</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>ROUTER</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Marca: Mikrotik</li> <li>✓ Serie: 1100</li> <li>✓ Puertos Ethernet: 13</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>SWITCH</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Marca: 3Com</li> <li>✓ Puertos: 24 y 48 10/100 Ethernet</li> </ul>

**Realizado por:** El Investigador

#### **4.4 Transmisión de datos entre estaciones**

Para analizar la transmisión de datos se utilizó el software de “THE DUDE” de Mikrotik, el mismo que permite el monitoreo del rendimiento del Sistema de Comunicación actual de la Empresa Eléctrica Cotopaxi ELEPCO S.A.

En el software “THE DUDE”, se configuraron los dispositivos que conforman el sistema de comunicación actual de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi, para el cual se tiene el siguiente direccionamiento IP.

#### **Plan de Direccionamiento IP actual**

Los equipos se comunican utilizando un protocolo de Internet IP (Internet Protocol) y direcciones numéricas compuestas por cuatro números enteros (4 bytes) entre 0 y 255, las direcciones IP deben ser exclusivas para cada equipo.

En la Tabla 4.4, se indica el direccionamiento IP de la Empresa ELEPCO S.A.

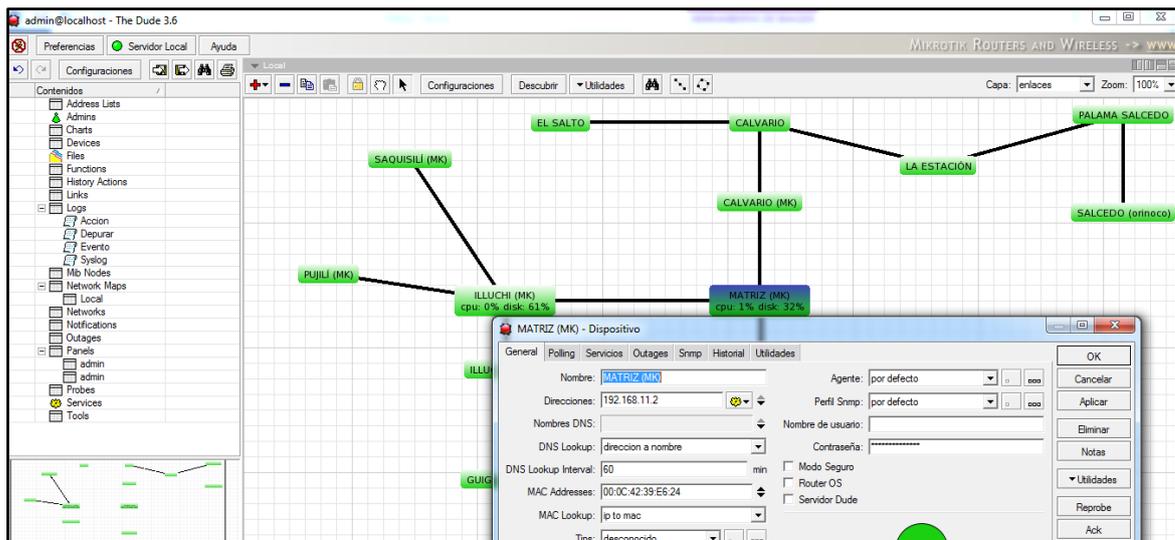
**Tabla 4.4.-** Direccionamiento IP actual de Empresa ELEPCO S.A.

Terminal	Dirección IP
La Matriz	192.168.11.2/24
El Salto	192.168.11.7/24
El Calvario	192.168.11.6/24
La Estación	192.168.11.8/24
Salcedo	192.168.11.26/24
Sigchos	192.168.11.30/24
Saquisilí	192.168.11.15/24
Pujilí	192.168.11.14/24

**Realizado por:** El Investigador

En la Figura 4.3 se muestra la configuración de los equipos de las sucursales de la Empresa Eléctrica Cotopaxi (La Matriz, El Salto, El Calvario, La Estación, Salcedo, Saquisilí y Pujilí), utilizando el software “THE DUDE”.

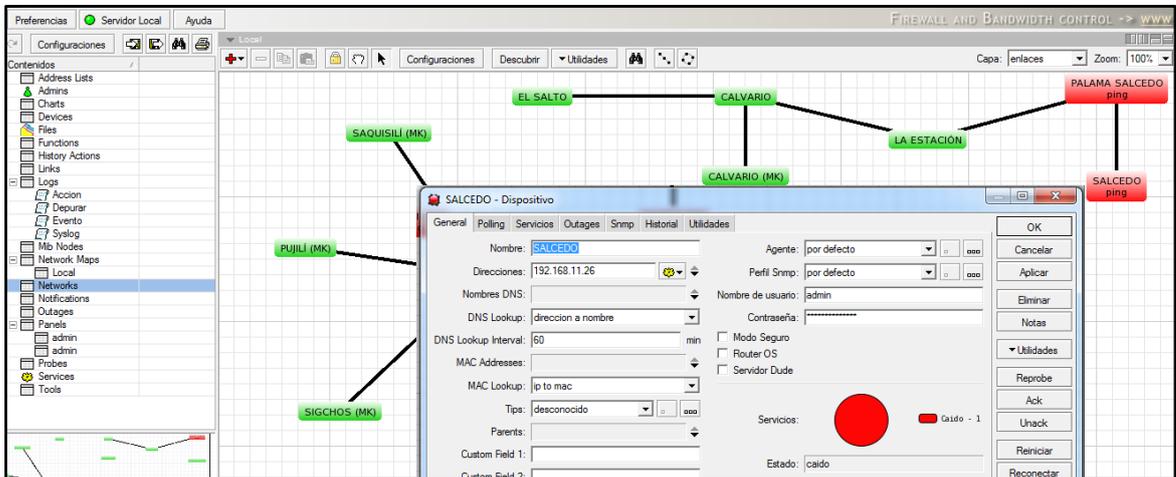
Por políticas de la Empresa no se puede especificar cada una de las configuraciones realizadas en los equipos, ya que el software es de uso específico de la Empresa.



**Figura 4.3.-** Programación de equipos en la aplicación “THE DUDE”

**Realizado por:** El Investigador

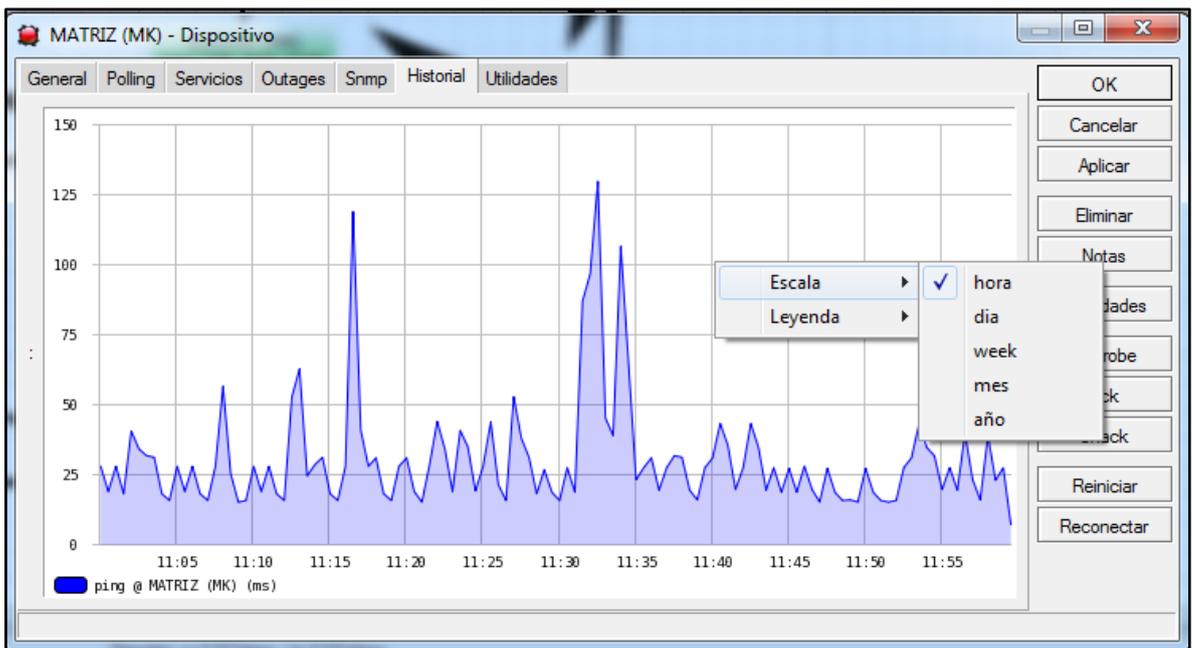
Cuando el Icono que representa a cada uno de los equipos está de color verde implica que el servicio está activo, si el color del icono cambia a rojo el servicio está desactivado como se ilustra en la Figura 4.4.



**Figura 4.4.-** Servicio desactivado en la sucursal de Salcedo  
**Realizado por:** El Investigador

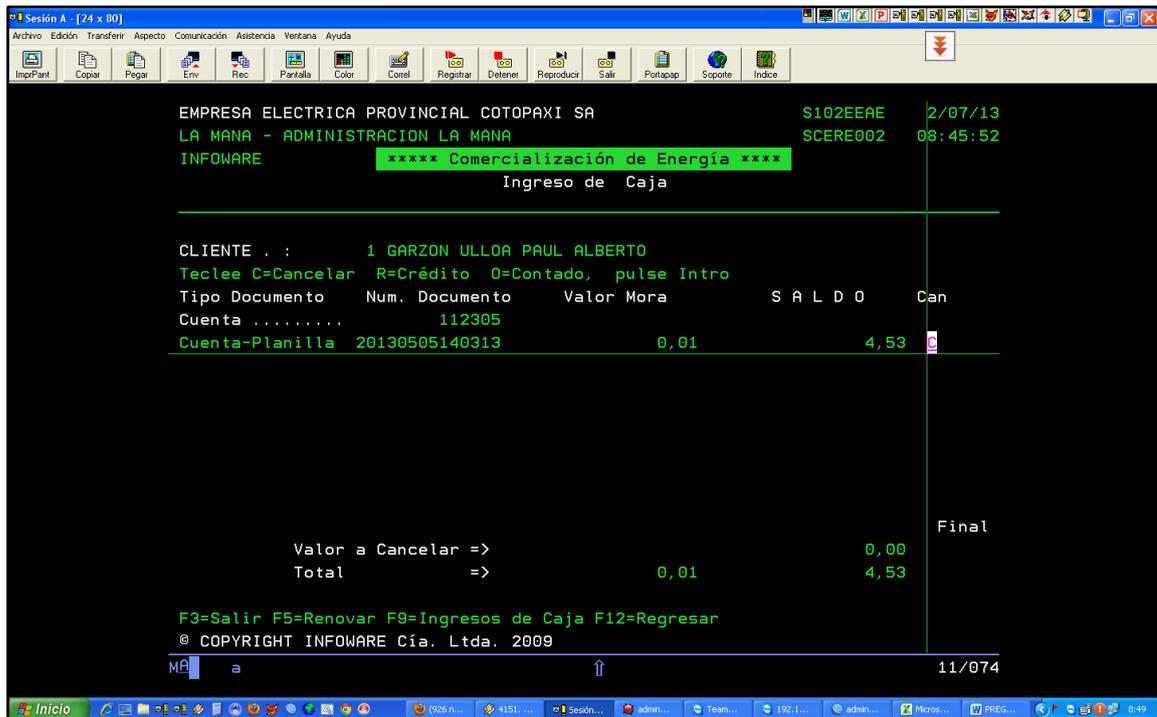
En la Figura 4.5 se puede observar los tiempos de respuestas valorados en milisegundos (ms), en diferentes escalas de tiempo: horas, días, semanas y mes, en La Matriz a través del software THE DUDE.

Los tiempos de respuestas generados son al transmitir 32 bytes.



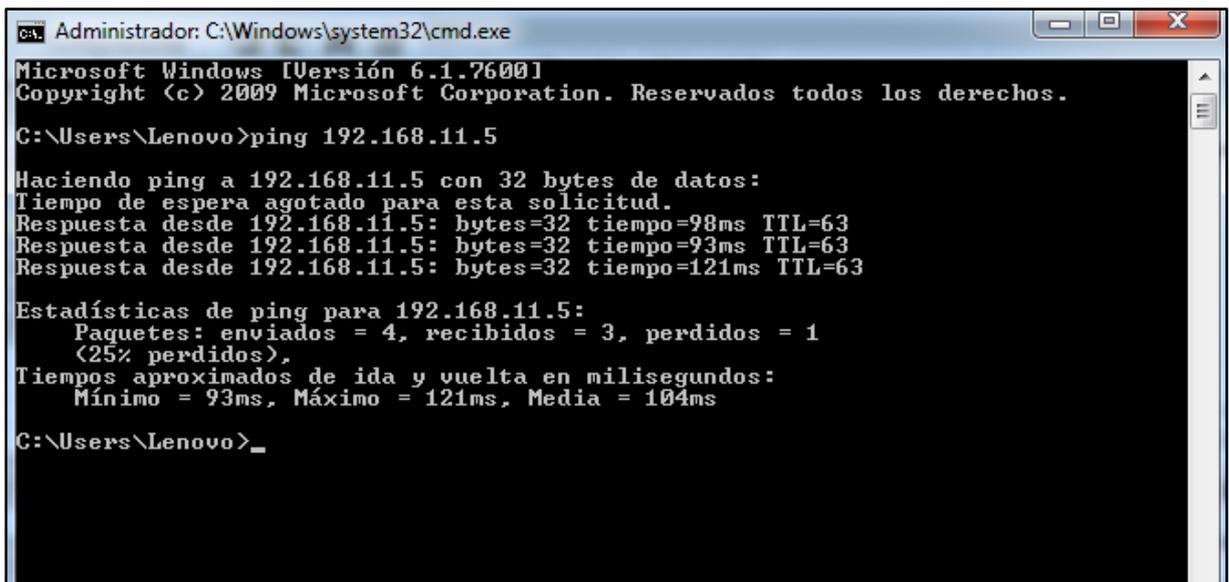
**Figura 4.5.-** Tiempos de respuestas generados en La Matriz.  
**Realizado por:** El Investigador

Los tiempos de respuestas obtenidos en la figura anterior son resultado del envío de los datos mostrados en la Figura 4.6



**Figura 4.6.-** Datos enviados desde la Matriz hacia las sucursales  
**Realizado por:** El Investigador

Para comprobar los tiempos de respuestas utilice el comando ping con la direcciones IP de los dispositivos, en donde se obtuvo los siguientes resultados, ver Figura 4.7.

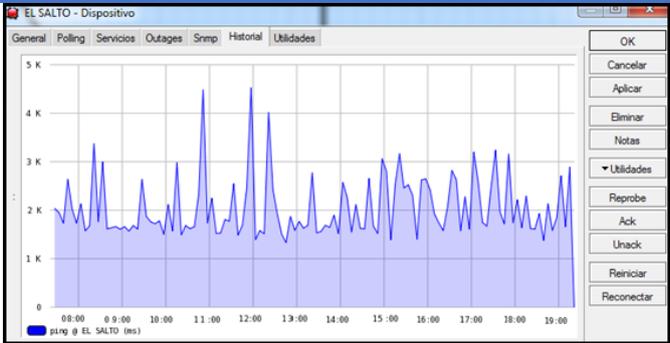
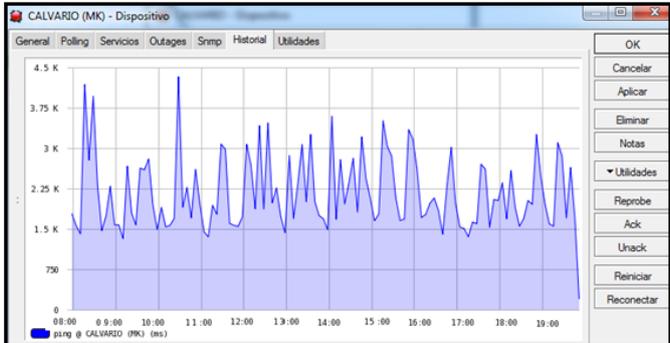
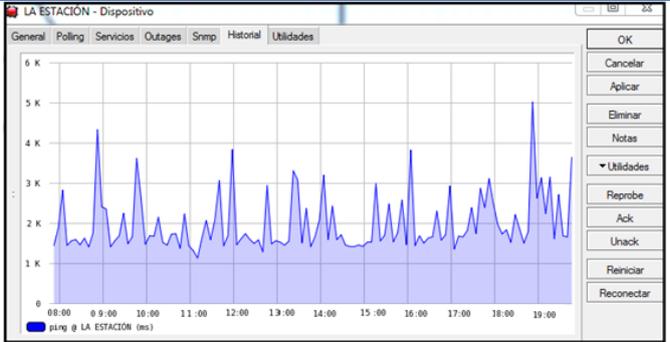


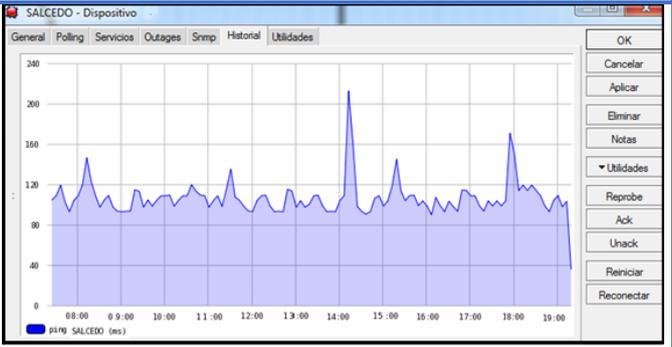
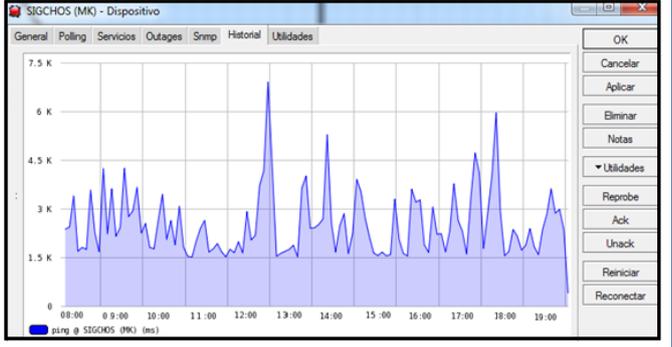
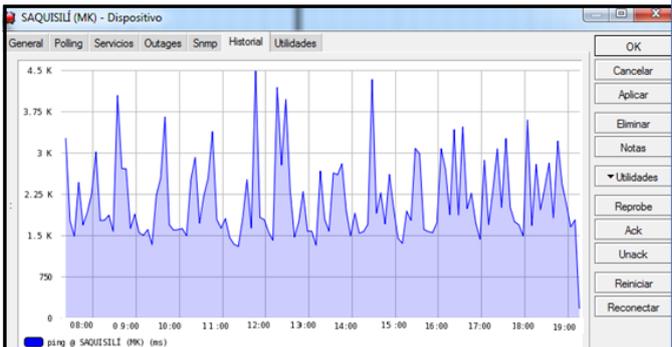
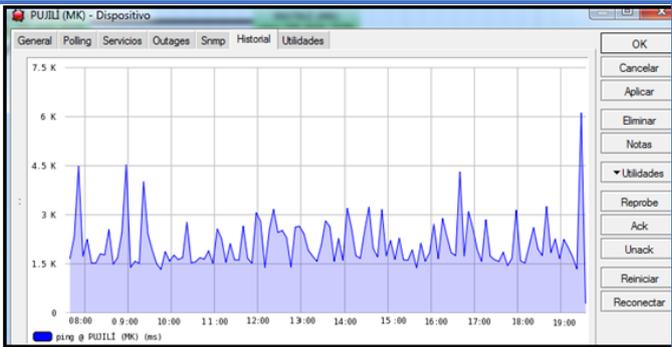
**Figura 4.7.-** Ejecución del comando ping para generar tiempos de respuestas en las sucursales  
**Realizado por:** El Investigador

## 4.5 Toma de Datos

En la Tabla 4.5, se muestran los intervalos de los tiempos de respuestas, que se generan al enviar los datos anteriormente mencionados desde la matriz hacia cada una de las terminales.

**Tabla 4.5.-** Toma de Datos en diferentes en las diferentes Sucursales

Terminal	Descripción De Tiempo De Respuesta (Tr)		
	Día	(Tr) promedio ms	Gráfica
La Matriz hacia El Salto	Lun	1500-4500	
	Mar	290-3990	
	Miér	300-3705	
	Jue	260-3141	
	Vie	272-1680	
La Matriz Hacia El Calvario	Lun	320 -3610	
	Mar	1200 – 4435	
	Miér	570- 1800	
	Jue	1500-3750	
	Vier	270- 3500	
La Matriz Hacia La Estación	Lun	120-1200	
	Mar	100-400	
	Mié	1200-5000	
	Jue	215-3100	
	Vie	193-2134	

La Matriz Hacia Salcedo	Lun	300-1750	
	Mar	250-800	
	Miér	1500-3250	
	Jue	83-210	
	Vie	800-2500	
La Matriz Hacia Sigchos	Lun	1200-4850	
	Mar	500-3200	
	Miér	193-4500	
	Jue	56-3900	
	Vie	1400-6800	
La Matriz Hacia Saquisilí	Lun	820-4500	
	Mar	750-3500	
	Miér	36-3600	
	Jue	89-4200	
	Vie	1600-2250	
La Matriz Hacia Pujilí	Lun	1100-4350	
	Mar	1400-6100	
	Miér	105-1199	
	Jue	117-1230	
	Vie	103-2115	

Realizado por: El Investigador

Al observar los tiempos de respuesta con pings de 32 bytes con el software “THE DUDE” de Mikrotik, comprobé que son menos de 40ms en los radios principales, pero

conforme se va alargando la señal a otros cantones, se llegan a tiempos intermitentes hasta de 800ms, 1200ms, 1800ms y 5000ms, se debe acotar que el sistema de comunicación se vuelve lento, presenta caídas de sistema y tiempos de espera agotados que afectan a la atención al cliente y al sistema de recaudación, cuando se accede a varias aplicaciones desde los mismos servidores.

#### **4.6 Análisis de la Red**

Actualmente el sistema de comunicación de radioenlaces no permite a los usuarios obtener mejor servicio de comunicaciones, ni de interactuar con las tecnologías utilizadas en la actualidad.

Presenta inconvenientes de interferencia, afectando al rendimiento del sistema de comunicación de radioenlaces. La interferencia ocasiona mala calidad de transmisión (Saturación de Red), transmisiones lentas (velocidades de transmisión bajas), otros de los problemas incidentes se da cuando el número de clientes aumenta, al enviar grandes cantidades de datos provoca colapso en la red.

El rendimiento del sistema no es óptimo debido a que en gran parte de su funcionamiento depende de las capacidades de las radios utilizadas, las cuales no funcionan adecuadamente.

Con el desarrollo de un sistema de comunicación alternativo a través de fibra óptica utilizando DWDM, se pretende mejorar la calidad de transmisión de datos, y ofrecer mejores servicios de comunicaciones a los usuarios.

#### **4.7 Requerimientos Empresariales**

Los requerimientos principales de la Empresa ELEPCO S.A. para un sistema de comunicación alternativo son las siguientes:

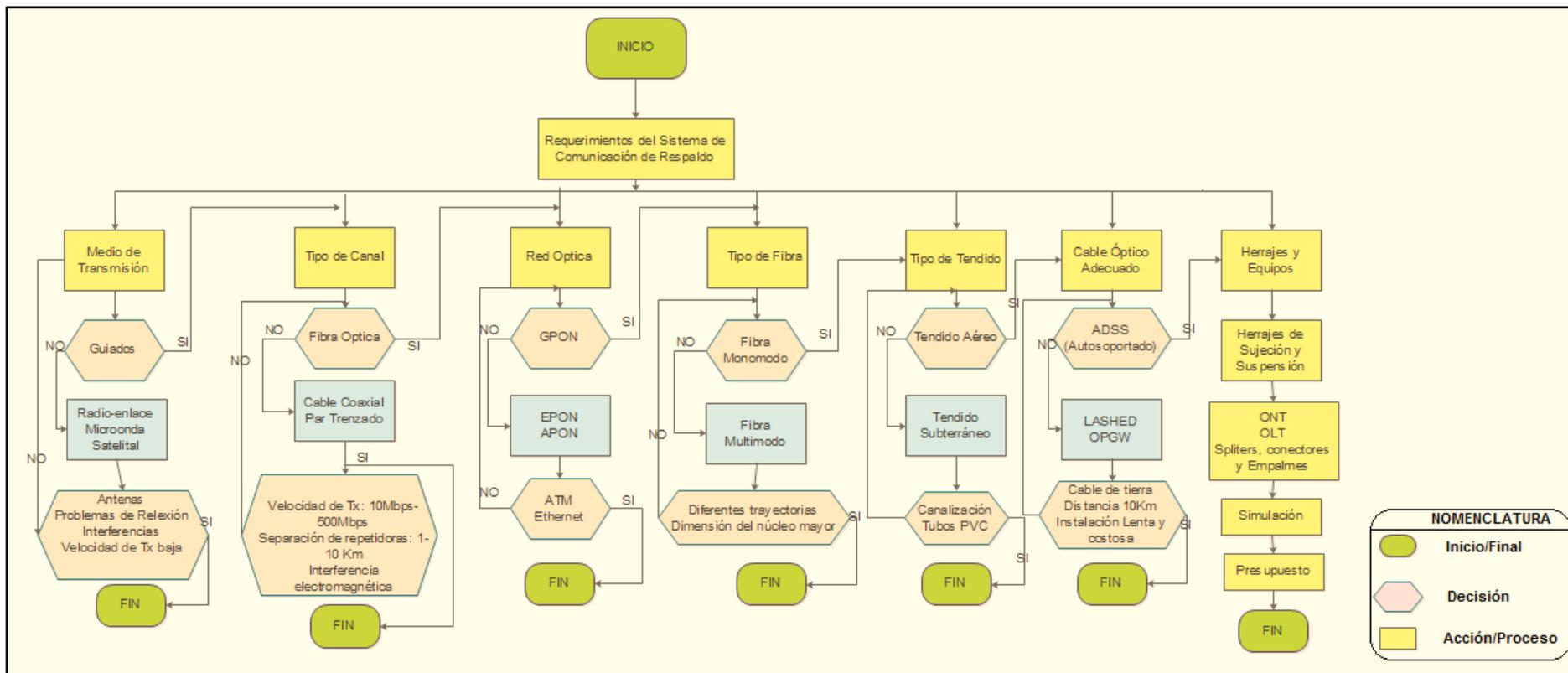
- ✓ Redundancia de comunicaciones.
- ✓ El sistema de comunicación alternativo permita transmitir voz sobre IP.
- ✓ No existan caídas de señal ni tiempos en espera agotados que afecte la atención al cliente.

- ✓ La comunicación sea más ágil y rápida, aumente el ancho de banda, para envío de voz, videos y video conferencia.
- ✓ Inmunidad a las perturbaciones de origen electromagnético, que implique calidad de transmisión y eficiencia en la red de datos.
- ✓ Atenuaciones muy pequeñas para transmisiones en extensiones de varios kilómetros.
- ✓ Gran seguridad al transmitir datos, ya que se requiere un alto nivel de confidencialidad, fiabilidad y mantenimiento.

#### **4.8 Diseño del Sistema de Comunicación Alternativo**

Antes de desarrollar las etapas que involucran el diseño del sistema alternativo de transmisión de datos entre la Matriz y las subestaciones de la Empresa Eléctrica Cotopaxi utilizando fibra óptica con tecnología DWDM, se estima la siguiente estructura.

En la Figura 4.8, se ilustra el diagrama de diseño del Sistema de Comunicación Alternativo para la Empresa Eléctrica de Cotopaxi



**Figura 4.8.** Diagrama de bloques del sistema de comunicación alternativo para ELEPCO S.A.  
**Realizado por:** El Investigador

El diseño del sistema de comunicación alternativo involucra las siguientes etapas:

**Etapa I: Análisis de los requerimientos para el envío de datos.**

- a) Selección del Medio.
- b) Selección del Canal.

**Etapa II: Ubicación Geográfica.**

- a) Determinación de la ubicación geográfica de la matriz y sucursales de la Empresa Eléctrica Cotopaxi.
- b) Selección de la Ruta.

**Etapa III: Análisis de requerimientos del enlace entre la matriz y las subestaciones de ELEPCO S.A.**

- a) Selección de la Red Óptica a utilizarse.
- b) Análisis del Tipo de Tendido de Fibra Óptica.
- c) Selección del Tipo de Cable Óptico.
- d) Selección de la Tecnología de Multiplexación.
- e) Elección de la Topología de Red.
- f) Selección de Equipos.

**Etapa IV: Conexión de los diferentes nodos del sistema de comunicación alternativo.**

- a) Conexión de los Nodos.

**Etapa V: Cálculos de las pérdidas producidas en el enlace óptico.**

- a) Pérdidas Totales.
- b) Reserva de Atenuación.
- c) Ancho de Banda.

**Etapa VI: Diseño de los diagramas de red del sistema de comunicación alternativo.**

- a) Equipos Adicionales del Nodo Principal.
- b) Diseño del Diagrama Físico de Red.
- c) Diseño del Diagrama Lógico de Red.

#### 4.8.1 Etapa I: Análisis de los requerimientos para el envío de datos

Para el desarrollo de la Etapa I, se realizaron los siguientes pasos:

##### a) Selección del Medio.

Para la selección del medio se analizó las características de los medios de transmisión guiados y no guiados, como se muestra en la Tabla 2.3, (Capítulo II).

Al analizar las diferentes características de los medios, para el desarrollo del proyecto se empleó los medios guiados, por las ventajas que presentan los mismos.

- ✓ Velocidad de transmisión alta.
- ✓ Distancias largas entre repetidores.
- ✓ Inmune a interferencias.
- ✓ Soporta diferentes tecnologías.
- ✓ Ancho de banda en el orden los GHz.
- ✓ Gran flexibilidad.

##### b) Selección del Canal.

Para seleccionar el canal de transmisión se comparó las características de los diferentes cables, (ver Tabla 2.1), el canal de transmisión a utilizarse es el de fibra óptica, debido a que las características de la misma se adaptan a los requerimientos empresariales, como se muestra en la Tabla 4.6.

**Tabla 4.6.-** Características técnicas de la Fibra Óptica

Características	Descripción
Inmunidad a perturbaciones	A diferencia de los cables coaxiales que tienen como conductores a los electrones, la

	fibra óptica tiene fotones, lo que implica una calidad de transmisión muy buena, ya que la señal es inmune a perturbaciones de origen electromagnético.
Atenuación	La fibra óptica presenta una atenuación mínima de 1dB/Km
Tasa de error	En la fibra óptica la tasa de error típica es de $10^{-9}$ , frente a $10^{-6}$ que se tiene en los cables metálicos, esto significa que en la fibra óptica la pérdida de señal es menor
Velocidad de Transmisión	A diferencia del cable coaxial, en la fibra óptica la velocidad de transmisión es de 2Gbps.
Capacidad de Información	A través de una combinación de avances en la gestión de la dispersión, la longitud de onda de multiplexión por división y amplificadores ópticos, las fibras ópticas pueden llevar la información en torno a los Tbps a más de 160 km de fibra.
Pérdida de Potencia	La fibra óptica tiene menor pérdida de potencia de las señales, lo que reduce el número de repetidores utilizados.
Transmisión segura	La transmisión por fibra óptica es más segura que los métodos por cable, ya que la transmisión de luz no radia energía residual alrededor del cable.
Peso	Los cables de fibra óptica son pequeños semejantes a un cabello.
Facilidad de Instalación	Fáciles de instalar y mantener.
Resistentes adversidades ambientales	Las fibras ópticas soportan temperaturas altas y bajas.

Realizado por: El Investigador

#### 4.8.2 Etapa II: Ubicación Geográfica.

Para desarrollar la Etapa II, ejecuté los siguientes pasos:

a) **Determinación de la ubicación geográfica de la matriz y subestaciones de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi.**

La ubicación geográfica de las terminales se obtuvo a través de la aplicación del google earth.



**Figura 4.9.- Ubicación de Terminales**  
**Realizado por:** El Investigador.

El nodo principal está ubicado en la ciudad de la Latacunga en el edificio La Matriz y se enlazará hacia los sectores de: Pujilí, Salcedo, Saquisilí, Sigchos, El Salto, La Estación y El Calvario.

En la Tabla 4.7, se muestra la ubicación geográfica de cada una de las sucursales en coordenadas planas, con los siguientes parámetros: Zona N<sup>o</sup> 15, Huso 17 y sistema de red WGS84 en el hemisferio sur.

**Tabla 4.7.-** Ubicación Geográfica de las Terminales en coordenadas planas

Terminal	Ubicación Geográfica	
	Abscisa	Norte
Latacunga	765635.00 m E	9896353.00 m S
Salcedo	768494.20 m E	9884346.00 m S
El Calvario	765678.09 m E	9897057.26 m S
El Salto	764897.03 m E	9897116.79 m S
La Estación	764739.00 m E	9896527.00 m S
Pujilí	756235.87 m E	9894032.63 m S
Saquisilí	759824.74 m E	9907183.64 m S
Sigchos	734978.58 m E	9922019.14 m S

**Realizado por:** El Investigador

#### **b) Selección de ruta.**

Para la selección de la ruta entre la matriz y las diferentes sucursales de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi, se toma en cuenta los siguientes aspectos.

##### **✓ Distancia entre los terminales.**

Para obtener las distancias reales entre la matriz y las sucursales de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi ELEPCO S.A, se realizó el recorrido de la ruta adecuada, en la Tabla 4.8 se indica las distancias entre La Matriz y las diferentes subestaciones.

En las siguientes figuras se ilustran los lugares de ubicación de las terminales que conforman el sistema de comunicación alternativo.

La Matriz, se encuentra ubicada en las calles Marquéz de Maenza y Quijano Ordóñez, (ver Figura 4.10).



**Figura 4.10.-** La Matriz - Latacunga  
**Realizado por:** El Investigador.

La sucursal Salcedo, se encuentra ubicada en las calles Olmedo y Padre Salcedo, (ver Figura 4.11).



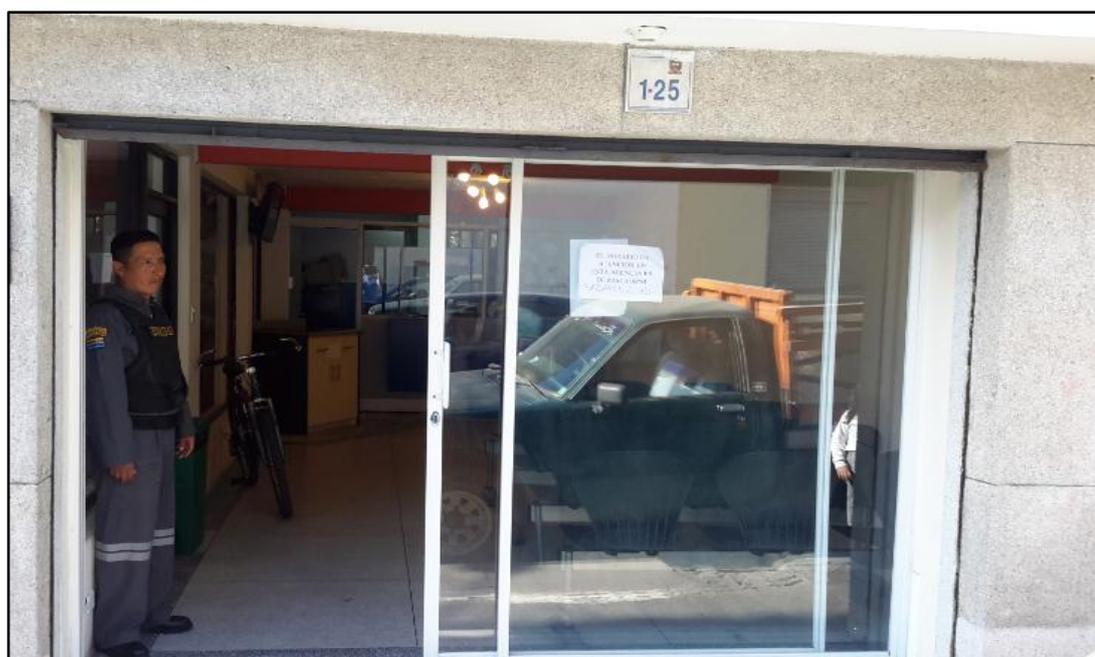
**Figura 4.11.-** Sucursal Salcedo  
**Realizado por:** El Investigador.

La sucursal el Calvario se encuentra ubicado en Juan Abel Echeverría y Napo, (ver Figura 4.12).



**Figura 4.12.-** Sucursal El Calvario  
**Realizado por:** El Investigador.

La sucursal el Salto, se encuentra ubicada en las calles Calixto Pino y Antonia Vela, (ver Figura 4.13).



**Figura 4.13.-** Sucursal El Salto  
**Realizado por:** El Investigador.

La sucursal La Estación, se encuentra ubicada en las calles Marco Aurelio Subia y Río Angamarca, (ver Figura 4.14).



**Figura 4.14.-** Sucursal La Estación  
**Realizado por:** El Investigador.

La sucursal Pujilí, se encuentra ubicada en las calles Pichincha y Simón Bolívar, (ver Figura 4.15).



**Figura 4.15.-** Sucursal Pujilí  
**Realizado por:** El Investigador.

La sucursal Saquisilí, se encuentra ubicada en las calles Abdón Calderón y Barreno, (ver Figura 4.16).



**Figura 4.16.-** Sucursal Saquisilí  
**Realizado por:** El Investigador.

La sucursal Sigchos, se encuentra ubicada en las calles Velasco Ibarra y Rodrigo Iturralde, (ver Figura 4.17).



**Figura 4.17.-** Sucursal Sigchos  
**Realizado por:** El Investigador.

**Tabla 4.8.-** Distancias entre los diferentes Enlaces

<b>Enlace</b>	<b>Descripción</b>	<b>Distancia</b>
D1	Matriz -Salcedo	12.9 Km
D2	Matriz - El Calvario	0.9 Km
D3	El Calvario-El Salto	1.1 Km
D4	El Salto-La Estación	0.7 Km
D5	La Estación-La Matriz	1.5 Km
D6	La Estación- Pujilí	11.5 Km
D7	La Estación-Saquisilí	12.5 Km
D8	Saquisilí-Sigchos	57.9 Km
<b>TOTAL</b>		99 Km

**Realizado por:** El Investigador

La distancia total es igual a la sumatoria de las distancias entre los diferentes nodos.

$$DT = D1+D2+D3+D4+D5+D6+D7+D8$$

$$DT = (12,9+0,9+1,1+0,7+1,5+11,5+12,5+57,9)Km$$

$$DT = 99 Km$$

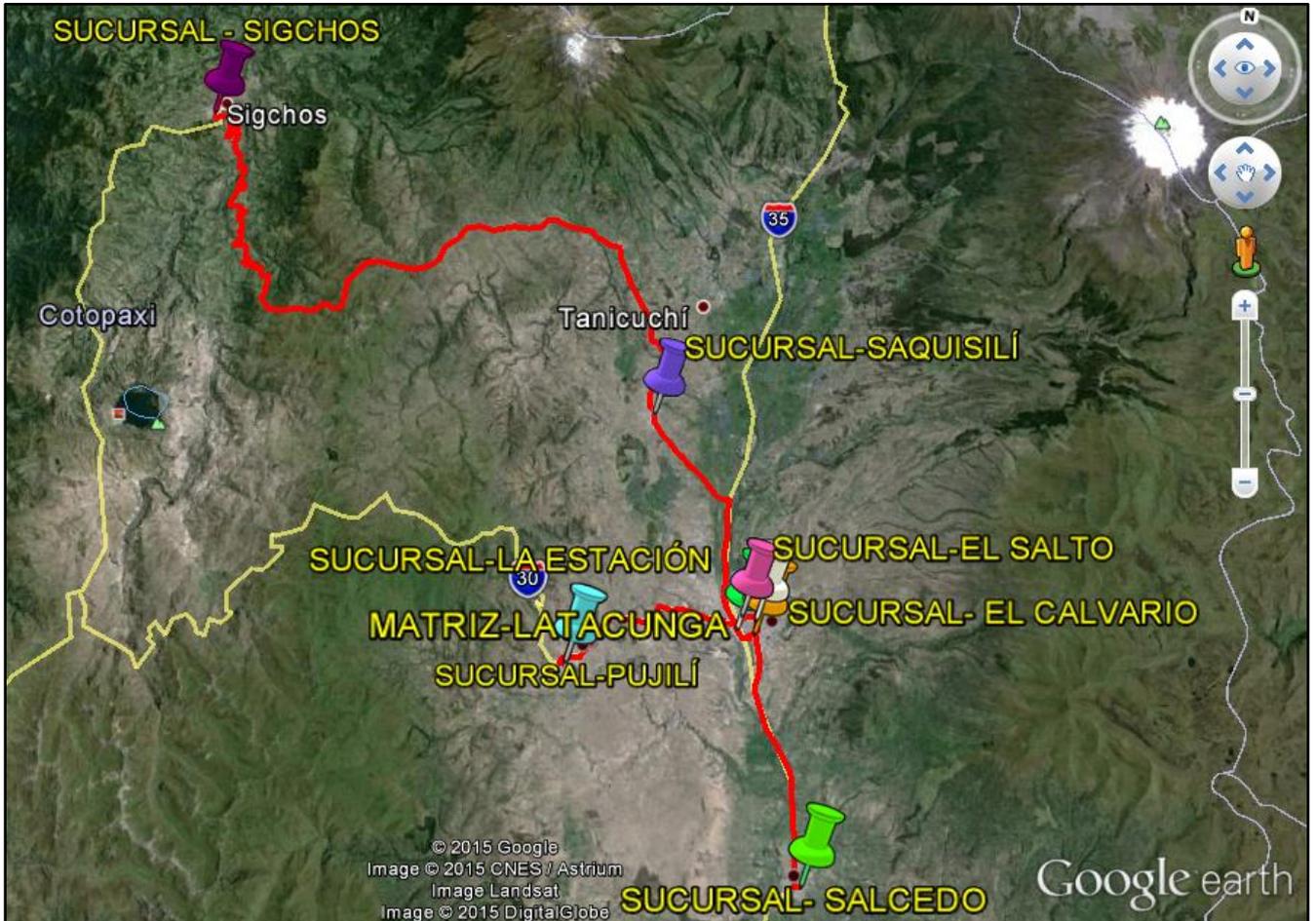
A la sumatoria de distancias se le aumentará el 10% del resultado total, debido a que el cálculo de las distancias pueden tener un margen de error mínimo, además se deberá tomar en cuenta los metros de fibra en reserva, considerando el 15% de la distancia total de la ruta.

$$DT_1 = DT+(DT*25\%)$$

$$DT_1 = 123,75 Km$$

- ✓ **Factores ambientales.-** Se debe considerar los factores ambientales que puedan perjudicar al tendido de fibra.
- ✓ **Fuentes de energía de baja tensión.-** Las fuentes de energía de baja tensión servirán para colocar amplificadores y repetidores de señal.
- ✓ **Instalación y mantenimiento del enlace.-** Deben ser instalados en lugares seguros y adecuados para un mantenimiento apropiado.

La ruta se realizó tomando en cuenta los aspectos anteriormente mencionados, quedando establecida como se indica en la Figura 4.18.



**Figura 4.18.-** Diseño de la ruta a través de la aplicación Google Earth

#### **4.8.3 Etapa III: Análisis de requerimientos del enlace entre la matriz y las subestaciones de ELEPCO S.A.**

En el análisis y los requerimientos del enlace entre la matriz y las subestaciones de ELEPCO S.A., se consideró los siguientes parámetros:

##### **a) Selección de la Red Óptica a utilizarse.**

La red óptica empleada en el desarrollo del proyecto es la red PON, debido a que satisfacen los requerimientos empresariales por las siguientes características, (ver capítulo II):

- ✓ Forward Error Correction (FEC).
- ✓ Seguridad en el envío de datos.
- ✓ Calidad de servicio (QoS) en la OLT.
- ✓ Calidad de servicio (QoS) en la ONT.

Las redes PON presenta tres tipos de tecnología APON, EPON y GPON, en el Capítulo II en la Tabla 2.4 se compara las características de las mismas.

Del análisis realizado GPON es la tecnología adecuada para adaptarse al sistema de comunicación alternativo propuesto, por las siguientes razones:

- ✓ Distancias mayores desde la central hacia cada uno de los abonados.
- ✓ Aumenta la capacidad de Ancho de Banda.
- ✓ Inmunidad a interferencia Electromagnética
- ✓ Incrementa seguridad.
- ✓ Disminuye degradación de las señales.

#### **b) Análisis del Tipo del Tendido de Fibra**

El tendido de fibra óptica se puede realizar mediante el Tendido Aéreo o Subterráneo (Tabla 4.9). Para realizar el tendido del cable óptico es necesario considerar el costo y la infraestructura favorable que se adapte a las condiciones del diseño del sistema de comunicación alternativo, para evitar gastos mayores.

**Tabla 4.9.-** Tipos de Tendido

<b>Tendido Aéreo</b>	<b>Tendido Subterráneo</b>
<p>En la recomendación de la UIT-TL.35 (Instalación de cables de fibra óptica en la red de acceso) indica los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Longitud media entre postes: 25 - 80 metros.</li> <li>- Longitud máxima entre postes: 50 - 200</li> </ul>	<p>Para el tendido subterráneo de fibra óptica se requiere realizar la instalación de los ductos, la profundidad se determinará mediante un estudio del suelo.</p> <p>En la norma de la UIT L-35 (Instalación de cables de fibra óptica en</p>

<p>metros.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perfil del cable autoportado (cuando procede): en forma de ocho y forma circular.</li> <li>- Longitud sobrante de cable en los puntos de empalme: 0.8 - 10 metros.</li> <li>- La UIT L.26 (Cables de fibra óptica para aplicaciones aéreas) recomienda tener cuidado en las condiciones mecánicas y ambientales</li> </ul>	<p>la red de acceso) se recomienda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El número de cámaras, arquetas y cajas de empalme por kilómetro a lo largo de la ruta: <math>1 \pm 30</math>.</li> <li>- Material del conducto: PVC, HDPE, arcilla y acero.</li> <li>- Diámetro interno del conducto: 27 - 125 milímetros.</li> <li>- Material del subconducto: PVC y PE.</li> </ul> <p>Diámetro interno de los subconductos: 14 - 44 milímetros.</p>
--	--

**Realizado por:** El Investigador.

**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/55977317/DISENO-DE-UNA-RED-DE-FIBRA-OPTICA4>

Analizando las características de los tipos de tendidos, mostrados en la Tabla 4.9, en el diseño se utilizó el tendido aéreo debido a que se adapta a las condiciones de la Empresa ELEPCO S.A ya que se cuenta con la infraestructura adecuada, lo que implica menor costo en la instalación, implementación del tendido de cable óptico en menor tiempo y facilidad de mantenimiento.

### c) Selección del Tipo de Cable Óptico

Las fibras ópticas utilizadas en la actualidad, dentro del área de telecomunicaciones son de dos tipos, clasificadas por su modo de propagación: Multimodo y Monomodo.

Para determinar el tipo de fibra óptica que se utiliza en el desarrollo del proyecto se analizó las características técnicas de las Fibra óptica Multimodo y Monomodo, (ver Tablas 2.5 y 2.6), del análisis realizado la fibra monomodo cumple con los requerimientos empresariales, trabaja en las ventanas 1310nm y 1550nm, presenta mínimas atenuaciones, cubre mayores distancias, además poseen un ancho de banda óptico en el orden de los 100GHz\*Km.

Para el tendido aéreo se analizó las características de los tipos de fibra óptica aérea: ADSS, OPGW y LASHED, como se puede observar en la Tabla 2.9 del capítulo II, siendo la ideal para tendido aéreo la fibra óptica ADSS por las siguientes características:

- ✓ Variedad en número de fibras ópticas.
- ✓ Diseñado para resistir una fuerza de jalado de 2,700 Newtons.
- ✓ Libre de gel, para limpieza y preparación de las fibras ópticas.
- ✓ Alta durabilidad e instalación rápida y reducción de costos.
- ✓ Puede ser instalado sin necesidad de un mensajero y en líneas eléctricas de transmisión y distribución.
- ✓ Compuesto por polímero fortex para la protección contra el agua.

Para la selección de la fibra óptica se consideró a los proveedores de Furukawa y Draka, existentes en nuestro país.

**Tabla 4.10.-** Selección de Fibra Óptica

<b>MARCA</b>	<b>FURUKAWA</b>	<b>DRAKA</b>
<b>Serie</b>	CFOA-LV-AS-CMO5/10/15/20KN-S	ezPAN Cable ADSS/ claro largo ADL
<b>Aplicación</b>	Ambiente de instalación externa Aérea autoportada	Cable de planta externa para instalación aérea autoportada.
<b>Tipos de Fibra</b>	Monomodo G.652.D	Monomodo G.652.D
<b>Número de Fibras</b>	De 6 hasta 72	De 2 a 288
<b>Estructura</b>	Holgada	Holgada
<b>Longitud típica de la bobina</b>	4 Km.	4 Km
<b>Máxima tensión de tracción estática</b>	5kN	4500 N
<b>Vano Máximo</b>	800m	800m

**Realizado por:** El Investigador

Analizando las características de las técnicas de los cables de fibra óptica de las diferentes marcas, (ver Anexo A y B), las dos marcas brindan características similares no obstante para el desarrollo del proyecto se ha considerado la marca Draka, debido a que su costo es menor.

#### d) Selección de la Tecnología de Multiplexación

En la Tabla 2.10 del capítulo II, se indica las características de las diferentes técnicas de multiplexación, siendo WDM (Multiplexación por división de longitud de onda) la multiplexación que proporciona mayor ventajas sobre las demás, razón por la que se utilizará en el desarrollo del proyecto.

#### Estudio del Tipo de Tecnología de Multiplexación WDM

Para aplicar una tecnología de multiplexación se debe considerar los requerimientos empresariales y las características del sistema de comunicación. Entre los tipos de multiplexación WDM analice tres de los cuales pueden ser factibles para el diseño: CWDM, DWDM LAN/MAN y DWDM largo alcance, en la Tabla 4.11 se muestran las características de las mismas.

**Tabla 4.11.-** Tecnologías xWDM

<b>Aplicación/ parámetro</b>	<b>CWDM acceso/MAN</b>	<b>DWDM LAN/MAN</b>	<b>DWDM largo alcance</b>
<b>Canales por fibra</b>	4-16	16-80	80-160
<b>Espectro utilizado</b>	1310nm, 1530nm 1610nm	~ 1530nm hasta 1610nm	1530nm, 1610nm, 1650nm
<b>Espaciado entre canales</b>	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
<b>Capacidad por canal</b>	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10-40 Gbit/s
<b>Capacidad de la fibra</b>	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	>1 Tbit/s

<b>Tipo de láser</b>	uncooled DFB (láser de realimentacion distribuida)	cooled DFB	cooled DFB
<b>Tecnología de filtros</b>	TFF (tecn. pelicula delgada)	TFF, AWG, FBG	TFF, AWG, FBG
<b>Distancia</b>	hasta 50 km	cientos de km	miles de km
<b>Costo</b>	bajo	Medio	Alto
<b>Amplificación óptica</b>	ninguna	EDFA opcional	EDFA, Raman

**Realizado por:** El Investigador.

**Fuente:** <http://sx-de-tx.wikispaces.com/DWDM+y+CWDM>

Analizando las características de las tecnologías de multiplexación por división de longitud de onda, para el desarrollo del proyecto se empleará la tecnología DWDM LAN/MAN (multiplexación por división de longitud de onda densa), por los siguientes motivos:

- ✓ Aumenta altamente la capacidad de un punto a otro de la red de fibra óptica.
- ✓ Transmite varias señales dentro de una sola señal y a altas tasas de transmisión.
- ✓ Permite transportar cualquier formato de transmisión en cada canal óptico.
- ✓ Es posible utilizar diferentes longitudes de onda para enviar información síncrona y asíncrona, analógica o digital, a través de la misma fibra.

#### **e) Elección de la topología de red**

Para la elección de topología de red a utilizarse en el desarrollo del proyecto se analizó las ventajas y desventajas de los tipos de topología de red más utilizados: Estrella, Anillo y Malla, (ver Tabla 2.11).

Del análisis realizado, para el desarrollo del diseño del sistema de comunicación alternativo se ha utilizado las topologías de red Anillo en la ciudad y Estrella en los sectores alejados, debido a que se adapta al diagrama del medio físico y de transmisión desarrollada, además gracias a su resistencia son idóneas para redes DWDM.

## f) Selección de Equipos

En la actualidad no existe estandarización y compatibilidad entre los equipos, razón por la cual la ONT y la OLT deben ser del mismo fabricante. Para la selección de equipos se ha considerado diferentes marcas que brinden características adecuadas para el desarrollo óptimo del sistema de comunicación de respaldo, (ver Anexo C y D).

### Equipos OLT

- ✓ Huawei
- ✓ Furukawa

En la Tabla 4.12 se muestran las características constructivas y técnicas del equipo OLT marca Huawei.

**Tabla 4.12.-** Equipo OLT de Huawei

Marca	Huawei	
Serie MA5608T		
Aplicación	Ayuda a simplificar la arquitectura de red, permite una migración sin problemas a las redes FTTx y reduce significativamente el coste total de propiedad (TCO).	
Características Constructivas	Descripción	
Alimentación	48 VDC, con fuente redundante adicional	
Temperatura del Funcionamiento	-25 <sup>0</sup> C hasta 55 <sup>0</sup> C	
Dimensión	442mm × 233.5mm × 88.1mm	
Características Técnicas	Descripción	
Interfaces	Puertos GPON	GPBD/ GPBH: 8 puertos

		GPPD: 16 puertos por la junta
	Puerto 10G GPON	XGBC: 4 puertos XGBD: 8 puertos
	Puerto óptico P2P GE	OPGD/OPGE: Single Fibra bidireccional: 48 puertos
	Puerto óptico Etehernet: Eth: 8 puertos	
	2 slots para fuente de alimentación 48VDC	
<b>GPON</b>	Estándar GPON ITU-T G.984	
	64 abonados por interfaz PON	
	2,5 Gbps de downstream y 1,25 Gbps de upstream	
	20 km de alcance (60 Km de alcance lógico máximo)	
<b>Longitud de onda operativa</b>	Tx: 1490nm Rx:1310nm	
<b>Velocidad de transmisión</b>	Tx: 2,49 Gbit/s Rx: 1,24 Gbit/s	
<b>Potencia óptica de salida</b>	Max:1.50 dBm Min: 5.00 dBm	

Fuente: [http://www.huanelwork.com/huawei-ma5608t-price\\_p3786.html](http://www.huanelwork.com/huawei-ma5608t-price_p3786.html)

En la Tabla 4.13 se indican las características constructivas y técnicas del quipo OLT marca Furukawa.

**Tabla 4.13.-** Equipo OLT de Furukawa

Marca	Furukawa
Serie OLT FK-G2500	

<b>Aplicación</b>	Concentrador de abonados para centrales de Redes FTTx que utilicen la tecnología GPON.	
<b>Características Constructivas</b>	<b>Descripción</b>	
<b>Alimentación</b>	48 VDC, con fuente redundante adicional	
<b>Temperatura del Funcionamiento</b>	0°C hasta 50°C	
<b>Dimensión</b>	444 x 310 x 285 mm (7 Us)	
<b>Potencia de consumo</b>	390 W	
<b>Características Técnicas</b>	<b>Descripción</b>	
<b>Interfaces</b>	10 slots para módulo de servicio	Módulo de servicio con 4 puertos GPON SFP
		Módulo de servicio con 4 puertos GPON SFP redundantes
	2 slots para módulo de uplink	Módulo de uplink con 4 puertos SFP GbE y 2 puertos XFP 10GbE
	2 slots para módulo de switching y control	
	2 slots para fuente de alimentación 48VDC	
<b>GPON</b>	Estandar GPON ITU-T G.984	
	64 abonados por interfaz PON	
	2,5 Gbps de downstream y 1,25 Gbps de upstream	
	20 km de alcance (60 Km de alcance lógico máximo)	

Fuente: [http://portal.furukawa.com.br/arquivos/c/cat/catAalogo/2705\\_Catalogo2014espweb.pdf](http://portal.furukawa.com.br/arquivos/c/cat/catAalogo/2705_Catalogo2014espweb.pdf)

### Equipos ONT

- ✓ Huawei
- ✓ Furukawa

En la Tabla 4.14 se indican las características constructivas y técnicas del equipo ONT marca Huawei y Furukawa.

**Tabla 4.14.- Equipos ONT**

Marca	HUAWEI	FURUKAWA
<b>Características Constructivas</b>		
<b>Serie</b>	HG8245	OTN-G420W
<b>Alimentación</b>	11-14 VDC	12 VDC adaptador AC/DC
<b>Temperatura</b>	0°C hasta 40°C	0°C hasta 40°C
<b>Dimensiones (W x D x H)</b>	195 mm x 174 mm x 34 mm	190x62x150mm
<b>Características Técnicas</b>		
<b>Interfaces</b>	puertos Ethernet 2 puertos Pots 1 puerto USB 1 Wi-Fi access	Interfaz óptica GPON SC-APC Interfaces de cobre Gigabit Ethernet RJ-45 Antena WIFI
<b>Protocolos</b>	GPON: ITU-T G.984 VoIP: H.248, SIP, G.711A/u, G.729a/b, y T.38 Multicast: IGMPv2, IGMPv3, y IGMP snooping Ethernet: IEEE 802.3ab USB: USB 1.1/USB 2.0 Wi-Fi: IEEE 802.11n	Estándar ITU_T G.984 Wi-Fi: IEEE 802.11n VoIP: H.248, SIP, G.711A/u, G.729a/b, y T.38 2.5 Gbps downstream 1,25 Gbps de upstream
<b>Huawei</b>	<b>Furukawa</b>	
		

Realizado por: El Investigador

En base a los requerimientos del proyecto y del análisis de las características de los diferentes equipos, para el desarrollo del proyecto se utilizará los equipos de Huawei, ya que son los que brindan características apropiadas para el buen funcionamiento del sistema alternativo de comunicación, además todo tipo de información es accesible en cuanto al funcionamiento de los equipos.

### Selección de conectores

Los conectores más utilizados para los cables de fibra óptica son los LC y SC, por las características que presentan, como se muestra en la Tabla 4.15.

**Tabla 4.15.-** Conectores de Fibra Óptica SC Y LC

Tipo de Conector	Descripción
<p data-bbox="357 927 537 958"><b>Conector LC</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alta densidad con factor de forma pequeña.</li> <li>✓ Alta precisión y rendimiento.</li> <li>✓ Simplex o Dúplex.</li> <li>✓ Para multimodo (Beige) y monomodo (azul).</li> <li>✓ Frecuente su uso en fibra monomodo.</li> <li>✓ Férula cerámica 1.25mm, de alta precisión y calidad.</li> <li>✓ Pérdidas de inserción monomodo: 0,3 dB.</li> </ul>
<p data-bbox="373 1319 521 1350"><b>Conector SC</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Conector de Broche.</li> <li>✓ Férula de 2.5mm.</li> <li>✓ Estandarizado por la TIA-568-A.</li> <li>✓ Simplex y Dúplex.</li> <li>✓ Pérdidas de inserción monomodo: 0,3 dB.</li> </ul>

**Realizado por:** El Investigador

**Fuentes:** [http://es.excel-networking.com/\\_assets/tmp/E0076-FIS-Exc-OF-Connector-LC-ES.pdf](http://es.excel-networking.com/_assets/tmp/E0076-FIS-Exc-OF-Connector-LC-ES.pdf);  
<http://www.fibraoptica.com/informacion-tecnica/identificacion-de-conectores>.

Para el desarrollo del proyecto, se ha considerado los dos tipos de conectores SC, debido a su tamaño y al acoplamiento con los diferentes equipos, además las atenuaciones causados por los conectores es de 0,3 dB en ambos casos.

#### 4.8.4 ETAPA IV: Conexión de los diferentes nodos del sistema de comunicación alternativo

Para la conexión de las terminales La Matriz, El Salto, La Estación, Salcedo, Pujilí, Saquisilí y Sigchos, El Calvario, de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi se utilizó el tendido aéreo de fibra monomodo G.652.D con estructura holgada tipo ADSS, la topología de multiplexación DWDM y las topologías de red tipo anillo y estrella.

El tendido del cable óptico se lo realizará por medio de los postes de la Empresa Eléctrica Cotopaxi, para el cálculo de postes entre los diferentes tramos pertenecientes al sistema de comunicación alternativo se tomó como referencia los siguientes parámetros de distribución de postes que adopta la Empresa Eléctrica de Cotopaxi.

- ✓ En la ciudad la distancia entre postes varía entre 30 hasta 40 metros por el alumbrado público.
- ✓ En el campo con caminos vecinales a carreteras la distancia entre postes es de 40m.
- ✓ En zonas despobladas los postes se ubican campo traviesa, con distancia entre postes hasta 200m.

Partiendo de los parámetros anteriormente mencionados, en la Tabla 4.16 se muestran el total de postes de cada uno de los enlaces.

**Tabla 4.16.-** Cálculo de número de postes

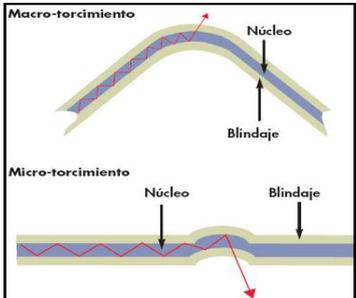
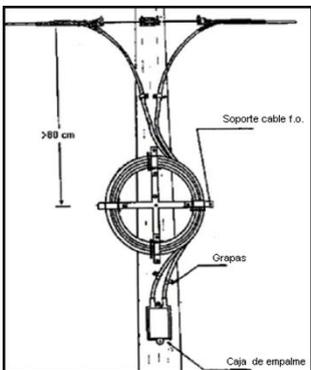
<b>Enlaces</b>	<b>Distancias</b>	<b>Distancia Promedio Entre Postes</b>	<b># Postes</b>
Matriz–Salcedo	12.900m	30m	430
La Matriz – El Calvario	900m	30m	30
El Calvario – El Salto	1.100m	30m	37
El Salto-La Estación	700m	30m	24
La Estación – La Matriz	1.500m	30m	50
La Estación – Pujilí	11.500m	40m	288
La Estación –Saquisilí	12.500m	40m	313

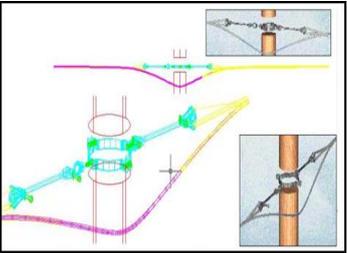
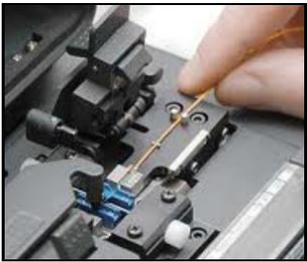
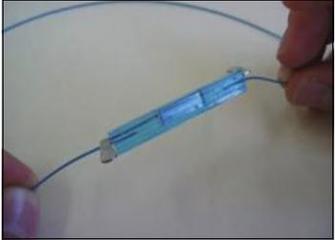
Saquisilí-Sigchos	44.000m	75m	587
<b>TOTAL</b>			<b>1759</b>

**Realizado por:** El Investigador

Para el tendido aéreo se debe considerar los parámetros que se muestran en la Tabla 4.17.

**Tabla 4.17.-** Parámetros para el Tendido Aéreo

Parámetro	Descripción
<p><b>Carrete de Fibra óptica</b></p> 	<p>Un carrete de fibra óptica viene en diferentes longitudes de 4, 5, 10, 15 y hasta de 20 Km, sin embargo las más comunes son de 4 Km, por ser las más disponibles en el mercado, los carretes de 4 km se ocupará para los cálculos en el desarrollo del presente proyecto.</p>
<p><b>Radio de Curvatura</b></p> 	<p>Los cables se enrutan alrededor de esquinas durante el tendido del cable, el radio de la curvatura no puede exceder el radio mínimo de curvatura, un cable demasiado doblado puede deformarse y dañar la fibra internamente, esto a su vez provoca alta atenuación.</p>
<p><b>Bucles de Exceso</b></p> 	<p>En trayectos largos constituye de 5 a 10% de la distancia total de la ruta, es recomendable reservar el 5% de la longitud total del carrete para empalmes y reubicaciones a futuro.</p> <p>El número de reservas es igual al número de empalmes realizados en el enlace óptico.</p>

<p><b>Herrajes de retención y suspensión</b></p> 	<p>Los herrajes de suspensión se instalan uno por poste de paso donde no existe cambio de ruta.</p> <p>Los herrajes de retención se utilizan dos por poste en rutas donde existen cambios de dirección o en vanos mayores a 100m.</p>
<p><b>Fusión de Hilos</b></p> 	<p>Al fusionar las fibras ópticas, se deberá tener la atenuación más baja posible.</p>
<p><b>Código de Colores</b></p>	<p>El código de valores depende del fabricante</p>
<p><b>Manga de Empalmes</b></p>	<p>Para realizar el cálculo de mangas de empalmes se considerará la longitud del carrete (4 Km). Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:</p> $N_{me} = Dt/LK \quad 4.1$ <p><b>Donde:</b>  <b>N<sub>me</sub></b> = Cantidad de Mangas de empalme  <b>Dt</b> = Distancia total del enlace  <b>LK</b> = Longitud del carrete</p>
<p><b>Número de Empalmes</b></p> 	<p>El número de empalmes será igual al número de mangas utilizados, más dos debido a las terminaciones en cada nodo.</p> $N_e = N_{me} + 2 \quad 4.2$ <p><b>Donde:</b>  <b>N<sub>e</sub></b> = Número de Empalmes  <b>N<sub>me</sub></b> = Mangas de empalme</p>

**Realizado por:** El Investigador

Para realizar los cálculos de las pérdidas totales definimos los parámetros de cada enlace del sistema de comunicación alternativo (Ver Tabla 4.18).

**Tabla 4.18.-** Parámetros del enlace del Sistema Alternativo

<b>Descripción del Enlace</b>				
Ruta	Matriz-Salcedo 12,9 Km	El Calvario - Matriz 0,9 Km	El Calvario-El Salto 1,1 Km	El Salto-La Estación 0,7 Km
Tipo de Tendido	Aéreo	Aéreo	Aéreo	Aéreo
Tipo de Cable de FO	Cable ADSS	Cable ADSS	Cable ADSS	Cable ADSS
Mangas de Empalme	3	-	-	-
Número de Empalmes	5	2	2	2
Reservas de Empalmes	5	2	2	2
<b>Descripción del Enlace</b>				
Ruta	La Estación-La Matriz 1,5 Km	La Estación - Pujilí 11,5 Km	La Estación – Saquisilí 12,5 Km	Saquisilí- Sigchos 57,9 Km
Tipo de Tendido	Aéreo	Aéreo	Aéreo	Aéreo
Tipo de Cable de FO	Cable ADSS	Cable ADSS	Cable ADSS	Cable ADSS
Mangas de Empalme	-	3	3	14
Número de Empalmes	2	5	5	16
Reservas de Empalmes	2	5	5	16

**Realizado por:** El Investigador

#### 4.8.5 ETAPA V: Cálculos de las pérdidas producidas en el enlace óptico

Los cálculos que se deben considerar para cuantificar las pérdidas producidas en el enlace óptico se describen en la Tabla 4.19.

**Tabla 4.19.-** Pérdidas producidas en el canal óptico

Parámetro		Pérdidas
Conexión del punto	Conector	0.3 dB
	Empalme por Fusión	0.05 dB
Fibra Óptica G.652	1310nm (1 km)	0.35 dB/km
	1490nm (1 km)	0.30 dB/km
	1550nm (1 km)	0.25 dB/km

Realizado por: El Investigador

##### a) Pérdidas Totales (PT).

Las pérdidas totales es la sumatoria de las pérdidas causadas por las atenuaciones de la fibra, empalmes, conectores y curvaturas.

##### Pérdidas en la Fibra Óptica (Pfo).

Las pérdidas de la fibra óptica se pueden calcular a través de la siguiente ecuación matemática:

$$P_{fo} = L * \alpha \quad [\text{Ecuación 4.1}] \text{ Pérdidas en la Fibra Óptica}$$

##### Donde:

**L** = Longitud del enlace [Km].

$\alpha$  **l** = Coeficiente de atenuación [dB/Km].

El cálculo de las pérdidas causadas por la fibra óptica se muestra en la Tabla 4.20.

**Tabla 4.20.-** Cálculo de las pérdidas causadas por la Fibra Óptica.

Enlaces	Longitud	Coefficiente de Atenuación	Pérdidas de la Fibra Óptica
Matriz – Salcedo	12,9 Km	0,3 dB/Km	3,87 dB
Matriz - El Calvario	0,9 Km	0,3 dB/Km	0,27 dB
El Calvario - El Salto	1,1 Km	0,3 dB/Km	0,33 dB
El Salto - La Estación	0,7 Km	0,3 dB/Km	0,21 dB
La Estación - Matriz	1,5 Km	0,3 dB/Km	0,45 dB
La Estación – Pujilí	11,5 Km	0,3 dB/Km	3,45 dB
La Estación - Saquisilí	12,5 Km	0,3 dB/Km	3,75 dB
Saquisilí – Sigchos	57,9 Km	0,3 dB/Km	17,37 dB

**Realizado por:** El Investigador.

### **Pérdidas en los empalmes (Pe).**

Las pérdidas producidas por el empalme dependen del tipo de empalme realizado, en la Tabla 4.22 se muestran los diferentes tipos.

Para calcular las pérdidas producidas por los empalmes utilizamos la siguiente ecuación:

$$Pe = ne \times \alpha e \quad \text{[Ecuación 4.2] Pérdidas por Empalmes}$$

**Donde:**

**Pe** = Pérdidas en empalmes

**ne** = número de empalmes

**$\alpha e$**  = Atenuación en los empalmes

Para obtener el número de empalmes utilizamos la siguiente ecuación:

$$ne = \frac{DT(Km)}{LK(Km)} + 2 \quad \text{[Ecuación 4.3] Número de Empalmes}$$

**Donde:**

**ne** = Número de empalmes

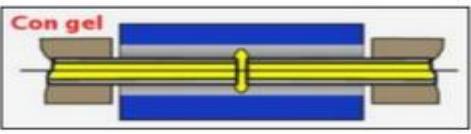
**DT(Km)** = Distancia total del enlace

**LK(Km)** = Longitud de carrete

### Proceso de Empalmes.

Para la realización de los empalmes existen dos procesos: Mecánico y Fusión, para determinar el tipo de proceso de empalme que se utilizará en el desarrollo del proyecto se analizará los dos tipos, (Ver Tabla 21).

**Tabla 4.21.-** Tipos de Empalmes

Tipo de Empalme	Descripción
<p data-bbox="494 929 638 963"><b>Mecánico</b></p> 	<p data-bbox="869 929 1372 1131">Se emplean conectores cilíndricos de 6 cm de largo y 1cm de diámetro, que alinean dos fibras desnudas y son aseguradas mecánicamente</p>
<p data-bbox="518 1187 614 1220"><b>Fusión</b></p> 	<p data-bbox="869 1187 1372 1433">Se emplea una máquina empalmadora de fusión, que alinea las dos fibras, generando un pequeño arco eléctrico, para soldarlas, las pérdidas producidas por el empalme son menores a 0.1 dB</p>

**Realizado por:** El Investigador.

**Fuente:** <http://es.slideshare.net/edisoncoimbra/82-transmision-de-datos-por-fibra-ptica>

El proceso de empalmes que se tomará en cuenta en el diseño de sistema de comunicación de fibra óptica, para los cálculos es el de fusión, debido a que las pérdidas causadas por el mismo, son menores a 0.1 dB.

Los cálculos realizados de las atenuaciones causados por los empalmes se muestran en la Tabla 4.22.

**Tabla 4.22.-** Cálculo de la atenuaciones por Empalmes

Enlace	Longitud (Km)	Longitud del Carrete (Km)	Número de Empalmes	Atenuación por empalme	Pérdidas por empalmes
Matriz - Salcedo	12,9	4	5	0.05 dB	0,25 dB
Matriz - El Calvario	0,9	4	2	0.05 dB	0,1 dB
El Calvario - El Salto	1,1	4	2	0.05 dB	0,1 dB
El Salto - La Estación	0,7	4	2	0.05 dB	0,1 dB
La Estación - Matriz	1,5	4	2	0.05 dB	0,1 dB
La Estación - Pujilí	11,5	4	5	0.05 dB	0,25 dB
La Estación - Saquisilí	12,5	4	5	0.05 dB	0,25 dB
Saquisilí - Sigchos	57,9 Km	4	16	0.05 dB	0,8 dB

**Realizado por:** El Investigador

### **Pérdidas por Conectores (Pc).**

Las pérdidas producidas por los conectores se debe al material de construcción, matemáticamente se puede calcular las pérdidas por conectores con la siguiente ecuación:

$$Pc = nc \times \alpha co \quad \text{[Ecuación 4.4] Pérdidas por Conectores}$$

#### **Donde:**

**nc** = Número de conectores

**αco** = Pérdida del conector

En la Tabla 4.23, se indica el número de conectores utilizados en cada enlace, considerando que se va utilizar fibra óptica de seis hilos.

**Tabla 4.23.- Pérdidas causadas por los Conectores**

<b>Enlace</b>	<b>Número de conectores</b>	<b>Pérdidas por cada conector</b>	<b>Total de pérdidas causadas por el conector</b>
Matriz - Salcedo	12	0,3 dB	3,6 dB
Matriz - El Calvario	12	0,3 dB	3,6 dB
El Calvario - El Salto	12	0,3 dB	3,6 dB
El Salto - La Estación	12	0,3 dB	3,6 dB
La Estación - Matriz	12	0,3 dB	3,6 dB
La Estación - Pujilí	12	0,3 dB	3,6 dB
La Estación - Saquisilí	12	0,3 dB	3,6 dB
Saquisilí - Sigchos	12	0,3 dB	3,6 dB

**Realizado por:** El Investigador

Las atenuaciones causadas por el uso de los conectores en cada tramo son igual a 1,8 dB, excepto en el enlace Saquisilí - Sigchos en donde la atenuación por conectores es igual a 2,4 dB.

**b) Reserva de Atenuación ( $\alpha_{re}$ ).**

Las reservas de atenuación son consideradas para empalmes a futuro y por la degradación de los cables de fibra óptica, se puede considerar una atenuación entre 0.1 dB/km, hasta 0,6 dB/Km. Para el desarrollo del proyecto se utilizará una atenuación de reserva de 0.1 dB/Km

**Margen de Diseño ( $M_d$ ).**

El margen de diseño se recomienda utilizar para cambios a futuro del enlace, matemáticamente lo podemos expresar de la siguiente forma:

$$M_d = LT \times \alpha_{re} \quad \text{[Ecuación 4.5] Margen de Diseño}$$

**Donde:**

**LT** = Longitud total del enlace

**$\alpha_{re}$**  = Reserva de atenuación

En el enlace de la Empresa Eléctrica Cotopaxi,  $\alpha_{re} = 0,1 \text{ dB/Km}$

**Tabla 4.24.-** Cálculo de Margen de Diseño

Enlaces	Longitud	Margen de Diseño
Matriz – Salcedo	12,9 Km	1,29 dB
Matriz - El Calvario	0,9 Km	0,09 dB
El Calvario - El Salto	1,1 Km	0,11 dB
El Salto - La Estación	0,7 Km	0,07 dB
La Estación - Matriz	1,5 Km	0,15 dB
La Estación – Pujilí	11,5 Km	1,15 dB
La Estación – Saquisilí	12,5 Km	1,25 dB
Saquisilí – Sigchos	57,9 Km	5,79 dB

**Realizado por:** El Investigador

La atenuación total será igual a la sumatoria de todas las atenuaciones calculadas anteriormente, el total de atenuaciones para en enlace de la Empresa Eléctrica Cotopaxi, queda estimado en la Tabla 4.25.

**Tabla 4.25.-** Atenuaciones del Enlace Óptico

Enlace	Distancia	$\Sigma$ Atenuaciones dB	Total
		Pfo, Pe, Pc, Md	dB
Matriz - Salcedo	12,9 Km	3,87+0,25+3,6+1,29	9,01
Matriz - El Calvario	0,9 Km	0,27+0,1+3,6+0,09	4,06
El Calvario - El Salto	1,1 Km	0,33+0,1+3,6+0,11	4,14
El Salto - La Estación	0,7 Km	0,21+0,1+3,6+0,07	3,98
La Estación - Matriz	1,5 Km	0,45+0,1+3,6+0,15	4,3
La Estación - Pujilí	11,5 Km	3,45+0,25+3,6+1,5	8,8
La Estación - Saquisilí	12,5 Km	3,75+0,25+3,6+1,25	8,85
Saquisilí - Sigchos	57,9 Km	17,37+0,8+3,6+5,79	27,56

**Realizado por:** El Investigador

Con la obtención de la atenuación total del enlace Empresa Eléctrica de Cotopaxi, se procede a calcular la atenuación máxima permisible.

**c) Atenuación Máxima Permisible ( $P_{max}$ )**

La atenuación máxima permisible es igual a la diferencia entre la potencia del equipo transmisor y el equipo receptor, matemáticamente se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_{max} = P_{Tx} - P_{Rx} \quad \text{[Ecuación 4.6] Atenuación Máxima Permisible}$$

**Donde:**

$P_{max}$  = Atenuación Máxima Permisible

$P_{Tx}$  = Potencia del Transmisor

$P_{Rx}$  = Potencia en el Receptor (sensibilidad del receptor)

$$P_{Tx} = 1.5 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -25 \text{ dB}$$

$$P_{max} = 1,5\text{dB} - (-25\text{dB})$$

$$P_{max} = 26.5 \text{ dB}$$

La potencia máxima permisible es el parámetro que indica el máximo de pérdidas que podrá tener el enlace realizado.

En la Tabla 4.28 se indica el total de pérdidas obtenidas en cada uno de los enlaces, al comparar con el valor máximo permisible, el enlace Saquisilí – Sigchos, sobrepasa el valor de la potencia máxima permisible, por consiguiente el enlace no es factible, por lo que se ha considerado utilizar amplificadores extender GPON, (ver Anexo E), mismos que permiten extender la longitud de una red GPON hasta 60 Km.

En el enlace Saquisilí – Sigchos se utilizará dos amplificadores, ubicados cada 19,3 Km.

**d) Ancho de Banda**

El ancho de banda en los enlaces está relacionado con dos parámetros: Longitud del enlace y la dispersión (modal o material).

La obtención del ancho de banda para el desarrollo del proyecto presente se lo obtendrá utilizando la siguiente fórmula:

$$AB = \frac{0.441}{\Delta T} \quad \text{[Ecuación 4.7] Ancho de Banda}$$

$$\Delta T = L \times M(\lambda) \times \Delta(\lambda) \quad \text{[Ecuación 4.8] Ensanchamiento de pulsos}$$

**Donde:**

**L** = Longitud del cable óptico

**M(λ)** = Dispersión cromática ps/nm.km.

**Δ(λ)** = Ancho espectral del emisor en nm.

**Tabla 4.26.-** Máximo de Ancho de Banda en los enlaces

<b>Máximo de Ancho de Banda</b>				
<b>Enlace</b>	La Matriz - Salcedo	La Matriz - El Calvario	El Calvario - El Salto	El Salto - La Estación
<b>L</b>	12,9 Km	0,9 Km	1,1 Km	0,7 Km
<b>M(λ)</b>	17ps/nm.km	17ps/nm.km	17ps/nm.km	17ps/nm.km
<b>Δ(λ)</b>	1nm	1nm	1nm	1nm
<b>ΔT</b>	219,3	15,3	18,7	11,9
<b>AB</b>	<b>2GHz</b>	<b>28GHz</b>	<b>23GHz</b>	<b>37 GHz</b>
<b>Enlace</b>	La Estación - Matriz	La Estación - Pujilí	La Estación - Saquisilí	Saquisilí - Sigchos
<b>L</b>	1,5 Km	11,5 Km	12,5 Km	57,9 Km
<b>M(λ)</b>	17ps/nm.km	17ps/nm.km	17ps/nm.km	17ps/nm.km
<b>Δ(λ)</b>	1nm	1nm	1nm	1nm
<b>ΔT</b>	25,5	195,5	212,5	984,3
<b>AB</b>	<b>17GHz</b>	<b>2GHz</b>	<b>2GHz</b>	<b>0,4GHz</b>

**Realizado por:** El Investigador

#### 4.8.6 Etapa VI: Diseño de la estructura de los nodos y de los diagramas de red del sistema de comunicación alternativo

Para desarrollar la Etapa VI, es necesario determinar los siguientes pasos:

##### a) Equipos en el nodo principal

El nodo principal ubicado en La Matriz está conformado con los siguientes elementos:

**OLT (Optical Line Termination).**- Es el elemento activo situado en la Matriz. De él parten las fibras ópticas hacia los usuarios, cada OLT tiene capacidad para dar servicio a varios usuarios. Realiza funciones de router para poder ofrecer todos los servicios demandados por los usuarios.

**ONT (Optical Network Termination).**- Es el elemento donde termina la fibra óptica y ofrece las interfaces de usuario. Estos interfaces son de gigabit Ethernet, actualmente no existe interoperabilidad entre elementos, por lo que debe ser del mismo fabricante que la OLT.

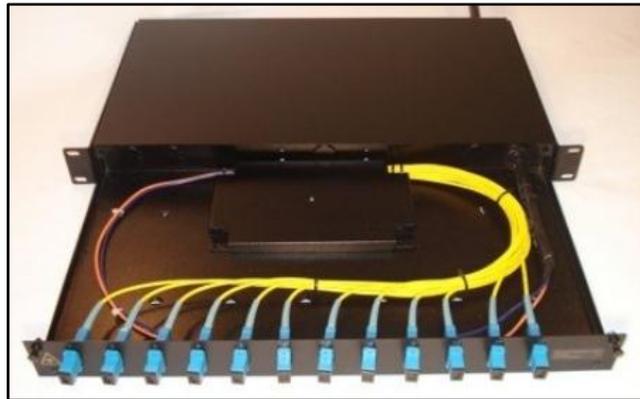
**Gabinete Central.**- El gabinete central es un soporte metálico destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones. Las medidas para la anchura están normalizadas para que sean compatibles con equipamiento de cualquier fabricante. También son llamados bastidores, cabinas, rack o armarios [44]



**Figura 4.19.-** Rack para equipos OptiX OSN

**Fuente:** [http://portal.furukawa.com.br/arquivos/c/cat/catAalogo/2705\\_Catalogo2014espweb.pdf](http://portal.furukawa.com.br/arquivos/c/cat/catAalogo/2705_Catalogo2014espweb.pdf)

**Distribuidor de Fibra Óptica ODFS.-** Los distribuidores ópticos serán utilizados como punto de interconexión entre cable de fibra proveniente de la planta externa y equipos activos, su estructura es metálica, posee varios puertos de ingreso de cable y una área de patcheo con adaptadores, en los cuales se conecta la terminación del cable de fibra por el un extremo y el patchcord hacia el equipo activo por el otro extremo [45].



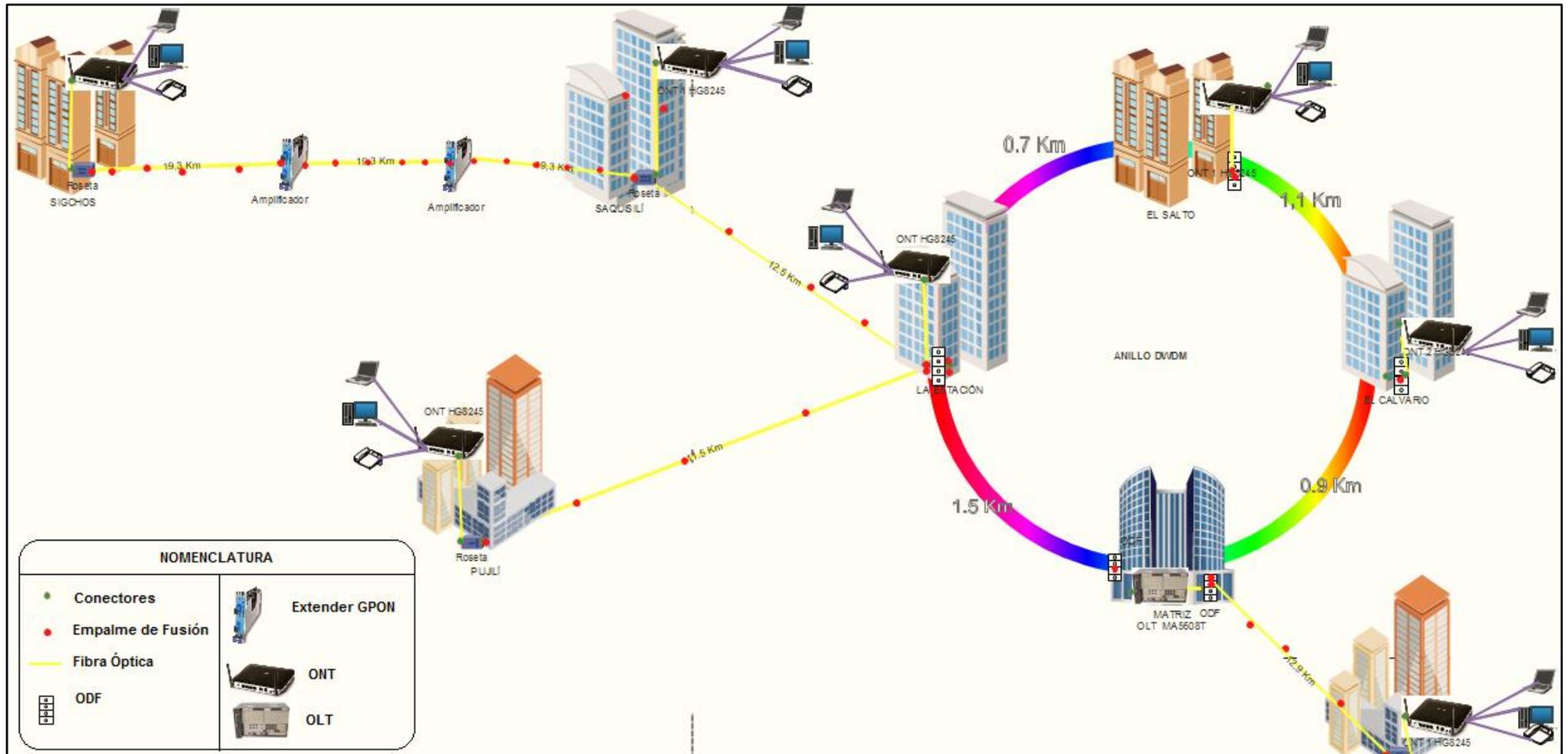
**Figura 4.20.-** ODFS para OptiX OSN

**Fuente:** [http://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-540979112-distribuidor-rack-de-fibra-optica-1-unidad-odf-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-540979112-distribuidor-rack-de-fibra-optica-1-unidad-odf-_JM)

#### **a) Diseño del Diagrama Físico de Red**

El diseño de diagrama de red se lo realizó utilizando la herramienta Edraw Max 7.8 como se muestra en la Figura 4.21, en la que se indica el diseño del sistema de comunicación alternativo conformado por una red en anillo entre los sectores de La Matriz, La Estación, El Salto y El Calvario y una red tipo estrella en los sectores alejados tales como: Sigchos, Saquisilí y Pujilí.

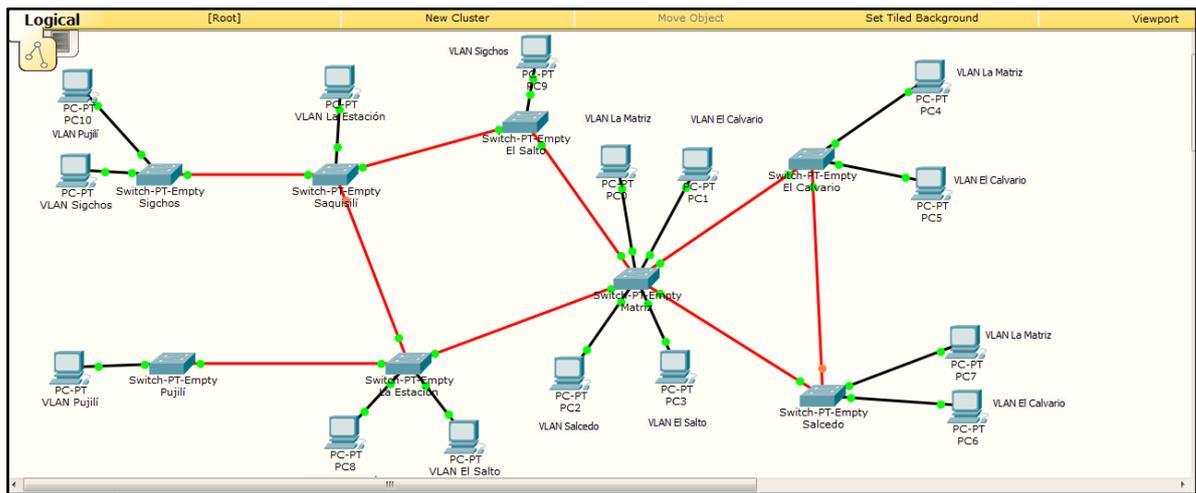
Figura 4.21.- Diagrama Físico de Red del Sistema de Comunicación Alternativo



Realizado por: El Investigador

## b) Diseño del Diagrama Lógico de Red

Para realizar el diseño del diagrama lógico de red del sistema de comunicación alternativo utilice la simulación del Packet Tracer, en el que se configuro los equipos que formaran parte del mismo. En la Figura 4.22 se ilustra el diagrama realizado.



**Figura 4.22.-** Diagrama Lógico de Red del Sistema de Comunicación Alternativo  
Realizado por: El Investigador

## Plan de Direccionamiento del Sistema de comunicación Alternativo

El plan de direccionamiento del sistema de comunicación alternativo se lo realizó, como se indica en la Tablas 4.27 y 4.28.

**Tabla 4.27.** Plan de Direccionamiento del sistema de comunicación alternativo

Terminales	# Host disponibles	Dirección IP Red	Rango IP	
<b>La Matriz</b>	254	192.168.11.0/24	192.168.11.1	192.168.11.254
<b>El Calvario</b>	62	192.168.12.0/26	192.168.12.1	192.168.12.63
<b>Salcedo</b>	62	192.168.12.64/26	192.168.12.65	192.168.12.127
<b>El Salto</b>	62	192.168.12.128/26	192.168.12.129	192.168.12.191
<b>Saquisilí</b>	62	192.168.12.192/26	192.168.12.193	192.168.12.255
<b>Sigchos</b>	62	192.168.13.0/26	192.168.13.1	192.168.13.63
<b>La Estación</b>	62	192.168.13.64/26	192.168.13.65	192.168.13.127
<b>Pujilí</b>	62	192.168.13.128/26	192.168.13.129	192.168.13.191

Realizado por: El Investigador

**Tabla 4.28.** Asignación de puertos para las VLAN

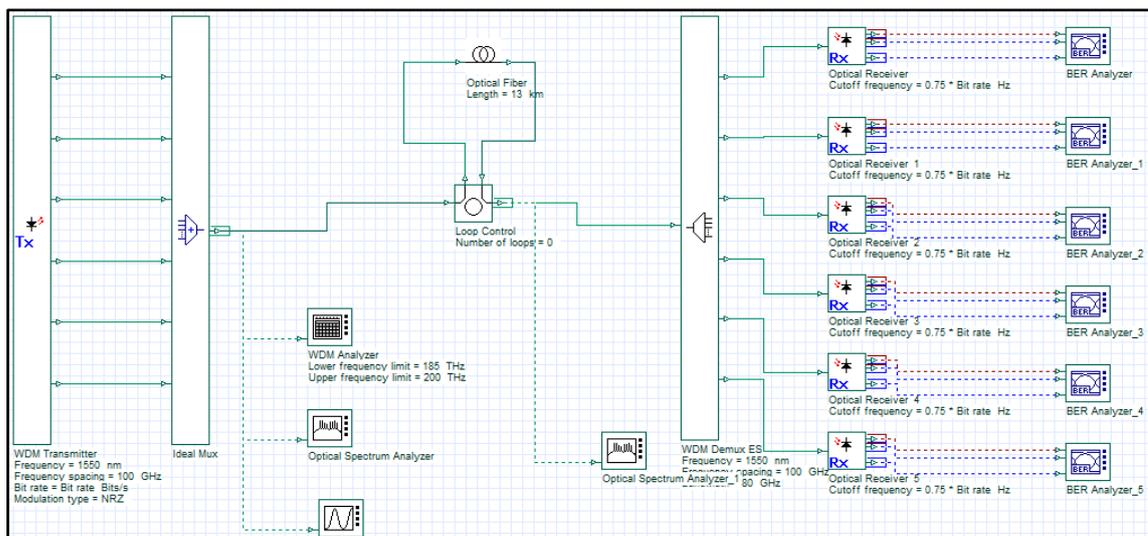
VLAN	Puertos (ACCESS)	Número de Puertos Troncales a utilizarse [Gbps]
<b>La Matriz</b>	Fa 0/1	4
<b>El Calvario</b>	Fa 1/1	2
<b>Salcedo</b>	Fa 2/1	2
<b>El Salto</b>	Fa 3/1	2
<b>Saquisilí</b>	Fa 4/1	2
<b>Sigchos</b>	Fa 5/1	2
<b>La Estación</b>	Fa 6/1	4
<b>Pujilí</b>	Fa 7/1	2

**Realizado por:** El Investigador

#### 4.9 Simulación del sistema alternativo

La simulación realizada se diseñó en el software Optisystem 7.0, Optisystem es un software de diseño integral que permite simular enlaces de fibra óptica, programando parámetros necesarios y específicos de cada uno de los elementos que lo conforman.

Ofrece un entorno muy sólido para realizar diseños básicos hasta los más complejos como redes ópticas pasivas: BPON, EPON y GPON. En la Figura 4.23, se indica la simulación de un enlace DWDM, tamo MATRIZ – SALCEDO.



**Figura 4.23.-** Simulación del enlace Matriz-GPON, a través de Optisystem

**Realizado por:** El Investigador

## Programación OLT

En la OLT se programó la longitud de onda, el software permite especificar los parámetros de frecuencia, ancho de banda y potencia como se puede ver en la Figura 4.24.

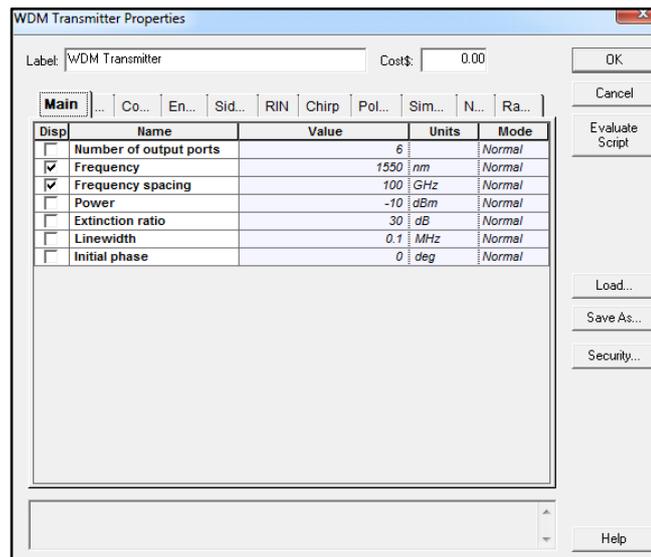


Figura 4.24.- Parámetros de la OLT  
Realizado por: El Investigador

## Programación del Canal de Transmisión

El canal de transmisión se programó con las siguientes características: Longitud, ventana de operación y atenuación, como se indica en la Figura 4.25.

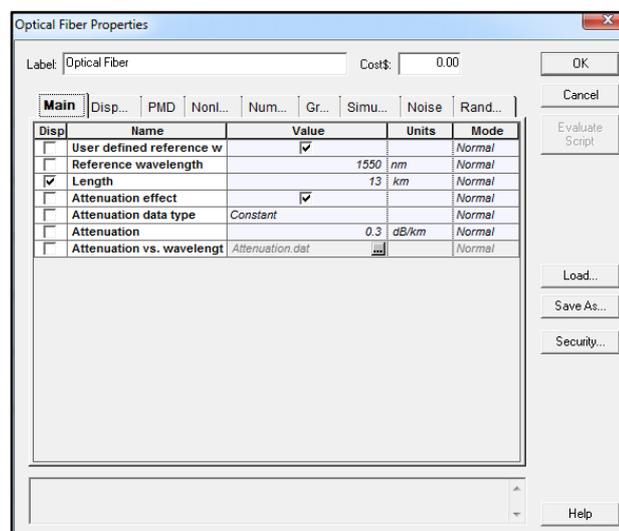
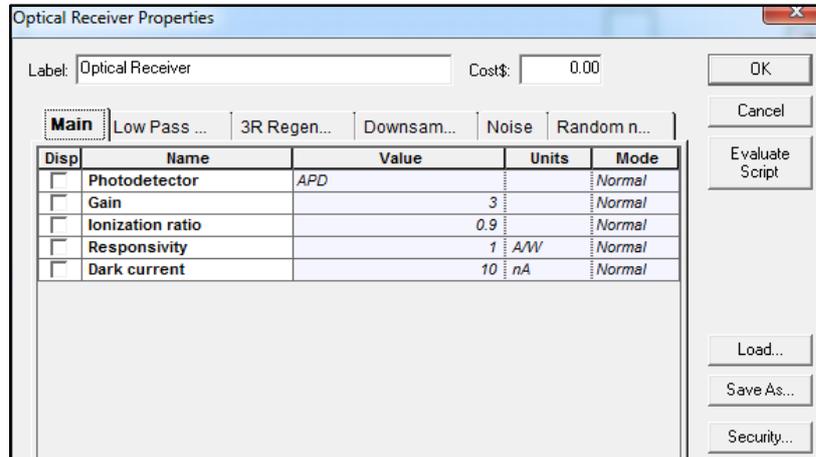


Figura 4.25.- Parámetros del Canal Óptico  
Realizado por: El Investigador

## Programación de la ONU

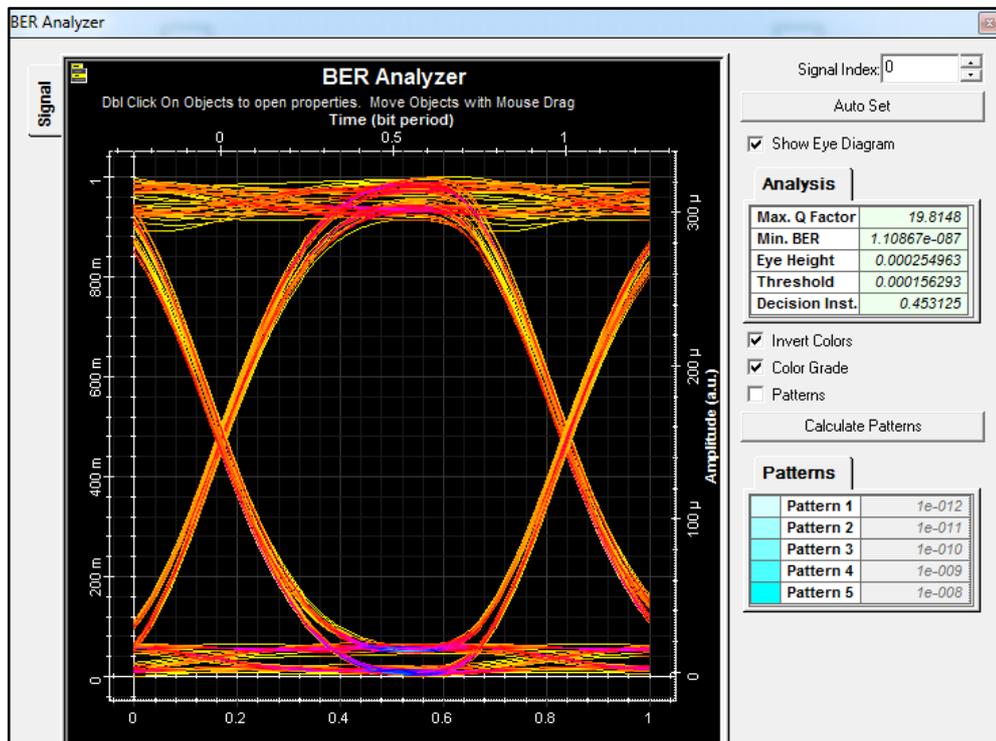
En la terminal óptica de red se programó el fotodetector tipo Avalancha ó ADP, en la Figura 4.26 se indica los parámetros programados en el mismo.



**Figura 4.26.-** Parámetros de la ONU  
**Realizado por:** El Investigador

## Resultados

Los resultados de la simulación se puede observar en la Figura 4.27, en donde se visualiza el Analizador del BER (Apertura del ojo).



**Figura 4.27.-** Visualización del BER obtenido.  
**Realizado por:** El Investigador

## **Análisis de Resultados**

En la disposición anterior, se ha simulado una red DWDM de 6 canales con modulación NRZ Gbps. La sección de transmisor consta de un transmisor WDM de 6 canales y multiplexor; el espaciado de frecuencia es de 100 GHz, se utilizó un bucle de transmisión como un enlace óptico con una longitud de 13 kilómetros de fibra monomodo, el receptor es un demultiplexor WDM de 6 canales, con Fotodetectores tipo avalancha y probadores BER.

Según las normas IEC 60870-3 y IEC 60801-4, la calidad del Sistema de Comunicación de fibra óptica se basa en la tasa de error BER, el Sistema de Comunicaciones es muy buenos cuando el BER es igual a  $10^{-9}$  a  $10^{-10}$ , si el BER es igual a  $10^{-6}$  se considera como bueno, si el BER está entre  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  se considera como degradado y si el BER es mayor a  $10^{-3}$  el sistema de comunicación se considera como dañado.

De los resultados obtenidos en la simulación, los enlaces realizados de los diferentes tramos se consideran como sistemas de alta calidad ya que el BER obtenido es igual a  $10^{-9}$ , como se indica en la Figura 4.27.

Analizando los patrones obtenidos, se puede notar la apertura del ojo, a medida que aumenta la potencia del ruido en el enlace, es decir cada que el ruido se hace más preponderante sobre el nivel de potencia de la señal, los pulsos son afectados y el ruido se sobrepone en los distintos niveles del pulso afectando a la calidad de transmisión, lo que significa que la simulación realizada no presenta un factor de ruido ponderante ya que la apertura del ojo observada es claramente abierta.

### **4.10 Desarrollo del Presupuesto del presente proyecto**

Para valorar el presupuesto del proyecto sistema alternativo de transmisión de datos entre la central y las subestaciones de la Empresa Eléctrica Cotopaxi con tecnología DWDM se ha considerado dos factores: Costos de los elementos que conforman el sistema de comunicación alternativo y Costos de Instalación.

**a) Costos de los Equipos y Accesorios para los diferentes nodos**

**Tabla 4.29.-** Costos estimativos de los Equipos y Accesorios

<b>Item</b>	<b>Materiales y Accesorios</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P/U \$</b>	<b>P/T \$</b>
<b>1</b>	Cable Óptico G-652 de seis hilos	m	123.750 m	2,00	247.500,00
<b>2</b>	Equipo OLT (Tarjetas GPON)	u	1	6.000,00	6.000,00
<b>3</b>	Equipo ONT	u	7	250,00	1.750,00
<b>4</b>	Extender GPON	u	2	1.200,00	2.400,00
<b>5</b>	Patch cord de Fibra Óptica SC-SC	u	7	35,00	245,00
<b>6</b>	ODF de 12 puertos con accesorios de empalmes por fusión	u	5	200,00	1.000,00
<b>7</b>	ODF de 42 puertos con accesorios de empalmes por fusión	u	2	1.539,00	3.078,00
<b>8</b>	Mangas de empalme	u	23	120,00	2.760,00
<b>9</b>	Herrajes	u	1.759	40,00	70.360,00
<b>10</b>	Conectores SC	u	49	12,00	588,00
<b>11</b>	Gabinete central	u	1	1.000,00	1.000,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 336.681,00</b>	

**Realizado por:** El Investigador

**b) Costos de Instalación de Equipos y Accesorios para los diferentes nodos**

Para la instalación y tendido de fibra óptica se consideró a cuatro personas, un vehículo apropiado para el transporte de cable óptico, alimentación y transporte.

En la Tabla 4.30, se detallan los precios estimativos de la instalación de equipos y accesorios del sistema de comunicación alternativo.

**Tabla 4.30.-** Costos estimativos de la instalación de los Equipos y Accesorios

<b>Item</b>	<b>Materiales y Accesorios</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P/U \$</b>	<b>P/T \$</b>
<b>1</b>	Instalación de Cable Óptico	Km	123,75 Km	300,00	37.125,00
<b>2</b>	Instalación de Equipo OLT	u	1	1.000,00	1.000,00
<b>3</b>	Instalación de los Equipos ONT	u	7	25,00	175,00
<b>4</b>	Gabinete central y sus equipos	u	1	1.500,00	1.500,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 39.800,00</b>	

**Realizado por:** El Investigador

### c) Presupuesto Total del proyecto

**Tabla 4.31.-** Presupuesto Total del Proyecto

<b>Detalle</b>	<b>Costo \$</b>
<b>Precios de los Equipos y Accesorios</b>	336.681,00
<b>Precios Instalación</b>	39.800,00
<b>TOTAL</b>	376.481,00
<b>IVA 12%</b>	45.177,72
<b>Total + IVA</b>	<b>\$ 421.658,72</b>

**Realizado por:** El Investigador

El costo total de proyecto es de \$ 421.658,72, el mismo que será incluido dentro del presupuesto anual de la Empresa ELEPCO S.A.

Cabe indicar que la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A. puede implementar el proyecto en forma parcial o total dependiendo las decisiones que ellos tomen.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

- ✓ La Empresa ELEPCO S.A. hacia sus sucursales está interconectada actualmente por medio de radios enlaces, analizando la transmisión de datos se comprobó que el sistema de comunicación presenta problemas de propagación, interferencia y cortes de la señal; debido a las condiciones ambientales, afectando a la economía de dicha empresa, por lo que se identificó que el canal de transmisión actual no permite satisfacer las necesidades empresariales.
  
- ✓ Estudiando las diferentes alternativas de medios de transmisión, para solucionar el problema incidente en el sistema de comunicación actual de la Empresa ELEPCO S.A, se determinó que con el uso del cable óptico monomodo tipo ADSS, se pueden evitar las interferencias, operar a velocidades de hasta los 622 Mbps, con un ancho de banda en el orden de los Ghz, transmitir voz, datos y video.
  
- ✓ El uso de la topología tipo anillo en el diseño del enlace de fibra óptica desde La Matriz hacia los sectores: La Estación, El Salto y El Calvario, resulta beneficioso, debido a que se puede ofrecer seguridad y redundancia de transmisión de datos, esto implica que si un dispositivo del enlace falla, la dirección de la información puede cambiar de sentido y finalmente llegar al destinatario.

- ✓ La simulación realizada en la herramienta Optisystem, permitió comprobar que el BER obtenido está dentro del rango establecido  $10^{-9}$  a  $10^{-10}$  para que el sistema de comunicación alternativo sea considerado como eficiente, por lo que el diseño realizado es factible para su desarrollo y en el futuro su posible implementación.

## **RECOMENDACIONES**

- ✓ Se recomienda mantener el sistema de comunicación inalámbrica existente como respaldo, debido a que puede ocurrir siniestros o desastres naturales inesperados que afecten la red GPON propuesta.
- ✓ Mediante el uso de la fibra óptica se recomienda ampliar la red GPON de alta capacidad propuesta en la Empresa Eléctrica Cotopaxi, para eliminar los problemas de interferencias y cortes de la señal producidas en los radio enlaces existentes.
- ✓ Aprovechar el enlace de fibra óptica propuesto para automatizar la red eléctrica, como por ejemplo utilizando Reconnectores de alto voltaje para reducir el impacto de los tiempos muertos ocurridos por fallas eléctricas, el costo de operación y el riesgo de accidentes del personal operativo.
- ✓ Realizar el monitoreo constante del BER en la red de fibra óptica propuesta, para verificar que los resultados obtenidos se encuentre entre el rango permisible de  $10^{-9}$  a  $10^{-10}$ , el mismo que comprueba que el sistema de comunicación alternativo propuesto sea óptimo.

## REFERENCIAS

- [1] L. Alcatel, (2014). Explosión de datos entre el 2011 y 2015. En línea disponible en:  
<http://host.mediatelecom.com.mx/~mediacom/index.php/telecomunicaciones/banda-ancha/item/61273-alcatel-lucent-la-explosion-de-datos-entre-2011-y-2015>
- [2] L. Proaño, (2009). Sistema de Comunicación por Fibra Óptica y Enlace Inalámbrico para la Corporación Nacional de Electricidad con el Regional Santo Domingo. En línea disponible en:  
<http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/16/brows?value=Proa%C3%B1o+Salazar%2c+Andrea+Carolina&type=author>.
- [3] DWDM (Multiplexación Densa por Longitud de Onda). [En línea]. Disponible en: [http://www.bitpipe.com/detail/RES/1298993290\\_682.html](http://www.bitpipe.com/detail/RES/1298993290_682.html)
- [4] A. Proaño, (2012). Anillo de Fibra Óptica de Última Milla, para optimizar recursos de planta externa en el Centro de la Ciudad de Ambato. En [línea]. Disponible en:  
<http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/16/browse?value=Proa%C3%B1o+Salazar%2C+Andrea+Carolina&type=author>.
- [5] J. Pallo, (2004). Estudio de las Redes Ópticas de Acceso DWDM y Factibilidad de ser Implementas en la Zona Central del Ecuador. En [línea]. Disponible en: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/317>
- [6] C. Orellana, (2004). Expansión de una red SDH con tecnología DWDM. En [línea]. Disponible en:  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0295\\_EO.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0295_EO.pdf)
- [7] AT&T Corp, (2011). Choosing the Right Metropolitan Ring for Your Business. [En línea]. Disponible en:  
[http://www.bitpipe.com/detail/RES/1298993290\\_682.html](http://www.bitpipe.com/detail/RES/1298993290_682.html)
- [8] D. PASTOR, F. RAMOS Y J CAPMANY, “Sistemas Multicanal basados en Multiplexación por División de Longitud de Onda” en Sistemas de Comunicaciones Ópticas, 1th ed., Valencia: Universidad Politécnica de Valencia., 2007, pp. 158.
- [9] R. KRUSTA, (2013). Fundamentos Básicos de Telecomunicaciones. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.didnet.institucion/itba/cursos/000183/demo/unidad01/modulo1GestTelec14oct03.pdf>.
- [10] D. ROLDAN, “Redes de Comunicaciones”, en Comunicaciones Inalámbricas. Madrid: Alfaomega, 2005, pp.3.

- [11] W. STALLINGS, “Medios de Transmisión, Guiados y no Guiados”, en Comunicaciones y Redes de Computadores, 7th ed. Madrid España: Pearson Educación, S.A., 2004, pp. 97, 112, 113.
- [12] UA-Redes PON Instalación [En Línea]. Disponible en: [http://wikitel.info/wiki/UA-Redes\\_PON\\_Instalacion](http://wikitel.info/wiki/UA-Redes_PON_Instalacion).
- [13] Componentes de la Fibra Óptica. [En línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos13/fibropt/fibropt.shtml#QUEES>
- [14] F. Carmelo, and J. Barbado, “Fibra Óptica Conectorizado y empalmes mecánicos”, in Instalaciones de telefonía, 1th ed., Madrid ESPAÑA: Ediciones Paraninfo, S.A., 2008, pp. 256-270.
- [15] Fibra óptica multimodo. [En línea]. Disponible en: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.651.1-200707-I/es>
- [16] F. Moliner, Informáticos Generalitat Valenciana Grupos a Y B., Vol 1, España: editorial Mad, S.L, 2005, pp. Pags 55,56.
- [17] Espectro Electromagnético. [En línea]. Disponible en: <http://allman.rhon.itam.mx/~creyes/apuntes/ondas3.pdf>
- [18] Ventanas de operación de la fibra óptica. [En Línea]. Disponible en: <http://www.cablesyconectoreshoj.com/historia-de-la-fibra-optica-ii/>
- [19] C. Douglas, Física: Principios con aplicaciones, 7th ed., México: Pearson Educación, 2006, pp. 642-645.
- [20] T. WAYNE, “Ángulo y Cono de Aceptación”, en Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 4th ed. México: Editorial Prentice Hall, 2003, pp. 321.
- [21] M. ESPAÑA, Comunicaciones Ópticas, 1th ed. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A., 2005, pp. 3, 10.
- [22] Pérdida en los cables de Fibra Óptica. [En Línea]. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra\\_%C3%B3ptica](http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_%C3%B3ptica)
- [23] Manual de construcción y aplicaciones de banda ancha. [En línea]. Disponible en:  
[http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CCgQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.commscope.com%2Fdocs%2Ffiber\\_optics\\_const\\_manual\\_co-107147\\_es-mx.pdf&ei=tux5VLu7KoOcNumSg-AJ&usg=AFQjCNEtWwRUQTToIGSNO51aZBR-Ic7NLhg&sig2=l-2EVLAdj5B-\\_KzKs6Vog&bvm=bv.80642063,d.eXY](http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CCgQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.commscope.com%2Fdocs%2Ffiber_optics_const_manual_co-107147_es-mx.pdf&ei=tux5VLu7KoOcNumSg-AJ&usg=AFQjCNEtWwRUQTToIGSNO51aZBR-Ic7NLhg&sig2=l-2EVLAdj5B-_KzKs6Vog&bvm=bv.80642063,d.eXY)

- [24] Tendido Aéreo. [En línea]. Disponible en: <http://www.conelectronica.com/fibra-optica/curso-fibra-optica/tipos-de-instalacion-de-fibra-optica>
- [25] R. IBARRA y M. SERRANO, “Sistemas de comunicaciones ópticas”, en Principios de la teoría de comunicaciones, 1th ed., México: LIMUSA S.A., 1999, pp. 29.
- [26] LASHED. [En Línea]. Disponible en: [comunicacionesopticas.files.wordpress.com/.../tipos-de-fibra-optica.ppt](http://comunicacionesopticas.files.wordpress.com/.../tipos-de-fibra-optica.ppt)
- [27] C. SOTO, (2010). Elaboración de un manual de procedimientos para la presentación de proyectos de fibra óptica en planta externa para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. [En línea]. Disponible en: [bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1386/1/CD-2673.pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1386/1/CD-2673.pdf)
- [28] Tendido subterráneo [En línea] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/55977317/DISENO-DE-UNA-RED-DE-FIBRA-OPTICA4>
- [29] GPON. [En Línea]. Disponible en: <http://wikitel.info/wiki/GPON>
- [30] Divisor Óptico Modular. [En Línea]. Disponible en: <http://www.furukawa.com.br/ve/productos/na/splitter/divisor-optico-modular-lgx-783.html>
- [31] Tipos de Conectores [En línea]. Disponible en: <http://www.taringa.net/comunidades/amdphenomii/6379531/Redes-Fibra-Optica-tipo-de-conectores.html>
- [32] G. Isidoro, Técnicas y procesos en las instalaciones singulares en los edificios, 2th ed., Editorial: Paraninfo S.A. 2010, pp. 99.
- [33] G. KEISER, “Presupuesto de pérdidas de un enlace de fibra óptica” en Optical Fiber Communication”, 2th ed., India: Editorial McGraw-Hill S.A., 1991, pp. 216 – 217.
- [34] D. BAILEY y E. WRIGHT, “Fiber optic system design”, en Practical fiber optics, 1th ed., India: Editorial Newnes, 2003, p. 174.
- [35] Y. WU y A. WU, “Concepto de relaciones S/N”, en Diseño robusto utilizando los métodos Taguchi, 1th ed., Madrid: Díaz de Santos S.A., 1997, pp. 16.

- [36] A. CASTRO y R. FUSARIO, Comunicaciones: Una introducción a las redes digitales de transmisión de datos y señales isócronas, 1st ed. Argentina: Alfaomega grupo editor, 2013, pp. 634-646
- [37] TDM (Multiplexación por División de Tiempo) [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/MichaelTejada/multiplexacin-por-divisin-de-tiempo>
- [38] WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda). [En Línea]. Disponible en: [http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema4/tema4\\_4.htm](http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema4/tema4_4.htm)
- [39] Definición de CWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Ligera). [En línea]. Disponible en: <http://conocimientosdwdmtechnology.blogspot.com/2010/07/tecnologia-wdm-multiplexacion-por.html>
- [40] DWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa). [En línea]. Disponible en: <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/dwdmmetro.php>
- [41] “QOS, Calidad de Servicio”, [En línea]. Disponible en: <http://www.andesat.com/s-qos>
- [42] R. GÓMEZ, J. MOLINÉ y A. BARBANY, “Introducción a la Calidad”, en Calidad de Equipos e Instalaciones Electrotécnicas. Barcelona: ALTAMAR S.A., 2005, pp. 7, 21
- [43] Redes FTTx Conceptos y Aplicaciones. [En Línea]. Disponible en: <http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/expocomm/TUTORIAL%209%20Lattanzi%20y%20Graf-%20IEEE.pdf>
- [44] Definición Rack. [En Línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Rack>
- [45] Definición Distribuidor de Fibra óptica ODF. [En Línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos69/normas-fibra-optica/normas-fibra-optica2.shtml#ixzz3KoSbqGL2>

# ANEXOS

## ANEXOS

Parámetros Técnicos de los equipos utilizados para el desarrollo del proyecto.

### A.- Características técnicas del cable óptico marca Furukawa.

#### Cable Óptico

#### CABLE ÓPTICO DIELECTRICO AUTOSOPORTADO PARA LARGOS VANOS



Designación	CFOA-LV-AS-CMO5/10/15/20KN-S							
Descripción	Cable óptico dieléctrico con fibras ópticas ubicadas en tubos de holgado rellenos (tubos "loose"), reunidos alrededor del elemento central. El núcleo del cable será protegido con materiales hidroexpansibles para prevenir la entrada de humedad, cubierta interna, elemento de tracción con hilaturas de aramida y cubierta externa de material termoplástico.							
Aplicación	Ambiente de instalación: Externo Ambiente de operación: Aérea autosoportada en largos vanos							
<b>Características constructivas</b>								
Tipos de fibra	Monomodo (9/125)		G.652.B y G.652.D					
	Monomodo NZD (9/125)		G.655 y G.656					
Tipo de núcleo	Seco (S)							
Cubierta externa	Poliétileno o copolímero de color negro con o sin retardación a llama (NR o RC) o resistente al Efecto Tracking (RT)							
Resistente al efecto tracking	Para instalaciones en campo eléctrico $\leq 12$ kV, cubierta NR y RC							
	Para instalaciones en campo eléctrico $> 12$ kV/m y $\leq 25$ kV/m, cubierta RT							
Carga máxima de operación CMO (N)	Número de fibras ópticas	Cantidad de fibras por tubo	Diámetro externo nominal (mm)	Masa neta nominal (kg/km)		Carga de compresión (N/cm)	Radio mínimo de curvatura (mm)	
				NR y RT	RC		Durante la instalación	Después de instalado
5 kN	06 hasta 36	6	13,6	120	132	230	20 x diámetro externo del cable	10 x diámetro externo del cable
	48 hasta 72	12	14,8	146	146			
10 kN	06 hasta 36	6	13,6	130	142			
	48 hasta 72	12	14,8	158	170			
15 kN	06 hasta 36	6	14,6	145	157			
	48 hasta 72	12	15,6	171	185			
20 kN	06 hasta 36	6	15	160	173			
	48 hasta 72	12	16,4	187	201			

#### Recomendación de los accesorios

Furukawa recomienda solamente la utilización de accesorios preformados para anclaje de los cables compuestos de retención y varillas de protección. Para otras informaciones, contactar con Furukawa.

#### Desempeño

En acuerdo con ET 1204

#### Embalaje

Carrete de madera

Tramo estándar 4000 m

**Fuente:**

[http://portal.furukawa.com.br/arquivos/c/cat/catAalogo/2705\\_Catalogo2014espweb.pdf](http://portal.furukawa.com.br/arquivos/c/cat/catAalogo/2705_Catalogo2014espweb.pdf)

**B.- Características técnicas del cable óptico marca DRAKA.**



Issue Date: 03/10  
Supersedes: 03/10

**Enhanced Single Mode Optical Fibre (ESMF)**

**Product Type: G.652.D**  
**Coating Type: Natural**

Draka Comteq Enhanced Singlemode (ESMF) fibre provides improved performance across the entire 1260 nm to 1625 nm wavelength spectrum. It has a low dispersion in the 1310 nm window and low attenuation in the 1383 nm water-peak region to allow use of the extended band (1360 nm to 1460 nm).

With its wide operating spectrum, ESMF expands the future growth capability of the fiber and allows flexible configuration of voice, data, and video services within the fiber. It can be used in all cable constructions including loose tube, ribbon, central tube and tight buffered designs.

The tighter geometrical, attenuation and PMD specifications of ESMF enables superior performance in long haul, metropolitan, access and premises applications in telecommunications, CATV and utility networks. ESMF is completely interchangeable with standard singlemode fibre.

Draka Comteq's Advanced Plasma and Vapor Deposition (APVD™) manufacturing process ensures the highest quality and purity of fibers. Proprietary Drka Comteq coating process further enhances the performance, durability and reliability of the fibre, even in the harshest environments.



The fibre complies with or exceeds the ITU-T Recommendation G.652.D, the IEC Int. Standard 60793-2-50 type B.1.3 Optical Fibre Specification, Telcordia GR-20-CORE, ANSI/ICEA S-87-640 and RUS 7CFR 1755.900.

Features	Benefits
Low 1383 nm (water peak) attenuation	> Provides expanded fiber capacity and cost savings through use of cheaper lasers in the entire 1260 nm to 1625 nm range, multiplexing filters, and higher number of channels
Low hydrogen sensitivity	> Low attenuation in the 1383 nm region even as fibre ages, for improved performance and long life
Lower PMD of 0.06 ps/√km link design value	> Extends the PMD distance performance, reducing regeneration costs
Lower 1460 nm attenuation (<0.25 dB/km)	> Easy design of low cost laser and filter based systems over a wide wavelength range > Ensure efficient Raman pumping for c-band amplification
Proprietary APVD™ manufacturing process	> Superior geometry, uniformity and purity
Revolutionary ColorLock™ coating process	> Increased reliability, durability, and superior aging performance, resulting in lower maintenance and replacement costs > Makes color a component of the coating, thus enhancing fiber identification and colored fiber reliability > Consistent, vibrant color for ease-of-use and flexibility

Optical Specifications (uncabled fiber)		
<b>Attenuation (dB/km)</b>	<i>Max Value Range</i>	
Attenuation at 1310 nm	0.33 – 0.35	
Attenuation at 1383 nm*	0.32 – 0.35	
Attenuation at 1460 nm	0.25	
Attenuation at 1550 nm	0.19 – 0.21	
Attenuation at 1625 nm	0.20 – 0.23	
* Including H2-aging according to IEC 60793-2-50, type B.1.3 Other values available on request		
<b>Attenuation vs. Wavelength</b>		
Maximum attenuation change over the window from reference		
<i>Wavelength (nm)</i>	<i>Reference <math>\lambda</math> (nm)</i>	<i>Change (dB/km)</i>
1285-1330	1310	$\leq 0.03$
1525-1575	1550	$\leq 0.02$
1460-1625	1550	$\leq 0.04$
<b>Point discontinuities</b>		
No point discontinuity greater than 0.05 dB at 1310 nm or 1550 nm		
<b>Attenuation with Bending</b>		
100 turns, 50mm diameter @ 1310 nm	$\leq 0.05$ dB	
100 turns, 50mm diameter @ 1550 nm	$\leq 0.05$ dB	
100 turns, 60mm diameter @ 1625 nm	$\leq 0.05$ dB	
<b>Cutoff Wavelength</b>		
Cable Cutoff wavelength ( $\lambda_{cutoff}$ )	$\leq 1260$	
<b>Mode Field Diameter</b>		
<i>Wavelength (nm)</i>	<i>MFD (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	
1310	9.2 $\pm$ 0.4	
1550	10.3 $\pm$ 0.5	
<b>Chromatic Dispersion</b>		
<i>Wavelength (nm)</i>	<i>Dispersion (ps/nm<sup>2</sup>*km)</i>	
1285-1330	$\leq  3 $	
1550	$\leq 18.0$	
1625	$\leq 22.0$	
Zero dispersion wavelength ( $\lambda_0$ )	1300 – 1322 nm	
Slope ( $S_0$ ) at $\lambda_0$	$\leq 0.090$ ps/(nm <sup>2</sup> *km)	
<b>Polarization Mode Dispersion (PMD)</b>		
PMD link design value**	$\leq 0.06$ ps/ $\sqrt{\text{km}}$	
Max individual fiber	$\leq 0.1$ ps/ $\sqrt{\text{km}}$	
** According to IEC 60794-3, Ed 3 (Q=0.01%)		

Geometrical Specifications		
<b>Glass Geometry</b>		
Cladding diameter	125.0 $\pm$ 0.7 $\mu\text{m}$	
Core/Cladding Concentricity	$\leq 0.5$ $\mu\text{m}$	
Cladding non-circularity	$\leq 0.7$ %	
Fibre Curl (radius)	$\geq 4$ m	
<b>Coating Geometry</b>		
Coating Diameter	242 $\pm$ 7 $\mu\text{m}$	
Coating/Cladding Concentricity	$\leq 12$ $\mu\text{m}$	
Coating non-circularity	$\leq 5$ %	
<b>Lengths</b>	Standard lengths up to 50.4 km	
<b>Mechanical Specifications</b>		
<b>Proof Test</b>		
The entire length is subjected to a tensile proof stress > 0.7 GPa (100 kpsi); 1% strain equivalent		
<b>Tensile Strength</b>		
Dynamic tensile strength (0.5 meter gauge length): Aged*** and unaged median $\geq 3.8$ GPa (550 kpsi) *** Aging at 85 °C, 85% RH, 30 days		
<b>Dynamic and Static Fatigue</b>		
Dynamic fatigue	$N_f \geq 20$ unaged and aged****	
Static Fatigue	$N_s \geq 23$ aged****	
<b>Coating Performance</b>		
Coating strip force unaged and aged****:		
- Average strip force: 1 N to 3 N		
- Peak strip force: 1.3 N to 8.9 N (0.2 lbf to 2.0 lbf)		
**** Aging:		
- 0 °C and 45 °C		
- 30 days at 85 °C and 85% RH		
- 14 days water immersion at 23 °C		
- Wasp spray exposure (Telcordia)		
<b>Environmental Specifications</b>		
<i>Induced attenuation @ 1310, 1550 nm</i>	<i>(dB/km)</i>	
Temperature cycling performance (-60 °C to 85 °C)	$\leq 0.05$	
Temperature humidity cycling (-10 °C to 85 °C, 4-98% RH)	$\leq 0.05$	
Water immersion (23 °C, 14 days)	$\leq 0.05$	
Dry heat (85 °C, 30 days)	$\leq 0.05$	
Damp heat (85 °C, 85% RH, 30 days)	$\leq 0.05$	
<b>Typical Characterization Values</b>		
Nominal zero dispersion slope	0.085 ps/nm <sup>2</sup> *km	
Effective group index	@ 1310 nm	1.467
	@ 1550 nm	1.468
	@ 1625 nm	1.468
Backscatter coefficient (1 NS pulse width)	@ 1310 nm	- 79.4 dB
	@ 1550 nm	- 81.7 dB
	@ 1625 nm	- 82.5 dB

Fuente:

[http://www.draktel.com.br/PDF/Singlemode/G652/G652CD\\_ESMF.pdf](http://www.draktel.com.br/PDF/Singlemode/G652/G652CD_ESMF.pdf)

## C.- Características técnicas del equipo OLT

### CHASI GPON FK-OLT-G2500



Aplicación		
Concentrador de abonados para centrales de Redes FTTx que utilicen la tecnología GPON.		
Características constructivas		
Alimentación	48VDC redundante	
Temperatura del funcionamiento	0 °C hasta 50 °C	
Dimensión	444 x 310 x 285 mm (7 Us)	
Potencia de consumo	390 W	
Modulos	Hot Swappable	
Características técnicas		
Interfaces	10 slots para módulo de servicio	Modulo de servicio con 4 puertos GPON SFP
		Modulo de servicio con 4 puertos GPON SFP redundantes
	2 slots para módulo de uplink	Modulo de uplink con 4 puertos SFP GbE y 2 puertos XFP 10GbE
	2 slots para módulo de switching y control	
	2 slots para fuente de alimentación 48VDC	
GPON	Estándar GPON ITU-T G.984	
	64 abonados por interfaz PON (Hasta 2560 por chasi)	
	2,5 Gbps de downstream y 1,25 Gbps de upstream	
	20 km de alcance (60 km de alcance lógico máx.)	
Layer 2	32 K direcciones MAC	
	Soporte a VLANs	
	Spanning Tree (STP, RSTP, MSTP)	
	Link Aggregation	
Layer 3	Enrutamiento estático	
	RIP v1 /v2, OSPF v2, BGP v4	
	VRRP	
QoS	Alocación dinámica de banda por usuario	
	8 filas de prioridad por puerto	
	Traffic Scheduling (SP,WRR, DRR)	
Seguridad	SSH v1/v2	
	802.1x con RADIUS e TACACS+	
	Storm Control	
	Access Control List para L2, L3 e L4	
Codificação		
35510151	Chasi OLT GPON FK-OLT-G2500	
35510121	Módulo de Servicio 4 Puertos GPON SFP para Plataforma GPON 7U	
35510123	Panel Ciego - Módulo de Servicio para Plataforma GPON 7U	
35510153	Módulo de Switch y Gestión para FK-OLT-G2500	
35510117	Panel Ciego - Módulo de Switch y Gestión para Plataforma GPON 7U	
35510118	Módulo de Uplink 2 Puertos 10GE + 4 Puertos GE SFP para Plataforma GPON 7U	
35510119	Panel Ciego - Módulo de Uplink para Plataforma GPON 7U	
35510113	Fuente de Alimentación DC para Plataforma GPON 7U	
35510114	Panel Ciego - Fuente DC para Plataforma GPON 7U	
35510136	Transceiver Óptico SFP GPON OLT Clase B+	
35510138	Transceiver Óptico SFP GE LX10 1310Nm (10km)	
35510142	Transceiver Óptico XFP 10GE LR 1310Nm (10km)	

### Fuente:

[http://portal.furukawa.com.br/arquivos/c/cat/catAalogo/2705\\_Catalogo2014espweb.pdf](http://portal.furukawa.com.br/arquivos/c/cat/catAalogo/2705_Catalogo2014espweb.pdf)

## D.- Características técnicas del equipo ONT

ONT GPON FK-ONT-G420W	
<b>Aplicación</b>	
Equipo de acceso de abonado para redes FTTx que utilicen la tecnología GPON.	
<b>Características constructivas</b>	
Alimentación	12VDC con adaptador AC/DC full-range incluso
Temperatura del funcionamiento	0 °C hasta 40 °C
Dimensión	190 x 62 x 150 mm
<b>Características técnicas</b>	
Interfaces	1 interfaz óptica GPON SC-APC
	4 interfaces de cobre Gigabit Ethernet RJ-45
GPON	2 interfaces de cobre FxS RJ-11
	Antena WiFi
	Estándar GPON ITU-T G.984
Layer 2	2,5 Gbps de downstream y 1,25 Gbps de upstream
	20 km de alcance (60 km de alcance lógico máximo)
Layer 3	Múltiplos T-CONTs y GEM Ports
	Hasta 128 direcciones MAC
QoS	Hasta 16 grupos VLAN
	Cliente PPPoE
Voz	NAT y NAPT
	Servidor DHCP
Multicast	Ancho de banda configurable por la OLT
	8 filas de prioridad por puerto
WiFi	Soporte a sistemas de telefonía IP
	Call ID, Call Hold, Call Transfer, etc.
Gestión	Configuración de cliente DHCP o IP estático
	IGMP snooping
	Compatible con IEEE 802.11b/g/n
Codificación	Múltiplos SSIDs
	Seguridad: WEP/WPA e WPA2
	Gestión y aprovisionamiento a través de OLT
35510131	Descubrimiento automático
	Aprovisionamiento via RADIUS
	Actualización remota de firmware
35510131 ONT GPON FK-ONT-G420W	

### Fuente:

[http://portal.furukawa.com.br/arquivos/c/cat/catAalogo/2705\\_Catalogo2014espweb.pdf](http://portal.furukawa.com.br/arquivos/c/cat/catAalogo/2705_Catalogo2014espweb.pdf)

## E.- Características Técnicas del Extender GPON

### Especificaciones técnicas

#### Características generales

Permite ampliar una señal GPON hasta 60 kilómetros

Permite ampliar los usuarios de una red GPON hasta 128

Capaz de trabajar en todas las posibilidades definidas en el estándar UIT-T G.984.2.

No añade ruido al enlace de fibra

Es posible añadir varios repetidores en cascada

Es posible enlazar varios GPON Extenders para aumentar aún más el alcance de la red PON

#### Especificaciones Técnicas

Regeneración de la señal y del reloj para transportar las lambdas en upstream (1310nm) y downstream (1490nm)

Amplificación EDFA opcional a 1550nm de alta eficiencia (20dB de ganancia) y de bajo factor de ruido (NF<5dB)

Gestión remota a través de SNMP

Conectorización SC/APC o SC/PC

Compatible con los chasis MetroSAE y TriSAE



Parámetros temporales					
Parámetros	Sím-bolo	Min	Typ	Max	Unit
Hi/lo Ratio	Hi/Lo		15		dB
Packet-to-packet spacing	Tg	25			Ns
BM RX Stabilization Period	Ts			8	Ns
Optical Delay via repeater					
Downstream	t		9		
Upstream	t		2		Ns

Potencia de budget óptico	
zParameters	TypeB
RX Sensitivity in DS	-28/-8 dBm
RX Sensitivity in US	-26/-10 dBm
TX Power in DS	2.0 dBm
TX Power in US	1 dBm
Extinction ratio of TX in US	>20 dBm

#### Información de Contacto

##### Oficinas Centrales

Polígono Industrial Centrovía  
c/ Buenos Aires, 18  
50196 La Muela, Zaragoza  
España

Teléfono: (+34) 976 14 18 00  
Fax: (+34) 976 14 18 10  
comercial@telnet-ri.es

##### Oficina Comercial en Madrid

Avda. Menéndez Pelayo, 85 - 1º A  
28007 Madrid  
España

Teléfono: (+34) 91 434 39 92  
Fax: (+34) 91 434 40 84

##### Oficina Comercial en Portugal

NETIBERTEL  
Av. Fontes Pereira de Melo, 35 - 14ºD  
1050- 118 Lisboa  
Portugal

Teléfono: (+351) 213 558 206

**Fuente:** [http://www.telnet-](http://www.telnet-ri.es/fileadmin/user_upload/hojas_producto/BANDA_ANCHA/GPON_extender_ES_V.2.1.pdf)

[ri.es/fileadmin/user\\_upload/hojas\\_producto/BANDA\\_ANCHA/GPON\\_extender\\_ES\\_V.2.1.pdf](http://www.telnet-ri.es/fileadmin/user_upload/hojas_producto/BANDA_ANCHA/GPON_extender_ES_V.2.1.pdf)

## F.- NORMAS Y ESTANDARES

En la siguiente tabla se indica los estándares y protocolos necesarios para el desarrollo del presente proyecto.

<b>NORMAS Y ESTANDARES</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DETALLES EN:</b>
<b>UIT-T G.652.D</b>	Fibra monomodo	<a href="http://www.itu.int/rec/T-REC-G.652/es">http://www.itu.int/rec/T-REC-G.652/es</a>
<b>ANSI/IEEE estándar 524-1980</b>	Métodos usados para instalación de cable de fibra óptica ADSS	<a href="http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&amp;arnumber=27877&amp;url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel1%2F2438%2F1136%2F00027877">http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&amp;arnumber=27877&amp;url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel1%2F2438%2F1136%2F00027877</a>
<b>G.694.1</b>	Método de multiplexado	<a href="http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-201202-I/en">http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-201202-I/en</a>
<b>IEC 61754-20 TIA 604-10-A</b>	Norma para conectores	<a href="http://www.google.com/url?sa=t&amp;rct=j&amp;q=&amp;esrc=s&amp;source=web&amp;cd=1&amp;ved=0CCoQFjAA&amp;url=http%3A%2F%2Fwww.hubersuhner.com%2FHandlers%2FRealTimeNewsMediaHandler.ashx%3Fid%3D323&amp;ei=hLCJVKDbGsP7ggSAkID4Dw&amp;usg=AFQjCNH8LfqXicrZuQlhTOZhy4Eythz0-g&amp;sig2=EdMbT-FJLSaGc7Rx03_ILQ&amp;bvm=bv.81456516,d.eXY">http://www.google.com/url?sa=t&amp;rct=j&amp;q=&amp;esrc=s&amp;source=web&amp;cd=1&amp;ved=0CCoQFjAA&amp;url=http%3A%2F%2Fwww.hubersuhner.com%2FHandlers%2FRealTimeNewsMediaHandler.ashx%3Fid%3D323&amp;ei=hLCJVKDbGsP7ggSAkID4Dw&amp;usg=AFQjCNH8LfqXicrZuQlhTOZhy4Eythz0-g&amp;sig2=EdMbT-FJLSaGc7Rx03_ILQ&amp;bvm=bv.81456516,d.eXY</a>
<b>ITU-T G.984 ITU-T G.984.1 ITU-T G.984.2 ITU-T G.984.3 ITU-T G.984.4</b>	Tecnologías PON Características Generales Especificaciones de puertos Especificaciones de tecnología Especificaciones de Formato	<a href="http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-201202-I/en">http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-201202-I/en</a>