



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones

TEMA:

“SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE ALTA DISPONIBILIDAD PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS ENTRE LA CENTRAL Y LAS SUBESTACIONES DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD EMPRESA PÚBLICA UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR”

Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniera en Electrónica y Comunicaciones.

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Comunicaciones Ópticas

AUTOR:

Gladys Cristina Yacchirema Lumbi

TUTOR:

Ing. Geovanni Brito, Mg.

Ambato - Ecuador

Julio 2016

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema: “SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE ALTA DISPONIBILIDAD PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS ENTRE LA CENTRAL Y LAS SUBESTACIONES DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD EMPRESA PÚBLICA UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR”, de la señorita. Gladys Cristina Yacchirema Lumbi, 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 el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato julio, 2016

EL TUTOR

Ing. Mg. Geovanni Danilo Brito Moncayo

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado “SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE ALTA DISPONIBILIDAD PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS ENTRE LA CENTRAL Y LAS SUBESTACIONES DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD EMPRESA PÚBLICA UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato julio, 2016

Gladys Cristina Yacchirema Lumbi

C.C: 020188657-9

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato julio, 2016

Gladys Cristina Yacchirema Lumbi

C.C: 020188657-9

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Patricio Córdova, Mg. e Ing. Manuel Otorongo, Mg. revisaron y aprobaron el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE ALTA DISPONIBILIDAD PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS ENTRE LA CENTRAL Y LAS SUBESTACIONES DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD EMPRESA PÚBLICA UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR”, presentado por la señorita Gladys Cristina Yacchirema Lumbi de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. José Vicente Lozada, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Patricio Córdova, Mg
DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Manuel Otorongo, Mg.
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

A las mujeres más importantes de mi vida, mi madre Beatriz, una mujer ejemplar quien ha sido el pilar fundamental en mi vida, mis hermanas Fernanda y Shirley, mis incondicionales amigas; ellas han sido y son la fuerza e inspiración necesaria para culminar cada meta propuesta, su amor, apoyo y confianza han hecho de mí la mujer que ahora soy.

A mi padre, Enrique, el ángel que Dios me concedió, quien desde el cielo me protege y guía mi camino y sé que desde ahí está tan orgulloso de mí.

A mis mejores amigos, Sabrina y Franklin, quienes además de ser mis compañeros fueron mi familia durante algunos años, con ellos compartí tantos anhelos y triunfos, algunas derrotas y experiencias que serán imposibles de olvidar.

Cristina

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, el lugar en donde obtuve una profesión, cultivé buenas amistades y conocí a excelentes profesores.

A mi tutor, Ing. Geovanni Brito, quien fue mi mentor y supo guiarme en todo momento para culminar este trabajo, a la CNEC Bolívar en donde siempre estuvieron prestos a brindarme su colaboración en especial al Ing. Milton Barsallo, ya que conjuntamente con él pudimos consolidar este proyecto.

Cristina

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Página
Tema	i
Aprobación del tutor	ii
Autoría	iii
Derechos de autor	iv
Aprobación de la comisión calificadora	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Índice de contenido.....	viii
Resumen	xviii
Abstrac	xix
Glosario de Términos	xx
Introducción.....	xxv

CAPÍTULO 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
15.2 Específicos.....	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos	5
2.2 Fundamentación Teórica.....	6
2.2.1 Sistema de comunicación.....	6
2.2.2 Elementos de un sistema de comunicación.....	7
2.2.3 Tipos de sistemas de comunicación.....	7
2.2.4 Medios de transmisión	8
2.2.5 Fibra óptica	11
2.2.6 Pérdidas en la fibra óptica.....	13
2.2.7 Tipos de fibra óptica	14
2.2.8 Ventanas de transmisión	16
2.2.9 Ventajas y desventajas de los cables de fibra óptica	18
2.2.10 Parámetros a considerar en la transmisión por fibra óptica	19
2.2.11 Sistema de comunicaciones ópticas	20
2.2.12 Técnicas de multiplexación	24
2.2.13 Variantes de la tecnología WDM.....	26
2.2.14 Topologías de red.....	30
2.2.15 Tendido de cables ópticos.....	32
2.2.16 Recomendaciones de la ITU-T	37
2.3 Propuesta de solución	38

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1 Modalidad de la investigación	39
3.2 Recolección de la información	40
3.3 Procesamiento y análisis de datos.....	40
3.4 Desarrollo del proyecto.....	40

CAPÍTULO IV
DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1 Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública Unidad de Negocio Bolívar ...	42
4.1.1 Departamento de Sistemas y Tecnología.....	43
4.1.2 Centro de Control.....	44
4.1.3 Subestaciones Eléctricas	44
4.1.4 Sistema SCADA	45
4.2 Sistema de comunicación inalámbrico de la CNEL EP Bolívar.....	49
4.2.1 Equipos de la red inalámbrica de comunicación	55
4.2.2 Monitoreo de las subestaciones Guaranda, Guanujo, Echeandía, Sicoto y Cochabamba.....	63
4.2.3 Procesamiento de datos de la comunicación inalámbrica.....	69
4.2.4 Evaluación de la red inalámbrica.....	70
4.3 Requerimientos de la CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar para el nuevo sistema de comunicación.....	71
4.4 Análisis y elección del medio de comunicación más adecuado para el sistema de comunicación de alta disponibilidad.....	73
4.4.1 Tipo de tecnología para la transmisión de datos en la Provincia de Bolívar	74
4.4.2 Selección de los equipos	80

4.5 Cálculos generales para los enlaces de fibra óptica.....	86
4.5.1 Atenuación total.....	86
4.5.2 Cálculo de la potencia mínima de recepción.....	90
4.5.3 Margen de potencia.....	91
4.5.4 Tasa de bit errado (BER).....	91
4.5.5 Ruido Óptico.....	92
4.5.6 Ancho de banda.....	93
4.6 Requerimientos del canal de transmisión.....	94
4.6.1 Estimación de requerimiento de ancho de banda para sistemas de telefonía de voz sobreIP.....	94
4.6.2 Estimación de requerimiento de ancho de banda para sistemas de video vigilancia...97	97
4.6.3 Estimación de requerimiento de ancho de banda para el sistema SCADA.....	99
4.6.4 Estimación de requerimiento de ancho de banda para internet.....	100
4.7 Diseño del sistema de comunicación.....	101
4.7.1 Ubicación del proyecto.....	101
4.7.2 Selección de la ruta.....	102
4.7.3 Ubicación de la fibra óptica en las torres de transmisión.....	104
4.7.4 Ubicación de otros equipos, estructuras y accesorios.....	105
4.7.5 Longitud total del enlace.....	108
4.8 Simulación de la red propuesta.....	109
4.9 Elaboración del presupuesto del proyecto.....	112
4.10 Elaboración del proyecto bajo el formato exigido por la SENPLADES.....	119

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	120
Recomendaciones	122
Referencias.....	123
Anexos.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.- Elementos que componen un sistema de comunicación.	6
Figura 2.2.- Cable de fibra óptica.	12
Figura 2.3.- Tipos de fibra óptica.	15
Figura 2.4.- Diagrama de bloques de un sistema de comunicación óptico.....	21
Figura 2.5.- Esquema de multiplexación.	24
Figura 2.6.- Multiplexación por división de tiempo.	25
Figura 2.7.- Multiplexación por división de longitud de onda.	26
Figura 2.8.- DWDM y CWDM.....	27
Figura 2.9.- Esquema funcional DWDM.....	30
Figura 2.10.- Topologías en DWDM.....	32
Figura 2.11.- Tendido retractable/fijo.....	33
Figura 2.12.- Tendido con desplazamiento de carrete.....	33
Figura 2.13.- Componentes de un cable OPGW.....	35
Figura 2.14.- Componentes de un cable ADSS.	36
Figura 2.15.- Cable figura 8.....	34
Figura 4.1.- CNEL EP Bolívar.	43
Figura 4.2.- Centro de Control.....	44
Figura 4.3.- Subestación de intemperie (a). Subestación GIS (b).	45
Figura 4.4.- Diagrama de bloques del Sistema SCADA de la CNEL EP Bolívar.....	48
Figura 4.5.- Sistema de comunicación inalámbrico de la CNEL EP Bolívar.....	49
Figura 4.6.- Estado físico de equipos y materiales.	50
Figura 4.7.- Comunicación entre subestaciones.	52
Figura 4.8.- S/E Caluma (a). Hilo de guarda tipo OPGW 20B40Z (b).	54

Figura 4.9.- Equipos conectados a la red.....	63
Figura 4.10.- Servicios de la S/E Guaranda.....	64
Figura 4.11.- Mapa de red del sistema inalámbrico.....	65
Figura 4.12.- Ventana de inicio de WinBox.....	67
Figura 4.13.- Detalles del enlace de la S/E Cochabamba.....	67
Figura 4.14.- Test de ancho de banda de la S/E Cochabamba.....	69
Figura 4.15.- Ubicación de las subestaciones eléctricas.....	77
Figura 4.16.- Topología lógica de la nueva red.....	84
Figura 4.17.- Topología física de la nueva red.....	85
Figura 4.18.- Interfaz de cámara IP HUAWEI.....	98
Figura 4.19.- Rutas de las torres de transmisión.....	102
Figura 4.20.- Torre metálica de la S/E Cochabamba.....	104
Figura 4.21.- Ubicación del cable ADSS.....	104
Figura 4.22.- Herraje de retención para cable ADSS en torres eléctricas.....	106
Figura 4.23.- Amortiguador en cable óptico ruta Guaranda-Riobamba propiedad de TRANSELECTRIC.....	106
Figura 4.24 .- Simulación del enlace Echeandía-Caluma.....	110
Figura 4.25.- Diagrama del ojo: Apertura del ojo (a). Regiones (b).	111
Figura 4.26.- Análisis WDM.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.- Medios de transmisión.....	8
Tabla 2.2.- Cuadro comparativo de los medios de transmisión.....	10
Tabla 2.3.- Cuadro comparativo entre los tipos de fibra óptica.....	16
Tabla 2.4.- Ventanas de operación de la fibra óptica.....	16
Tabla 2.5.- Emisores ópticos.....	22
Tabla 2.6.- Cuadro comparativo entre conectores.....	23
Tabla 2.7.- Tipos de empalmes.....	24
Tabla 2.8.- Tipos de topologías.....	30
Tabla 2.9.- Cuadro comparativo entre cables ópticos aéreos.....	36
Tabla 4.1.- Enlaces de las subestaciones.....	53
Tabla 4.2.- Coordenadas Georeferenciales.....	54
Tabla 4.3.- Detalle de equipos instalados en las subestaciones.....	55
Tabla 4.4.- Repetidor Shunguna.....	56
Tabla 4.5.- Repetidor Lourdes.....	56
Tabla 4.6.- Repetidor Cuchicagua.....	57
Tabla 4.7.- Repetidor Piscoquero.....	58
Tabla 4.8.- Sitios del sistema de comunicación inalámbrica.....	59
Tabla 4.9.- Características técnicas de los equipos de comunicación inalámbrica.....	61
Tabla 4.10.- Direccionamiento IP.....	66
Tabla 4.11.- Recopilación de datos.....	70
Tabla 4.12.- Cuadro comparativo de los medios de comunicación.....	73
Tabla 4.13.- CWDM vs DWDM.....	75
Tabla 4.14.- Atributos de la fibra G.655.A.....	78

Tabla 4.15.- Características de la fibra óptica de diferentes fabricantes.	79
Tabla 4.16.- Parámetros técnicos del módulo DWDM SFP 3977	81
Tabla 4.16.- Características de otros equipos y materiales.	81
Tabla 4.18.- Tabla de direccionamiento.	83
Tabla 4.19.- Pérdidas por fibra óptica.....	87
Tabla 4.20.- Pérdidas por empalmes.....	88
Tabla 4.21.- Pérdidas por conectores.....	88
Tabla 4.22.- Reservas de atenuación.....	89
Tabla 4.23.- Atenuación total por enlace.	90
Tabla 4.24.- Potencia mínima de recepción.....	90
Tabla 4.25.- Ancho de banda por enlace.....	94
Tabla 4.26.- Principales códecs	95
Tabla 4.27.- Paquete IP	95
Tabla 4.28.- Ancho de banda para video vigilancia.....	99
Tabla 4.29.- Demanda de ancho de banda para el SCADA.....	99
Tabla 4.30.- Demanda de ancho de banda para internet.	100
Tabla 4.31.- Requerimiento total de ancho de banda.....	101
Tabla 4.32.- Estructuras entre subestaciones.	103
Tabla 4.33.- Guía general para el número de amortiguadores requeridos	107
Tabla 4.34.- Longitud de los enlaces.	108
Tabla 4.35.- Parámetros de la simulación.	110
Tabla 4.36.- Presupuesto referencial del enlace Guaranda-Guanujo.	113
Tabla 4.37.- Presupuesto referencial del enlace Guanujo-Echeandía.	114
Tabla 4.38.- Presupuesto referencial del enlace Echeandía-Caluma.	115

Tabla 4.39.- Presupuesto referencial del enlace Guaranda-Cochabamba.....	116
Tabla 4.40.- Presupuesto referencial del enlace Cochabamba-Sicoto.....	117
Tabla 4.41.- Presupuesto referencial del enlace Cochabamba-Caluma.....	118
Tabla 4.42.- Presupuesto total del proyecto.....	118

Resumen

El presente proyecto fue desarrollado para la Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública Unidad de Negocio Bolívar CNEL EP Bolívar, el cual se fundamentó en el estudio y diseño de una red de comunicación que permita integrar el sistema SCADA de las subestaciones eléctricas de Guaranda, Guanujo, Cochabamba, Sicoto, Echeandía y Caluma con el Centro de Control. Para ello se instalará fibra óptica ADSS de 12 hilos a lo largo de las rutas de las líneas de subtransmisión a 69 kV, empleando como topología un doble anillo redundante y así brindar soluciones que permita supervisar, monitorear y adquirir datos de la red de distribución energética.

Este sistema basado en tecnología óptica promete ser una plataforma sólida para desplegar a futuro nuevos servicios corporativos como VoIP, video vigilancia, datos para usuarios e internet de alta velocidad, servicios que serían imposibles de implementar con el actual sistema de comunicación inalámbrico que emplea la Corporación para la transmisión de información.

El diseño de la propuesta en formato SENPLADES, requisito necesario para la adjudicación de proyectos y su respectiva participación dentro del presupuesto del Estado, es otro aporte del proyecto de investigación, además de este documento se adjunta los planos de la ruta del tendido de fibra óptica, datasheet de los equipos ópticos e información adicional indispensables para el desarrollo de la propuesta.

Palabras claves

ADSS, Comunicación Inalámbrica, Doble Anillo, DWDM, Fibra Óptica, Módulo SFP, Subestación Eléctrica, SENPLADES.

Abstrac

The present project was developed to “Corporación Nacional de Electricidad Unidad de Negocio Bolívar CNEL EP Bolivar”, it was based in the study and design a communication net that allow to integrate the SCADA system of electrical substations Guaranda, Guanujo, Cochabamba, Sicoto, Echeandía and Caluma with Control Center. For it will install ADSS fiber optical of 12 strands laid along of the route of sub transmission line to 69 kV, using as topology a redundant double ring for to give solutions that allow to supervise, monitor and acquire data of the distribution energetic net.

This system based in optical technology promises to be a solid platform for to deploy in the future new corporate services as VoIp, vigilant video, users data, and high speed internet than would be impossible to implement with the actual wireless communication system that employed the Corporation for information transmission.

The proposal design in SENPLADES format, requirement necessary for projects adjudication and its respective participation inside of State budget, is another contribution of investigation project besides to this document is attached to the project the planes of laying route optical fiber, datasheet of optical equipment and additional information indispensable for the development of proposal.

Key words

ADSS, Communication Wireless, Double Ring, DWDM, Electrical Substation, Fiber Optical, SFP Module, SENPLADES.

Glosario de Términos

ADP	Fotodiodo Avalancha (<i>Avalanche Photodiode</i>)
ADSS	Cable Autosoportado Completamente Dieléctrico (<i>All-Dielectric Self-Supporting</i>)
APC	Pulido de Contacto Físico Angular (<i>Angle Physical Contact</i>)
BER	Tasa de Bits Errados (<i>Bit Error Ratio</i>)
Catenaria	Se denomina catenaria a la forma que toma un conductor flexible suspendido entre dos puntos y que no resiste momentos flectores.
CCQ	Calidad de Conexión del Cliente (<i>Client Connection Quality</i>)
CNEL EP	Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública
CNT EP	Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública
Cooled DFB	Láser semiconductor que puede ser sintonizado alrededor de 1550 nm. La sintonización se realiza mediante la circulación de corriente continua en un enfriador ejerciendo a su vez un cambio de temperatura en el láser.
CWDM	Multiplexación por División de Longitud de Onda Ligera (<i>Coarse Wavelength Division Multiplexing</i>)
dB	Decibelio
DCF	Fibras Compensadoras de Dispersión (<i>Dispersion Compensating Fiber</i>)
DFB	Láser con Retroalimentación Distribuida (<i>Distributed Feedback</i>)
DNP3	Protocolo para Red Distribuida (<i>Distributed Network Protocol versión 3</i>)
DWDM	Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa (<i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i>)

EDFA	Amplificador de Fibra Dopado de Erbium (<i>Erbium Doped Fibre Amplifier</i>)
EEASA	Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.
ELEPCO	Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.
EMELBO	Empresa Eléctrica de Bolívar S.A.
EMELGUR	Empresa Eléctrica Regional Guayas
EMI	Interferencia Electromagnética
FC	Conector de Fibra (<i>Fiber Connector</i>)
FWM	Mezcla de Cuatro Ondas (<i>Four Wave Mixing</i>): La mezcla de cuatro ondas ocurre cuando la luz de al menos dos longitudes de onda distintas que viajan por la fibra dan lugar a dos nuevas longitudes cuyas frecuencias son el producto de la mezcla de las frecuencias originales.
Gbps	Giga bits por segundo
GHz	Giga-Hertz
GIS	Sistema de Información Geográfica (<i>Geographic Information System</i>)
GIS	Subestación Aisladas por Gas (<i>Gas Insulated Switchgear</i>)
h	Hora
HSRP	<i>Hot Standby Routing Protocol</i>
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional (<i>International Electrotechnical Commission</i>)
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>)
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones (<i>International Telecommunication Union</i>)

Kevlar	El kevlar es una fibra artificial ligera y robusta, tan fuerte como cables de acero, pero poseen solo el 20% de su peso. Entre sus múltiples aplicaciones una de ellas consiste en emplear esta fibra como revestimiento para fibras ópticas.
Km	Kilómetro
KV	Kilovoltio
KVA	Kilovoltio-amperio
LAN	Redes de Área Local (<i>Local Area Network</i>)
LASER	Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación (<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>)
LC	Conector Lucent (<i>Lucent Connector</i>)
LED	Diodo Emisor de Luz (<i>Light Emiter Diodo</i>)
m	Metro
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
Mbps	Mega bits por segundo
MM	Multi-modo
MTU	Unidad Terminal Maestra (<i>Master Terminal Unit</i>)
mW	Milivatio
nm	Nanómetro
Nv2	Protocolo inalámbrico propietario desarrollado por MikroTik, trabaja conjuntamente con los chips inalámbricos Atheros 802.11n. Nv2 utiliza la tecnología TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) como acceso al medio.

OADM	Multiplexador Óptico de Inserción/Extracción (<i>Optical ADD/Drop Multiplexer</i>)
OPGW	Cable de Guarda con Fibra Óptica (<i>Optical Ground Wire</i>)
OTDR	Reflectómetro de Dominio de Tiempo Óptico (<i>Optical Time Domain Reflectometer</i>)
PC	Pulido de Contacto Físico (<i>Physical Contact</i>)
PIN	<i>Positive Intrinsic Negative</i>
pm	Picómetro
PMP	Punto multipunto
PTP	Punto a punto
Raman	Amplificador con múltiples fuentes de bombeo, utilizados en comunicación óptica de gran capacidad y para largas distancias en sistemas DWDM.
RTU	Unidad Terminal Remota (<i>Remote Terminal Unit</i>)
Rx	Recepción
S/E	Subestación Eléctrica
SC	Conector para el Suscriptor (<i>Suscriber Conector</i>)
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos (<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>)
SFP	Transceptor de Pequeño Factor de Forma Extraíble (<i>Small Form-factor Pluggable</i>)
SM	Mono-modo
SNR o S/N	Relación Señal/Ruido (<i>Signal to noise ratio</i>)

SPC	Pulido de Súper PC (<i>Super Physical Contact</i>)
ST	Conector Punta Recta (<i>Straight Tip</i>)
STP	Par Trenzado Blindado (<i>Shielded twisted pair</i>)
Tracking	Efecto coronario que se presenta en el revestimiento externo de cables ópticos auto-soportados, este efecto ocurre cuando la cobertura del cable recibe una película de agua e impurezas debido al envejecimiento, lluvia o polución del aire.
Tx	Transmisión
um	Micrómetro
UPC	Pulido de Ultra PC (<i>Ultra Physical Contact</i>)
UTP	Par Trenzado sin Blindaje (<i>Unshielded twisted pair</i>)
VAC	Voltios de Corriente Alterna
VDC	Voltios de Corriente Continua
WDM	Multiplexación por División de Longitud de Onda (<i>Wavelength Division Multiplexing</i>)
Zona I	Territorios que corresponde a la parte baja del territorio nacional hasta una altura de 1000 m.s.n.m.
Zona II	Territorios que corresponde básicamente a la meseta andina y comprende terrenos desde los 1.000 hasta los 3.500 m.s.n.m.

Introducción

Los sistemas de comunicación representan un rol fundamental en este mundo globalizado, en donde la evolución de los medios de transmisión permitió el progreso significativo de las telecomunicaciones, parámetros como velocidad, alcance y calidad de la información son aspectos que influyen al momento de su implementación.

Uno de los medios que sobresale por excelencia es sin duda la fibra óptica, en sus inicios la implementación de un sistema óptico era sumamente costoso y muchas empresas quedaban rezagadas de su uso, con el pasar de los años el costo se redujo y la fibra fue incursionando en varios ámbitos, mejorando e innovando la tecnología de comunicación en una empresa.

El proyecto que se detalla a continuación busca introducir este cable óptico como el medio de comunicación entre las subestaciones eléctricas de la CNEL EP Bolívar. A continuación se realiza una breve descripción de los capítulos que forman parte de la investigación:

Capítulo I, profundiza la problemática que presenta la CNEL EP Bolívar con el actual sistema inalámbrico de comunicación, además justifica el interés de la Corporación de Electricidad por cambiar el medio de transmisión de datos por uno más eficiente.

Capítulo II, muestra antecedentes investigativos que sirvió de soporte para la construcción del proyecto, así como de fundamentos teóricos que brindó al investigador los conocimientos apropiados para la estructuración de la propuesta de solución.

Capítulo III, presenta el tipo de investigación que se aplicó en el proyecto además de los pasos a seguir para el respectivo análisis de resultados y documentación del mismo.

Capítulo IV, indica de manera detallada el desarrollo del Sistema de Comunicación de alta disponibilidad para la transmisión de datos entre la central y las subestaciones de la Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública Unidad de Negocio Bolívar.

Capítulo V, señala las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Tema

Sistema de Comunicación de alta disponibilidad para la transmisión de datos entre la central y las subestaciones de la Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública Unidad de Negocio Bolívar.

1.2 Planteamiento del Problema

Desde años atrás se han venido desarrollando diferentes sistemas para la transmisión de datos utilizando medios alámbricos o inalámbricos los mismos que deben cumplir parámetros como gran velocidad, excelente capacidad y sobre todo seguridad en la transferencia de información. Este desarrollo ha provocado que corporaciones, empresas e instituciones elijan el medio más apropiado y conveniente para mantener una comunicación constante con la finalidad de compartir información de forma óptima.

Sin embargo, en Ecuador existen entidades que utilizan medios de comunicación poco adecuados para la transmisión de datos, inconveniente que se deriva, no debido al desconocimiento técnico o la falta de labor de ingeniería por parte del personal encargado, sino más bien del escenario del proyecto a desarrollar, el estado del medio físico (clima,

distancia) o la falta de recursos económicos por parte del cliente para asumir las necesidades del proyecto.

Una de estas entidades es la CNEL EP Bolívar que pese a la cantidad de información que maneja, utiliza enlaces inalámbricos a través de radiofrecuencia para establecer la comunicación entre la central y las subestaciones eléctricas, dicho medio de transmisión es inadecuado para esta Corporación ya que ocasiona problemas como: retardo en la transmisión de datos de los sistemas SCADA a causa del reducido ancho de banda de los enlaces de radio, puesto que el espectro electromagnético es un recurso limitado, esto ocasiona mayor tiempo de respuesta ante una posible desconexión del servicio eléctrico en zonas importantes de la provincia, debido a que los sistemas inalámbricos son vulnerables a interferencias electromagnéticas e inestables ante factores climáticos y, por último las comunicaciones inalámbricas presentan inseguridad en la información transmitida, esto puede originar que intrusos accedan al área de cobertura del sistema sin ningún tipo de limitación.

1.3 Delimitación del Problema

Área Académica:	Comunicaciones
Línea de investigación:	Tecnologías de Comunicaciones
Sublínea de Investigación:	Comunicaciones Ópticas

Delimitación Espacial

El presente proyecto de investigación se desarrolló en la Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública Unidad de Negocio Bolívar ubicada en la ciudad de Guaranda, Avenida Guayaquil, Urb. Coloma Román (frente al Comando de Policía).

Delimitación Temporal

El presente proyecto de investigación se realizó desde el 17 de junio del 2015 hasta el 4 de abril del 2016, previo a la aprobación por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.4 Justificación

El presente proyecto de investigación se basó en el interés de mejorar el sistema de comunicación entre las subestaciones y la central de la CNEL EP Bolívar debido a que el actual sistema presenta inconvenientes como retardo en la transmisión de datos, vulnerabilidad ante interferencias electromagnéticas, inestabilidad ante las inclemencias del clima e inseguridad en la información transmitida.

La importancia teórico práctica fue un aspecto primordial tanto para el investigador como para el personal que monitorea el sistema de comunicación de la Corporación quienes están al tanto del desarrollo de las nuevas tecnologías para ponerlas en práctica fomentando el crecimiento profesional e institucional de la CNEL EP Bolívar.

Los principales beneficiarios son: la CNEL EP Bolívar porque obtendrá una mejora en la calidad y prestación de servicios, infraestructura propia de comunicación instalada sobre las redes eléctricas de alta tensión, ahorrándole a la Corporación costos en cuanto a materiales y mano de obra del mismo modo, sus clientes se verán beneficiados debido a que ante posibles desconexiones del servicio eléctrico el tiempo de respuesta será menor.

Este proyecto representa un impacto en la economía y en la calidad de servicios que ofrece la CNEL EP Bolívar porque el nuevo sistema a diseñarse proyecta una comunicación más confiable y segura, tendrá un mayor tiempo de vida y su mantenimiento no será tan periódico como en otros sistemas de comunicación. Es así como la Corporación podrá tener concentrada la información de toda la red, monitorearla en tiempo real y optimizar la explotación del nuevo sistema con proyecciones a futuro de servicios como VoIP, video vigilancia o internet.

El proyecto fue factible ya que el personal de la CNEL EP Bolívar estuvo presto a brindar la información necesaria para el desarrollo del mismo, además se contó con asesoramiento profesional, personal adecuado y capacitado para llevar a cabo su culminación.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Diseñar un Sistema de Comunicación de alta disponibilidad para la transmisión de datos entre la central y las subestaciones de la Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública Unidad de Negocio Bolívar (CNEL EP Bolívar).

15.2 Específicos

- Analizar el Sistema de Comunicación actual de la Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública Unidad de Negocio Bolívar.
- Evaluar la calidad del canal de transmisión de los Radioenlaces existentes en la CNEL EP Bolívar.
- Determinar el tipo de tecnología a aplicarse para la transmisión de datos en la Provincia de Bolívar.
- Diseñar y simular la red de datos propuesta para enlazar la central con las subestaciones eléctricas de la CNEL EP Bolívar.
- Elaborar el proyecto bajo el formato exigido por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo “SENPLADES” para la CNEL EP Bolívar.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos

Para diseñar un Sistema de Comunicación de alta disponibilidad fue conveniente referir la consulta de trabajos realizados que guardaban relación con este estudio, en función a ello se menciona a:

Elisa Salomé Núñez Velasteguí, determinó que el principal problema de la comunicación por radiofrecuencia de la Empresa ELEPCO S.A., era la interferencia producida por el medio de comunicación y el ambiente es así como realiza un diseño alternativo de transmisión de datos entre la central y las sucursales eléctricas a través de fibra óptica empleando tecnología de multiplexación DWDM. Dicho enlace óptico fue simulado en el software Optysystem para determinar su factibilidad. [1]

Roberto Usca realizó una Auditoría Operativa al sistema de transmisión de datos inalámbrico de la CNEL Bolívar con la finalidad de determinar las falencias que presenta dicha red, se analizó desde los equipos utilizados, el personal técnico encargado de su respectivo mantenimiento y la aplicación de la red de datos con la finalidad de presentar un informe conciso que permita tomar decisiones para su mejoramiento y evitar cualquier eventualidad. [2]

Carlos Ortiz expone un plan de acción para optimizar el flujo de información en el sistema eléctrico de Sub-transmisión de la EEASA para ello propone un diseño de enlace redundante utilizando fibra óptica en el anillo 69kV, toma en cuenta parámetros como la geografía del terreno, equipos y materiales adecuados para la red de esta manera se pudo optimizar el flujo de información del sistema de Sub-transmisión en Ambato. [3]

María Carmen España Boquera explica la necesidad que tienen los usuarios de disponer de un mayor ancho de banda en las líneas y sistemas de comunicación debido al uso de nuevos servicios multimedia, es así que para cubrir esta demanda menciona algunas soluciones dentro de los sistemas de comunicaciones ópticas como la técnica WDM (multiplexación por longitud de onda) y sus variantes CWDM Y DWDM para evitar el tráfico en las redes de telecomunicaciones. [4]

2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 Sistema de comunicación

Los sistemas de comunicación representan un rol fundamental en el mundo moderno en donde, la transmisión de información entre la gente, los sistemas y las computadoras es de vital importancia. Se entiende por sistema de comunicación al conjunto de elementos interconectados entre sí para transferir información de un lugar a otro de forma eficiente, confiable y segura. [5] En la siguiente figura se muestra en diagramas de bloques los principales elementos de un sistema de comunicación.

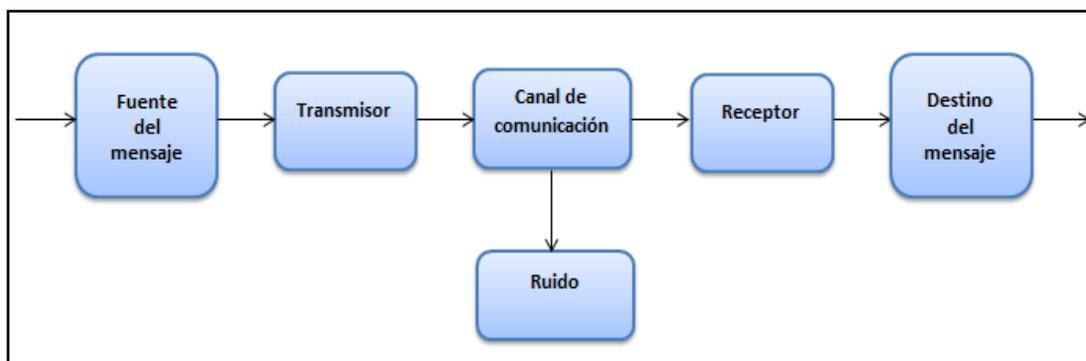


Figura 2.1.- Elementos que componen un sistema de comunicación. [6]

2.2.2 Elementos de un sistema de comunicación

Los elementos que componen un sistema de comunicación son [6]:

Fuente de información: Es el lugar en donde se origina el mensaje y puede consistir en imágenes, letras, voz, etc.

Transmisor (Tx): Es el encargado de pasar la señal de entrada al canal, ésta se debe acoplar a las características del medio de comunicación para ello la señal de información se debe someter a procesos de modulación o codificación.

Canal de comunicación: El canal de comunicación es el medio de transmisión de la señal, éste puede ser cable coaxial, par de cobre, fibra óptica o el espacio libre. A medida que aumenta la distancia entre el transmisor y el receptor el canal tiende a degradar la señal e introduce ruido, atenuación, distorsión o interferencia.

Receptor: El receptor extrae la señal del canal de comunicación, ésta es demodulada o decodificada para transformarla a su forma original.

Destino del mensaje: El destino del mensaje es la persona o máquina a la que va dirigida el mensaje.

2.2.3 Tipos de sistemas de comunicación

Los sistemas de comunicación pueden ser:

Sistemas de comunicación analógicos: Un claro ejemplo de este sistema de comunicación es el servicio telefónico, al hablar por teléfono se emiten ondas sonoras (señales analógicas), éstas entran en el transmisor para ser transformadas en ondas eléctricas las mismas que viajan por cables hasta el receptor, éste a su vez las convierte a su forma original y así llegan hasta el auricular del destinatario. [6]

Sistemas de comunicaciones digitales: En la comunicación digital la información analógica se convierte a forma digital antes de ser transmitida, en este tipo de comunicación

se aplica la transmisión de pulsos digitales entre dos o más puntos de comunicación. Los sistemas de comunicaciones digitales están sustituyendo rápidamente a los sistemas de comunicaciones analógicos por ser modernos y presentar ventajas como inmunidad al ruido, facilidad de mantenimiento y multiplexado. [7]

2.2.4 Medios de transmisión

Los medios de transmisión son la parte vital dentro un sistema de comunicaciones puesto que interconectan distintos equipos para compartir información, recursos y programas entre sus usuarios, independientemente del lugar de donde se encuentren. La siguiente tabla muestra su respectiva clasificación. [8]

Tabla 2.1.- Medios de transmisión.

Guiados	Alámbricos	Par trenzado	Blindado (STP)
			No blindado (UTP)
	Ópticos	Cable coaxial	Delgado
			Grueso
		Fibra óptica	
No Guiados	Electromagnéticos	Espacio atmosférico	

Elaborado por: El Investigador.

Medios guiados

Los medios guiados son aquellos en donde el canal por el que se transmite la información está confinado en un cable, entre los medios guiados se tiene:

- **Par trenzado:** Es uno de los medios de transmisión más antiguos, consiste en dos alambres de cobre aislados de 1mm de grosor cada uno. Los alambres se trenzan en forma helicoidal ya que si fueran paralelos éstos formarían una antena simple, la torsión ayuda a reducir la interferencia eléctrica procedente de líneas cercanas y

evita la inducción de campos magnéticos. El uso más común de este cable se da en los sistemas telefónicos. [9]

- **Cable coaxial:** Este cable consiste en un alambre de cobre rígido como núcleo cubierto por un material aislante, el aislante está forrado por una malla metálica seguida de una cubierta externa. Estos elementos lo hacen más robusto a interferencias y al ruido, además presentan menor atenuación que el par trenzado. El cable coaxial se emplea para servicios de televisión por cable y en redes de área metropolitana. [8]
- **Fibra Óptica:** Es el medio predilecto para la transmisión digital, está sustituyendo a los pares de cobre porque al remplazar un único cable de cobre por fibra óptica se tiene la suficiente capacidad para expandir los incrementos de vías de comunicación en el futuro. La fibra óptica supera las desventajas de otros medios de comunicación como las microondas u ondas de radio porque ofrece más ancho de banda y las comunicaciones pueden transmitirse con absoluta seguridad. [10]

Medios no guiados

Los medios no guiados son aquellos que no confinan la información en ningún tipo de cable, más bien las señales se propagan libremente a través del espacio. Toda señal de naturaleza electromagnética, es decir, ondas a base de campos eléctricos o magnéticos que se propagan a través del espacio libre se conocen como ondas de radio. Entre los medios no guiados se tiene:

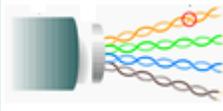
- **Radiotransmisión:** Las ondas de radio son fáciles de generar, alcanzan grandes distancias y pueden penetrar edificios sin inconvenientes son omnidireccionales, es decir, viajan en todas direcciones razón por la cual no es necesario de antenas parabólicas para su envío/recepción. [8] Se caracterizan por tener menor frecuencia

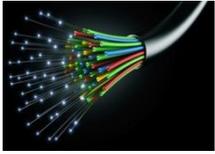
y mayor longitud de onda que puede ir desde pocos milímetros hasta cientos de kilómetros. [11]

- **Transmisión por Microondas:** Las microondas son ondas electromagnéticas que tienen una longitud de onda en el rango de 30 cm (1GHz de frecuencia) a 1mm (300 GHz de frecuencia). Se generan mediante tubos de vacío o dispositivos de estado sólido. Uno de sus usos más comunes está orientado a enlaces troncales de alta capacidad ya sea entre ciudades u oficinas de una compañía. [12]
- **Sistemas por satélite:** Los sistemas por satélites permiten una excelente comunicación a largas distancias o sobre terrenos difíciles de alcanzar. De igual forma es práctica para la radiodifusión de la misma señal hacia un gran número de estaciones repetidoras. En el satélite se encuentra un equipo llamado *transponder*, éste conecta el enlace de subida con el enlace de bajada para recibir y transmitir por pares los enlaces. [8]

En la siguiente tabla se muestra a modo comparativo algunas características de los medios de transmisión.

Tabla 2.2.- Cuadro comparativo de los medios de transmisión.

Medio de Transmisión	Ancho de Banda	Velocidad de tx	Alcance	Sensibilidad a interferencias	Características adicionales
 <p>Coaxial</p>	350 MHz	100 Mbps	500 m	Buena protección	Usado masivamente para servicio de CATV
 <p>Par trenzado</p>	3 MHz	10 Mbps	100 m	Sensible	Cable UTP para pequeñas instalaciones

Medio de Transmisión	Ancho de Banda	Velocidad de tx	Alcance	Sensibilidad a interferencias	Características adicionales
Fibra Óptica 	Hasta el orden de los THz	Todas las velocidades	Distancias muy largas	Nada sensible	Inmune a interferencias, altamente seguro
Microondas 	30 K a 30 GHz	Depende de los equipos que se emplee	Antenas más altas cubren mayor distancia	Sensible a condiciones atmosféricas	Antenas pequeñas y efectivas
Satélite 	1 a 30 GHz		Amplia cobertura	Sensible a fenómenos naturales	Posicionamiento y descenso caro
Ondas de radio 	3 Hz a 300 GHz		Largas distancias	Sensible a condiciones atmosféricas	Señales omnidireccionales

Elaborado por: El Investigador.

2.2.5 Fibra óptica

Un cable de fibra óptica consiste en un núcleo central muy delgado de vidrio o plástico por el cual se propaga la luz. El núcleo tiene un índice de refracción n_1 , alrededor de éste existe un revestimiento de vidrio, pero cuyo índice de refracción n_2 es menor que n_1 , esta condición da lugar a un núcleo protegido de contaminación y reflexión interna. El grosor de una fibra óptica es aproximadamente igual al cabello humano sin embargo estos cables pueden soportar anchos de banda de 1THz. [13] [14]

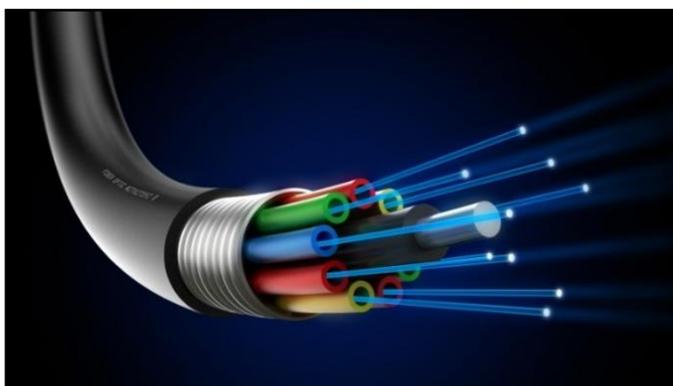


Figura 2.2.- Cable de fibra óptica. [15]

Estructura de los conductores de Fibra Óptica

Un cable de fibra óptica presenta la estructura descrita a continuación [16]:

Elemento central de refuerzo: Protege a la fibra óptica contra factores externos como tracción, aplastamiento, abrasión sin reducir sus características de transmisión, en el caso de la fibra óptica aérea se suma un cable de acero portante para soportar el peso del cable entre los postes de sujeción.

Fibras Ópticas: Para que las fibras ópticas presenten mayor resistencia mecánica y menor pérdida frente a curvaturas durante el proceso de fabricación son elaboradas con dos tipos de protección:

- **Protección primaria:** Consiste en una protección de silicona o acrilato coloreada apropiadamente para identificar la fibra.
- **Protección secundaria:** Esta protección se aplica mediante procesos de extrusión plástica sobre la fibra, los materiales utilizados pertenecen al grupo de las poliolefinas, poliamidas, poliésteres, policarbonatos o polímeros fluorados. Cuando la fibra cuenta con la segunda protección, entre ésta y la primera existe un compuesto de silicona líquida que la protege de la humedad.

- **Cubierta:** El núcleo de la fibra está protegido por una cubierta protectora que puede ser de tres tipos:

PEAP Polietileno, estanco, aluminio y polietileno.

PKP Polietileno, fibra de aramida y polietileno.

PESP Polietileno, estanco, acero y polietileno.

2.2.6 Pérdidas en la fibra óptica

Las pérdidas en la fibra óptica producen la atenuación de la luz que se propaga a través de ella, ocasionando reducción en la potencia de luz en el extremo del receptor y reduciendo el ancho de banda lo que obliga a disminuir la velocidad de transmisión con que se conecta al colector. Las pérdidas pueden ser de los siguientes tipos [17]:

- **Dispersión modal:** Se presenta en fibras multimodo a causa de la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz, puesto que cada uno de ellos toma diferentes trayectorias y llegan en diferentes momentos. Este suceso origina un ensanchamiento en el pulso recibido de menor amplitud.
- **Dispersión cromática:** Este tipo de pérdidas se producen cuando se emplea emisores que no generan luz monocromática, como es el caso del LED. El índice de refracción depende de la longitud de onda y al enviarse simultáneamente varios rayos de luz con diferentes longitudes de onda llegarán en diferentes tiempos causando los mismos efectos que la dispersión modal pero con menor intensidad. Se mide en ps/nm·Km.
- **Absorción y radicación:** Se producen por la forma en que se fabrican las fibras ópticas, es así como, las pérdidas por absorción son el resultado de las impurezas incorporados en el silicio para obtener diferentes índices de refracción entre el núcleo y el revestimiento. A su vez, en la construcción de las fibras se producen

imperfecciones como pequeños dobleces o discontinuidades originando radiaciones indeseadas.

- **Acoplamiento:** Las pérdidas por acoplamiento se producen por uniones imperfectas entre transmisor/fibra, fibra/fibra y fibra/receptor. En condiciones normales el valor típico en este tipo de pérdidas es de 0.5 dB y puede variar dependiendo de la calidad tecnológica con que se realice el acoplamiento.
- **Dispersión de Rayleigh:** En la fabricación de fibras ópticas el silicio se trabaja en estado plástico, estado entre sólido y líquido, luego de solidificarse se produce inevitablemente irregularidades submicroscópicas que persisten en el material. Al incurrir un haz de luz en estas irregularidades se produce el fenómeno de difracción denominado pérdidas por Rayleigh.

2.2.7 Tipos de fibra óptica

Un haz de luz puede propagarse a través de la fibra óptica por reflexión o refracción y, según el modo de propagación se clasifican en:

Fibras monomodo (*single-mode*): La fibra monomodo permite que los rayos de luz se propaguen en una sola trayectoria, esto se consigue reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra. En este tipo de fibras la dispersión modal es nula por tal motivo tiene mayor capacidad para transmitir información sin repetidores. [18]

Fibras multimodo (*multi-mode*): Una fibra recibe este nombre cuando a través de ella se propaga varios modos, es decir, el rayo de luz que entra por un extremo de la fibra con diferentes ángulos se refracta un sin número de veces hasta llegar al otro extremo con diferentes fases. Los diferentes ángulos son los que dan lugar a los distintos modos, para que ocurra esta condición es necesario que el diámetro de la fibra óptica sea superior a la longitud de onda del rayo de luz. [16] A su vez se subdividen en:

- **Multimodo de índice gradual:** Proporcionan gran ancho de banda, por lo que son más costosas. En este tipo de fibras el índice de refracción del núcleo no es uniforme y decrece de forma gradual mientras se desplaza desde el núcleo a la cubierta.
- **Multimodo de índice escalonado:** Fibras con reducido ancho de banda y dispersión, son de bajo costo ya que su fabricación es tecnológicamente sencilla. En este tipo de fibra el núcleo está formado por un material uniforme cuyo índice de refracción es mayor a la cubierta que lo rodea.

	Variación del índice de refracción	Estructura de la fibra	Modos de propagación
MULTIMODO Índice escalón			
MULTIMODO Índice gradual			
MONOMODO			

Figura 2.3.- Tipos de fibra óptica. [17]

En el siguiente cuadro se indica las principales características de las fibras monomodo y multimodo.

Tabla 2.3.- Cuadro comparativo entre los tipos de fibra óptica.

Características	Monomodo	Multimodo: Índice Gradual	Multimodo: Índice Escalonado
Emisor de luz	Láser	LED	LED
Empalme	Difícil	Difícil	Difícil
Atenuación	Baja	Media	Alta
Costo	El más costoso	Costoso	Menos costoso
Ventana de trabajo	1310 o 1550 nm	850 o 1310 nm	850 o 1310 nm
Ancho de banda	Extremadamente amplio ~100 THz/Km	Muy amplio (0.15 a 4.7 GHz/Km)	Amplio (50 MHz/Km)
Dimensiones	9/125 μm	50/125 μm 60/125 μm	50/125 μm 60/125 μm

Elaborado por: El Investigador.

2.2.8 Ventanas de transmisión

La atenuación de la fibra óptica no es constante, más bien depende de la longitud de onda (λ), es así como aparecen las llamadas “ventanas” de la fibra, que son puntos de mínima atenuación. La siguiente tabla indica las ventanas en que trabaja cada tipo de fibra, su respectiva atenuación de acuerdo a este parámetro y la aplicación más usual. [19]

Tabla 2.4.- Ventanas de operación de la fibra óptica. [19]

Ventana	λ	Atenuación	Tipo de fibra	Aplicación
Primera	850 nm	2 a 5 dB/Km	MM	Cortas distancias
Segunda	1310 nm	0.5 dB/Km	MM y SM	Distancias medias
Tercera	1550 nm	0.2 dB/Km	SM	Largas distancias

Principio de propagación

Durante la propagación de la luz por los filamentos de la fibra se presentan ciertas propiedades:

- **Reflexión:** Este fenómeno ocurre cuando una onda alcanza la frontera de dos medios distintos, una parte de la energía se transmite al segundo medio dando lugar a la onda incidente y la otra parte de la energía, se propaga hacia atrás del primer medio generando la llamada onda reflejada. La fibra óptica utiliza este principio para mantener mayor cantidad de energía de transmisión dentro del núcleo. Bajo este concepto se tiene los ángulos que forman el rayo incidente y reflejado con la normal llamados ángulo de incidencia “i” y ángulo de reflexión “r” y se expresan mediante la siguiente formula. [20]

$$\theta_i = \theta_r \quad [2.1]$$

- **Refracción:** La refracción se produce cuando el haz incidente que atraviesa de un medio a otro, cuyo índice de refracción es diferente, presenta una variación con respecto a la trayectoria original del haz de luz y se produce el denominado haz refractado. La refracción se rige a través de la Ley de Snell representada por la siguiente ecuación. [20]

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{sen}(\theta_2)}{\text{sen}(\theta_1)} \quad [2.2]$$

Donde:

n_1 : Índice de refracción del medio 1

n_2 : Índice de refracción del medio 2

θ_1 : Ángulo de incidencia

θ_2 : Ángulo de refracción

- **Ángulo crítico:** Se define como el ángulo de incidencia mínimo en el cual un rayo de luz puede llegar a la interfaz entre dos medios y tener un ángulo de refracción de 90° o menor, este concepto se aplica cuando el haz de luz pasa de un medio más denso a otro menos denso. [7] Por la Ley de Snell se tiene:

$$\theta_c = \text{sen}^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad [2.3]$$

Donde θ_c representa el ángulo crítico.

- **Apertura numérica (NA):** Es el parámetro que indica la cantidad de luz que puede aceptar una fibra. Una NA alta recoge más luz, pero reduce el ancho de banda en tanto que la dispersión modal es mayor y permite más modos de propagación, mientras que una NA baja aumenta el ancho de banda y reduce la dispersión modal, así como el número de modos. [20] Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad [2.4]$$

2.2.9 Ventajas y desventajas de los cables de fibra óptica

Los cables de fibra óptica presentan las siguientes ventajas y desventajas [16]:

Ventajas

- Inmunidad frente a perturbaciones electromagnéticas, debido a que el vidrio es un material dieléctrico y proporciona un total aislamiento eléctrico.
- Fácil instalación, un cable de fibra óptica tiene menor tamaño por lo tanto su peso es mucho menor que un cable de cobre de similar capacidad.
- Proporciona un alto grado de seguridad debido a que es difícil de interceptar los datos sin ser detectada la intervención.
- Mayor capacidad y velocidad de transmisión de datos.

- Enlaces de mayor longitud sin necesidad de repetidores ya que la señal posee menor atenuación.
- Apta para ambientes explosivos pues la fibra es menos afectada por líquidos corrosivos y gases.
- Presentan bajas pérdidas.

Desventajas:

- Técnicas de empalme complicadas de realizar por consiguiente se requiere de personal especializado en sistemas ópticos.
- Baja robustez mecánica en comparación al cable coaxial sin embargo se puede mejorar recubriendo la fibra con kevlar y una chaqueta protectora.
- Los distintos conectores que se emplean son costosos.

2.2.10 Parámetros a considerar en la transmisión por fibra óptica

Los parámetros que caracterizan a la fibra óptica son:

Parámetros estáticos

Se refieren a las características ópticas y geométricas de la fibra óptica son constantes a lo largo de la misma, sin embargo, están dentro de las tolerancias propias de fabricación.

Dentro de los parámetros figuran [21]:

- **Perfil de índice de refracción:** Este parámetro óptico es la relación entre la velocidad de la luz con la velocidad de la luz de un material específico, en función a este índice se dará lugar a diversas velocidades en diferentes puntos.
- **Apertura numérica:** Es otro parámetro óptico que describe la cantidad de luz que puede aceptar una fibra de la fuente de luz externa y en consecuencia la energía que puede transportar.

- **Parámetros geométricos:** Los diámetros y excentricidades dependen de la tecnología usada en la fabricación de las fibras, por ende, las tolerancias serán consecuencias de la misma.

Parámetros dinámicos

Estos parámetros afectan la potencia de la luz a lo largo de la fibra y son [21]:

- **Atenuación:** Es la pérdida de potencia de la onda luminosa a lo largo de la fibra óptica, repercute en la rapidez de transmisión, ancho de banda del sistema, eficiencia y capacidad del mismo. Además, la atenuación del canal es lo que fija la distancia entre amplificadores de señal, se mide en decibelios y se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$A(dB) = 10\log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \quad [2.5]$$

En donde:

$A(dB)$: Atenuación

P_{out} : Potencia óptica a la salida del cable

P_{in} : Potencia óptica a la entrada del cable

- **Dispersión temporal:** La dispersión es la distorsión de la señal causada por el ensanchamiento de los pulsos de luz cuando viajan por la fibra limitando así el ancho de banda.

2.2.11 Sistema de comunicaciones ópticas

Un sistema de comunicaciones ópticas está constituido principalmente por un emisor, un receptor y un canal de transmisión de fibra óptica. Si el sistema está enlazando puntos

separados por grandes distancias es necesario adicionar un repetidor de señal, dependiendo de la distancia del enlace y las pérdidas que éste presente.

En la siguiente figura se muestra un diagrama de bloques de un sistema de comunicación óptica, en donde el transmisor óptico contiene la fuente de información analógica o digital, el circuito modulador o codificador y la fuente óptica. El canal de transmisión es la fibra óptica que introduce en la señal ruido y distorsión. El receptor incluye el fotodetector además de circuitos asociados para recuperar la señal original como demoduladores y decodificadores. [22]

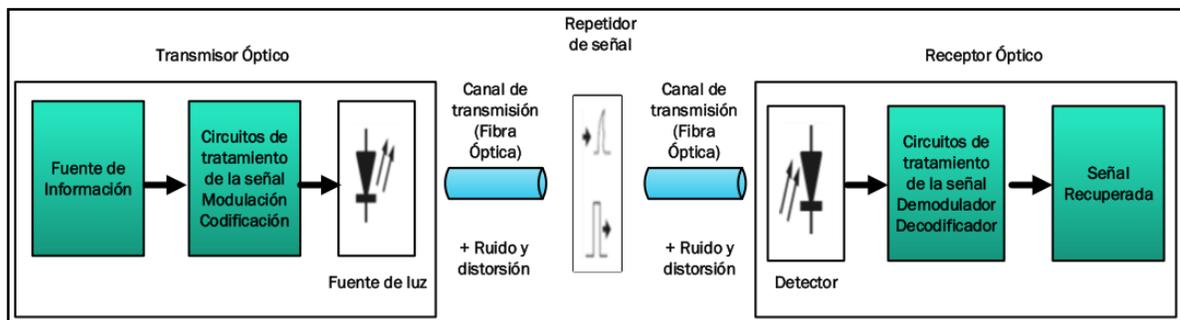


Figura 2.4.- Diagrama de bloques de un sistema de comunicación óptica. [22]

Elementos de un sistema de transmisión por fibra óptica

Emisor de luz

Son dispositivos que emiten el haz de luz para la transmisión de datos, tienen la particularidad de ser conversores, transforman las señales eléctricas en ópticas. Entre los emisores ópticos existen dos tipos: diodos LED y LÁSER. [17]

- **LED:** Son fuentes de luz con emisión espontánea, estos semiconductores de polarización tipo p-n se polarizan directamente para emitir luz.
- **LÁSER:** Son fuentes de luz con emisión estimulada debido a que la potencia óptica emitida está por encima del umbral de corriente y es mucho mayor que la emitida por un LED.

Tabla 2.5.- Emisores ópticos. [17]

Característica Técnica	LED	LÁSER
Tipo de luz emitida	Incoherente	Coherente
Potencia óptica emitida	Baja	Alta
Confiabilidad	Mayor	Menor
Vida útil	10 ⁶ h	10 ⁵ h
Circuitos de enfriamiento	No	Si
Costo	Bajo	Alto

Receptor

Elemento conformado por un fotodetector, se encarga de recuperar la señal transmitida a diferentes longitudes de onda y puede ser PIN o ADP. El fotodetector PIN presenta menor ruido cuántico a diferencia del ADP, además posee mayor linealidad, bajo costo y se usa en aplicaciones analógicas mientras que el ADP se usa para aplicaciones digitales a pesar de ser costosos son receptores de mayor velocidad. [17]

Repartidores

Los repartidores ópticos son armarios o bastidores diseñados para ser instalados en los extremos de la fibra incluyendo tramos anteriores tendidos, empalmados y conectados.

Conectores

Dispositivos que permiten conectar la fibra óptica a los equipos terminales o al repartidor óptico. Los conectores pueden tener diferentes pulidos como PC, APC, SPC y UPC. En la siguiente tabla se resume a modo comparativo algunas características de diferentes conectores ópticos. [23]

Tabla 2.6.- Cuadro comparativo entre conectores.

Características	<i>ST (Straight-Tip)</i>	<i>SC (Subscriber Connector)</i>	<i>FC (Fiber Connector)</i>	<i>LC (Lucent Connector)</i>
Tipo de fibra um núcleo/ um corteza	9/125 62.5/125 50, 85, 100/140	9/125 50/125	9/125 50/125	9/125 50/125
Pérdidas por inserción (dB)	0.2 0.3	0.15/0.25 0.25	0.15/0.25 0.25	0.2 0.25
Pérdidas retorno (dB)	30	30, 40, 50, 60	30, 40, 50, 60	50, 55, 65
Temperatura °C	-40/+85	-20/+70	-40/+85	-40/+ 80°C
Tracción cable	200 N	100 N	200 N	200 N
Acoplamiento	Bayoneta	Push-Pull	Rosca	Push-Pull
Férula (mm)	2.5 (cerámica/ polímero)	2.5 (cerámica)	2.5 (cerámica/ metálica)	1.25 (cerámica)
Tipo de fibra	SM y MM	SM y MM	SM y MM	SM y MM
Usos	Reparación de redes ópticas, FTTH	Redes LAN MAN, WAN, FTTH y CATV	Equipos OTDR	Redes LAN, MAN, WAN, FTTH

Elaborado por: El Investigador.

Empalmes

El sistema de empalme permite la unión entre dos cables diferentes de fibra óptica. Al momento de realizar un empalme se debe procurar que las pérdidas sean lo más reducidas posibles. En la siguiente tabla se muestra dos tipos de empalmes para fibra óptica. [24]

Tabla 2.7.- Tipos de empalmes. [25]

Tipos de Empalmes	
<p style="text-align: center;">Fusión</p> <p>Consiste en soldar dos fibras utilizando un arco eléctrico. Este empalme brinda pérdidas más bajas en el orden de los 0.2 dB, menor reflectancia y la unión es más fuerte y confiable. Todos los empalmes de fibra monomodo son por fusión y se emplea un equipo llamado fusionadora.</p>	 <p style="text-align: right;">Fusionadora</p>
<p style="text-align: center;">Mecánico</p> <p>Un dispositivo alinea los extremos de dos fibras y los mantiene unidos con un gel igualador de índice, se utiliza para restauraciones temporales y empalmes de fibras multimodo. Las pérdidas son de 0.5 dB por empalme.</p>	 <p style="text-align: center;">empalme mecánico</p> <p style="text-align: center;">empalme mecánico con gel</p>

2.2.12 Técnicas de multiplexación

La multiplexación consiste en transmitir varias señales sobre un mismo canal de transmisión. La siguiente figura muestra de forma sencilla la función de multiplexación. El multiplexor, dispositivo de multiplexado, combina n señales de los transmisores y los envía a través de un canal de gran velocidad hasta un demultiplexor. Este dispositivo recibe y demultiplexa las señales enviándolas a las líneas de salida correspondiente. [23]

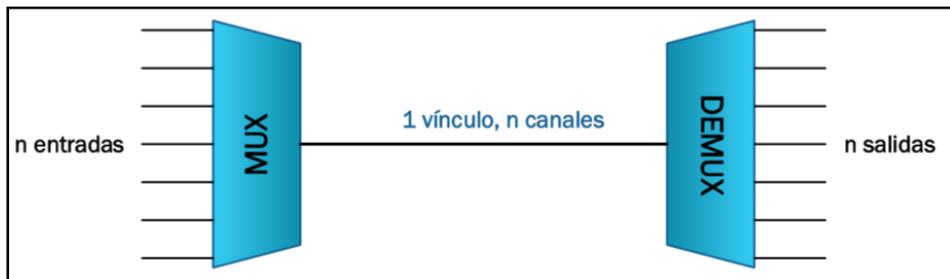


Figura 2.5.- Esquema de multiplexación. [26]

Existen algunas técnicas de multiplexación empleadas en comunicaciones ópticas de las cuales se menciona las siguientes:

TDM (Multiplexación por División de Tiempo)

TDM es una técnica digital que combina varios canales de baja tasa en uno de alta tasa, para ello divide el tiempo en intervalos más pequeños de manera que los bits de las múltiples entradas se puedan transportar por el enlace, aumentando el número de bits transmitidos por segundo. Esta técnica es un proceso básico en telefonía digital, anteriormente cada llamada necesitaba su propia línea física, lo que representaba altos costos, pero con la multiplexación se puede enviar más de una llamada por una misma línea física. [27]

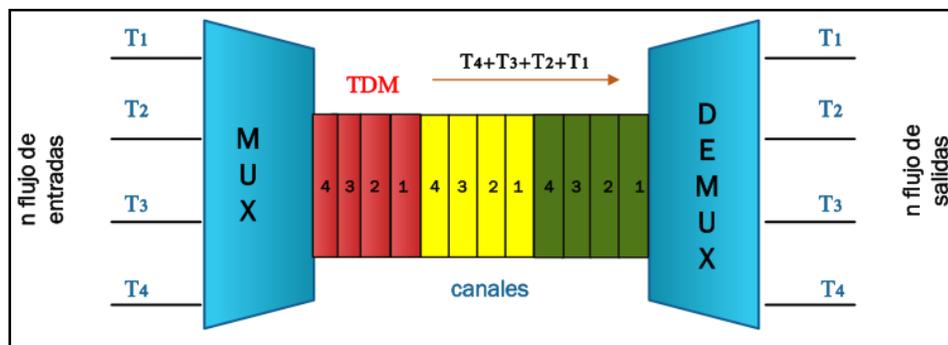


Figura 2.6 .- Multiplexación por división de tiempo. [28]

WDM (Multiplexación por División de Onda)

El multiplexado por división de longitud de onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexing*) es una tecnología utilizada para medios ópticos y consiste en enviar señales de información ocupando las mismas bandas de frecuencias a través de la misma fibra y al mismo tiempo sin que interfieran entre sí.

Para ello se modulan diodos laser de inyección que transmiten ondas luminosas a distintas longitudes de onda es decir a distintas frecuencias. Por lo tanto, en WDM se acopla dos o más longitudes de onda discretas para que entren y salgan de una fibra óptica en donde cada longitud de onda puede llevar grandes cantidades de información analógica o digital. [7]

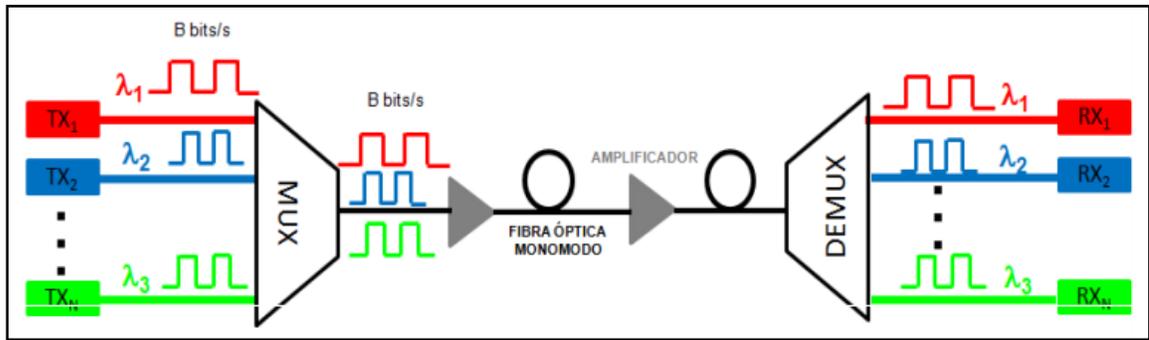


Figura 2.7.- Multiplexación por división de longitud de onda. [29]

2.2.13 Variantes de la tecnología WDM

En base a WDM se desarrollaron dos tipos de multiplexación de longitud de onda, CWDM y DWDM:

CWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Ligera)

La tecnología CWDM fue utilizada por primera vez en los años 80 para transportar señales de video a través de fibras multimodo. Este sistema de 4 longitudes de onda trabajaba en la ventana de 800 nm con 4 canales, cada uno operando a 140 Mbps. En la actualidad son utilizados para el transporte de datos, voz, video y servicios multimedia y se emplean en infraestructuras de fibra con tramos cortos y que no requieren de amplificadores ópticos. [27] En CWDM el espacio intercanal es de alrededor de 20 nm o aproximadamente 2.500 GHz, esta tecnología se utiliza para redes de acceso en donde la demanda de capacidad de transmisión es menor y debido al espaciado soporta menos canales. [30]

DWDM (Multiplexación por División en Longitud de Onda Densa)

En la década de los 90 aparece la segunda generación de WDM, en donde el espacio entre la λ central de dos canales consecutivos y el espacio intercanal es menor a 1.6 nm o aproximadamente 200 GHz. A mediados de los noventa estos sistemas poseían 16 a 40 canales con un espaciado entre ellos de 100 a 200 GHz, en la actualidad poseen de 64 a 160 canales en paralelo, espaciados cada 25 o 50 GHz.

DWDM es utilizado para sistemas que requieren mayor capacidad de transmisión y permite la asignación de un mayor número de canales en un ancho de banda dado, típicamente la separación entre canales puede ser 50 GHz, 100 GHz y 200 GHz. En la actualidad los espaciamientos estandarizados por la ITU son los de 50 y 100 GHz y constan en la recomendación G.694.1. [31]

Estos sistemas pueden ser implementados de dos formas: unidireccional y bidireccional. En los sistemas unidireccionales las longitudes de onda que viajan sobre la fibra van en un solo sentido, por lo que se necesita una fibra para la transmisión y otra para la recepción. Mientras que en los sistemas bidireccionales las longitudes de onda viajan en ambos sentidos por un mismo canal, evitando la necesidad de una segunda fibra, sin embargo, se reduce la capacidad del ancho de banda. [31]

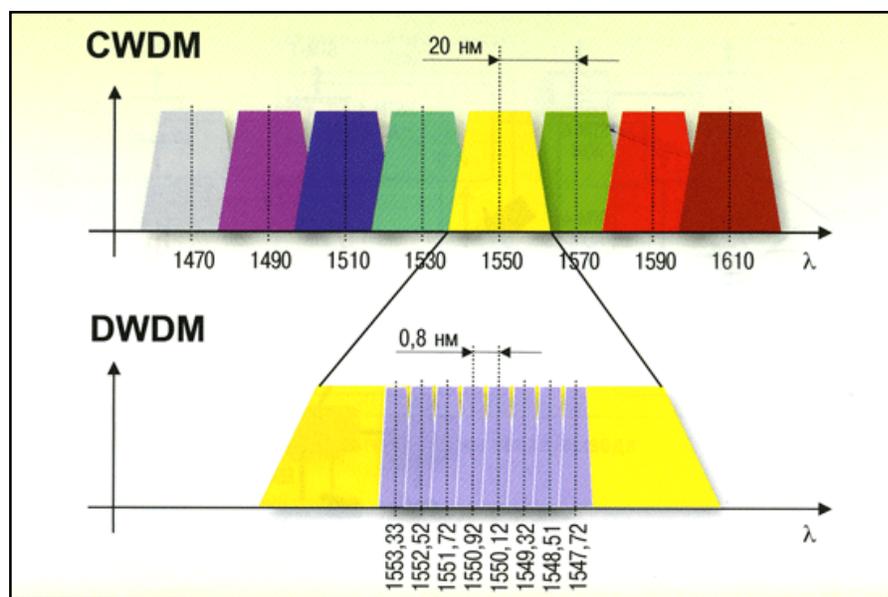


Figura 2.8.- DWDM y CWDM. [32]

Componentes de un sistema DWDM

Un sistema DWDM está conformado por los siguientes componentes:

- **Emisor o Transponders:** La fuente de luz que permite el envío de datos después de haber convertido la señal eléctrica que viene en formato de bits a pulsos ópticos que

se encuentran en una frecuencia específica es el láser óptico, se adapta de mejor forma en fibras monomodo y a sistemas de alta velocidad debido al rápido tiempo de respuesta y al reducido ancho espectral. En sistemas DWDM se utilizan un láser DFB (Distributed Feedback Laser) diseñado para enlaces de largo alcance, presenta un ancho espectral de 0.08-0.008 pm lo que reduce la dispersión cromática, tiene una potencia de 3-50 mW y son relativamente costosos. [33]

- **Multiplexor y demultiplexor:** Son dispositivos que combinan señales provenientes de diferentes fuentes, el multiplexor recoge las múltiples señales ópticas y las converge en un solo canal del otro lado el demultiplexor debe ser capaz de descomponer la misma señal en sus componentes iniciales. El demultiplexor realiza este proceso a través de la separación del haz de luz recibido en componentes de longitud de onda y el acoplamiento a las fibras individuales. En sistemas DWDM se utiliza multiplexadores OADM (Optical Add/Drop Multiplexer), este dispositivo permite añadir o eliminar una o más longitudes de onda a la mitad de un enlace dejando que el resto de longitudes lleguen a su destino. [34]
- **Amplificadores ópticos:** Una característica de DWDM es el uso de amplificadores ópticos que trabajan directamente con la señal de luz, es decir, que no es necesario transformar la señal en eléctrica para amplificarla. EDFA y RAMAN son amplificadores que trabajan en la región 1550 nm. Los amplificadores EDFA son la clave en la tecnología DWDM ya que proporcionan mayor capacidad de transmisión en largas distancias y están disponibles para la banda C y L. [34]
- **Receptor:** Los receptores detectan los pulsos ópticos y los transforman a señales eléctricas a través del uso de fotodetectores PIN o ADP. Para sistemas con longitudes de onda larga se utilizan fotodiodos de arseniuro de indio-galio (InGaAs) porque presentan un mínimo ruido que los de germanio. A veces se suele emplear fotodiodos de avalancha (APD) para sistemas de alta velocidad ya que poseen mayor capacidad de ancho de banda. [35]

Funcionamiento de un sistema DWDM

Un sistema DWDM depende de los siguientes elementos para su funcionamiento [36]:

- **Generación de señal:** Un transductor electro-óptico es la fuente de luz, en donde un láser de estado sólido suministra luz a una longitud de onda específica con un ancho de banda determinado.
- **Combinación de señales:** Se emplea multiplexores para combinar las señales, en esta etapa existe cierta pérdida asociada con el número de canales, pero puede ser disminuida con el uso de amplificadores ópticos, quienes amplifican las señales sin necesidad de una previa conversión eléctrica.
- **Transmisión de señales:** Durante la transmisión ocurren efectos *crosstalk* y degradación de la señal que pueden ser minimizados a través del control de variables como: espaciamiento de canales, tolerancia de longitudes de onda y niveles de potencia de láser. Dispositivos como amplificadores de señal compensan la atenuación y otros como los DCF compensan la dispersión, un fenómeno intrínseco de la fibra óptica.
- **Separación de señales:** En el receptor las señales multiplexadas deben ser separadas por filtros ópticos en función del número de canales a separar, para ello se emplea tecnologías similares a los filtros multiplexores.
- **Recepción de señales:** La señal demultiplexada es recibida por un fotodetector PIN o ADP de acuerdo a la sensibilidad que requiera el receptor, este transductor óptico-eléctrico en conjunto con un amplificador de transimpedancia y un recuperador de reloj forman el bloque del receptor.

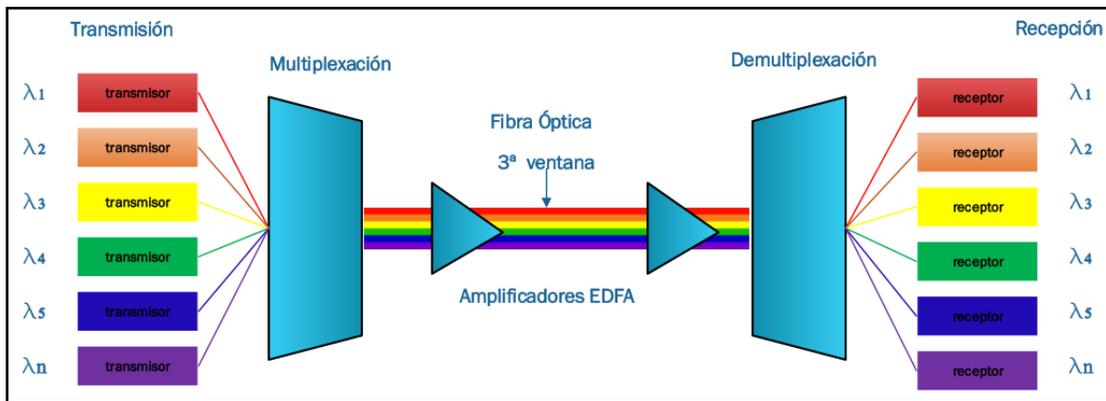


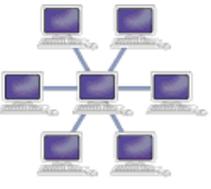
Figura 2.9.- Esquema funcional DWDM. [36]

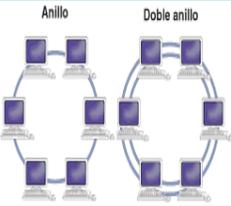
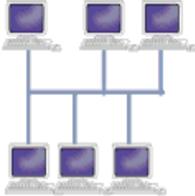
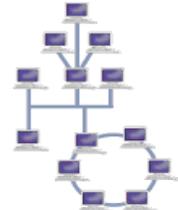
2.2.14 Topologías de red

Se llama topología a la forma de cómo se conecta o distribuye los nodos de una red para comunicar entre sí a sus elementos. Al hablar de topología muchas veces se hace referencia solo a la distribución física del cable, pero también se debe tomar en cuenta la configuración de los equipos, distancia entre nodos, tasas de transmisión o tipos de señal que se transmiten, éstos parámetros pueden repercutir posteriormente en el rendimiento de la red. [37]

A continuación, se presenta los distintos tipos de topologías con sus ventajas y desventajas.

Tabla 2.8.- Tipos de topologías. [37]

Topología	Ventajas	Desventajas
 <p>Estrella: Todas las estaciones están conectadas a un punto central.</p>	Si un terminal falla no influye en el resto de la red.	Si el nodo falla la red se desconecta.
 <p>Árbol: Esta topología tiene estructura jerárquica.</p>	Prioriza o aísla la comunicación de cierto equipo.	Si un nodo falla deja a un grupo de terminales sin conexión.

Topología	Ventajas	Desventajas
 <p>Malla: Todos los nodos están conectados entre sí con conexiones a otros equipos.</p>	Tolerante a fallos.	Alto costo de instalación.
 <p>Anillo: Cada estación se conecta a la siguiente cerrando la última con la primera dando la forma de un anillo.</p>	Doble anillo: Comunicación bidireccional.	Anillo: Si un terminal falla, la red no funciona.
 <p>Bus: Existe un único canal que comparten todos los dispositivos de la red, llamado troncal o backbone.</p>	Fácil de implementar y simplicidad.	Cantidad de equipos limitada, degradación de la señal.
 <p>Mixta: Es la combinación o interconexión de varias topologías.</p>	Se dispone de distintos caminos de conexión.	Alto costo y complejidad.

Los sistemas DWDM manejan tres tipos de topologías [27]:

- **Punto a punto:** Esta topología puede ser instalada con o sin OADM, las redes con este tipo de topología se caracterizan por velocidades de canal de 10 a 40 Gbps, alta integridad, confiabilidad de la señal y la rápida restauración de trayectoria.
- **Doble anillo:** La topología doble anillo soportan cualquier tráfico y pueden tener uno o más OADMs concatenados entre sí. Un OADM puede insertar y extraer el tráfico desde y hacia un área determinada, sin embargo, su uso hace que la señal esté sujeta a pérdidas y se puede requerir amplificadores.

- **Malla:** La topología tipo malla proporciona una topología más robusta, sin embargo, requieren un alto grado de inteligencia para las funciones de enrutamiento, señalización y gestión de la red.

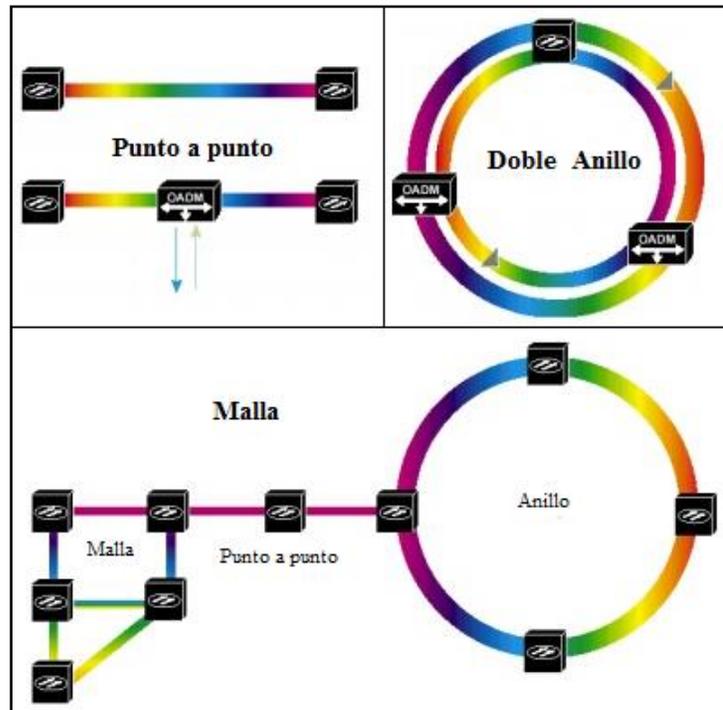


Figura 2.10.- Topologías en DWDM. [38]

2.2.15 Tendido de cables ópticos

La fibra óptica presenta dos tipos de tendido; aéreo y canalizado los cuales se detallan a continuación:

Tendido aéreo

Destinado para sitios en donde no existe canalización o existe saturación de cables. Este tendido se implementa para enlaces metropolitanos o áreas rurales, siempre y cuando se cuente con postera existente. Para la instalación de fibra óptica aérea existen dos métodos:

- **Método de enrollado retractable/fijo:** El método de enrollado retractable/fijo es el más usual en el tendido de cable aéreo, en primera instancia se debe colocar el

carrete a una distancia igual al doble del poste de modo que el cable se desenrolle desde la parte superior del carrete. Luego se debe tirar del cable a través de la línea de poste y levantarlo hasta los soportes previamente instalados en el mismo, sin olvidar de tensionar la fibra cada cuatro a seis postes y en cada giro que presente la ruta del cable. [39]

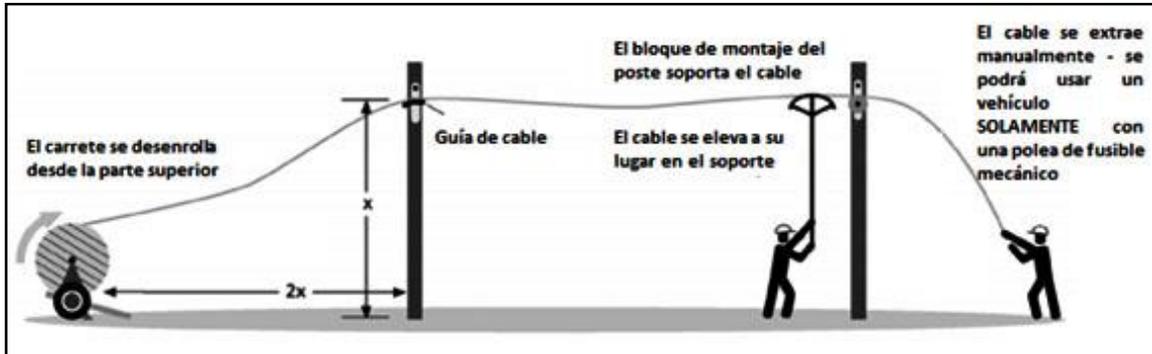


Figura 2.11.- Tendido retractable/fijo. [39]

- Método de instalación con desplazamiento de carrete:** En este método se debe acoplar el cable al primer poste y dejar cierta cantidad de reserva lo cual debe ser enrollada sin exceder el radio mínimo de curvatura y posteriormente se debe cubrir el extremo del cable para protegerlo de la suciedad y la humedad, luego se coloca la fibra en las abrazaderas de suspensión instaladas previamente en todos los postes para finalmente seguir desenrollando el cable por toda la ruta establecida. En este método se requiere mano de obra adicional. [39]

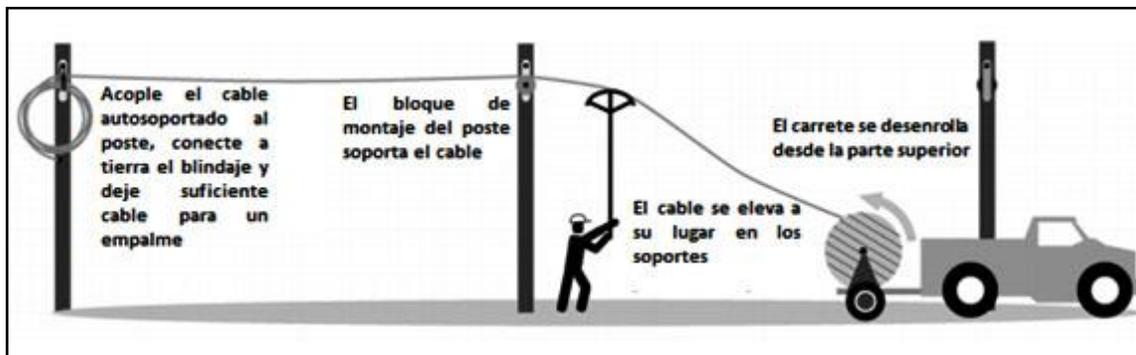


Figura 2.12.- Tendido con desplazamiento de carrete. [39]

Sin importar el método de tendido que se utilice un factor que influyen en la instalación es el estrés mecánico, pues el cable puede dañarse si se excede el radio mínimo de curvatura y la tensión de tracción máxima permisible especificado por el fabricante, a fin de precautelar el tiempo de vida útil del cable se debe eliminar por completo la ocurrencia de deformaciones durante la instalación del cable óptico.

Tendido canalizado

Para realizar este tipo de tendido se debe desplegar el cable óptico a lo largo de los ductos que existen dentro de las cámaras o pozos. Además, se debe dejar 30 metros de reserva por cada 500 metros de cable instalado en pozos con cambio de dirección mientras que para pozos de paso se colocará fijo en la pared de 3 a 4 metros de cable. Para realizar empalmes canalizados se debe dejar 15 metros de reserva en cada extremo del cable. [40]

Tipos de cables para el tendido aéreo

Entre los cables ópticos más utilizados para el tendido aéreo se tienen los siguientes:

Cable Figura 8: Las fibras ópticas con mensajero son llamadas también figura 8, recibe este nombre ya que la sección transversal tiene la forma de un ocho y se utiliza para instalaciones de tendido aéreo. Este cable tiene revestimiento extra de polietileno que envuelve al cable y al elemento de sustentación externo proporcionando la resistencia necesaria a la tracción. [41]



Figura 2.13.- Cable figura 8. [41]

Cable de guarda con fibra óptica (OPGW, Optical Ground Wire): La fibra óptica OPGW permite la transmisión de datos a largas distancias y al mismo tiempo funciona como cable de guarda para proteger las líneas eléctricas contra descargas atmosféricas, estos cables se instalan en la parte superior de las estructuras de alta tensión y están orientados principalmente para líneas de nueva construcción o de remodelación. Dentro de la estructura de un cable OPGW las fibras de plástico o vidrio están cubiertas por un tubo de aluminio y en su exterior cuenta con un armazón de cables metálicos para proporcionar resistencia y permitir el paso de corriente eléctrica para las descargas. [42]

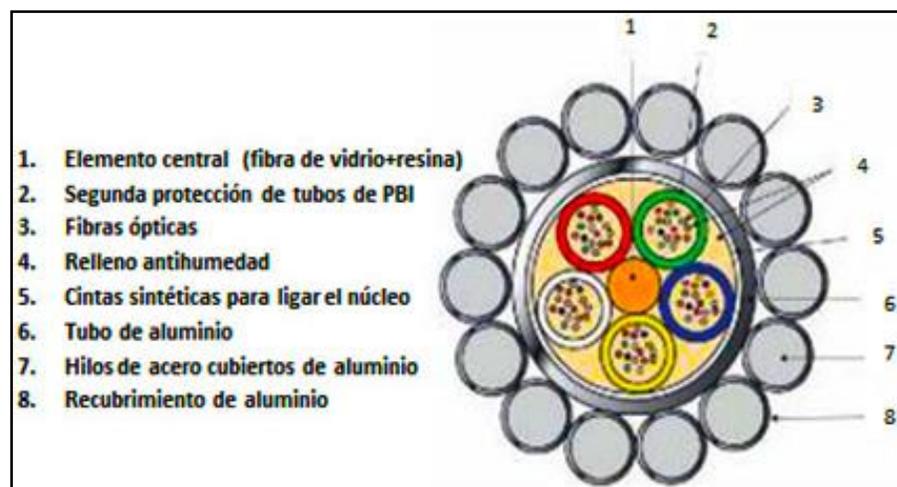


Figura 2.14.- Componentes de un cable OPGW. [43]

Cable autoportado totalmente dieléctrico (ADSS, All Dielectric Self Supporting): A diferencia del OPGW el cable ADSS es totalmente dieléctrico a descargas atmosféricas. Está diseñado para ser instalado en redes eléctricas o distribución energética (torres o postes) existentes, se instala por debajo de las fases o entre ellas y puede cubrir vanos cortos, medianos y largos. Dentro de su estructura el núcleo óptico compuesto de fibras ópticas está cubierto por tubos de protección holgada relleno de un compuesto bloqueante del agua para proteger a la fibra, alrededor de estos tubos existe una protección contra la propagación longitudinal de agua seguida de una cubierta interior y un refuerzo de hilos de aramida que proveen al cable resistencia a la tracción y finalmente la cubierta exterior formada de polietileno protege al cable de tracking o daños mecánicos. [44]

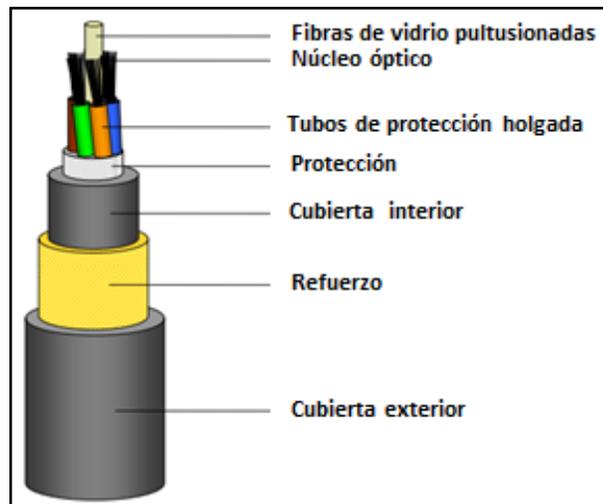


Figura 2.15.- Componentes de un cable ADSS. [44]

A continuación, se muestra un cuadro comparativo entre distintos cables ópticos aéreos.

Tabla 2.9.- Cuadro comparativo entre cables ópticos aéreos.

Características	ADSS	OPGW	Figura 8
Costo del cable	Medio	Alto	Bajo
Costo de instalación	Bajo	Alto	Bajo
Costo accesorios	Alto	Alto	Bajo
Vano máximo (m)	900	800	110
Max. hilos de fibras	144	48-96	288 -48
Condiciones climáticas extremas	-10 °C a +75 °C	-30 °C a + 70 °C,	-40°C~+70°C
Atenuación máxima en 1550 nm (dB/Km)	0,20	0,34	≤0.35
Cable dieléctrico	Si	No	Si
Resistencia a rayos	Si	Si	No
Durabilidad	Alta	Alta	Alta
Tensión de tracción (N)	2700	7700	3000
Guía de acero	No	No	Si
Disponible en fibras	SM/MM	SM	SM/MM

Elaborado por: El Investigador.

2.2.16 Recomendaciones de la ITU-T

El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (ITU-T), organismo de la ITU, ha publicado algunas Recomendaciones para fibra óptica bajo la Serie G. Las normas ITU-T G.652 a ITU-T G.655 definen algunos parámetros para fibras monomodo.

a) Recomendación ITU-T G.652: Características de una fibra y cables monomodo con dispersión no desplazada.

Esta Recomendación describe los atributos geométricos, mecánicos y de transmisión de una fibra monomodo con dispersión nula en la longitud de onda de 1310 nm. Esta fibra se optimizó para ser utilizada también en la región de 1550 nm. Aunque la dispersión cromática es alta en esta región, las fibras ITU-T G.652 son lo suficientemente grandes para evitar el efecto FMW (mezcla de cuatro ondas), por lo que no existiría algún problema funcional en sistemas DWDM ya que sus equipos de transmisión corrigen la dispersión cromática superando así esta dificultad. Además, este tipo de fibra tiende a ser la más comercializada. [45]

b) Recomendación ITU-T G.653: Características de una fibra y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada.

Esta Recomendación describe los atributos geométricos, mecánicos y de transmisión de una fibra monomodo con dispersión desplazada, optimizada para ser utilizada en la región 1550 nm, aunque puede trabajar en la región 1330 nm bajo algunas restricciones. Presenta mejores valores de dispersión cromática y atenuación, pero, al tener dispersión cero se incrementa el fenómeno FWM que degrada la transmisión y dificulta la multiplexación WDM, siendo incapaz de operar con múltiples canales en sistemas DWDM. [45]

c) Recomendación ITU-T G.654: Características de una fibra y cables ópticos mono-modo con corte desplazado.

Esta Recomendación describe una fibra óptica monomodo con dispersión nula en la región 1330 nm y corte desplazado en la región 1550 nm, fue optimizada para ser usada en las longitudes de onda de las regiones 1530 y 1625 nm. Es una fibra de estándar especial que tiene bajas pérdidas en la ventana 1550 nm, debido a que su núcleo es de silicio puro por lo que son muy costosas. Se usan para enlaces de muy largas distancias y aplicaciones submarinas. [45]

d) Recomendación ITU-T G.655: Características de una fibra y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula.

Esta Recomendación describe atributos geométricos, mecánicos y de transmisión de una fibra óptica monomodo con un coeficiente de dispersión cromática relativamente mayor a cero a lo largo de las longitudes de onda de 1530 y 1565 nm. Esta dispersión reduce el efecto de no linealidades como FWM, SPM Y XPM presentes en la multiplexación DWDM, sin embargo, su funcionamiento es efectivo para enlaces de larga distancia con prestaciones de mayor capacidad en sistemas CWDM y DWDM. Además, permite la operación de equipos sin la necesidad de emplear dispositivos compensadores de dispersión. [45]

2.3 Propuesta de solución

Para optimizar la transmisión de datos en la Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública Unidad de Negocio Bolívar se diseñó un sistema de comunicación de alta disponibilidad, enlazando la central de la Corporación con las subestaciones eléctricas permitiendo al sistema obtener mayor capacidad de transmisión y una excelente interconectividad, dando paso a una mejora significativa en la calidad del servicio que ofrece a sus usuarios.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Modalidad de la investigación

El presente trabajo fue un proyecto de investigación aplicada ya que al indagar todo lo concerniente al problema planteado, analizar y contextualizar la información obtenida se llevó a cabo el desarrollo de la propuesta empleando los criterios más adecuados para obtener en el futuro un óptimo desempeño del sistema.

El proyecto tuvo una modalidad bibliográfica porque la recopilación de la información se realizó a través de libros, papers, revistas, tesis de grado y documentos de sitios web con el objetivo de ampliar los conocimientos relacionados al tema de investigación y así sustentar la propuesta de solución con respecto al problema que presenta la Corporación.

La investigación de campo permitió recolectar la información en los sitios en donde se encuentran el objeto de estudio, es decir, en las instalaciones de la central CNEL EP Bolívar y en las subestaciones. Los datos que se llegaron a extraer en el campo fueron reales en consecuencia, las conclusiones serán más válidas.

Se empleó la investigación experimental ya que se utilizó herramientas de software para evaluar la calidad del canal de transmisión del radioenlace. De igual manera para el diseño

del nuevo sistema de comunicación se empleó un software que permitió tener un panorama más serio del enlace y así predecir su rendimiento y factibilidad.

3.2 Recolección de la información

La recolección de información se realizó mediante el Departamento de Sistemas y Tecnologías y la Unidad del Sistema de Información Geográfico (GIS) además previa a una debida autorización de acceso el investigador pudo ingresar tanto a las instalaciones de la central en Guaranda, así como a las subestaciones de Guanujo, Sicoto, Cochabamba, Caluma y Echeandía para realizar guías de observación y así recolectar la información necesaria.

3.3 Procesamiento y análisis de datos

La información recolectada se sometió a un minucioso análisis, la misma que arrojó datos sobre el estado actual del sistema de comunicación inalámbrica en base a estos datos se estableció los puntos débiles y las falencias más típicas que presenta el Radioenlace además, la información que se obtuvo a través del Departamento de Tecnología y Sistemas permitió tener una visión clara de los requerimientos necesarios para el diseño del nuevo sistema de comunicación.

3.4 Desarrollo del proyecto

Para el desarrollo de la investigación se realizaron los siguientes pasos:

1. Reconocimiento de las instalaciones de la central CNEL EP Bolívar.
2. Recolección de información sobre el actual Sistema de Comunicación de la CNEL EP Bolívar.
3. Monitoreo de las subestaciones de Guanujo, Caluma, Echeandía, Sicoto y Cochabamba.

4. Evaluación de la calidad del canal de transmisión a través de un software que permita monitorear la red.
5. Procesamiento de los datos obtenidos para identificar los problemas que presenta la comunicación por Radioenlace entre la central de la CNEL EP Bolívar y las subestaciones.
6. Definición de los requerimientos técnicos para la transmisión de datos entre la central y subestaciones del nuevo sistema de comunicación.
7. Inspección de las rutas tanto de postes como de torres metálicas propiedad de la CNEL EP Bolívar.
8. Análisis y elección del medio de comunicación más adecuado para la transferencia de información adaptable al sistema de comunicación de alta disponibilidad.
9. Revisión de las características y precios de los equipos y materiales para el nuevo sistema de comunicación.
10. Distribución de los nodos de la nueva red con su respectivo equipamiento mediante una topología específica.
11. Diseño del nuevo sistema de comunicación de alta disponibilidad para la CNEL EP Bolívar.
12. Simulación de la red propuesta.
13. Elaboración del presupuesto del proyecto.
14. Elaboración del proyecto bajo el formato exigido por la SENPLADES.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Para realizar el diseño del nuevo sistema de comunicación se detalla a continuación el desarrollo de la propuesta:

4.1 Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública Unidad de Negocio Bolívar

En 1950 se inició en Bolívar la construcción de una institución que suministre de electricidad a toda la provincia. En ese año una planta hidroeléctrica de 240 Kw suministraba de energía a Guaranda, pero no era suficiente debido a la demanda de la población, además en el cantón Chimbo la planta de 40 Kw dejó de funcionar y San Miguel recién logró poner en funcionamiento su planta de 60 Kw.

El 9 de mayo de 1961 según Escritura Pública se constituye legalmente la Empresa Eléctrica de Bolívar S.A. (EMELBO) en donde los Municipios de Guaranda y Chimbo se asociaron para su creación. Desde ese año EMELBO inicia su actividad técnico-administrativa, operando una generación térmica compuesta de 6 plantas de pequeña capacidad y una generación hidráulica de 107 KVA. A través de la línea de Subtransmisión San Juan – Guaranda a 69 kV, EMELBO pasa a formar parte del Sistema Nacional Interconectado en el año 1980.

El 16 de enero de 2009, el Fondo de Solidaridad, accionista mayoritario de las Empresas de Generación, Transmisión y Distribución de energía eléctrica del Ecuador, resolvió agrupar en la Corporación Nacional de Electricidad S. A. (CNEL) a diez empresas de suministro de energía: El Oro, Emelgur, Esmeraldas, Los Ríos, Manabí, Milagro, Santa Elena, Santo Domingo de los Tsáchilas, Sucumbíos y Bolívar, es así, como la Empresa Eléctrica de Bolívar S.A pasa a llamarse CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar. En la actualidad la Corporación ofrece cobertura hacia algunos sectores de las provincias de Los Ríos y Chimborazo. [46]



Figura 4.1.- CNEL EP Bolívar.
Elaborado por: El Investigador.

4.1.1 Departamento de Sistemas y Tecnología

El departamento de Sistemas y Tecnología es el encargado de administrar el sistema de telecomunicación de la CNEL EP Bolívar a través del Data Center, en este lugar un grupo de ingenieros se encargan de que los sistemas y equipos proporcionen la disponibilidad y estabilidad necesaria para que el personal realice las labores diarias en la central, agencias, puntos de recaudación y subestaciones eléctricas de la provincia de Bolívar.

4.1.2 Centro de Control

Ubicado en la Subestación Guaranda se encarga de controlar, monitorear y supervisar de manera remota los procesos de las subestaciones eléctricas a través de software y hardware, emplea como medio de comunicación enlaces de radio para tomar la información de la RTU o Unidades Terminales Remotas y transmitirla a los equipos del Centro de Control (MTU) en donde los datos se presentan de manera comprensible al operador. La MTU es la estación que almacena toda la información de las estaciones remotas generando una base de datos del comportamiento de cada una de ellas.

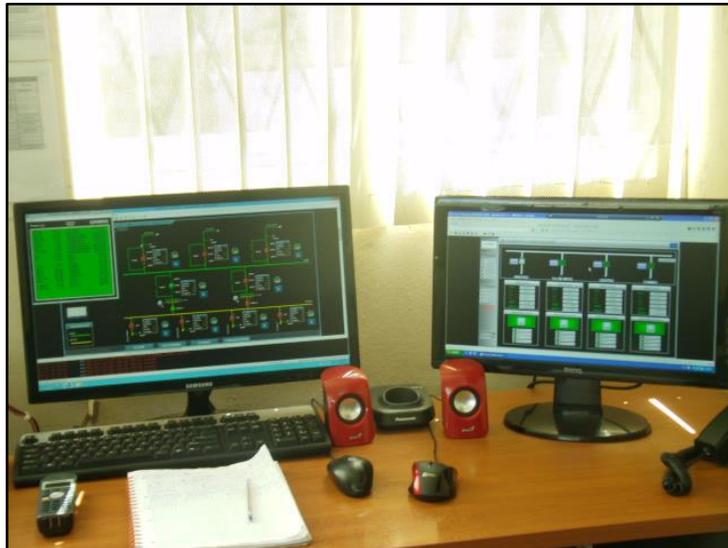


Figura 4.2.- Centro de Control.
Elaborado por: El Investigador.

4.1.3 Subestaciones Eléctricas

La CNEL EP Bolívar cuenta con seis subestaciones eléctricas: Guaranda, Guanujo, Sicoto, Cochabamba, Echeandía y Caluma, las mismas que abastecen del servicio eléctrico a la población de la provincia. Estas subestaciones son de tipo reductoras, pues reducen de 69 kV a 13.8 kV, dicha potencia es enviada a los transformadores para ser convertida a 120 voltios y llegue finalmente a sus clientes.

Además, al estar ubicadas en las afueras de la ciudad son subestaciones externas o de intemperie, es decir, expuestas al medio ambiente, cabe mencionar que en la Subestación Guaranda además de contar con la subestación de intemperie también cuenta con una subestación GIS o subestación encapsulada.

Las subestaciones aisladas por gas (GIS) son compactas, el volumen que ocupan está entre el 3 al 8% y el área entre el 3 al 12% del que le corresponde a una subestación clásica aislada en aire (AIS: *Air-Insulated Switchgear*) de la misma tensión nominal y para las mismas funciones. Las GIS usan el gas hexafluoruro de azufre (SF₆) para el aislamiento eléctrico de sus distintos componentes, además permite la extinción de arcos que puedan producirse durante la desconexión de los contactos bajo tensión y presenta características como: inodoro, incoloro, no es tóxico o inflamable y es muy estable. [47]



Figura 4.3.- Subestación de intemperie (a). Subestación GIS (b).

Elaborado por: El Investigador.

4.1.4 Sistema SCADA

El sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) permite monitorear, controlar y optimizar el proceso de transmisión y distribución de energía eléctrica, la CNEC EP Bolívar cuenta con dos sistemas SCADA: SCADA-Survalent y SCADA-ABB. El primero controla y supervisa los datos adquiridos por la RTU de la S/E Cochabamba y S/E Caluma, esta información es transmitida a través de enlaces de radio al Centro de Control.

Mientras que el SCADA-ABB controla y supervisa los datos adquiridos por las RTU de las subestaciones de Guaranda, Guanujo, Sicoto y Echeandía, de igual forma la información es transmitida al Centro de Control para controlar los procesos desde la pantalla del operador. Los dos sistemas utilizan diferentes protocolos de comunicación, es así como SCADA-Survalent emplea el protocolo DNP versión 3.0 y SCADA-ABB trabaja bajo estándar IEC 61850, estos protocolos permiten trabajar sobre cualquier clase de equipos tanto a nivel local como remoto.

- **DNP 3.0:** Protocolo de comunicación abierto, robusto y eficiente, fue propuesto por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y está diseñado para obtener una comunicación interrelacionada entre las MTU, los RTU y los IED. La IEEE acogió el protocolo DNP 3.0 como recomendación para interconectar específicamente RTU-IED. [20]
- **IEC 61850:** Es el primer estándar global en el campo de la energía eléctrica orientado para Redes y Sistemas de Comunicación en Subestaciones, utiliza Ethernet y TCP/IP para la comunicación siendo una de sus características la interoperabilidad para que IEDs de distintos fabricantes puedan intercambiar y usar datos a través de un medio de comunicación común, además se reduce la ingeniería y configuración de cada IED pues sus capacidades están descritas en forma estándar. Este protocolo también ofrece la implementación de redes LAN a nivel de subestaciones. [48]

Componentes de un sistema SCADA

Los elementos básicos que constituyen un sistema SCADA son [49]:

- **MTU (*Master Terminal Unit*):** Dentro de los sistemas SCADA la MTU se encarga de procesar la información proveniente de la red de automatización y presentarla de manera comprensible al operador, además de ser considerada el cerebro de la

instalación de control y supervisión, se le admite acceso ilimitado a todos y cada uno de los componentes locales y remotos del sistema.

- **RTU** (*Remote Terminal Unit*): La unidad terminal remota son todos los equipos encargados de la adquisición de datos y control de planta, así como de la comunicación con la MTU.
- **IED** (*Intelligent Electronic Devices*): Equipos con capacidad de autogestión, poseen funciones de auto-chequeo, auto-diagnostico e incluso almacena datos históricos. Los IED permiten eliminar la redundancia en los equipos debido a la integración de múltiples funciones en un solo dispositivo y están ubicados en cada alimentador, transformadores y líneas de subestaciones.
- **HMI** (*Human-Machine Interface*): La interfaz humano-máquina facilita la interacción entre el usuario y el sistema de control, ésta interfaz gráfica puede ser un panel táctil o una PC industrial conectada a un PLC.
- **Enlace de comunicación:** Es el nexo de unión entre la MTU y la RTU siendo los medios de comunicación más utilizados la radio, el satélite, las líneas telefónicas analógicas y digitales, conexiones vía cable o fibra óptica.

El sistema SCADA de la CNEL EP Bolívar integra los RTUs e IEDs a través de los protocolos DNP 3.0 e IEC 61850, todos los dispositivos a ser integrados emplean un switch industrial diseñado para trabajar con dichos protocolos, de esta manera pueden interpretar la información que están intercambiando los dispositivos. Además, la existencia de una red LAN interna proporciona la posibilidad de que un IED acceda a la información de otros IEDs que este dentro de la misma red. En la siguiente figura se muestra en detalle el diagrama del sistema SCADA de la Corporación.

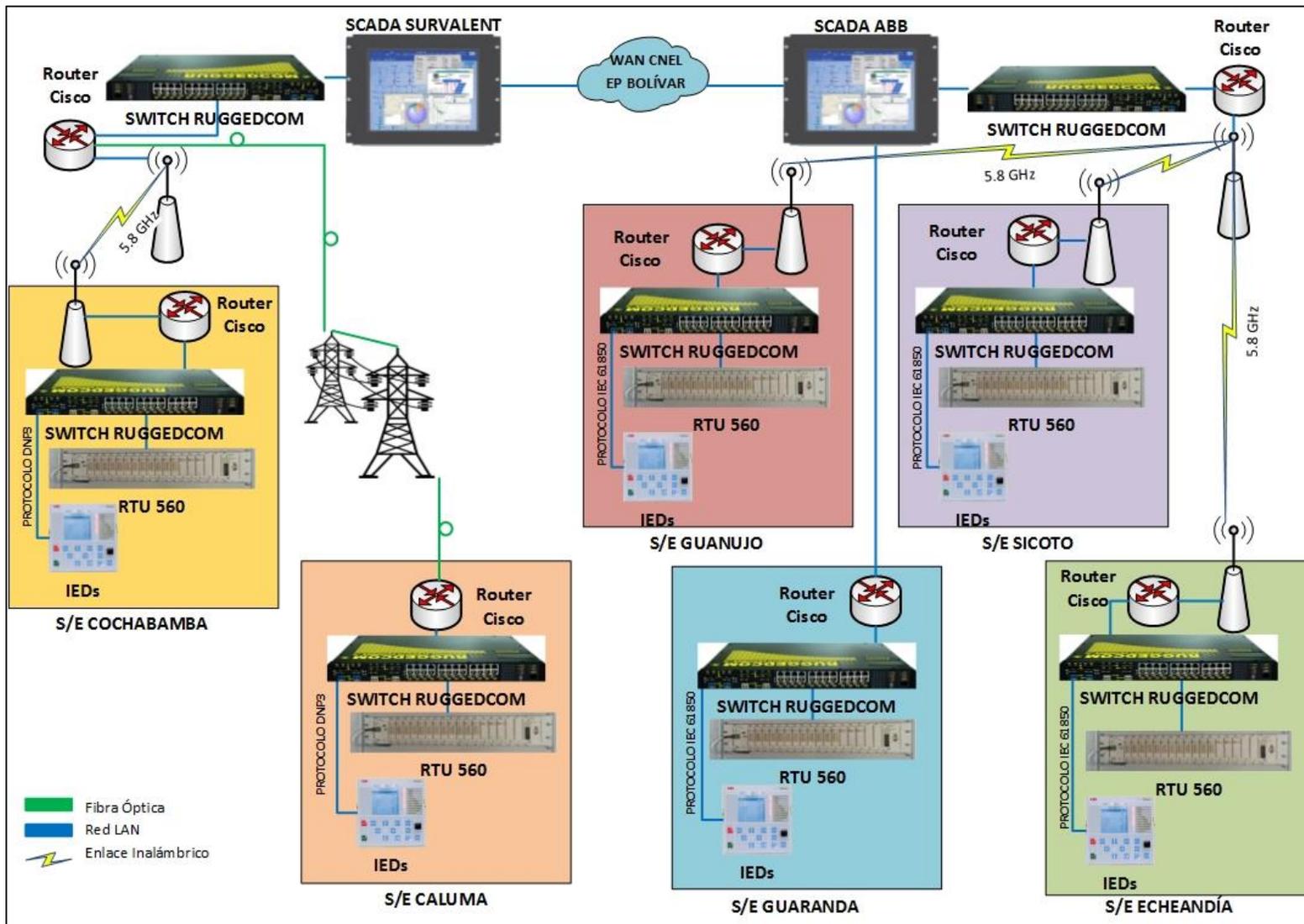


Figura 4.4.- Diagrama de bloques del Sistema SCADA de la CNEL EP Bolívar.
Elaborado por: El Investigador.

4.2 Sistema de comunicación inalámbrico de la CNEL EP Bolívar

La CNEL EP Bolívar ha venido utilizando durante algunos años enlaces inalámbricos para la transmisión de datos entre subestaciones, agencias y puntos de recaudación, en el año 2013 se realizó la instalación de nuevos equipos para la comunicación por radiofrecuencia debido a que los enlaces anteriores presentaban serios inconvenientes, como consecuencia la comunicación se caía constantemente afectando principalmente al sistema SCADA.

Las agencias, subestaciones y puntos de recaudación se conectan a la matriz en base a la configuración de la siguiente figura, el sistema consta de 25 enlaces y operan en las bandas no licenciadas de 2.4 y 5.8 GHz, tiene una topología tipo estrella distribuida de tal modo que, para enlaces troncales utiliza equipos MikroTik y para última milla equipos Proxim, en donde la mayoría de los enlaces operan bajo el estándar inalámbrico 802.11.

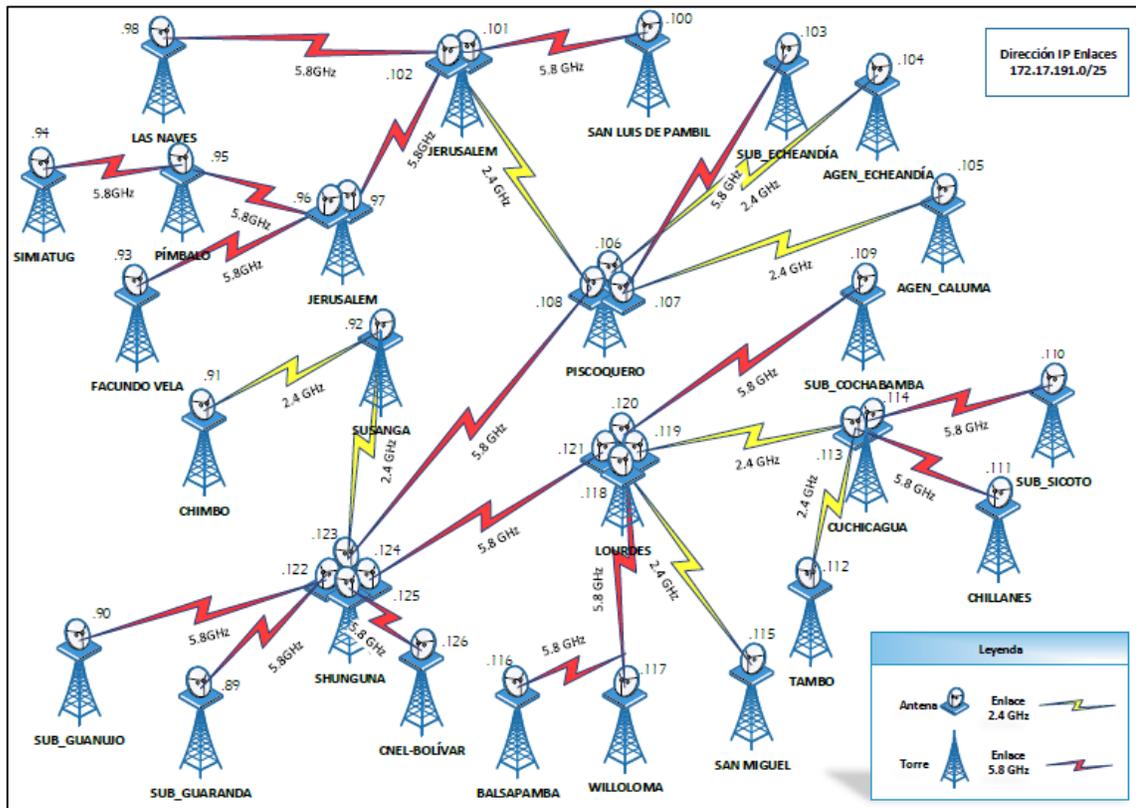


Figura 4.5.- Sistema de comunicación inalámbrico de la CNEL EP Bolívar.

Elaborado por: El Investigador.

En la actualidad, los equipos de comunicación no han recibido el debido mantenimiento motivo por el cual se encuentran en mal estado y presentan las siguientes observaciones:

- Equipos de radio comunicación y antenas “sucias”.
- Tensores en mal estado como consecuencia de la fuerza del viento.
- Ausencia de rack de telecomunicaciones en algunos repetidores motivo por el cual los equipos carecen de protección contra el polvo y humedad, reduciendo su tiempo de vida útil y aumentando su degradación.
- Equipos propensos a sufrir daños debido a descargas eléctricas ya que carecen de puesta a tierra.
- Conectores, tensores y grilletes en estado de oxidación.



Figura 4.6.- Estado físico de equipos y materiales.
Elaborado por: El Investigador.

La transmisión de datos inicia en el Centro de Control (S/E Guaranda), en este lugar se encuentra la MTU para controlar y supervisar el proceso de distribución de potencia a los clientes y la continuidad del servicio eléctrico de cada subestación. Para ello recibe las señales de datos de la RTU a través de un equipo de radio ubicado en el cerro Shunguna obteniendo así los procesos que se llevan a cabo en la Subestación Guanujo.

Si la información llega desde la Subestación Echeandía, ésta debe pasar por un repetidor ubicado en el cerro Piscoquero, retransmite la información hasta un repetidor en el cerro Shunguna, llegando de esta manera al Centro de Control. Si la señal de datos tiene como remitente la Subestación Cochabamba, la información que llegue al cerro Lourdes será retransmitida hasta el repetidor del cerro Shunguna llegando también a la MTU. El mismo trayecto tomarán los datos de la Subestación Caluma, una vez que hayan llegado a la Subestación Cochabamba a través del tramo de fibra óptica.

Finalmente, la señal de datos que proviene de la Subestación Sicoto, al llegar al cerro Cuchicagua será retransmitida hasta un repetidor ubicado en el cerro de Lourdes, quien a su vez la enviará al cerro Shunguna llegando así a la MTU. Es así como el *master* puede controlar y supervisar a cada subestación permitiendo al operador controlar cada proceso mediante representaciones gráficas o numéricas.

El departamento de Tecnología y Sistemas trabaja conjuntamente con el Centro de Control y se encarga de mantener informado todo lo que sucede con la comunicación entre los equipos de radiofrecuencia, es decir, si un enlace está caído informan de esta situación al personal competente para que tomen medidas correctivas a fin de resolver cualquier inconveniente y la comunicación con las subestaciones pueda fluir con normalidad. En la siguiente figura se puede observar los radioenlaces a cada subestación.

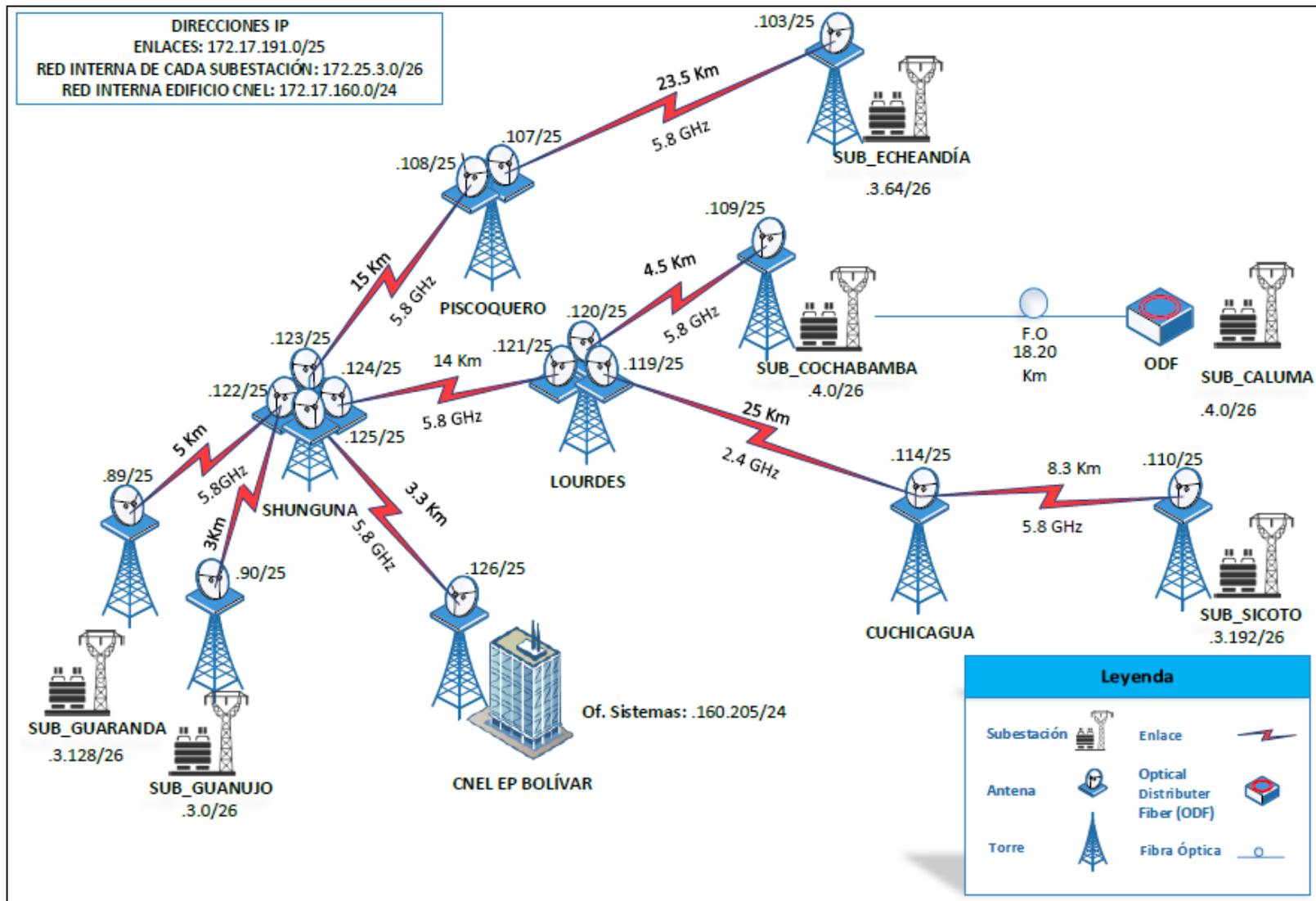


Figura 4.7.- Comunicación entre subestaciones.
 Elaborado por: El Investigador.

En la siguiente tabla se muestra los tipos de enlaces de acuerdo al esquema de conectividad del sistema inalámbrico en donde existen enlaces punto a punto (PTP) y punto a multipunto (PMP).

Tabla 4.1.- Enlaces de las subestaciones.

Enlace	Sitio A	Sitio B	Tipo de enlace	Frecuencia	Distancia
1	Repetidor Shunguna	Central	PTP	5.8 GHz	3.3 Km
2	Repetidor Shunguna	Subestación Guaranda	PMP	5.8 GHz	3 Km
3	Repetidor Shunguna	Subestación Guanujo	PMP	5.8 GHz	5 Km
4	Repetidor Shunguna	Repetidor Lourdes	PTP	5.8 GHz	14 Km
5	Repetidor Lourdes	Subestación Cochabamba	PMP	5.8 GHz	4.5 Km
6	Repetidor Lourdes	Repetidor Cuchicagua	PMP	2.4 GHz	25 Km
7	Repetidor Cuchicagua	Subestación Sicoto	PTP	5.8 GHz	8.3 Km
8	Repetidor Shunguna	Repetidor Piscoquero	PTP	5.8 GHz	15 Km
9	Repetidor Piscoquero	Subestación Echeandía	PMP	5.8 GHz	23.5 Km

Elaborado por: El Investigador.

La CNEL EP Bolívar no cuenta con un enlace de radiofrecuencia hacia la Subestación Caluma, es por tal motivo que no se muestra en la tabla anterior, esta subestación construida en el 2013 cuenta con un enlace de fibra óptica de tipo OPGW de 24 hilos instalada a modo de hilo de guarda en la línea de subtransmisión a 69 kV, parte desde la

Subestación Cochabamba hasta la Subestación Caluma con una longitud aproximada de 18.20 Km, dichas subestaciones comparten el mismo segmento de red interna a pesar de que cada subestación posee sus propias redes LAN siendo ésta la excepción.



Figura 4.8.- S/E Caluma (a). Hilo de guarda tipo OPGW 20B40Z (b).
Elaborado por: El Investigador.

A continuación, se indica la ubicación exacta de las subestaciones y repetidores.

Tabla 4.2.- Coordenadas Georeferenciales.

Sitio	Altitud	Latitud	Longitud
Subestaciones			
Guaranda	2595 m	01° 35' 45.54" S	78° 59' 45.96" W
Guanujo	2963 m	01° 33' 11.84" S	79° 0' 31.10" W
Echeandía	322 m	01° 25' 58.8" S	78° 16' 10.2" W
Cochabamba	2849 m	01° 40' 23.77" S	79° 6' 11.99" W
Sicoto	2185 m	01° 51' 19.80" S	79° 3' 52.92" W
Caluma	320 m	01° 37' 48.72" S	79° 15' 7.10" W
Repetidores			
Shunguna	3006 m	01° 35' 52.8" S	79° 01' 8.0" W
Lourdes	3260 m	01° 42' 22" S	79° 04' 45" W
Piscoquero	3540 m	01° 28' 14.3" S	79° 03' 43.1" W
Cuchicagua	2920 m	01° 55' 44" S	79° 04' 51" W

Elaborado por: El Investigador.

4.2.1 Equipos de la red inalámbrica de comunicación

Las subestaciones de Guaranda, Guanujo, Echeandía, Cochabamba y Sicoto poseen casi en su totalidad los mismos equipos de comunicación compartiendo la misma marca y modelo a excepción de las antenas, es así que las Subestaciones de Echeandía y Cochabamba utilizan antenas parabólicas de 5.8 GHz modelo HG4958DP-30D mientras que el resto de subestaciones utilizan antenas de modelo HG4958DP-25D.

En la siguiente tabla se detallan los equipos instalados en cada subestación con su respectiva marca y modelo.

Tabla 4.3.- Detalle de equipos instalados en las subestaciones.

Cantidad	Descripción	Marca	Modelo					
				S/E Guaranda	S/E Guanujo	S/E Echeandía	S/E Cochabamba	S/E Sicoto
1	Antena parabólica 5,8 GHz	HYPERLINK	HG4958DP-25D	x	x			x
1	Antena parabólica 5,8 GHz	HYPERLINK	HG4958DP-30D			x	x	
1	Tarjeta 411	MIKROTIK	411AH Licence4	x	x	x	x	x
1	Radio y pigtails	MIKROTIK	R52Hn	x	x	x	x	x
1	Protectores de cable	MOTOROLA	600SS	x	x	x	x	x
1	Fuentes POE	UBIQUITI	GP420-240-100	x	x	x	x	x
1	Conexión a tierra	-----	-----	x	x	x	x	x
1	Patchcord	Leviton	-----	x	x	x	x	x
1	Mástil	-----	-----	x	x	x	x	

Elaborado por: El Investigador

De la misma manera en las siguientes tablas se exponen los diferentes equipos instalados en cada uno de los repetidores.

Tabla 4.4.- Repetidor Shunguna.

Cantidad	Descripción	Marca	Modelo
2	Tarjeta y radio integrado	PROXIM	Q8100
1	Tarjeta 433	MIKROTIK	433AH
4	Tarjeta MiniPci	MIKROTIK	R52Hn
2	Antena parabólica 5,8 Ghz	HYPERLINK	HG4958DP-30D
2	Antena parabólica 2,4 Ghz	HYPERLINK	HG4958DP-25D
1	Antena grilla 2,4 Ghz	HYPERLINK	25 dBi
2	Fuentes POE	PROXIM	48G
2	Fuentes POE	UBIQUITI	GP420-240-100
1	Switch	HP	V1405-8
1	APS	TRIPP-LITE	APS-1250
1	Pararrayos	Parres	EP-D
1	Conexión a tierra	-----	-----
4	Patch cord 3F	LEVITON	-----
1	Torre 21 m	-----	-----
1	Caja para exterior	-----	-----
2	Baterías	BLESS POWER	6FM100E-X

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 4.5.- Repetidor Lourdes.

Cantidad	Descripción	Marca	Modelo
1	Tarjeta y radio integrado	PROXIM	Q8100
1	Tarjeta 433	MIKROTIK	433AH
2	Tarjeta 411	MIKROTIK	411AH
3	Tarjeta MiniPci	MIKROTIK	R52Hn
1	Tarjeta MiniPci	UBIQUITI	XR2
1	Antena parabólica 5,8 Ghz	HYPERLINK	HG4958DP-30D
2	Antena parabólica 5,8 Ghz	HYPERLINK	HG4958DP-25D
2	Antena parabólica 2,4 Ghz	HYPERLINK	HG2429

Cantidad	Descripción	Marca	Modelo
4	Protectores de cable	MOTOROLA	600SS
1	Fuentes POE	PROXIM	48G
3	Fuentes POE	UBIQUITI	GP420-240-100
1	Switch	HP	V1405-8
1	APS	TRIPP-LITE	APS-1250
1	Conexión a tierra	-----	-----
4	Patch cord 3F	LEVITON	-----
2	Baterías	BLESS POWER	6FM100E-X

Elaborado por: El Investigador

Tabla 4.6.- Repetidor Cuchicagua.

Cantidad	Descripción	Marca	Modelo
2	Tarjeta 433	MIKROTIK	433AH LICENCE 4
3	Tarjeta MiniPci	MIKROTIK	R52Hn
1	Tarjeta MiniPci	UBIQUITI	XR2
3	Antena parabólica 5,8 Ghz	HYPERLINK	HG4958DP-30D
1	Antena parabólica 2,4 Ghz	HYPERLINK	HG2429
2	Protectores de cable	MOTOROLA	600SS
2	Fuentes POE	UBIQUITI	GP420-240-100
1	Switch	HP	V1405-8
1	APS	TRIPP-LITE	APS-1250
1	Pararrayos	PARRES	EP-D
1	Conexión a tierra	-----	-----
2	Patch cord 3F	LEVITON	-----
1	Torre 24m	-----	-----
1	Caja para exterior	-----	-----
2	Baterías	BLESS POWER	6FM100E-X

Elaborado por: El Investigador

Tabla 4.7.- Repetidor Piscoquero.

Cantidad	Descripción	Marca	Modelo
2	Tarjeta 433	MIKROTIK	433AH LICENCE 4
1	Tarjeta 411	MIKROTIK	433AH LICENCE 4
2	Tarjeta MiniPci	MIKROTIK	R52Hn
3	Tarjeta MiniPci	UBIQUITI	XR2
2	Antena parabólica 5,8 Ghz	HYPERLINK	HG4958DP-30D
3	Antena parabólica 2,4 Ghz	HYPERLINK	HG2429
3	Protectores de cable	MOTOROLA	600SS
3	Fuentes POE	UBIQUITI	GP420-240-100
1	Switch	HP	V1405-8
1	APS	TRIPP-LITE	APS-1250
1	Pararrayos	PARRES	EP-D
1	Conexión a tierra	-----	-----
3	Patch cord 3F	LEVITON	-----
1	Torre 24m	-----	-----
1	Caja para exterior	-----	-----
2	Baterías	BLESS POWER	6FM100E-X

Elaborado por: El Investigador

A continuación, se muestra una galería de imágenes de los lugares que forman parte del sistema de comunicación inalámbrica, en donde cada subestación eléctrica cuenta con su respectiva torre de transmisión y rack de telecomunicaciones, así como de los distintos repetidores utilizados para extender la señal inalámbrica. En el rack de telecomunicaciones se encuentra equipos como: Switch Industrial Ruggedcom, panel HMI, RTU de ABB, Patch Panel, entre otros.

Tabla 4.8.- Sitios del sistema de comunicación inalámbrica.

Subestación	Torre de transmisión	Rack de Telecomunicaciones
<p style="text-align: center;">Guaranda</p> 		
<p style="text-align: center;">Guanaju</p> 		
<p style="text-align: center;">Echeandía</p> 		

<p>Cochabamba</p> 			
<p>Sicoto</p> 			
<p>Repetidores</p>			
<p>Cuchicagua</p> 	<p>Piscoquero</p> 	<p>Shunguna</p> 	<p>Lourdes</p> 

Elaborado por: El Investigador.

Las características técnicas de los equipos instalados en las subestaciones y repetidores se listan a continuación.

Tabla 4.9.- Características técnicas de los equipos de comunicación inalámbrica.

Equipos	Características
<p style="text-align: center;">Switch Industrial</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Puertos Ethernet: 32 • Soporta fibra SM y MM • Inmune a EMI y sobrecargas eléctricas • Cumple con el estándar IEEE (subestaciones eléctricas) • Temperatura: -40°C a 85°C • Calidad de servicio (802.1p) para tráfico en tiempo real
<p style="text-align: center;">Antena Hiperlink</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia: 5.725-5.850 GHz • Ganancia: 32,5 dBi • Polarización horizontal o vertical • Peso: 9 Kg • Temperatura: -40°C a 85°C • Max. Input Power: 100 watts • Impedancia: 50 Ohm
<p style="text-align: center;">MiniPci R52Hn</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Modo de operación: AP, Cliente, WDS, Bridge • Frecuencia (GHz): 2, 5 • Temperatura: -40°C a 70°C • Estándar: 802.11 a/b/g/n • Modulación: OFDM, DBPSK, DQPSK, CCK, QAM

<p style="text-align: center;">Tarjeta 433 MikroTik</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • CPU Atheros 680 MHz • Memoria 128 MB • Sistema operativo MikroTik RouterOS v3 Level5 licencia • 3 puertos ethernet • 1 puerto serial • Temperatura: -30°C a 60°C
<p style="text-align: center;">APS-1250</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversor automotriz o estacionario de CC a CA • Soporta una salida de 120V CA • Soporta apagones y fluctuaciones de tensión.
<p style="text-align: center;">Fuentes POE Ubiquiti</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de salida: 24VDC a 1.0A • Voltaje de entrada: 90-260VAC a 47-63Hz • Corriente de entrada: 0.3A a 120VAC, 0.2A a 230VAC • Eficiencia: 70% • Temperatura de trabajo: -10°C a 60°C • Humedad trabajando: 5% a 90%

Elaborado por: El Investigador.

4.2.2 Monitoreo de las subestaciones Guaranda, Guanujo, Echeandía, Sicoto y Cochabamba

Para monitorear cada subestación se empleó el software The Dude, propiedad de la empresa MikroTik, este programa permite gestionar redes alámbricas o inalámbricas en donde sus elementos pueden ser de diferentes marcas y tipos. Como el software es capaz de escanear todos los equipos de una red, se diseñó un mapa de red cuyos elementos fueron configurados de acuerdo al diagrama de la figura 4.5 facilitando el monitoreo de forma remota de cada subestación.

Si bien, al arrancar The Dude aparecen todos los equipos que están dentro de la red no se puede configurar equipos diferentes a MikroTik sin embargo si es posible solo visualizarlos, como es el caso de equipos Proxim instalados en el edificio de la CNEL, Shunguna 1 y 2 y Lourdes 1 fuera de esto todos los equipos pertenecen a la marca MikroTik.

Nombre	Direcciones	MAC	Tipo	Mapas
PISCOGUERO 2	172.17.191.107	D4:CA:6D:60:04:5A	MikroTik Device	Local
172.17.191.107	172.17.191.107, 172...	D4:CA:6D:60:04:5A	Algun dispositivo	
PISCOGUERO1	172.17.191.108	Routerboar:3E:F9:83	MikroTik Device	Local
172.17.191.108	172.17.191.108, 172...	Routerboar:3E:F9:83	Algun dispositivo	
SUB_COCHABA	172.17.191.109	D4:CA:6D:13:B8:AC	MikroTik Device	Local
172.17.191.109	172.17.191.109, 172...	D4:CA:6D:13:B8:AC	Algun dispositivo	
SUB_SICOTO	172.17.191.110	Routerboar:EE:8A:97	MikroTik Device	Local
172.17.191.110	172.17.191.110, 172...	D4:CA:6D:11:9F:F4	Algun dispositivo	
CHILLANES	172.17.191.111	D4:CA:6D:11:AA:5C	MikroTik Device	Local
172.17.191.111	172.17.191.111, 172...	D4:CA:6D:11:AA:5C	Algun dispositivo	
CUCHICAGUA2	172.17.191.113	Routerboar:EE:8A:96	MikroTik Device	Local
172.17.191.113	172.17.191.113, 172...	Routerboar:3E:F9:95	Algun dispositivo	
CUCHICAGUA1	172.17.191.114	D4:CA:6D:57:DB:E3	MikroTik Device	Local
172.17.191.114	172.17.191.114, 172...	D4:CA:6D:57:DB:E3	Algun dispositivo	
SAN MIGUEL	172.17.191.115	D4:CA:6D:11:9F:D5	MikroTik Device	Local
172.17.191.115	172.17.191.115, 172...	Routerboar:F2:E3:9A	Algun dispositivo	
BALSAPAMBA	172.17.191.116	D4:CA:6D:11:9F:E0	MikroTik Device	Local
172.17.191.116	172.17.191.116, 172...	Routerboar:F2:E3:98	Algun dispositivo	
WILLOLOMA	172.17.191.117	D4:CA:6D:57:DB:E6	MikroTik Device	Local
172.17.191.117	172.17.191.117, 172...	D4:CA:6D:57:DB:E6	Algun dispositivo	
LOURDES4	172.17.191.118	Routerboar:F2:E3:9A	MikroTik Device	Local
172.17.191.118	172.17.191.118, 172...	Routerboar:F2:E3:9A	Algun dispositivo	
LOURDES3	172.17.191.119	Routerboar:F2:E3:97	MikroTik Device	Local
172.17.191.119	172.17.191.119, 172...	Routerboar:F2:E3:97	Algun dispositivo	
LOURDES2	172.17.191.120	D4:CA:6D:11:9F:D8	MikroTik Device	Local
172.17.191.120	172.17.191.120, 172...	D4:CA:6D:11:9F:D8	Algun dispositivo	
172.17.191.121	172.17.191.121	PROXIM.INC.EC.71:5D	Algun dispositivo	
LOURDES1	172.17.191.121	PROXIM.INC.EC.71:5D	Switch	Local
SHUNGUNA2	172.17.191.122	Routerboar:3E:F9:8F	MikroTik Device	Local
172.17.191.122	172.17.191.122, 172...	Routerboar:3E:F9:8F	Algun dispositivo	
SHUNGUNA4	172.17.191.123	D4:CA:6D:11:A5:ED	MikroTik Device	Local
172.17.191.123	172.17.191.123, 172...	D4:CA:6D:11:A5:ED	Algun dispositivo	
172.17.191.124	172.17.191.124	Algun dispositivo	Local	
SHUNGUNA3	172.17.191.124	PROXIM.INC.F0:BA:18	Algun dispositivo	Local
172.17.191.125	172.17.191.125	PROXIM.INC.F0:BA:18	Switch	Local
SHUNGUNA1	172.17.191.125	PROXIM.INC.F0:BA:18	Algun dispositivo	Local
172.17.191.126	172.17.191.126	PROXIM.INC.F0:B5:9D	Algun dispositivo	Local
EDIF-CNEL	172.17.191.126	PROXIM.INC.F0:B5:9D	Algun dispositivo	Local

Figura 4.9.- Equipos conectados a la red.
Elaborado por: El Investigador.

Una vez terminada la configuración del mapa de red, el software tiene la facultad de mostrar al operador a través de colores el estado de los enlaces, es así como el color verde indica que el dispositivo está activo y se puede ingresar al mismo, el color naranja indica que el dispositivo está inestable, es decir, solo algunos servicios están activos y otros caídos mientras que el color rojo indica que el dispositivo están totalmente inactivo y es imposible su acceso, también muestra información sobre el tráfico de tx /rx del enlace entre los distintos equipos conectados.

La siguiente figura muestra cómo trabaja el software con el operador, si un enlace presenta algún problema el icono que simboliza al equipo de comunicación cambia de color, en este caso SUB_GUARANDA paso de verde a color naranja indicando que un servicio esta caído y que eventualmente el operador deberá enfocarse a solucionar este inconveniente.

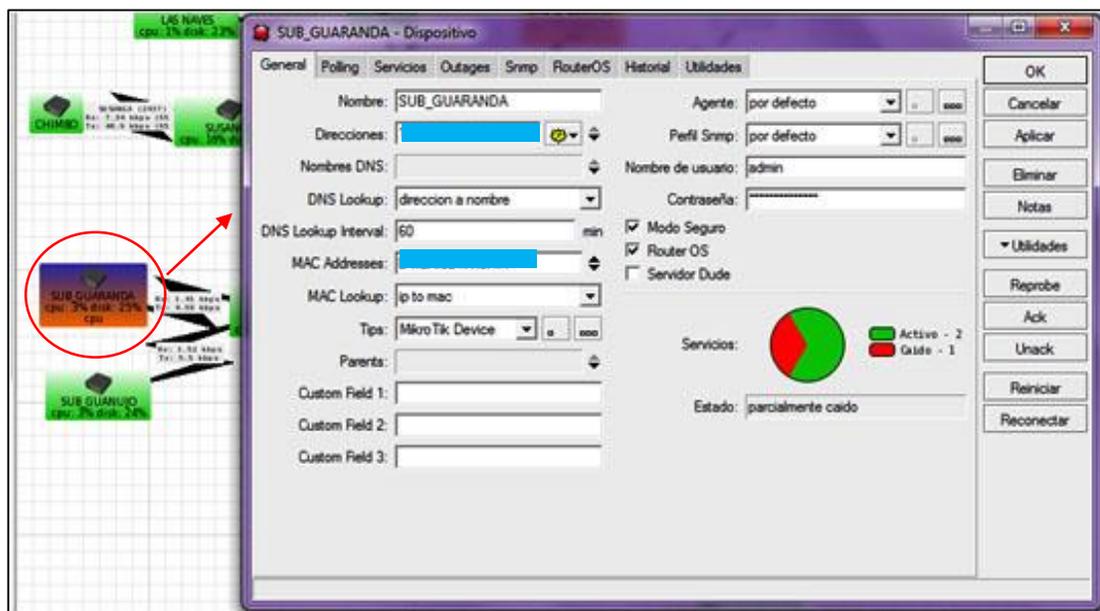


Figura 4.10.- Servicios de la S/E Guaranda.
Elaborado por: El Investigador.

El mapa de red del sistema inalámbrico de la CNEL EP Bolívar está representando por la siguiente figura e indica la operatividad de cada dispositivo, en dicho momento las subestaciones Echeandía y Sicoto, los repetidores Cuchicagua 1 y Piscoquero 3 además de la agencia Caluma presentaban caídas en algunos de sus servicios.

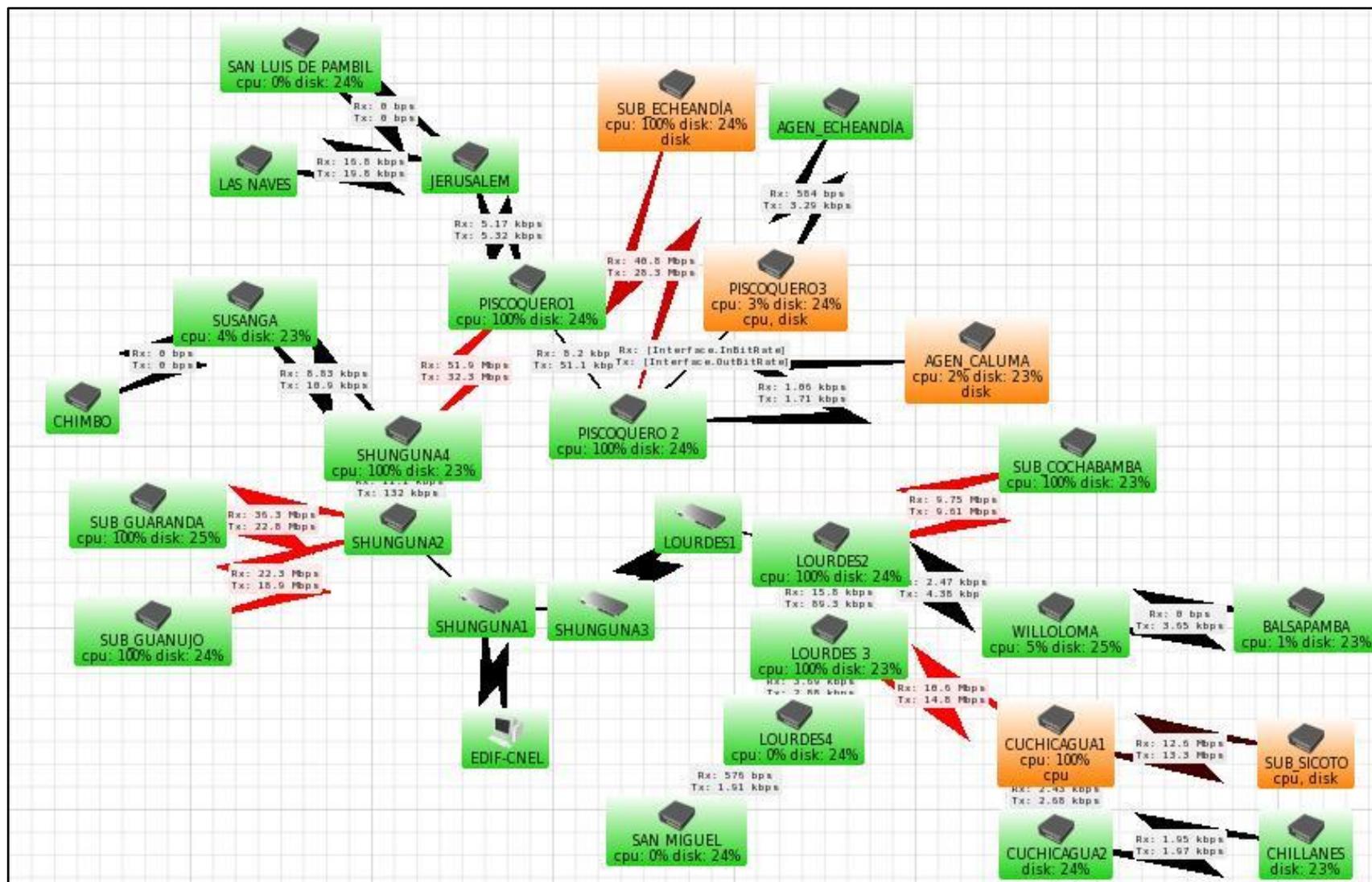


Figura 4.11.- Mapa de red del sistema inalámbrico.
Elaborado por: El Investigador.

Además, como complemento de The Dude se utilizó la aplicación WinBox, la cual permite administrar equipos MikroTik RouterOS usando una interfaz gráfica, para lo cual es necesario conocer el plan de direccionamiento IP de la matriz, subestaciones y repetidores. A continuación, se muestra una tabla con las direcciones IP de los enlaces establecidos entre repetidores.

Tabla 4.10.- Direccionamiento IP.

Repetidor 1	IP	Repetidor 2	IP
Edificio CNEL	172.17.191.126/25	Shunguna1	172.17.191.125/25
Shunguna 2	172.17.191.122/25	S/E Guanujo	172.17.191.90/25
Shunguna 2	172.17.191.122/25	S/E Guaranda	172.17.191.89/25
Shunguna 3	172.17.191.124/25	Lourdes 1	172.17.191.121/25
Shunguna 4	172.17.191.123/25	Piscoquero 1	172.17.191.108/25
Lourdes 2	172.17.191.120/25	S/E Cochabamba	172.17.191.109/25
Lourdes 1	172.17.191.119/25	Cuchicagua 1	172.17.191.114/25
Cuchicagua 1	172.17.191.114/25	Sub-Sicoto	172.17.191.110/25
Piscoquero 2	172.17.191.107/25	S/E Echeandía	172.17.191.103/25

Elaborador por: El Investigador.

Para poner a prueba el rendimiento de la red se ejecutó la aplicación WinBox, después de ingresar la dirección IP del enlace, usuario y contraseña se logró acceder al equipo a ser monitoreado, la siguiente figura muestra la interfaz de inicio de la aplicación, en donde a más de ingresar al equipo con la dirección IP también dispone la opción de ingresar con la dirección MAC, a su vez este software escanea los equipos que se encuentran dentro de la red, los muestra en pantalla para que el operador tenga un acceso rápido siempre y cuando conozca el usuario y contraseña.

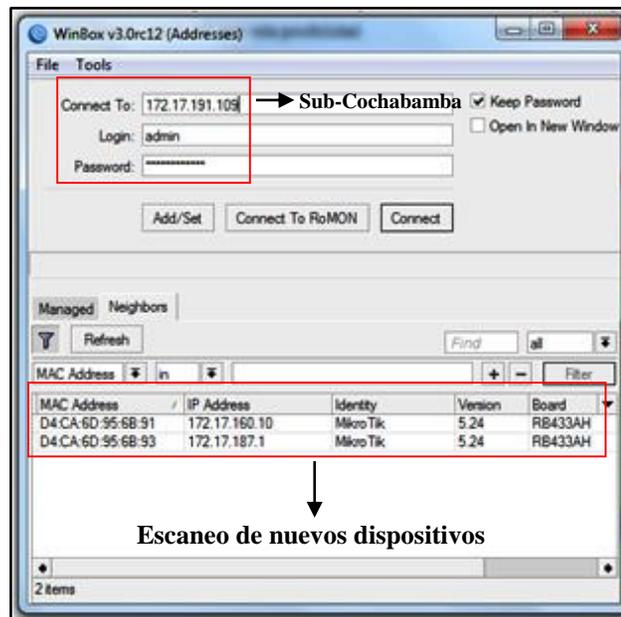


Figura 4.12.- Ventana de inicio de WinBox.
Elaborado por: El Investigador.

Una vez establecida la conexión, WinBox presenta una serie de opciones para configurar, administrar y monitorear los equipos MikroTik, la siguiente figura muestra la opción Interfaces en donde se puede visualizar las principales características de enlace.

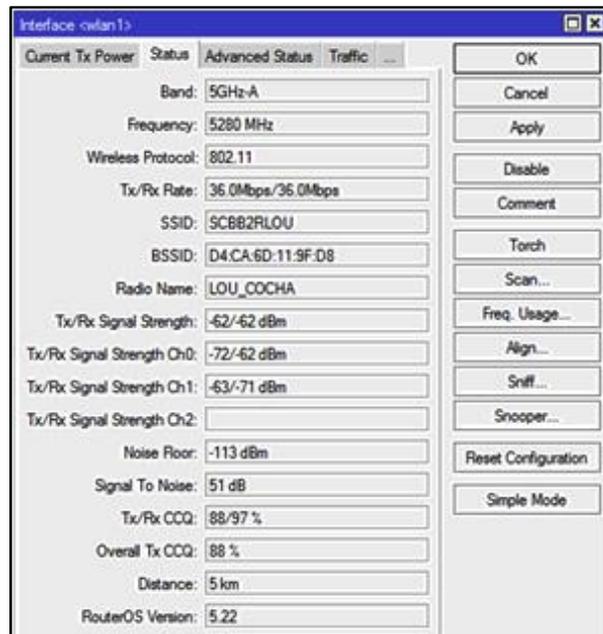


Figura 4.13.- Detalles del enlace de la S/E Cochabamba.
Elaborado por: El Investigador.

De la figura anterior los datos más relevantes son:

- **Data Rate:** Es la tasa de negociación del enlace inalámbrico, en donde la capacidad de canal (Throughput) será un 50% del data rate.

Capacidad Max. del Canal de Tx. $36.0 \text{ Mbps}/2 = 18 \text{ Mbps}$

Capacidad Max. del Canal de Rx. $36.0 \text{ Mbps}/2 = 18 \text{ Mbps}$

- **CCQ (*Client connection Quality*):** Calidad de conexión de un cliente, indica la eficiencia del enlace basándose en las retransmisiones de los frames en donde 100% indica que no hay retransmisiones en el enlace.

Data rate = 36.0 Mbps

CCQ = 88% (12% de frames retransmitidos)

La capacidad efectiva del canal será:

$$36.0 \text{ Mbps}/2 * 0,88 = 15,84 \text{ Mbps}$$

- **SNR (*Signal to Noise Ratio*):** La relación señal ruido indica cuantos dB es más fuerte la señal que el ruido. En donde:

Señal = -62 [dBm]

Ruido = -113 [dBm]

La relación señal ruido será:

$$\text{SNR [dB]} = \text{Señal [dBm]} - \text{Ruido [dBm]}$$

$$\text{SNR [dB]} = -62 - (-113)$$

$$\text{SNR [dB]} = 51 \text{ dB}$$

Bandwidth Test es otra opción que permite probar el ancho de banda de un enlace obligándolo a trabajar al máximo, para ello envía paquetes TCP o UDP ya sea en una sola o en ambas direcciones para analizar cómo reaccionará la red ante esta situación.

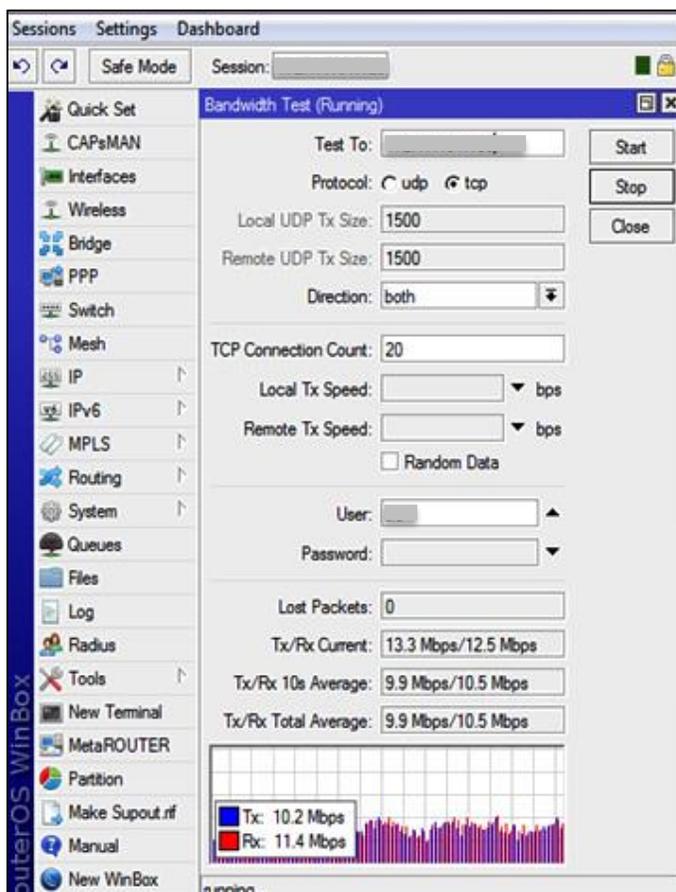


Figura 4.14.- Test de ancho de banda de la S/E Cochabamba.
Elaborado por: El Investigador.

4.2.3 Procesamiento de datos de la comunicación inalámbrica

Cada enlace fue monitoreado desde el edificio de la CNEL, para realizar la evaluación del canal de transmisión se puso a prueba el rendimiento del sistema, de modo que los enlaces que conectan a las subestaciones trabajaron al 100% de su capacidad. Los resultados no fueron muy satisfactorios como se pudo ver en la figura 4.11, los servicios de algunas dependencias se cayeron debido a la exigencia de mayor ancho de banda en ciertos enlaces sin embargo otras dependencias permanecieron estables.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los datos más relevantes obtenidos mediante el monitoreo a las subestaciones a través de WinBox y The Dude.

Tabla 4.11.- Recopilación de datos.

Enlace	Distancia (Km)	Signal Strenght	Noise Floor	S/N dB	Rate Tx/Rx (Mbps/ Mbps)	Throughput Tx/Rx (Mbps/ Mbps)	Frecuencia (GHz)	Latencia (ms)
		(dBm)						
Shunguna- S/E Guaranda	3	-50	-109	59	27.6/ 39.8	13.8/19.9	5.8	17
Shunguna- S/E Guanujo	5	-54	-112	58	8.8/ 17.7	4.4/8.85	5.8	21
Lourdes- S/E Cochabamba	4.5	-53	-115	62	13.3/ 12.5	6.65/6.25	5.8	30
Lourdes- Cuchicagua	25	-63	-96	33	13.4/ 10.5	6.7/5.25	2.4	50
Cuchicagua- S/E Sicoto	8.3	-43	-113	73	11.9/ 12.0	5.95/6.0	5.8	41
Shunguna- Piscoquero	15	-56	-115	59	37.2/ 45.3	18.6/22.65	5.8	29
Piscoquero- Echeandía	23.5	-55	-115	60	28.0/ 42.0	14.0/21.0	5.8	25

Elaborador por: El Investigador.

4.2.4 Evaluación de la red inalámbrica

La tabla anterior refleja que, la mayoría de los enlaces son regularmente buenos, sin embargo, enlaces como Lourdes-Cuchicagua presentan una señal baja con un alto piso de ruido considerando que mientras más débil sea este nivel de señal es mejor, en cuanto a la latencia también muestra un mayor retardo en la propagación de paquetes de un punto a otro, por otra parte, la relación señal ruido muestra un bajo nivel afectando la señal y por ende se tiene problemas con la estabilidad de la misma.

Si bien, el enlace al utilizar una antena parabólica de 2.4 GHz obtiene ventajas como mejor tolerancia frente a obstáculos (árboles o muros), resulta ser una banda muy congestionada

para el adecuado flujo de información, inconvenientes que en conjunto perjudican el rendimiento de la red.

A pesar de emplearse antenas parabólicas que trabajan en la banda de 5.8 GHz en la mayoría de los enlaces, la señal también se ve afectada por la vegetación existente en la zona y sobre todo por el clima cálido/húmedo que deben soportar los equipos instalados en algunos de los repetidos. De hecho, una de las desventajas de estas antenas es que son intolerantes a los obstáculos, sin embargo, esta banda es menos susceptible a interferencias provenientes de otras fuentes.

El solapamiento de señales es otra problemática que presenta la actual red, como ya se conoce, el uso de las mismas frecuencias por varios canales llega a solapar a canales contiguos, lo que hace que las tasas de transferencia se reduzcan ocasionando un mal rendimiento de la red inalámbrica.

A todo lo anterior se suma la falta de configuración del protocolo de operación, algunos de los enlaces no tienen configurado este parámetro y adoptan el protocolo por defecto del equipo, y otra parte utilizan el protocolo inalámbrico 802.11 sin mejoras, influyendo directamente con la velocidad de transmisión, sin embargo, otros pocos trabajan con el protocolo Nv2 desarrollado por MikroTik que mejora el rendimiento y latencia del enlace.

4.3 Requerimientos de la CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar para el nuevo sistema de comunicación

La CNEL EP Bolívar a fin de tener un sistema robusto de comunicaciones plantea los siguientes requerimientos:

- **Redundancia:** A modo de aumentar la confiabilidad del nuevo sistema se debe emplear un método de reserva que entre en funcionamiento en caso de que haya una

caída del sistema ya sea por un equipo defectuoso, un cable cortado o desconectado u otras situaciones que implique que la red deje de funcionar.

- **Alta disponibilidad:** Será la capacidad del nuevo sistema de comunicación de brindar un servicio activo durante un tiempo determinado o a su vez, la capacidad de recuperación ante posibles fallos en la red. Por consiguiente, el tiempo de recuperación y detección de un fallo deben ser inmediato.
- **Seguridad:** Para tener una red segura es necesario garantizar la integridad de los datos, la CNEL EP Bolívar maneja información y servicios que no pueden ser manipulados y expuestos a personas ajenas a la Corporación.
- **Capacidad:** Tener a disposición un sistema apto para soportar altas velocidades en la transmisión de información y evitar el colapso o pérdida de datos.
- **Infraestructura:** El uso de su propia infraestructura como torres y/o postes para el tendido de la fibra es uno de los principales requerimientos de la Corporación, de manera que el resguardo y mantenimiento de la red esté a su cargo.

Acceso a futuros servicios como:

- **Video vigilancia:** Tener acceso remoto al realizar vigilancia por video y sonido a distancia desde cualquier ordenador del departamento de Sistemas y Tecnología, Centro de Control y personal de seguridad.
- **Telefonía IP:** Aprovechando la red de datos que tendrá la Corporación se utilizará la misma red para la transmisión de voz disminuyendo costos dentro de la institución.

- **Internet:** Acceso a internet de alta velocidad para realizar tareas y actividades sin tolerar interferencias de cualquier tipo, quebrantos en la información o disminución de la velocidad a causa del número de usuarios conectados.

4.4 Análisis y elección del medio de comunicación más adecuado para el sistema de comunicación de alta disponibilidad

Un sistema de comunicación de alta disponibilidad debe ser capaz de detectar un fallo rápidamente y recuperarse del mismo de forma inmediata afectando en lo menos posible a un servicio. Para ello se analizó los ítems citados a continuación:

a) Selección del medio de comunicación

De acuerdo al análisis del siguiente cuadro, el medio de comunicación seleccionado es el alámbrico porque presenta características relevantes frente a los medios inalámbricos. Si bien la instalación de un medio guiado es costosa, se compensará a futuro con el hecho de tener mayor ancho de banda por lo que la red tendrá mayor capacidad, buena calidad en los servicios instalados debido al máximo rendimiento de la red, mayor alcance y sobretodo ofrece seguridad en la transmisión de información.

Tabla 4.12.- Cuadro comparativo de los medios de comunicación.

Característica comparativa	Medio Guiado	Medio no Guiado
Ancho de banda	Alto	Bajo
Alcance	Largas distancias	Limitado
Seguridad	Buena	Mala
Rendimiento de la red	Elevado	Bajo
Estética	Mala	Buena
Interferencias	Escasas	Considerables
Costo	Alto	Bajo

Elaborador por: El Investigador.

b) Selección del medio de transmisión

Los parámetros más importantes para elegir el canal o medio de transmisión son:

- El ancho de banda y capacidad máxima.
- La atenuación que sufre la señal al propagarse por dicho canal.
- Las interferencias con otras señales.

Una vez analizado los distintos medios de transmisión se concluyó que, el medio más propicio para la comunicación es el óptico que gracias a su composición puede adaptarse a diferentes condiciones geográficas. El cable de fibra óptica al ser más liviano facilita su instalación sobre redes viales, eléctricas, entre otras y ofrece beneficios como mayor ancho de banda, inmunidad a interferencias, excelente seguridad, altas velocidades en la transmisión de datos y otras características relevantes mencionadas en el apartado 2.2.9 y en la tabla 2.2. Todos estos beneficios que se obtiene al usar fibra óptica resuelven problemas de acceso y capacidad de redes en telecomunicaciones.

4.4.1 Tipo de tecnología para la transmisión de datos en la Provincia de Bolívar

De igual forma que en el apartado anterior se debe seleccionar el tipo de tecnología y topología que adoptará la red del nuevo sistema de comunicación, debido a que estos aspectos tienen gran influencia en su rendimiento y deben ser previstos al momento de planificar su diseño.

a) Selección de la tecnología en fibra óptica

En los sistemas de comunicaciones ópticas la tecnología de multicanalización utilizada para aprovechar la capacidad del canal durante la transmisión de información es WDM. Como se mostró en el apartado 2.2.13 la multiplexación por división de longitud de onda tiene dos variantes CWDM y DWDM. Es por ello que en la siguiente tabla se presenta un análisis comparativo entre estas dos técnicas de multiplexación.

Tabla 4.13.- CWDM vs DWDM. [50]

Características	CWDM	DWDM	DWDM
Uso	Redes LAN, MAN. FTCC, FTTB, FTTH	Redes MAN, WAN	Largo alcance
Banda utilizada	O, E, S, C y L	C, L	C, L, S
Canales por fibra	4-16	12-40	80-160
Espaciamiento entre canales	20 nm (2500GHz)	0.8 nm (100 GHz)	0.4 nm (50 GHz)
Capacidad por canal	2.5 Gbps	10 Gbps	10-40 Gbps
Capacidad de la fibra	20-40 Gbps	100-1000 Gbps	>1 Tbps
Tipo de laser	Uncooled DFB	Cooled DFB	Cooled DFB
Distancia alcanzada	80 Km (max)	Cientos de Km	Miles de Km
Costo	Bajo	Medio	Alto
Amplificador óptico	No	EDFA	EDFA, Raman

DWDM es sin duda, la tecnología que mejor aprovecha el ancho de banda que ofrece la fibra óptica, posee características más sobresalientes que CWDM, las mismas que se mencionan a continuación [51]:

- Facilidad al añadir nuevos nodos a la red.
- Se aplica para redes de larga distancia como redes metropolitanas e interurbanas de muy alta velocidad.
- DWDM aumenta la capacidad de transporte de la fibra a un costo accesible.
- Carece de retardos de conversión óptico-eléctrico-óptico.
- Utiliza longitudes de onda en lugar de ancho de banda.
- Permite la construcción de anillos ópticos flexibles para enviar la información en dos longitudes de onda distintas agregando redundancia la red.

- Escalabilidad para añadir o eliminar cables de comunicación de acuerdo a la demanda.
- Permite aumentar la capacidad de la fibra manteniendo la tecnología instalada.

Aunque CWDM cubre los requerimientos de ancho de banda, velocidad de transmisión y distancia esta tecnología sería incapaz de cubrir las mismas necesidades a largo plazo, ampliando la posibilidad de migrar a DWDM lo que representaría altos costos para una empresa.

b) Selección de la topología

Para seleccionar el tipo de topología se consideró la ubicación geográfica de las subestaciones, torres y/o postes, como se muestra en la siguiente figura las rutas de las líneas de subtransmisión que tiene la Corporación entre Guaranda, Guanujo, Echeandía, Caluma y Cochabamba toman la forma de un eslabón, por tal motivo, la futura red adoptará en ese entorno una topología doble anillo que entrelazará dichas subestaciones. Sin embargo, la S/E de Sicoto al estar apartada del resto de subestaciones, siendo Cochabamba la más próxima y acorde a la ruta de subtransmisión, adoptará una topología punto a punto con esta última, así podrá incorporarse a la red óptica con el resto de subestaciones.

De esta manera el nuevo sistema de comunicación dispondrá de una topología mixta, en donde un segundo hilo de fibra óptica servirá como respaldo del sistema, brindando a la red redundancia para aumentar la confiabilidad en la comunicación.

La topología doble anillo es una característica propia de la tecnología DWDM, esta tecnología refuerza la calidad de las comunicaciones ópticas en base a la configuración física de cada nodo dentro de la red, mientras más vías acceso tenga la información para llegar al destino, se considera más seguro y eficiente el medio de transmisión.



Figura 4.15.- Ubicación de las subestaciones eléctricas.
 Elaborado por: El Investigador.

c) Selección del tipo de fibra óptica

La fibra monomodo es por excelencia la idónea para enlaces de largas distancias, al elegir el tipo de fibra óptica se debe tener presente sus ventanas de operación, puesto que influye directamente con la atenuación y la distancia máxima entre enlaces, como se indicó en la tabla 2.4 la fibra SM trabaja en la segunda y tercera ventana que corresponde a las longitudes de onda de 1310 nm y 1550 nm respectivamente. Por lo tanto, se seleccionó la tercera ventana de operación, por ser empleada en redes de larga distancia con tecnología DWDM, además presenta baja atenuación en comparación a las otras ventanas ópticas.

Para sistemas con tecnología DWDM se tiene los siguientes tipos de fibra monomodo según las recomendaciones de la UIT-T:

- Recomendación UIT-T G.652: Fibra DNSF (fibra de dispersión no desplazada).
- Recomendación UIT-T G.655: Fibra NZDSF (fibra de dispersión desplazada no nula).

Sin embargo, no es posible utilizar la recomendación G.652 porque fue diseñada para trabajar de forma óptima en la segunda ventana, mientras que en la tercera ventana presenta alta dispersión limitando la distancia en enlaces de alta velocidad. Aunque se puede disminuir la dispersión utilizando compensadores de dispersión, esto representaría mayores costos en el proyecto.

En cambio, la fibra de la recomendación G.655 presenta dispersión cercana a cero en la ventana de 1550 nm, permite transmitir a grandes distancia y altas velocidades además no requiere de compensadores de dispersión. Por lo tanto, como este proyecto es un sistema de alta disponibilidad se empleará una fibra que cumpla con la recomendación G.655 y opere en la tercera ventana de transmisión.

Tabla 4.14.- Atributos de la fibra G.655.A. [52]

Atributo	Unidad	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μ m
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 μ m
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1450 nm
Pérdida de macroflexión	Pérdida de macroflexión	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,50 dB
Coeficiente de dispersión cromática	Valor mínimo de $D_{mín}$	0,1 ps/nm·km
	Valor máximo de $D_{máx}$	6,0 ps/nm·km
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Atributos del cable		
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km

d) Selección del tipo de cable de fibra óptica

Otro aspecto a considerar es el tipo de cable de fibra óptica que se va a emplear, como uno de los principales requerimientos de la Corporación es el uso de su propia infraestructura como torres metálicas y/o postes de hormigón se descartó de antemano el uso de cable subterráneo, entonces se tuvo en consideración los siguientes cables aéreos:

- Cable Óptico Dieléctrico (ADSS)
- Cable de Guarda con Fibra Óptica (OPWG)
- Cable Figura 8

Mediante un criterio de selección, se excluyó el cable OPGW debido a que se usa para líneas de transmisión nuevas o de remodelación y el cable figura 8 porque se emplea solo para el tendido en postes. Considerando aspectos como costos, instalación, vanos máximos y considerando los requerimientos de la CNEL, se eligió el cable ADSS. En la siguiente tabla se presenta las principales características de este tipo de cable de dos fabricantes:

Tabla 4.15.- Características de la fibra óptica de diferentes fabricantes.

Características	Grupo Prysmian	Furukawa
Proveedor en Ecuador	Enerpetrol	Bisson Line S.A. (GYE) Electro Instalaciones (Cuenca) Latinoamericana TCA (UIO)
Configuración	SM: Aéreo tipo ADSS	SM: Aéreo tipo ADSS
Número de Fibras	12 a 144 hilos	6-72 hilos
Vano máx.	900 m	800 m
Longitud Bobina	4 Km	4 Km
Temperatura	-30 °C a +70°C	-40 °C a 70 °C
Máxima atenuación	0.25 db/Km	0.35 db/Km
Tensión de torsión	24 kN	20 kN

Elaborado por: El Investigador.

De acuerdo a la tabla anterior los dos fabricantes ofrecen cables ópticos con características similares, sin embargo, la fibra del fabricante Prysmian tiene menor atenuación y cumple con todos los requerimientos del proyecto. Por lo tanto, en el proyecto se empleará fibra SM de tipo ADSS de 12 hilos del Grupo Prysmian con vanos máximos de 900 metros.

4.4.2 Selección de los equipos

A continuación, se muestra las características más sobresalientes de los equipos que formaran parte de la futura red óptica.

Equipos DWDM

El transceptor de pequeño factor de forma extraíble (SFP) 3977 es un módulo de la marca Cisco que sirve de interface entre equipos de comunicaciones (switch, router o conversor de medios) y un enlace de fibra óptica. Un SFP de multiplexión por división de longitud de onda densa se conecta a un puerto o ranura SFP de un switch o router para permitir aplicaciones Ethernet, Sonet/SDH y Fiber Channel a velocidades de 1 a 2 Gbps y puede alcanzar una distancia de hasta 40 Km. Además, el módulo emplea conectores LC con pulido PC o UPC pero no APC y opera a temperaturas de 0 a 70°C.

En sistemas de comunicación con tecnología DWDM, los equipos por excelencia son los proporcionados por la marca Cisco, capaces de alcanzar distancias de 20, 40, 80 y 120 Km, mientras que otras marcas como TP-Link ofrecen en el mercado equipos con un alcance de hasta 20 Km. Es por tal motivo que, en nuestro país, empresas con la Corporación Nacional de Telecomunicaciones opta por estas marcas al momento de adquirir equipos ópticos, en donde, la elección depende de la distancia y la compatibilidad con otras marcas.

Es así como se eligió el módulo SFP 3977 de Cisco, capaz de cubrir el enlace Echeandía-Caluma, el cual presenta una distancia aproximadamente de 40 Km entre nodos, además es compatible con switches ópticos de la misma marca lo que facilita la integración de los sistemas y amplía el poder de la tecnología selecciona.

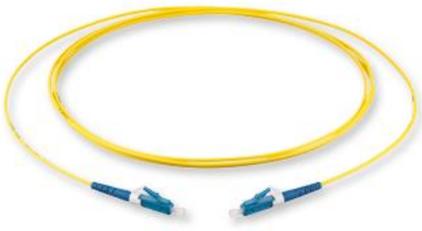
Tabla 4.16.- Parámetros técnicos del módulo DWDM SFP 3977. [53]

Módulo DWDM SFP 3977				
Marca	Cisco			
Parámetros	Símbolo	Mínimo	Máximo	Unidad
Voltaje de entrada	V_{cc}	3.1	3.5	V
Especificaciones de transmisor				
Ancho espectral			0.2	nm
Potencia de salida	P_{out}	0	4	dBm
Longitud de onda central		x - 100	x + 100	pm
Especificaciones de receptor				
Tipo de receptor				
Longitud de onda de entrada		1530	1565	nm
Potencia de entrada (OSNR 20 dB)	PIN	-28.0	-9.0	dBm
Potencia de entrada (OSNR 19 dB)	PIN	-22.0	-9.0	dBm

El módulo SFP 3977 es compatible con el switch Catalyst de la marca Cisco, pertenecientes a las series 29XX, 35XX y 3750, este switch óptico será el puente para la comunicación entre subestaciones. A continuación, se presenta las características del resto de equipos y materiales, adicionalmente en el Anexo I se muestran el datasheet de los equipos ópticos.

Tabla 4.17.- Características de otros equipos y materiales.

Detalle	Características
<p>Fibra óptica</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Fibra óptica: 12 hilos tipo ADSS. • Longitud del carrete: 4000 m. • Vano máximo: 900 m. • Tracción máxima: 24 kN. • Peso: 86 Kg/Km. • Radio mínimo de curvatura: 20 veces el diámetro del cable.

Detalle	Características
<p data-bbox="321 289 690 321">Switch Cisco Catalyst 3750</p> 	<ul data-bbox="824 289 1421 667" style="list-style-type: none"> • Puertos Ethernet 10/100/1000: 24 • Ranuras SFP uplinks: 4 • Admite enrutamiento IPv6 • Rendimiento ininterrumpido en capa 2 y 3 • Dimensiones: 4,4 x 44,5 x 37,8 cm • Temperatura de funcionamiento: 0 a 45°C • Tecnología de alimentación eléctrica PoE
<p data-bbox="467 690 544 722">ODF</p> 	<ul data-bbox="824 690 1430 953" style="list-style-type: none"> • Distribuidor óptico SM • Conectores: LC • Acopladores: 12 • Incluye accesorios para montaje en rack de telecomunicaciones.
<p data-bbox="370 1068 641 1100">Manga de empalme</p> 	<ul data-bbox="824 1068 1430 1331" style="list-style-type: none"> • Cierre hermético diseñado para la protección de empalmes de cables de fibra óptica en las redes de planta externa. • Capacidad de 12 empalmes y área de reserva.
<p data-bbox="423 1430 587 1461">Patch Cord</p> 	<ul data-bbox="824 1430 1284 1633" style="list-style-type: none"> • Patch Cord single-mode (9/125) • Longitud: 3 metros • Conectores: LC-LC • Pérdida por inserción: 0.20 dB

Elaborado por: El Autor.

Diagrama lógico de la nueva red óptica de comunicación

Para crear el diagrama lógico de la red se eligió la dirección IP 172.17.160.0 de clase B con máscara 255.255.192.0, de modo que cada subestación o nodo disponga de 63 direcciones IP para los IEDs, RTUs y medidores. Sin embargo, para los servicios de video vigilancia, datos de usuarios, telefonía IP se empleará una máscara de 27 como se observa a continuación.

Tabla 4.18.- Tabla de direccionamiento.

Subestación	IPs para nodos máscara 19		IPs para servicios corporativos máscara 27	
	Desde	Hasta	Desde	Hasta
Guaranda	172.17.160.0	172.17.160.63	172.17.161.128	172.17.160.159
Guanujo	172.17.160.64	172.17.160.127	172.17.161.160	172.17.161.191
Echeandía	172.17.160.128	172.17.160.191	172.17.161.192	172.17.161.223
Cochabamba	172.17.160.192	172.17.160.255	172.17.161.224	172.17.161.255
Sicoto	172.17.161.0	172.17.161.63	172.17.162.0	172.17.162.31
Caluma	172.17.161.64	172.17.161.127	172.17.162.32	172.17.162.63

Elaborado por: El Investigador.

Para tolerar fallos en la red se aplicará redundancia a través del protocolo HSRP (Hot Standby Router Protocol). Este protocolo propiedad de Cisco trabaja a nivel de capa 3 con routers y switches multicapa, su funcionamiento se basa en determinar a un equipo como maestro y otro como respaldo los cuales intercambian mensajes para conocer el estado del otro, si el equipo de respaldo no recibe mensajes del maestro dentro de un tiempo de 10 segundos asume que éste está fuera de servicio por algún motivo y toma su lugar automáticamente, pero de modo transparente para los otros nodos. La siguiente figura representa la topología lógica de la red y consiste en la manera en que los hosts acceden a los switches para enviar datos y compartir información.

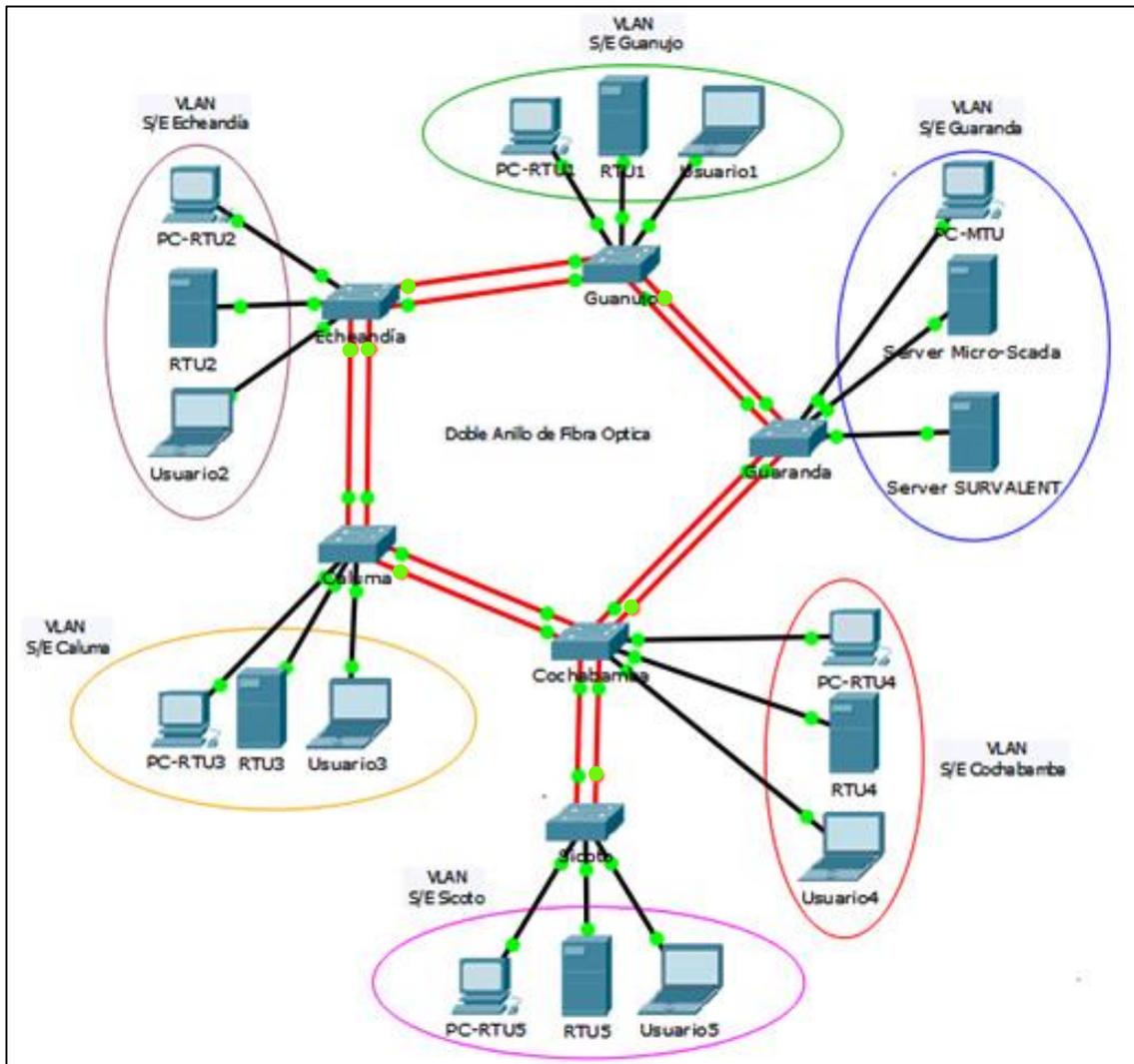


Figura 4.16.- Topología lógica de la nueva red.
Elaborado por: El Investigador.

Diagrama físico de la nueva red óptica de comunicación

La siguiente figura muestra la forma física en que la fibra conecta los equipos ópticos de las subestaciones eléctricas. Como se puede observar las subestaciones de Guaranda, Guanajuo, Echeandía, Caluma y Cochabamba presentan una topología en forma de doble anillo, enlazadas de tal manera que uno de los anillos transmitirá en sentido contrario al segundo anillo, pero no al mismo tiempo para evitar el colapso de la información, la misma lógica presenta Sicoto pero con topología punto a punto.

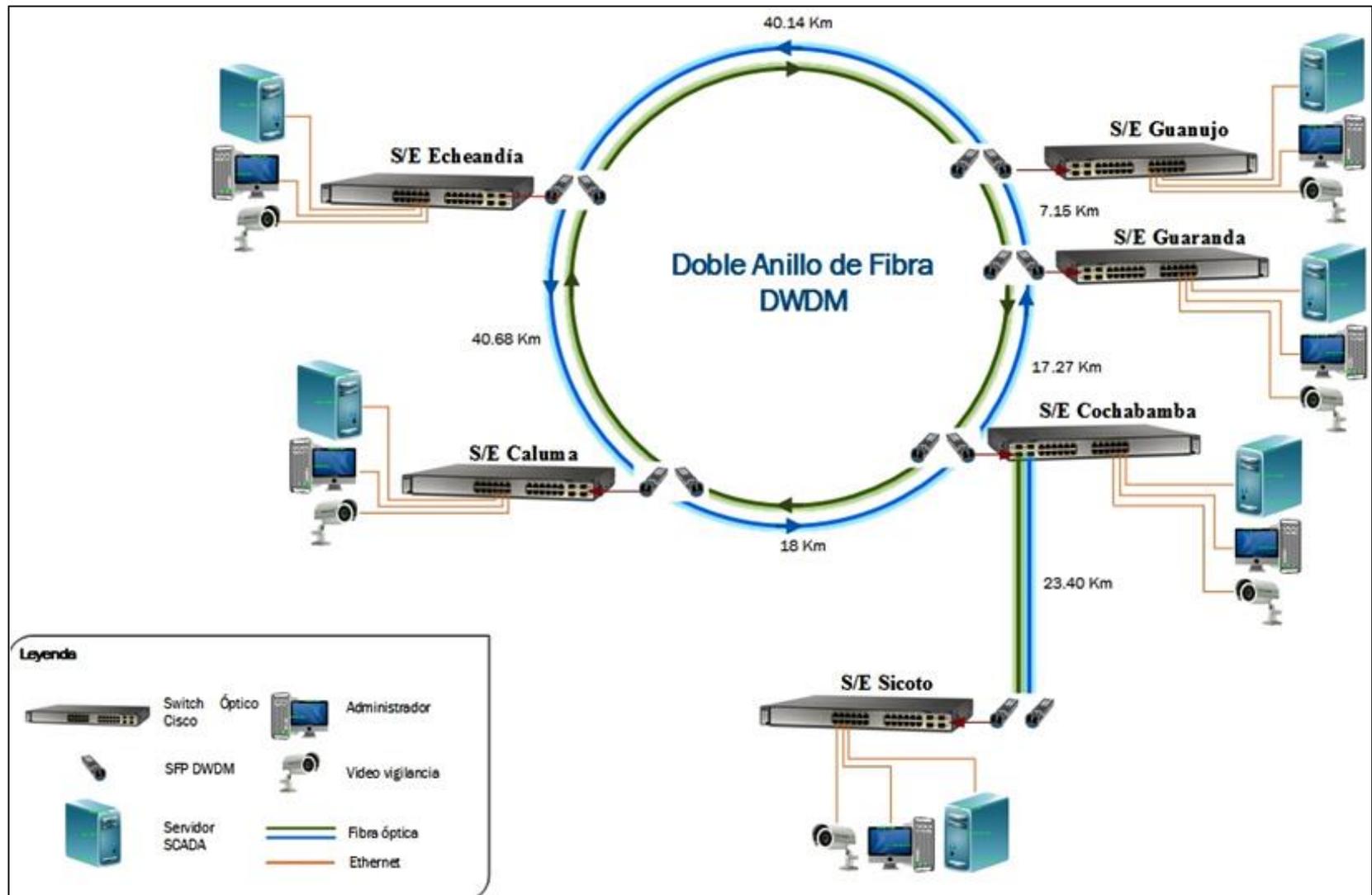


Figura 4.17.- Topología física de la nueva red.
Elaborado por: El Investigador.

4.5 Cálculos generales para los enlaces de fibra óptica

Una vez que se han elegido los equipos que formarán parte del nuevo sistema de comunicación, se describen algunos parámetros importantes dentro de los cálculos de cada enlace.

4.5.1 Atenuación total

Un parámetro que va de la mano con el diseño de un enlace de fibra óptica es la atenuación total del enlace, para ello se considera la siguiente ecuación:

$$A_t = A_f + A_e + A_c + M_s \quad [4.1]$$

Donde:

A_t : Atenuación total (dB)

A_f : Atenuación por kilómetro de fibra (dB/Km)

A_e : Atenuación por empalme (dB)

A_c : Atenuación por conector (dB)

M_s : Margen de seguridad (dB)

a) Atenuación por kilómetro de fibra

Las pérdidas en la fibra se obtienen del producto entre la longitud total del enlace por el coeficiente de atenuación de la fibra, este último parámetro depende del tipo de fibra selecciona para el enlace, en este caso la fibra presenta una atenuación de 0.20 dB/Km. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$A_c = L * \alpha_L \quad [4.2]$$

Donde:

L : Longitud total del cable o fibra (Km)

α_L : Coeficiente de atenuación de la fibra (dB/Km)

Tabla 4.19.- Pérdidas por fibra óptica.

Enlace	L (Km)	α_L (dB/Km)	A_f (dB)
Guaranda-Guanujo	6,50	0,20	1,30
Guanujo-Echeandía	36,49	0,20	7,30
Echeandía-Caluma	36,98	0,20	7,40
Guaranda-Cochabamba	15,70	0,20	3,14
Cochabamba-Sicoto	21,27	0,20	4,25

Elaborado por: El Investigador.

b) Pérdidas por empalme

Las pérdidas por empalme adoptan el valor que se obtiene de la siguiente ecuación:

$$A_e = n_e * \alpha_e \quad [4.3]$$

Para calcular el número de empalmes se emplea la siguiente ecuación además se considera que los empalmes por fusión tienen una atenuación de 0.10 dB.

$$n_e = \left(\frac{L}{L_c} \right) + 1 \quad [4.4]$$

Donde:

α_e : Coeficiente de atenuación por empalme

n_e : Número de empalmes

L_c : Longitud del carrete (Km)

Tabla 4.20.- Pérdidas por empalmes.

Enlace	L (Km)	L_c (Km)	n_e	α_e	A_e(dB)
Guaranda-Guanujo	6,50	4	3	0,10	0,30
Guanujo-Echeandía	36,49	4	11	0,10	1,30
Echeandía-Caluma	36,98	4	11	0,10	1,30
Guaranda-Cochabamba	15,70	4	5	0,10	0,70
Cochabamba-Sicoto	21,27	4	7	0,10	0,80

Elaborado por: El Investigador.

c) Pérdidas por conectores

El número de conectores por su coeficiente de atenuación da lugar a las pérdidas por conector. Para este diseño se consideró una fibra de 12 hilos mientras que el coeficiente de atenuación es 0,20 dB, pérdida correspondiente a los conectores de tipo LC. Matemáticamente se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$A_c = n_c * \alpha_c \quad [4.5]$$

Donde:

n_c : Número de conectores

α_c : Coeficiente de atenuación por conector

Tabla 4.21.- Pérdidas por conectores.

Enlace	n_c	α_c (dB)	A_c(dB)
Guaranda-Guanujo	12	0,20	2,40
Guanujo-Echeandía	12	0,20	2,40
Echeandía-Caluma	12	0,20	2,40
Guaranda-Cochabamba	12	0,20	2,40
Cochabamba-Sicoto	12	0,20	2,40

Elaborado por: El Investigador.

d) Margen de seguridad

En un enlace de fibra óptica es imprescindible dejar reservas de atenuación para futuras reparaciones o cortes que eventualmente se pueden presentar en el cable óptico. Para este diseño la CNEL EP Bolívar empleará una reserva de atenuación de 0.3 dB/Km, sin embargo, se puede adoptar valores de entre 0.1 a 0.6 dB/Km y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Md = L * \alpha_r \quad [4.6]$$

Donde:

α_r : Reserva de atenuación (dB/Km)

Tabla 4.22.- Reservas de atenuación.

Enlace	L (Km)	α_r (dB/Km)	Md(dB)
Guaranda-Guanujo	6,50	0,30	1,95
Guanujo-Echeandía	36,49	0,30	10,95
Echeandía-Caluma	36,98	0,30	11,09
Guaranda-Cochabamba	15,70	0,30	4,71
Cochabamba-Sicoto	21,27	0,30	6,38

Elaborado por: El Investigador.

e) Resumen de atenuaciones por enlace

En la siguiente tabla se presenta la atenuación total que tendrá el diseño del proyecto por enlace, siendo Guanujo-Echeandía y Echeandía-Caluma los enlaces con mayor atenuación, debido a la gran distancia que presenta estas rutas y al número de empalmes que se necesita realizar para cubrir en su total con el tendido de fibra óptica entre nodos.

Tabla 4.23.- Atenuación total por enlace.

Enlace	A_f(dB/Km)	A_e(dB)	A_c(dB)	M_s(dB)	A_t(dB)
Guaranda-Guanujo	1,30	0,30	2,40	1,95	5,95
Guanujo-Echeandía	7,30	1,30	2,40	10,95	21,95
Echeandía-Caluma	7,40	1,30	2,40	11,09	22,19
Guaranda-Cochabamba	3,14	0,70	2,40	4,71	10,95
Cochabamba-Sicoto	4,25	0,80	2,40	6,38	13,84

Elaborado por: El Investigador.

4.5.2 Cálculo de la potencia mínima de recepción

El cálculo de este parámetro permite determinar si el enlace es confiable o no, para lo cual es indispensable utilizar los parámetros de transmisión y recepción del equipo DWDM detallado en la tabla 4.16. Empleando dichos datos y la siguiente ecuación se pudo obtener la potencia mínima de recepción para cada enlace.

$$P_t(dBm) - P_{mr}(dBm) = \Sigma \text{Atenuaciones}(dB) \quad [4.7]$$

Donde

$P_t(dBm)$: Potencia de transmisión

$P_{mr}(dBm)$: Potencia mínima de recepción

Tabla 4.24.- Potencia mínima de recepción.

Enlace	P_t(dBm)	Σ Atenuaciones(dB)	P_{mr}(dBm)
Guaranda-Guanujo	4	5,95	-1,95
Guanujo-Echeandía	4	21,95	-17,95
Echeandía-Caluma	4	22,19	-18,19
Guaranda-Cochabamba	4	10,95	-6,95
Cochabamba-Sicoto	4	13,84	-9,84

Elaborado por: El Investigador.

Según las especificaciones técnicas del equipo de recepción, con una potencia de transmisión de 4 dBm la potencia de recepción resultante de cada enlace está dentro del rango de la potencia de recepción mínima que es de -22 dBm.

4.5.3 Margen de potencia

Se conoce que la potencia de un transmisor óptico de 1550 nm es 4 dBm, mientras que la potencia de recepción mínima es -22 dBm, entonces para el margen de potencia se tiene el siguiente balance:

$$M_p = P_t - P_r \quad [4.8]$$

Donde:

M_p : Margen de potencia (dBm)

P_t : Potencia de transmisión (dBm)

P_r : Potencia de recepción (dBm)

$$M_p = 4 - (-22)$$

$$M_p = 26 \text{ (dBm)}$$

El margen de potencia indica el máximo de pérdidas que podrá tener el enlace, si observamos la tabla 4.22 que indica la atenuación total por enlace ninguno de ellos sobrepasa el valor del margen de potencia, por lo tanto, no se requiere de repetidores en ningún enlace.

4.5.4 Tasa de bit errado (BER)

Un parámetro que garantiza la integridad de los datos es el BER (Bit Error Ratio), esta medida cuantitativa evalúa la calidad de la información recibida, es decir, relaciona el número de bits erróneos recibidos con respecto al número total de bits transmitidos en un

periodo de tiempo determinado. Si el número de bits erróneos aumenta la calidad de la señal se reducirá de tal modo que será imposible descifrar el mensaje transmitido.

$$BER = \frac{\text{Número de bits errados}}{\text{Número de bits transmitidos}} \quad [4.9]$$

Los valores de BER típicamente son de 10^{-12} sin embargo para redes con tecnología DWDM son de 10^{-15} por lo tanto tiene alta confiabilidad. [31] En sistemas de transmisión digital estos valores se ponderan de la siguiente manera:

- Sistemas muy buenos: $BER = 10^{-9}$ a 10^{-12}
- Sistemas buenos: $BER = 10^{-6}$ a 10^{-8}
- Sistemas degradados: $BER = 10^{-3}$ a 10^{-5}
- Sistemas muy malos: $BER < 10^{-3}$

4.5.5 Ruido Óptico

En sistemas ópticos el ruido se conoce como OSNR y es la relación entre la potencia neta de la señal y la potencia neta del ruido. Si bien las fibras ópticas son inmunes a todo tipo de interferencias, esto no ocurre en los transmisores, receptores, amplificadores y circuitos electrónicos, por lo que la variación de la señal a ruido dependerá de estos elementos. [17] Matemáticamente se expresa como:

$$OSNR = 10 \log \frac{P_s}{P_n} \quad [4.10]$$

Donde:

$OSNR$: Relación señal a ruido óptico (dB)

P_s : Potencia neta de la señal (dB)

P_n : Potencia neta del ruido (dB)

Si los valores de OSNR están dentro del rango de 15 a 20 dB, se obtiene un BER aceptable de 10^{-12} . [34] Es por ello que, para constatar estos valores se seleccionó el enlace Echeandía-Caluma, puesto que dentro de la nueva red este enlace representa el peor de todos, por ser el más extenso con una distancia aproximada de 36,98 Km. En las comunicaciones ópticas, se conoce que los enlaces de cortas distancias presentan mínima atenuación por lo que la integridad de la información no se ve afectada, descartando así el hecho de tener a futuro inconvenientes con el resto de enlaces.

4.5.6 Ancho de banda

El ancho de banda se obtiene de acuerdo a la dispersión total de la fibra mediante la siguiente fórmula:

$$AB = \frac{1}{2\Delta t} \quad [4.11]$$

pero

$$\Delta t = D * L \quad [4.12]$$

y

$$D = D_c \Delta \lambda \quad [4.13]$$

Donde:

Δt : Dispersión total (ps/Km)

D : Dispersión de la fibra (ps/Km)

D_c : Dispersión cromática (ps/nm·Km)

$\Delta \lambda$: Ancho espectral de la fuente (nm)

L : Longitud total de la fibra (Km)

Para fibras monomodo que trabajan en la tercera ventana de transmisión la dispersión cromática es de 20 ps/nm·Km y como fuente generadora del haz de luz emplea un láser el cual tiene un ancho espectral de 0,7 nm.

Tabla 4.25.- Ancho de banda por enlace.

Enlace	D_c (ps/nm·Km)	Δλ (nm)	D (ps/Km)	L (Km)	Δt (ps/Km)	AB (GHz)
Guaranda-Guanujo	20	0,70	14	6,50	91	5,65
Guanujo-Echeandía	20	0,70	14	36,49	510,86	1,00
Echeandía-Caluma	20	0,70	14	36,98	517,72	0,99
Guaranda-Cochabamba	20	0,70	14	15,70	219,8	2,33
Cochabamba-Sicoto	20	0,70	14	21,27	297,78	1,71

Elaborado por: El Investigador.

Como se puede observar en la tabla anterior, el enlace Guaranda-Guanujo es el que ofrecerá mayor ancho de banda dentro de la red, esto se debe a que el tramo es de tan solo 6,50 Km de distancia mientras que, Echeandía-Caluma es el enlace que menor ancho de banda ofrecerá al sistema de comunicación. El ancho de banda es un valor que está asociado con la distancia del enlace y la dispersión (modal o material), porque a mayor distancia existe mayor atenuación lo que limitan el número de bits que se puede transmitir por el enlace.

4.6 Requerimientos del canal de transmisión

4.6.1 Estimación de requerimiento de ancho de banda para sistemas de telefonía de voz sobre IP

La tecnología de voz sobre IP (VoIP) consiste en transmitir la voz a través de paquetes IP, la señal analógica generada por la voz es convertida en información digital, su compresión y posterior descompresión hasta llegar al receptor se realiza a través de paquetes. Requiere de un cierto ancho de banda para su correcto funcionamiento, esta transferencia de datos se

mide en bits por segundo (bps), el proceso de conversión de la señal analógica a digital se lo realiza a través de un códec. Se debe tener claro algunos conceptos para calcular el ancho de banda necesario para VoIP como:

Códec: Es una abreviatura de codificador-decodificador, este estándar convierte el sonido en señal digital y viceversa. Como se indica en la siguiente tabla existen ocho diferentes codecs cuyo tamaño de muestreo es el número de bytes capturados por el Procesador de Señal Digital (DSP) en cada intervalo de muestreo. [54]

Tabla 4.26.- Principales códecs. [54]

Códec	G.711	G.729	G.723.I	G.726	G.728	G722_64k	ilbc_mode _20	ilbc_mode _30
Tasa (Kbps)	64	8	6,3 o 5,3	32 o 24	16	64	15,2	13,33

Tamaño total del paquete: La estructura de un paquete IP está formado por la cabecera de capa 2 por lo general Ethernet, en las capas de transporte se tiene el protocolo IP/UDP/RTP, seguido de la carga útil.

Tabla 4.27.- Paquete IP. [55]

Nivel 2	IP 20 octetos	UDP 8 octetos	RTP 12 octetos	Carga útil N octetos
18 bytes (Ethernet)	40 bytes			20 bytes (20 ms de retardo)

La corporación utiliza teléfonos IP de marca ATCOM modelo AT-610P con los siguientes códecs: G.711A/u, G722, G.723, G.726-32 y G.729. Para el cálculo se empleará el códec G.729 con una tasa de 8 Kbps, este códec mantiene un equilibrio entre reducido ancho de banda y una excelente calidad de audio razón por lo cual, es el más empleado en telefonía de VoIP porque se encuentra en la mayoría de teléfonos IP vendidos en el mercado

Para calcular el ancho de banda requerido por llamada se emplea la siguiente fórmula:

$$AB = \text{tamaño total de paquetes} * pps \quad [4.14]$$

Donde pps es paquetes por segundo y se calcula de la siguiente forma:

$$pps = \frac{\text{tasa de bits del codec}}{\text{tamaño de la carga útil de voz}} \quad [4.15]$$

$$pps = \frac{8 \text{ Kbps}}{20 \text{ bytes}}$$

$$pps = 50$$

Para calcular el tamaño total de paquete se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{tamaño total del paquete} = (\text{cabecera de capa 2}) + (\text{cabecera IP/UDP/RTP}) + (\text{tamaño de la carga útil de voz}) \quad [4.16]$$

$$\text{tamaño total del paquete} = 18 \text{ bytes} + 40 \text{ bytes} + 20 \text{ bytes}$$

$$\text{tamaño total del paquete} = 78 \text{ bytes} * 8$$

$$\text{tamaño total del paquete} = 624 \text{ bits}$$

Por lo tanto, el ancho de banda será:

$$AB = 624 \text{ bits} * 50$$

$$AB = 31,2 \text{ Kbps}$$

Además, es necesario calcular el número de llamadas simultáneas mediante la siguiente fórmula: [20]

$$\text{Llamadas simultaneas} = \frac{\text{Ancho de banda requerido}}{2 * \text{Ancho de banda de voz}}$$

$$AB \text{ requerido} = \text{llamadas simultaneas} * 2 * AB \text{ de voz}$$

$$AB \text{ requerido} = 1 * 2 * 31.2 \text{ Kbps}$$

$$AB \text{ requerido} = 62,4 \text{ Kbps}$$

El ancho de banda requerido es de 62,4 Kbps por terminal telefónico, en cada subestación se estima un operador generador de tráfico a excepción de S/E Guaranda en donde se requiere un terminal telefónico para el área de Bodega I, Bodega II, Centro de Control, Recepción y Despacho lo que dan un total de 312 Kbps de ancho de banda solo para esta subestación.

4.6.2 Estimación de requerimiento de ancho de banda para sistemas de video vigilancia

Para determinar el ancho de banda que demanda la transmisión de video sobre IP se debe considerar los siguientes aspectos [20]:

- Número de cámaras instaladas en cada subestación.
- Técnica de compresión: Consiste en comprimir a su máxima expresión una imagen con la menor pérdida posible para su almacenamiento o trasmisión.
- Número de imágenes transmitidas por segundo (FPS): Se refiere al número de fotogramas por segundo que el sistema es capaz de enviar, para aplicaciones de video se requiere como mínimo de 24 FPS para tener una calidad aceptable de video.
- Tamaño de la imagen: Depende de la cámara que se use, a mayor tamaño existe mayor consumo de ancho de banda.

Considerando los parámetros antes mencionados, se tomó como referencia las cámaras instaladas en la matriz, modelo IPC6321-VR de la marca HUAWEI. Algunas de las características se muestran en la siguiente figura, destacando parámetros como: técnica de compresión H.264/MPEG-4 y 25 fotogramas por segundo, además dentro de las

características técnicas de la cámara se especifica que emplea 9 KB como tamaño de la imagen.

El estándar de compresión de video MPEG-4 es ampliamente usado para la transmisión de imágenes en movimiento por Internet, soporta aplicaciones que requieren calidad extremadamente alta de video utilizando menor ancho de banda.

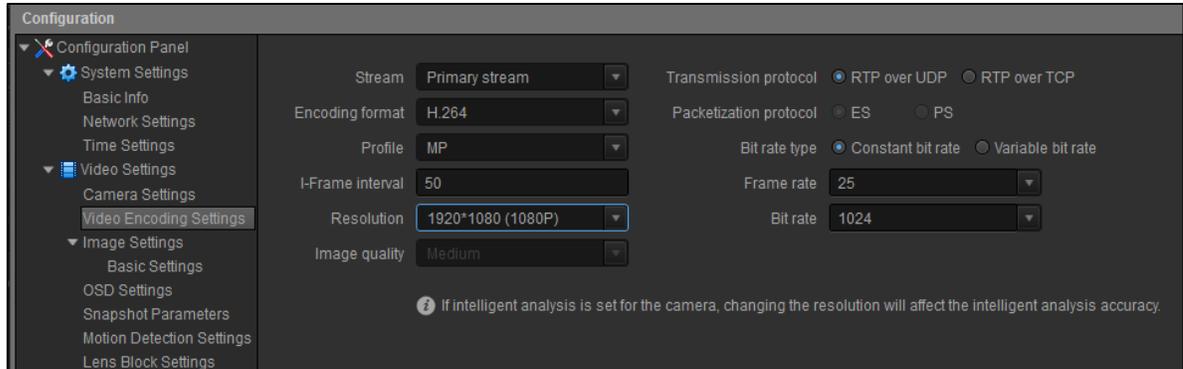


Figura 4.18.- Interfaz de cámara IP HUAWEI.
Elaborado por: El Investigador.

La siguiente fórmula se emplea para calcular el ancho de banda expresado en bps [56]:

$$AB = FPS * bits \text{ por imagen} * \% \text{ de actividad} * 8 \quad [4.18]$$

$$AB = 25 * 9000 \frac{\text{bytes}}{\text{imagen}} * 80\% * 8$$

$$AB = 1,44 \text{ Mbps}$$

Por lo tanto, se requerirá un ancho de banda de 1,44 Mbps por cada cámara instalada en una subestación, además se estimó un porcentaje de actividad del 80% ya que en la mayoría de subestaciones existe poca actividad por parte del personal. En la siguiente tabla se detalla el número de cámaras internas y externas que la Corporación requiere instalar en cada subestación eléctrica.

Tabla 4.28.- Ancho de banda para video vigilancia.

Subestación	Cámaras Internas	Cámaras Externas	Total	AB Total (Mbps)
Guaranda	3	4	7	10,08
Caluma	1	2	3	4,32
Echeandía	1	3	4	5,76
Guanujo	1	2	3	4,32
Cochabamba	1	2	3	4,32
Sicoto	1	2	3	4,32

Elaborado por: El Investigador.

4.6.3 Estimación de requerimiento de ancho de banda para el sistema SCADA

En general los sistemas SCADA requieren un ancho de banda relativamente bajo para enviar o recibir datos, por medio del análisis del tráfico de datos en todas las subestaciones eléctricas a través de The Dude se determinó este valor en 1 Mbps, como se muestra en la siguiente tabla este valor está en el orden de los Kbps.

Tabla 4.29.- Demanda de ancho de banda para el SCADA.

Subestación	Tx (Kbps)	Rx (Kbps)
Guaranda	45,60	45,60
Guanujo	85,60	7,7
Echeandía	1,75	1,5
Caluma	81,8	39,6
Cochabamba	82,4	22,4
Sicoto	123,1	5,7

Elaborado por: El Investigador.

4.6.4 Estimación de requerimiento de ancho de banda para internet

El ancho de banda requerido para tener acceso a internet por subestación se obtiene de la siguiente fórmula, en donde, de acuerdo a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) el ancho de banda básico por usuario en Latinoamérica es de 256 Kbps.

$$AB = C * G \quad [4.19]$$

Donde:

AB: Ancho de banda requerido

C: Ancho de banda por usuario

G: Estimación de personas conectadas a internet

Tabla 4.30.- Demanda de ancho de banda para internet.

S/E	Usuarios	Internet (Kbps)	Total AB (Kbps)
Guaranda	19	256	4864
Guanujo	3	256	768
Echeandía	3	256	768
Caluma	3	256	768
Cochabamba	3	256	768
Sicoto	3	256	768

Elaborado por: El Investigador.

A continuación, se presenta en forma general la capacidad total de canal que demanda la Corporación para el nuevo sistema de comunicación. En donde se constata que, la subestación Guaranda es la dependencia que más ancho de banda demanda, debido a que en sus instalaciones se encuentra el Centro de Control con los servidores del SCADA Survalent y ABB además posee otros departamentos con un mayor número de usuarios en relación a las otras subestaciones, los mismos que demandan más servicios con mayor calidad y velocidad.

Tabla 4.31.- Requerimiento total de ancho de banda.

S/E	VoIP (Kbps)	Video-vigilancia (Mbps)	Scada (Mbps)	Internet (Kbps)	Total (Mbps)
Guaranda	312	10,08	1	4864	16,13
Guanujo	62,4	4,32	1	768	6,13
Echeandía	62,4	5,76	1	768	7,57
Caluma	62,4	4,32	1	768	6,13
Cochabamba	62,4	4,32	1	768	6,13
Sicoto	62,4	4,32	1	768	6,13
				Total	48,22

Elaborado por: El Investigador.

Se estima que la CNEL Bolívar requiere como mínimo un ancho de banda de 1 Gbps para poner en marcha los nuevos servicios corporativos, este ancho de banda es el mismo que brinda el módulo SFP 3977 en conjunto con el switch óptico Cisco Catalyst 3750.

4.7 Diseño del sistema de comunicación

4.7.1 Ubicación del proyecto

El proyecto se encuentra localizado en los cantones Guaranda, Chimbo, San Miguel, Echeandía y Caluma de la provincia Bolívar. Parte desde la S/E Guaranda ubicado a 2595 m.s.n.m enlazando las subestaciones Guanujo, Echeandía, Caluma, Cochabamba y Sicoto hasta llegar nuevamente al punto de salida cerrando la comunicación en forma de anillo. La ubicación con respecto a la altura sobre el nivel del mar corresponde a las zonas I y II, siendo el punto más alto 2963 m.s.n.m que corresponde a Guanujo y el punto más bajo Caluma con 320 m.s.n.m.

4.7.2 Selección de la ruta

Para la selección de la ruta se consideró la infraestructura existente en la CNEL Bolívar, la información de torres metálicas y postes fueron obtenidas a través del departamento del GIS, al analizarla se verificó que la línea de subtransmisión a 69 kV Guaranda-Cochabamba, construida en 1992 es mixta porque presenta estructuras de torres y postes de hormigón característica que comparte con la línea Guaranda-Guanujo y Cochabamba-Sicoto construidas en 1996 y 2002 respectivamente. Sin embargo, la línea de subtransmisión Guanujo-Echeandía construida en 2007 posee solo estructuras metálicas, así como Cochabamba-Caluma, ésta última construida en 2013. También se constató que entre las subestaciones Echeandía-Caluma la CNEL no cuenta con línea de subtransmisión sino más bien con línea de distribución, es decir, en esta ruta existen solo postes y no torres de metálicas.



Figura 4.19.- Rutas de las torres de transmisión.
Elaborado por: El Investigador.

En el Anexo II se muestra en detalle información sobre las líneas de subtransmisión de todas las subestaciones eléctricas. La siguiente tabla muestra el total de postes y torres metálicas instaladas entre subestaciones.

Tabla 4.32.- Estructuras entre subestaciones.

Subestación de Salida	Subestación de Llegada	Voltaje	N° torres	N° postes	Distancia total (Km)	Vano máximo (m)
Guaranda	Guanujo	69 kV	10	13	6,47	798,20
Guanujo	Echeandía		83	2	36,42	1177,14
Echeandía	Caluma	13.8 kV	0	597	36,39	517,81
Guaranda	Cochabamba	69 kV	17	30	15,68	1226,69
Cochabamba	Sicoto		31	28	21,33	836,55

Elaborador por: El Investigador.

Infraestructura existente

Las torres y postes existentes entre cada subestación permiten conectar los circuitos alimentadores de energía eléctrica. La altura de las torres va desde los 16 hasta los 30 metros mientras que los postes oscilan entre 11 y 18 metros siendo 35 años su tiempo de vida útil. Las torres metálicas de las líneas de subtransmisión a 69 kV son auto-soportadas de forma tronco piramidal con tratamiento de acero galvanizado resistente a la corrosión y presentan características como:

- Peineta protectora contra pájaros.
- Dispositivos de protección anti-trepado.
- Escalones para trepado, facilitando la subida del personal de mantenimiento.
- Para zonas con laderas las torres poseen patas de diferentes longitudes para aprovechar el desnivel natural del terreno y alcanzar mayores alturas.



Figura 4.20.- Torre metálica de la S/E Cochabamba.
Elaborado por: El Investigador.

4.7.3 Ubicación de la fibra óptica en las torres de transmisión

Como muestra la siguiente figura el cable de fibra óptica será fijado por debajo del hilo de guarda y las tres fases de la torre, a una distancia igual a la distancia entre fases de modo que, guarde simetría con respecto al vano y flecha que hacen el resto de cables suspendidos entre las estructuras metálicas.

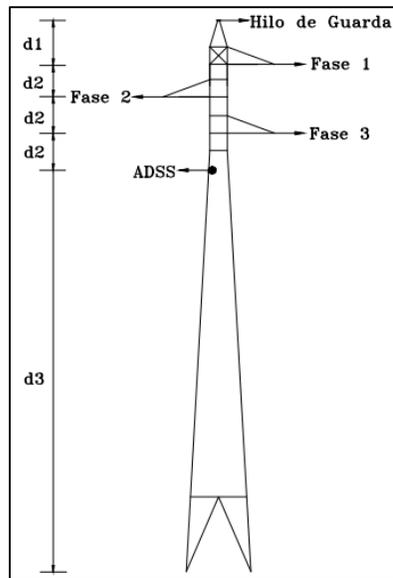


Figura 4.21.- Ubicación del cable ADSS.
Elaborado por: El Investigador.

4.7.4 Ubicación de otros equipos, estructuras y accesorios

A lo largo del tendido del cable óptico se debe emplear equipos y accesorios que aporten al correcto funcionamiento de la red, entre ellos tenemos:

Postes: Durante el reconocimiento de las rutas se constató que existen vanos sumamente largos y teniendo en cuenta que el máximo vano que cubre el cable de fibra óptica es de 900 metros, se consideró que para vanos excedentes a este valor se debe colocar postes intermedios de este modo se reduce la sobrecarga en las torres evitando la rotura de los conductores o el desbalanceamiento longitudinal de la torre. Además, la ruta Echeandía-Caluma requiere proyección de postería con la finalidad de acortar el recorrido del cable de fibra óptica hacia la subestación de destino.

Herrajes: Un herraje es un elemento metálico que permite la fijación, protección eléctrica o mecánica, separación, etc. de los conductores o cables. Para el diseño del proyecto se instalará algunos herrajes como:

- **Herraje Tipo A:** Llamado también herraje de retención es utilizado en cambios de dirección de la ruta, tramos mayores o igual a 90 metros, al inicio y final de un enlace y después de dos herrajes B consecutivos.
- **Herraje Tipo B:** Llamado también herraje de suspensión, se utiliza para tramos rectos en la ruta cuya distancia es menor a 90 metros.

Todos los herrajes y accesorios deben ser de acero o hierro protegidos contra la acción corrosiva de la atmósfera mediante galvanizado por inmersión en caliente. Los herrajes que se emplean para la retención de fibra ADSS en torres metálicas están formados de una abrazadera de retención tipo "L" seguido de un clevis thimble con su respectivo preformado.



Figura 4.22.- Herraje de retención para cable ADSS en torres eléctricas.
Elaborado por: El Investigador.

- **Cruce americano:** Se emplea en las intersecciones de calles en donde los cables toman diferentes direcciones y los postes no permiten el adecuado tendido, esta clase de herrajes evitan que los cables pasen sobre casas, cerramientos o edificaciones. En el diseño del proyecto, la ruta Echeandía-Caluma es la única que presenta este tipo de herrajes.
- **Amortiguador:** Los amortiguadores son utilizados para evitar la vibración eólica, este fenómeno causado por el viento puede provocar roturas en los cables, herrajes y apoyos. El número de amortiguadores depende de las condiciones climáticas, distancia entre torres y/o postes, tipo de cable y parámetros de instalación.



Figura 4.23.- Amortiguador en cable óptico ruta Guaranda-Riobamba propiedad de TRANSELECTRIC.
Elaborado por: El Investigador.

En la siguiente tabla se indica el número de amortiguadores a emplear según la distancia entre estructuras.

Tabla 4.33.- Guía general para el número de amortiguadores requeridos. [57]

Distancia entre estructuras (m)	No. De Amortiguadores	Ubicación
0-75	0	No requiere
76-200	2	Uno a cada lado del soporte o herraje
201-400	4	Dos a cada lado del soporte o herraje
401-800	6	Tres a cada lado del soporte o herraje

Manga de empalme y reservas: La manga de empalme es un accesorio fabricado de materiales que protegen a la fibra óptica de radiaciones UV, el sellado de la manga es un aspecto muy importante porque debe ser duradero y mantener su hermeticidad. La capacidad de una manga puede variar entre 12, 24, 48 hasta 96 hilos y su elección dependerá del tipo de instalación y el número de hilos a fusionar. [58]

Tomando en consideración que el carrete de fibra mide 4 Km se dejó 500 m. de reserva por bobina, distribuidos de tal manera que se disponga de 50 m. de reserva cada 500 m. de distancia, así como al inicio y final de cada enlace.

ODF: Un distribuidor óptico es un accesorio que se utiliza para conectar físicamente la fibra que proviene desde planta externa hacia las interfaces de los equipos de transmisión. En su interior contiene la charola de empalmes en donde se organiza la fibra, una vez preparado el cable en la parte externa presenta un mecanismo de salida de patchcords con adaptadores. Se debe instalar un ODF por estación o dos por enlace distribuidos uno a cada extremo del enlace.

Pigtail: Un pigtail está formado por cordones de fibra normalmente cortos, en un extremo presenta una fibra descubierta para ser empalmada a la fibra del cable principal y el otro extremo sirve como interfaz para los equipos. Los pigtails de fibra óptica pueden ser

monomodo y multimodo y se pueden encontrar en versiones de pulido PC, UPC y APC. [59]

Patchcord: Un cordón de fibra óptica o patchcord es un cable cuya longitud va desde 1 a 30 metros, en sus dos extremos tiene instalados conectores que usualmente son de una sola fibra (simplex) o de dos fibras (duplex) pero también se los encuentra como un arreglo de multifibras. Los patchcords se usan para interconectar directamente dos equipos activos, un equipo activo a un equipo pasivo (ODF) o conectar dos equipos pasivos. [60]

4.7.5 Longitud total del enlace

Tomando en cuenta que cada enlace no presenta derivaciones hasta llegar a su destino sus respectivas longitudes se detallan en la siguiente tabla, así como en los planos del Anexo III correspondiente al diseño total del proyecto realizado en AutoCAD, a estos valores se le debe sumar el 10% de la longitud del enlace para las reservas que se dejan cada 500 metros en los postes y/o torres a lo largo del enlace, en el caso de que exista roturas en el cable.

Tabla 4.34.- Longitud de los enlaces.

Subestación de Salida	Subestación de Llegada	Longitud (Km)	Reserva (m)	Total de cable (Km)
Guaranda	Guanujo	6,50	650	7,15
Guanujo	Echeandía	36,49	3.649	40,14
Echeandía	Caluma	36,98	3.698	40,68
Guaranda	Cochabamba	15,70	1.570	17,27
Cochabamba	Sicoto	21,27	2.127	23,40

Elaborador por: El Investigador.

El diseño presenta un total de 128,63 Km de tendido de fibra óptica y cada bobina de fibra tiene una longitud de 4 Km, es decir:

$$\frac{\text{Longitud del enlace}}{\text{Longitud de la bobina}} = \text{Número de bobinas}$$

$$\frac{128,63 \text{ Km}}{4 \text{ Km}} = 33 \text{ bobinas}$$

Se necesita un total de 33 bobinas para cubrir con los enlaces propuestos en el diseño.

4.8 Simulación de la red propuesta

A continuación, se presenta la simulación de la red propuesta en OptiSystem 13.0 de Optiwave, si bien el software está diseñado para trabajar con enlaces ópticos también puede ser aplicado para otros medios de transmisión. OptiSystem incorpora una serie de librerías de transmisores y receptores ópticos, amplificadores, filtros, tipos de fibras, etc. e incluye instrumentos virtuales como analizadores de espectros ópticos, analizadores WDM, diagramas de ojo, analizador BER, siendo este último el parámetro de calidad básico en los sistemas de transmisión digital.

La simulación del enlace Echeandía-Caluma se puede observar en la siguiente figura, el diseño del sistema consta de un transmisor DWDM de 12 canales con un espaciamiento de 0.8 nm y una capacidad de 1 Gbps cada uno. Los canales son multiplexados a una única señal que es transmitida a través de una fibra de 40 Km de longitud hasta un demultiplexor DWDM para ser extraídos a su forma original y puedan llegar al receptor óptico.

A la salida del MUX se colocó un analizador WDM para obtener algunos detalles de las señales, mientras que al final del receptor se conectó un analizador de tasa de error de bit (BER) así como de un analizador del diagrama del ojo. La codificación utilizada para transportar los datos es Sin Retorno a Cero (NRZ, Nor Return to Zero) por ser el primer sistema de codificación y el más simple. La codificación NRZ consiste en transformar un '0' en un nivel de tensión negativo V- y un '1' en un valor de tensión positivo V+ resultando en una codificación polar en donde la señal nunca es nula. [61]

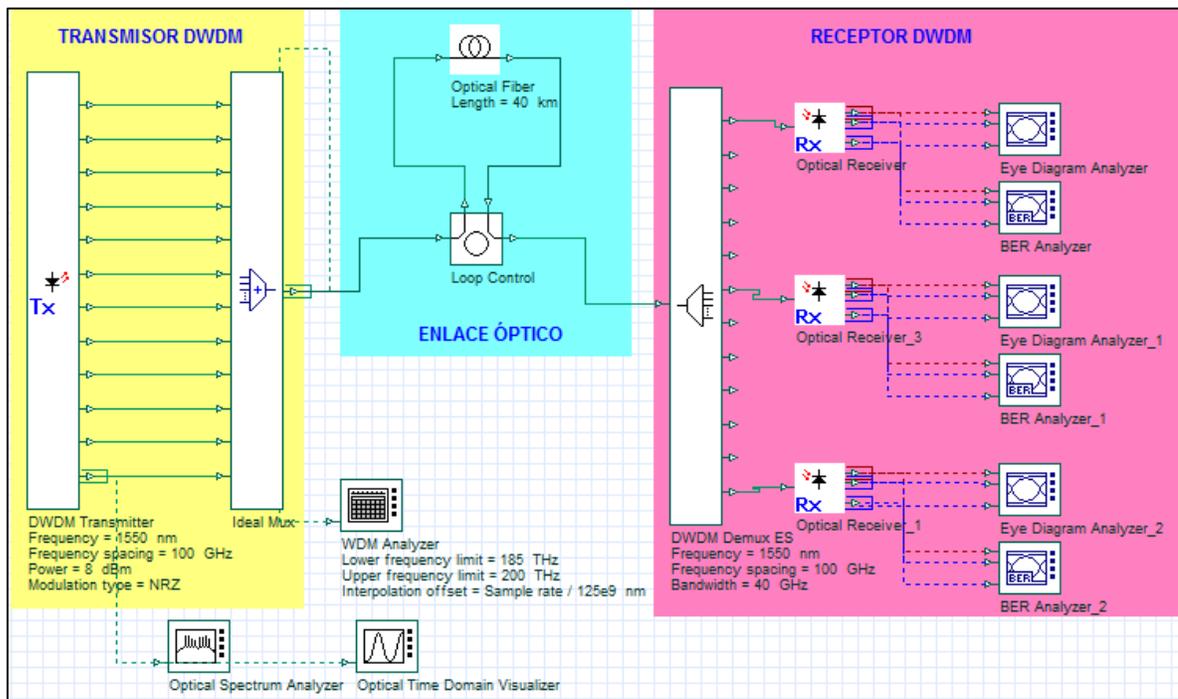


Figura 4.24 .- Simulación del enlace Echeandía-Caluma.

Elaborado por: El Investigador.

En la siguiente tabla se presenta los parámetros utilizados para la simulación los cuales fueron tomados de la red en OptiSystem.

Tabla 4.35.- Parámetros de la simulación.

Parámetro	Valor
Frecuencia de Tx	190 THz
Espaciamento entre canales	100 GHz
Potencia de Tx	4 dBm
Tipo de modulación	NRZ
Longitud de la fibra	40 Km
Coefficiente de atenuación de cable	0.25 dB/Km
Dispersión	15-19 ps/nm·km
Longitud de onda	1550 nm
Receptor óptico	PIN

Elaborado por: El investigador.

Análisis de resultados

Para determinar la calidad de la transmisión fue necesario analizar el diagrama del ojo, que básicamente representa la superposición de las distintas combinaciones de unos y ceros que se propagan en cierto tiempo. Las señales transmitidas presentan ciertas características como amplitud de la señal, tiempos de subida y bajada, niveles de ruido y desfases. El análisis consiste en comparar el diagrama del ojo con modelos de máscara preestablecidos que establece regiones específicas en el diagrama que las señales no deben sobrepasar. Si la señal se introduce en dichas regiones existirían problemas o errores en la transmisión.

La siguiente figura representa la medición del BER del primer receptor óptico de la simulación, se puede observar que el diagrama del ojo está limpio (figura a) por lo tanto se tiene una apertura amplia del mismo lo que significa que existe mayor tolerancia al ruido y mejor sensibilidad del receptor, además no se observa señales que violen las regiones no permitidas (figura b) lo que garantiza un óptimo desempeño del sistema.

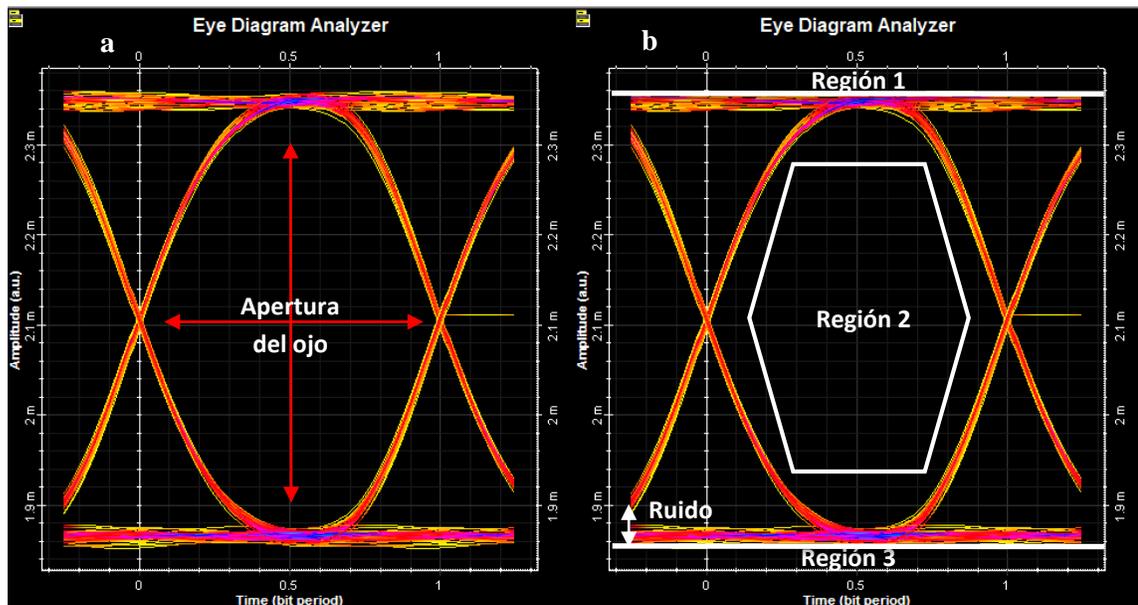


Figura 4.25.- Diagrama del ojo: Apertura del ojo (a). Regiones (b).

Elaborado por: El Investigador.

Por otro lado, el analizador WDM arrojó una serie de valores correspondientes a cada longitud de onda, de los cuales los valores de OSNR fueron satisfactorios debido a que se

encontraban bordeando los 17.456122 y 17.480254 (dB), considerados dentro del rango establecido para obtener una BER aceptable de 10^{-12} , es decir que de cada billón de bits transmitidos uno es erróneo.

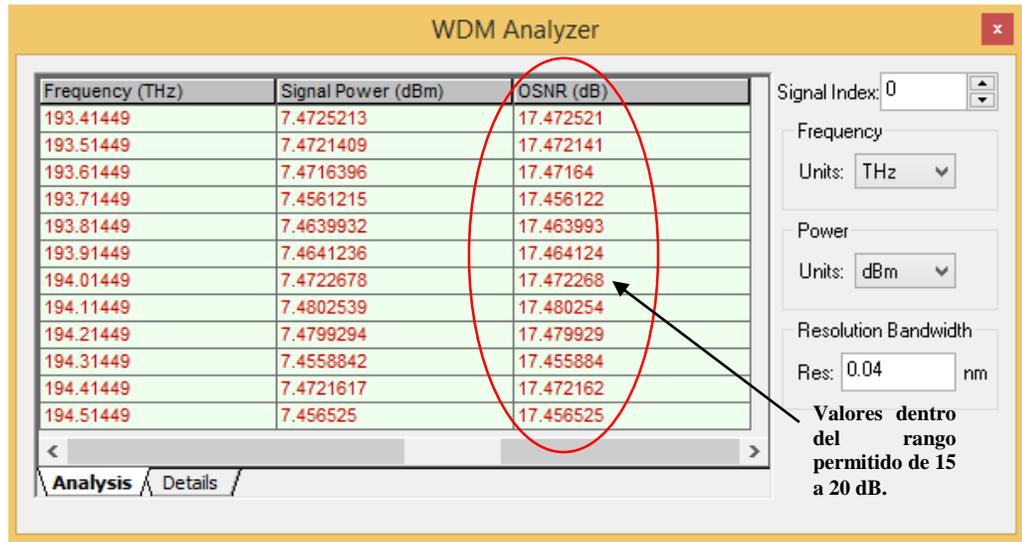


Figura 4.26.- Análisis WDM.
Elaborado por: El Investigador.

4.9 Elaboración del presupuesto del proyecto

En este apartado se detalla el presupuesto referencial de lo que implicaría implementar el diseño, los costos se establecieron en base a las ofertas de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones en el año 2015. Con el análisis realizado en los apartados anteriores se pudo determinar los equipos y accesorios necesarios para la implementación del proyecto. A continuación se detalla los costos que conlleva la implementación del proyecto por cada enlace, en donde se hace un desglose individual de la cantidad de materiales a emplear por nodo, para finalmente establecer el costo total del nuevo sistema de comunicación de alta disponibilidad, en donde también se incluye los costos por montaje de equipos, estructuras y el 12 % de IVA.

Tabla 4.36.- Presupuesto referencial del enlace Guaranda-Guanujo.

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)
	Materiales				
1	Cable de fibra óptica tipo ADSS de 12 hilos G.655	m	7.150	2,13	15.229,50
2	Manga de empalme tipo domo (incluye pigtails)	u	1	312,46	312,46
3	ODF 12 hilos - terminación LC/UPC	u	2	264,69	529,38
4	Switch Óptico Cisco Catalyst 3750	u	1	11.800,00	11.800,00
5	Transceiver Cisco DWDM SFP 3977	u	4	8.829,68	35.318,72
6	Herraje tipo A o retención	jgo	13	16,84	218,92
7	Abrazadera de retención tipo "L"	u	22	20,00	440,00
8	Accesorios de retención	jgo	22	29,35	645,70
9	Amortiguador tipo espiral	u	76	10,79	820,04
10	Portareserva	u	14	69,20	968,80
11	Patch cord G.655 LC-LC 3m	u	4	19,00	76,00
12	Accesorios para bajantes	jgo	1	12,55	12,55
Montaje de equipos y estructuras					
1	Tendido del cable óptico	Km	7,15	850,00	6.077,50
2	Prueba reflectométrica de fibra óptica	H	12	12,00	144,00
3	Empalme de fibra óptica	u	36	12,00	432,00
4	Instalación manga de empalme	u	1	9,94	9,94
5	Instalación ODF	u	2	6,39	12,78
Subtotal					73.048,29

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 4.37.- Presupuesto referencial del enlace Guaujuo-Echeandía.

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)
	Materiales				
1	Cable de fibra óptica tipo ADSS de 12 hilos G.655	m	40.140	2,13	85.498,20
2	Manga de empalme tipo domo (incluye pigtails)	u	10	312,46	3.124,60
3	ODF 12 hilos - terminación LC/UPC	u	2	264,69	529,38
4	Switch Óptico Cisco Catalyst 3750	u	1	11.800,00	11.800,00
5	Transceiver Cisco DWDM SFP 3977	u	4	8.829,68	35.318,72
6	Herraje tipo A o retención	jgo	13	16,84	218,92
7	Abrazadera de retención tipo "L"	u	166	20,00	3.320,00
8	Accesorios de retención	jgo	166	29,35	4.872,10
9	Amortiguador tipo espiral	u	426	10,79	4.596,54
10	Portareserva	u	85	69,20	5.882,00
11	Patch cord G.655 LC-LC 3m	u	4	19,00	76,00
12	Accesorios para bajantes	jgo	10	12,55	125,50
13	Poste de hormigón (18 m)	u	12	1.454,28	17.451,36
	Montaje de equipos y estructuras				
1	Tendido del cable óptico	Km	40,14	850,00	34.119,00
2	Prueba reflectométrica de fibra óptica	H	12	12,00	144,00
3	Empalme de fibra óptica	u	144	12,00	1.728,00
4	Instalación manga de empalme	u	10	9,94	99,40
5	Instalación ODF	u	2	6,39	12,78
6	Montaje poste de hormigón (inclu. transporte y excavación)	u	12	730,00	8.760,00
				Subtotal	217.676,50

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 4.38.- Presupuesto referencial del enlace Echeandía-Caluma.

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)
	Materiales				
1	Cable de fibra óptica tipo ADSS de 12 hilos G.655	m	40.680	2,13	86.648,40
2	Manga de empalme tipo domo (incluye pigtails)	u	10	312,46	3.124,60
3	ODF 12 hilos - terminación LC/UPC	u	2	264,69	529,38
4	Switch Óptico Cisco Catalyst 3750	u	1	11.800,00	11.800,00
5	Transceiver Cisco DWDM SFP 3977	u	4	8.829,68	35.318,72
6	Herraje tipo A o retención	jgo	288	16,84	4.849,92
7	Herraje tipo B o sujeción	jgo	333	16,48	5.487,84
8	Portareserva	u	91	69,20	6.297,20
9	Patch cord G.655 LC-LC 3m	u	4	19,00	76,00
10	Accesorios para bajantes	jgo	10	12,55	125,50
11	Poste de hormigón (18 m)	u	24	1.454,28	34.902,72
12	Cruce americano	u	5	74,40	372,00
	Montaje de equipos y estructuras				
1	Tendido del cable óptico	Km	40,68	850,00	34.578,00
2	Prueba reflectométrica de fibra óptica	H	12	12,00	144,00
3	Empalme de fibra óptica	u	144	12,00	1.728,00
4	Instalación manga de empalme	u	10	9,94	99,40
5	Instalación ODF	u	2	6,39	12,78
6	Montaje poste de hormigón (inclu. transporte y excavación)	u	24	730,00	17.520,00
				Subtotal	243.614,46

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 4.39.- Presupuesto referencial del enlace Guaranda-Cochabamba.

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)
	Materiales				
1	Cable de fibra óptica tipo ADSS de 12 hilos G.655	m	17.270	2,13	36.785,10
2	Manga de empalme tipo domo (incluye pigtails)	u	4	312,46	1.249,84
3	ODF 12 hilos - terminación LC/UPC	u	2	264,69	529,38
4	Switch Óptico Cisco Catalyst 3750	u	1	11.800,00	11.800,00
5	Transceiver Cisco DWDM SFP 3977	u	4	8.829,68	35.318,72
6	Herraje tipo A o retención	jgo	34	16,84	572,56
7	Abrazadera de retención tipo "L"	u	34	20,00	680,00
8	Accesorios de retención	jgo	34	29,35	997,90
9	Amortiguador tipo espiral	u	196	10,79	2.114,84
10	Portareserva	u	35	69,20	2.422,00
11	Patch cord G.655 LC-LC 3m	u	4	19,00	76,00
12	Accesorios para bajantes	jgo	4	12,55	50,20
13	Poste de hormigón (18 m)	u	2	1.454,28	2.908,56
Montaje de equipos y estructuras					
1	Tendido del cable óptico	Km	17,27	850,00	14.679,50
2	Prueba reflectométrica de fibra óptica	H	12	12,00	144,00
3	Empalme de fibra óptica	u	72	12,00	864,00
4	Instalación manga de empalme	u	4	9,94	39,76
5	Instalación ODF	u	2	6,39	12,78
6	Montaje poste de hormigón (inclu. transporte y excavación)	u	2	730,00	1.460,00
Subtotal					112.705,14

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 4.40.- Presupuesto referencial del enlace Cochabamba-Sicoto.

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)
	Materiales				
1	Cable de fibra óptica tipo ADSS de 12 hilos G.655	m	23.400	2,13	49.842,00
2	Manga de empalme tipo domo (incluye pigtails)	u	6	312,46	1.874,76
3	ODF 12 hilos - terminación LC/UPC	u	2	264,69	529,38
4	Switch Óptico Cisco Catalyst 3750	u	2	11.800,00	23.600,00
5	Transceiver Cisco DWDM SFP 3977	u	8	8.829,68	70.637,44
6	Herraje tipo A o retención	jgo	30	16,84	505,20
7	Abrazadera de retención tipo "L"	u	62	20,00	1.240,00
8	Accesorios de retención	jgo	62	29,35	1.819,70
9	Amortiguador tipo espiral	u	254	10,79	2.740,66
10	Portareserva	u	47	69,20	3.252,40
11	Patch cord G.655 LC-LC 3m	u	8	19,00	152,00
12	Accesorios para bajantes	jgo	6	12,55	75,30
13	Poste de hormigón (18 m)	u	2	1.454,28	2.908,56
Montaje de equipos y estructuras					
1	Tendido del cable óptico	Km	23,4	850,00	19.890,00
2	Prueba reflectométrica de fibra óptica	H	12	12,00	144,00
3	Empalme de fibra óptica	u	96	12,00	1.152,00
4	Instalación manga de empalme	u	6	9,94	59,64
5	Instalación ODF	u	2	6,39	12,78
6	Montaje poste de hormigón (inclu. transporte y excavación)	u	2	730,00	1.460,00
Subtotal					181.895,82

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 4.41.- Presupuesto referencial del enlace Cochabamba-Caluma.

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)
	Materiales				
1	ODF 12 hilos - terminación LC/UPC	u	2	264,69	529,38
2	Switch Óptico Cisco Catalyst 3750	u	1	11.800,00	11.800,00
3	Transceiver Cisco DWDM SFP 3977	u	4	8.829,68	35.318,72
4	Patch cord G.655 LC-LC 3m	u	4	19,00	76,00
Montaje de equipos y estructuras					
1	Prueba reflectométrica de fibra óptica	H	12	12,00	144,00
2	Empalme de fibra óptica	u	96	12,00	1.152,00
3	Instalación ODF	u	2	6,39	12,78
				Subtotal	49.032,88

Elaborado por: El Investigador.

La siguiente tabla muestra el presupuesto referencial total del proyecto desglosado por enlaces en donde se incluye el IVA.

Tabla 4.42.- Presupuesto total del proyecto.

Presupuesto referencial sistema de comunicación de alta disponibilidad	
Descripción	Costo (USD)
Enlace Guaranda-Guanujo	73.048,29
Enlace Guanujo-Echeandía	217.676,50
Enlace Echeandía-Caluma	243.614,46
Enlace Guaranda-Cochabamba	112.705,14
Enlace Cochabamba-Sicoto	181.895,82
Enlace Cochabamba-Caluma	49.032,88
Subtotal	877.973,09
IVA 12%	105.356,77
TOTAL	983.329,86

Elaborado por: El Investigador.

4.10 Elaboración del proyecto bajo el formato exigido por la SENPLADES

En el Anexo IV se muestra el proyecto realizado en formato SENPLADES, uno de los requisitos de la Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública Unidad de Negocio Bolívar.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Al analizar el actual Sistema de Comunicación de la CNEL EP Bolívar se constató que, los enlaces operan en las bandas no licenciadas de 2,4 y 5,8 GHz con equipos de radio MikroTik y Proxim en donde el protocolo inalámbrico de comunicación está configurado por defecto o a su vez en el estándar 802.11 sin mejoras, afectando la velocidad de transmisión y contribuyendo a la pérdida de información en el canal de comunicación. Además, las largas distancias entre repetidores y la decadencia de los equipos al estar expuestos a las inclemencias del clima hacen que estos pierdan su funcionalidad.
- La calidad del canal de transmisión de los radioenlaces es regularmente buena, sin embargo, durante su monitoreo se determinó que el enlace Lourdes-Cuchicagua presenta inconvenientes en el flujo de información, debido a que trabaja en la banda congestionada de 2.4 GHz, en donde el protocolo de comunicación dentro de la configuración del equipo de radio no está especificado. Además de presentar alta latencia en la transmisión de datos, muestra un alto piso de ruido y la relación señal ruido presenta un nivel bajo lo que afecta la estabilidad de la señal.

- El análisis de los medios de comunicación determinó que, la fibra óptica es el medio guiado más eficiente y seguro, que permite alcanzar grandes distancias con altas velocidades sin la necesidad de repetidores. Donde el cable óptico de tipo ADSS estándar G.655 cumple con las necesidades de la CNEL EP Bolívar, a más de emplear las estructuras existentes como postes y torres propiedad de la Corporación, la red se complementa con una topología doble anillo para brindar al nuevo sistema redundancia en el caso de fallos y alta disponibilidad durante la prestación de servicios.
- El diseño del proyecto confirmó que, para el tendido de la fibra óptica ADSS será indispensable colocar postes intermedios en vanos superiores a 900 metros, que es la distancia máxima que cubre la fibra óptica entre vanos. Es así como se evitará el desbalanceamiento longitudinal de las torres de transmisión o el rompimiento de la fibra por exceder la tensión nominal especificada por el fabricante, además de una flecha con una distancia tan larga que la catenaria que forma la fibra entre estructuras rozaría el piso dejando al cable óptico expuesto a daños.
- La simulación de la red óptica en OptiSystem permitió conocer la confiabilidad del sistema, los resultados obtenidos fueron satisfactorios puesto que los valores de OSNR estuvieron dentro del rango permitido entre 15 y 20 dB suficiente para obtener una BER de 10^{-12} sinónimo de un buen sistema de comunicación.
- La elaboración del documento en formato SENPLADES permitirá a la CNEL EP Bolívar adjudicar el proyecto de mejora de infraestructura al Portal de Compras Públicas, además al acogerse a los objetivos del Plan Nacional de Buen Vivir 2013-2017, poseerá las pautas necesarias para encaminar el proyecto a los requerimientos de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo en beneficio de la Corporación.

RECOMENDACIONES

- Realizar mantenimientos periódicos a los equipos de radio, antenas, tensores, grilletes, puestas a tierra y torres de transmisión con la finalidad de evitar daños en sus componentes electrónicos y demás accesorios debido a las condiciones climáticas a las que están expuestos.
- Cambiar los enlaces que trabajan en las bandas 2.4 GHz a 5.8 GHz para mejorar significativamente la calidad y capacidad de los enlaces, de la misma manera configurar el protocolo de comunicación de los equipos de radio, como en la mayoría de los enlaces se emplea equipos de comunicación MikroTik lo apropiado es ejecutar el protocolo inalámbrico NV2 con estándar 802.11 ac.
- Simular los enlaces de comunicación inalámbrica en un software que permita gestionar y monitorear todos los dispositivos que conforma la red en tiempo real y de manera remota, así se tomará de manera oportuna las acciones correctivas ante posibles caídas en la comunicación entre la central y las subestaciones eléctricas. Debido a que la totalidad de los enlaces utilizan equipos MikroTik, The Dude es el software ideal para realizar el monitoreo de la red inalámbrica, puesto que fue creado para administrar equipos de dicha marca.
- En el diseño del proyecto se aconseja el uso de tecnología DWDM, debido a que está desarrollada para trabajar en enlaces de larga distancia y sobre todo al no requerir de repetidores sino a partir de 60 Km de distancia, permitirá a la red utilizar solo elementos pasivos a lo largo de la ruta de fibra óptica, compensando de esta manera los altos costos que implicaría la adquisición de equipos para Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa.

REFERENCIAS

- [1] E. Núñez, «Sistema Alternativo de transmisión de datos entre la central y las subestaciones de la Empresa Eléctrica Cotopaxi con tecnología DWDM: Repositorio Universidad Técnica de Ambato,» Enero 2015. [En línea]. Available: http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10591/1/Tesis_t985ec.pdf. [Último acceso: 26 Abril 2015].
- [2] U. Roberto, «Auditoría operativa de la red para el mejoramiento del sistema de transmisión de datos en la Corporación Nacional de Electricidad Regional Bolívar: Repositorio Universidad Técnica de Ambato,» Abril 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2345>. [Último acceso: 30 Abril 2015].
- [3] O. Carlos, «Plan de acción de un canal de comunicación por fibra óptica para la optimización del flujo de información en el sistema de sub-transmisión de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.: Repositorio Universidad Técnica de Ambato,» Febrero 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2326>. [Último acceso: 30 Abril 2015].
- [4] M. C. España, Comunicaciones ópticas: conceptos esenciales y resolución de ejercicios., Díaz de Santos, 2005.
- [5] Universidad de la República, «Sistemas de Comunicación: Instituto de Ingeniería Eléctrica,» [En línea]. Available: <http://ie.fing.edu.uy/ense/assign/siscom/teorico/clases/clase1.pdf>. [Último acceso: 01 Mayo 2015].
- [6] R. Ibarra y M. López, Principios de teoría de las comunicaciones, Limusa, 1999, pp. 9-10.
- [7] W. Tomasi, Sistemas de comunicaciones electrónicas, Cuarta ed., México: Pearson

Educación, 2003, p. 467.

- [8] E. Herrera Pérez, *Tecnologías y redes de transmisión de datos.*, Primera ed., Limusa, 2003, p. 81.
- [9] A. Tanenbaum, *Redes de computadoras*, Cuarta ed., Pearson Education, 2003.
- [10] J. M. Martínez-Duart, *Optoelectrónica y comunicación óptica*, vol. VII, Madrid: CSIC - CSIC Press, 1988, p. 179.
- [11] B. Fontal, «Salones Virtuales: El espectro magnético y sus aplicaciones,» Diciembre 2005. [En línea]. Available: http://recursos.salonesvirtuales.com/wp-content/uploads/bloques/2012/07/espectro_electromagnetico.pdf. [Último acceso: 04 Mayo 2015].
- [12] B. Fontal, «Salones Virtuales: El espectro magnético y sus aplicaciones,» Diciembre 2005. [En línea]. Available: http://recursos.salonesvirtuales.com/wp-content/uploads/bloques/2012/07/espectro_electromagnetico.pdf. [Último acceso: 04 Mayo 2015].
- [13] D. F. Grosz, «Sistemas de Comunicación por Fibra Óptica de Alta Calidad: Universidad Nacional Mayor de San Marcos,» [En línea]. Available: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualdata/publicaciones/consejo/boletin51/enPDF/a03.pdf>. [Último acceso: 05 Mayo 2015].
- [14] E. I. Fernández Gómez, *Conocimientos y aplicaciones tecnológicas para la dirección comercial*, Madrid: ESIC, 2004, p. 22.
- [15] M. Drinkard, «Fiber Optic: Voxtv,» 7 Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://www.voxtv.ca/fiber-optic/>. [Último acceso: 20 Abril 2015].
- [16] I. González Gormaz, *Técnicas y procesos en las instalaciones singulares en los*

edificios: instalaciones electrotécnicas, Segunda ed., Madrid: Paraninfo, 2007, p. 98.

- [17] A. Castro y R. Fusario, Teleinformática para ingenieros en sistemas de información., Segunda ed., vol. II, Reverte, Ed., Barcelona, 1999.
- [18] C. Mximiliano, «Procesos de fabricación de fibras ópticas: Repositorio Universidad de Belgrano,»_Marzo_2003._[En_línea]._Available:
http://repositorio.ub.edu.ar:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1602/34_cordoba.pdf?sequence=1. [Último acceso: 05 Mayo 2015].
- [19] M. C. España, «Editorial Díaz de Santos: Comunicaciones Ópticas,» 2005. [En línea]._Available:
<http://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479786854.pdf>. [Último acceso: 31 Agosto 2015].
- [20] R. X. Román, «Diseño de la ampliación de la red de comunicación de EMELNORTE utilizando fibra óptica y tecnología inalámbrica: Repostorio Digital EPN,» Febrero 2010. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3731>. [Último acceso: 08 Septiembre 2015].
- [21] O. Santa Cruz, «Universidad Tecnológica Nacional: Introducción Fibra Óptica,» [En línea]._Available:
<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/PlantelExterior/IntroduFO2.pdf>. [Último acceso: 25 Agosto 2015].
- [22] Á. G. Ríos Lara, «Transmisión de información multicanalizada utilizando rejillas de difracción y modulación acusto óptica: Biblioteca Digital de la Universidad de Sonora,»_2012._[En_línea]._Available:
<http://www.bidi.uson.mx/tesisDet.aspx?crit1=IDUT&texto1=22787&crit2=TITULO&texto2=>. [Último acceso: 07 Mayo 2015].
- [23] Á. Benavides Flores, «Diseño de una red con fibra óptica utilizando tecnología

- DWDM desde la ciudad de Cotacachi hasta el sector de Apuela: Repositorio Universidad Técnica del Norte,» 19 Junio 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4465/1/04%20RED%20056%20TESIS.pdf>. [Último acceso: 29 Noviembre 2015].
- [24] L. C. Hinojosa Gómez, «Tópicos selectos de fibra óptica,» 2007. [En línea]. Available: <http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Topicos%20selectos%20de%20fibra%20optica.pdf>. [Último acceso: 06 05 2015].
- [25] The Fiber Optic Association, Inc. [FOA], «Guide to Fiber Optics & Premises Cabling,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.thefoa.org/ESP/Conectores.htm>. [Último acceso: 27 Mayo 2015].
- [26] R. González, «Redes de Datos,» 3 Junio 2015. [En línea]. Available: <http://ldc.usb.vc/~rgonzalez/telematica/Capitulo8.pdf>.
- [27] P. S. Fuertes, «Estudio y diseño de un backbone de fibra óptica para un carrier con tecnología DWDM y soporte GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching): Repositorio Digital Escuela Politécnica Nacional,» Julio 2006. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5021/1/T10102.pdf>. [Último acceso: 1 Septiembre 2015].
- [28] F. Behrouz, Data Communications and Networking, Cuarta ed., H. Media, Ed., McGraw-Hill, 2007, p. 169.
- [29] I. Pérez, «Dispositivos y Medios de Transmisión: Universidad Carlos III de Madrid,» [En línea]. Available: <http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/dispositivos-y-medios-de-transmision-opticos/material-de-clase-1/modulo-6-tecnicas-de-multiplexacion>. [Último acceso: 15 Junio 2015].
- [30] R. Guitiérrez Catrejón, Hacia Un Sistema de Telecomunicaciones Completamente

Óptico., México: UNAM, 2005, pp. 18-19.

- [31] D. Buelvas, I. Téllez y E. Mateus, «Redes Ópticas DWDM: Diseño e implementación,» Diciembre_2009._[En línea]._Available: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4169349.pdf. [Último acceso: 31 Agosto 2015].
- [32] FS.COM (Fiberstore), «CWDM VS DWDM: FS.COM,» 18 Junio 2014. [En línea]. Available: <http://www.fs.com/cwdm-vs-dwdm-aid-63.html>. [Último acceso: 1 Agosto 2015].
- [33] J. M. Sanchez, «Dispositivos y Medios de Transmisión Óptica: Universidad Carlos III de Madrid,» [En línea]. Available: <http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/dispositivos-y-medios-de-transmision-opticos/material-de-clase-1/modulo-1-emisores-opticos-tipos-y-parametros-caracteristicos>. [Último acceso: 03 Septiembre 2015].
- [34] G. Armas y G. Montero, «Estudio y diseño mediante la técnica de transmisión DWDM para la red SDH del anillo central de la ciudad de Guayaquil de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones E.P, e integración a la Red Nacional: Repositorio Digital EPN,» Octubre 2012. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5169/1/CD-4544.pdf>. [Último acceso: 03 Septiembre 2015].
- [35] FOA: The Fiber Optic Association, «Guide To Fiber Optics & Premises Cabling: FOA,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>. [Último acceso: 3 Septiembre 2015].
- [36] C. d. R. Flores, «Diseño de la Red de Transporte Alternativa para Tráfico Internacional de TRANSELECTRIC S.A. con Tecnología DWDM: Repositorio Digital ESPE,»_2007._[En línea]._Available: repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/425/1/T-ESPE-02592.pdf. [Último acceso:

31 Octubre 2015].

- [37] J. Andreu Gómez, *Redes Locales*, Editex, 2011, p. 41.
- [38] G. Armas y G. Montero, «Estudio y diseño mediante la técnica de transmisión DWDM para la red SDH del anillo central de la ciudad de Guayaquil de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones E.P, e integración a la Red Nacional: Repositorio Digital Escuela Politécnica Nacional,» Octubre 2012. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5169/1/CD-4544.pdf>. [Último acceso: 03 Septiembre 2015].
- [39] COMMSCOPE, «Manual de construcción y aplicaciones de banda ancha: COMMSCOPE,» Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://www.commscope.com/>. [Último acceso: 09 Mayo 2015].
- [40] CNT (Corporación Nacional de Telecomunicaciones), «Normas de diseño y construcción en redes de telecomunicaciones: CNT,» Noviembre 2011. [En línea]. [Último acceso: 17 Mayo 2015].
- [41] Optronics, «Cable Figura 8: Optronics,» [En línea]. Available: http://optronics.com.mx/index.php?mod=eCommerce&ext=group&subid=1&id=100#data_div. [Último acceso: 23 Septiembre 2015].
- [42] E. Bonilla, «Fibra Óptica OPGW Versus Fibra Óptica ADSS: TIP Engineering,» [En línea]. Available: <http://tipengineer.com/fibra-optica-opgw-versus-fibra-optica-adss/>. [Último acceso: 08 Mayo 2015].
- [43] J. Trashorras Montecelos, *Desarrollo de redes eléctricas y centros de transformación*, Madrid: Paraninfo, 2013, p. 14.
- [44] Prysmian, «Opsycom ADSS: Prysmian,» 3 Julio 2007. [En línea]. Available: <http://servicesfps.com/pdf/s006es%20ds%20OPSYCOM%20ADSS.pdf>. [Último

acceso: 21 Septiembre 2015].

- [45] ITU: Unión Internacional de Telecomunicaciones, «ITU: Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G/es>. [Último acceso: 2 Septiembre 2015].
- [46] CNEL EP Bolívar, «CNEL Bolivar,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.cnelbolivar.gob.ec/>. [Último acceso: 23 Julio 2015].
- [47] J. Sosa, «Subestaciones eléctricas de alta tensión aisladas en gas: Universidad Nacional de la Plata,» Octubre 2002. [En línea]. Available: http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/Libros%202007/libros/sosaesca/GIS%20DE%20A%20LTA%20TENSION_AAR.pdf. [Último acceso: 03 Noviembre 2015].
- [48] G. Fuetes, «IEC 61850 El Nuevo Estándar de Automatización de Subestaciones: ABB,»_13_Junio_2005._[En_línea]._Available: [http://www02.abb.com/global/clabb/clabb151.nsf/0/584514dde9936a10c12571ef00716097/\\$file/IEC61850_Santiago.pdf](http://www02.abb.com/global/clabb/clabb151.nsf/0/584514dde9936a10c12571ef00716097/$file/IEC61850_Santiago.pdf). [Último acceso: 30 Octubre 2015].
- [49] A. Rodríguez Penin, Sistemas SCADA, Segunda ed., Barcelona: Marcombo, 2012.
- [50] R. J. Millán Tejedor, «CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing),» 2005. [En línea]. Available: <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit158/60-62.pdf>. [Último acceso: 19 Mayo 2015].
- [51] E. Cadena Narváez y L. Gómez Salcedo, «Estudio y diseño para la implementación de DWDM (Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda) en un anillo de fibra óptica para una red SDH en la ciudad de Quito.,» Enero 2002. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5073/1/T1878.pdf>. [Último acceso: 01 Septiembre 2015].
- [52] Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Recomendaciones : Serie G.655:

- Unión Internacional de Telecomunicaciones,» 19 Mayo 2010. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.655/es>. [Último acceso: 26 Septiembre 2015].
- [53] Cisco, «DWDM módulo SFP-Data Sheet: Cisco,» 30 Noviembre 2006. [En línea]. Available: http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/dwdm-transceiver-modules/product_data_sheet0900aecd80582763.html. [Último acceso: 10 Octubre 2015].
- [54] ElastickTech, «Calcular Ancho de Banda en VoIP: ElastickTech,» [En línea]. Available: <http://elastixtech.com/calcular-ancho-de-banda-en-voip/>. [Último acceso: 08 Septiembre 2015].
- [55] M. García, N. León, V. Marín, Y. d. l. Rivera y Y. d. l. RiveraRené, «Implementation of VoIP Communication Protocols over Altera's FPGAs: SCIELO,» Septiembre 2014. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282014000300004. [Último acceso: 28 Septiembre 2015].
- [56] G. A. Cortes, «Cálculo del ancho de banda: Tecno Seguro,» 4 Abril 2014. [En línea]. Available: <http://www.tecnoseguro.com/analisis/cctv/calculo-del-ancho-de-banda-nominal-vs-efectivo.html>. [Último acceso: 8 Septiembre 2015].
- [57] TYCO Electronics, «Dispositivo para almacenamiento de cable de fibra óptica instalaciones aéreas (ADSS, con Lashing ó Fig. 8): TYCO Electronics,» 4 Septiembre 2005. [En línea]. Available: <http://www.ie.com.co/pdf/TYCO-DULMISON%20Fibra%20Optica-Sept.04.pdf>. [Último acceso: 29 Septiembre 2015].
- [58] Ciemtelcom, «Accesorios para fibra óptica: Ciemtelcom,» [En línea]. Available: <http://www.ciemtelcom.com/accesorios.html>. [Último acceso: 17 Mayo 2015].
- [59] FibreMex, «Distribuidor 2U: FibreMex,» [En línea]. Available:

http://fibremex.com/fibraoptica/index.php?mod=paso_a_paso&ext=show&id=6.
[Último acceso: 15 Mayo 2015].

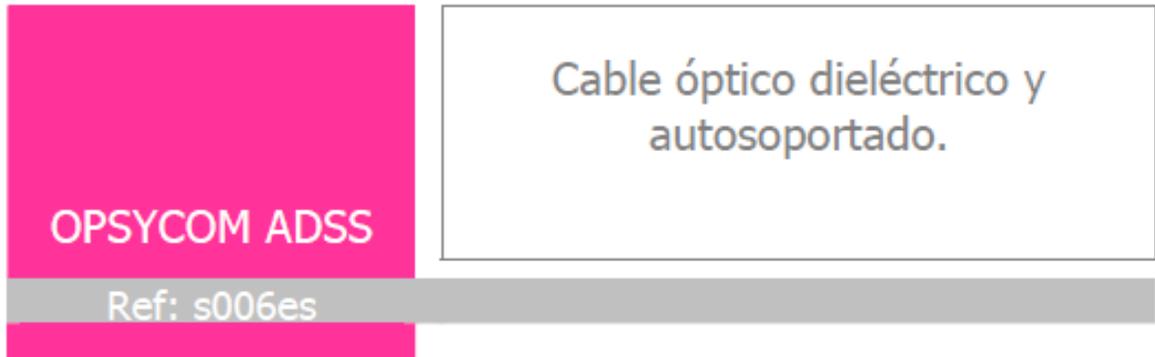
- [60] Praxtel Telecommunications, LLC., «Conozca más acerca de los cordones de fibra óptica (patchcords): Praxtel Telecommunications, LLC.,» 2008. [En línea]. Available: www.praxtel.com. [Último acceso: 17 Mayo 2015].
- [61] A. R. Castro, Fusario y R. J. Fusario, Teleinformática para ingenieros en sistemas de información I, Segunda ed., vol. I, Reverté, 1999.

ANEXOS

ANEXO I

Parámetros técnicos de los equipos empleados en el proyecto.

a) Características de la fibra óptica G.655A



OPSYCOM ADSS

Ref: s006es

Cable óptico dieléctrico y autosoportado.

Estructura de los cables

Núcleo óptico

El núcleo óptico se compone de fibras ópticas [1] recubiertas por tubos de protección holgada [2] rellenos con un compuesto bloqueante del agua que protegen las fibras contra las bajas temperaturas y dejan al mismo tiempo las fibras libres de tracción incluso si el cable se somete a la máxima tracción especificada.

Los tubos se reúnen alrededor de un soporte central de fibras de vidrio pultusionadas [3].

Protección seca contra la propagación longitudinal del agua [4].

Cubierta interior

Sólo para cables a partir de 8kN.

Compuesta de polietileno [5], que protege al núcleo óptico contra:

- la compresión.
- la penetración transversal del agua.

Refuerzo

Compuesto de hilados de aramida [6], que proveen al cable de la resistencia a la tracción.

Cubierta exterior

Compuesta de polietileno [7], que protege al cable contra:

- el "tracking" (solo en los cables con este tipo de protección) (potencial máximo 25 KV).
- la penetración transversal del agua.
- los rayos ultravioletas.
- los daños mecánicos.

OPSYCOM ADSS

Ref: s006es

Cable óptico dieléctrico y autosoportado.

Cables ADSS200t y ADSS200:

Capacidad del cable (nº de fibras)	12	24	36	48	72	96	144
Diámetro (mm)	14.1	14.1	15.1	15.1	16.1	16.1	17.1
Peso (kg/km)	164	164	184	184	208	208	229
Tracción máxima (kN)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Sección (mm ²)*	33	32.5	33.8	35.1	35.6	37	29.3
Módulo de elasticidad (kN/ mm ²)*	100	100	100	100	100	100	100
Coefficiente de dilatación lineal (x10 ⁻⁶ °C ⁻¹)	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	1.4
Vano máximo (m)**							
T=-5°C, viento=60 kg/m ² , hielo=0	790	790	740	720	680	670	670
T=-15°C, viento=0, hielo=10 mm	800	800	760	740	720	700	700
T=-20°C, viento=0, hielo=15 mm	440	440	420	410	390	390	390
Radio mínimo de curvatura	20 veces el diámetro del cable						
Temperatura de operación	de -30°C a +70°C						

Cables ADSS240t y ADSS240:

Capacidad del cable (nº de fibras)	12	24	36	48	72	96	144
Diámetro (mm)	15.1	15.1	15.1	16.1	17.1	17.1	18.2
Peso (kg/km)	186	186	187	209	234	232	260
Tracción máxima (kN)	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Sección (mm ²)*	39.7	40.1	40.5	41.8	42.3	42.9	41.1
Módulo de elasticidad (kN/ mm ²)*	100	100	100	100	100	100	100
Coefficiente de dilatación lineal (x10 ⁻⁶ °C ⁻¹)	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	1.0
Vano máximo (m)**							
T=-5°C, viento=60 kg/m ² , hielo=0	900	900	890	830	800	790	770
T=-15°C, viento=0, hielo=10 mm	930	920	920	870	840	840	830
T=-20°C, viento=0, hielo=15 mm	510	510	500	480	460	460	450
Radio mínimo de curvatura	20 veces el diámetro del cable						
Temperatura de operación	de -30°C a +70°C						

* Para cálculos de tracción-alargamiento

** El vano máximo para cada cable deberá determinarse de acuerdo a las condiciones climáticas de cada zona. Los valores de las tablas son tan solo a nivel indicativo. Para el cálculo de los vanos se ha tomado como hipótesis que el EDS ("Every Day Stress") es de una tracción del 40% de la tracción máxima especificada a una temperatura de 15°C.

b) Características técnicas del Switch Cisco Catalyst 3750

Cisco Catalyst 3750 Series Switches

Product Overview

The Cisco® Catalyst® 3750 Series Switches (Figures 1 through 4) are innovative switches that improve LAN operating efficiency by combining industry-leading ease of use and high resiliency for stackable switches. This product series features Cisco StackWise™ technology, a 32-Gbps stack interconnect that allows customers to build a unified, highly resilient switching system, one switch at a time.

Figure 4. Cisco Catalyst 3750G-48TS Switch, Cisco Catalyst 3750G-48PS Switch with IEEE 802.3af Power, Cisco Catalyst 3750G-24TS-1U Switch, and Cisco Catalyst 3750G-24PS Switch with IEEE 802.3af Power



Configurations

The Cisco Catalyst 3750 Series includes the following configurations:

- Cisco Catalyst 3750G-24TS-24 Ethernet 10/100/1000 ports and four Small Form-Factor Pluggable (SFP) uplinks
- Cisco Catalyst 3750G-24T-24 Ethernet 10/100/1000 ports
- Cisco Catalyst 3750G-12S-12 Gigabit Ethernet SFP ports
- Cisco Catalyst 3750-48TS-48 Ethernet 10/100 ports and four SFP uplinks
- Cisco Catalyst 3750-24TS-24 Ethernet 10/100 ports and two SFP uplinks
- Cisco Catalyst 3750-48PS-48 Ethernet 10/100 ports with IEEE 802.3af and Cisco prestandard Power over Ethernet (PoE) and four SFP uplinks
- Cisco Catalyst 3750-24PS-24 Ethernet 10/100 ports with IEEE 802.3af and Cisco prestandard PoE and two SFP uplinks
- Cisco Catalyst 3750-24FS-24 100BASE-FX Ethernet ports and two SFP uplinks
- Cisco Catalyst 3750G-24TS-1U-24 Ethernet 10/100/1000 ports and four SFP uplinks, 1-rack unit (RU) height
- Cisco Catalyst 3750G-24PS-24 Ethernet 10/100/1000 ports with IEEE 802.3af and Cisco prestandard PoE and four SFP uplinks
- Cisco Catalyst 3750G-48TS-48 Ethernet 10/100/1000 ports and four SFP uplinks
- Cisco Catalyst 3750G-48PS-48 Ethernet 10/100/1000 ports with IEEE 802.3af and Cisco prestandard PoE and four SFP uplinks
- Cisco Catalyst 3750G-24WS-24 Ethernet 10/100/1000 ports with IEEE 802.3af, Cisco prestandard PoE and two SFP uplinks and an integrated wireless LAN controller

The Cisco Catalyst 3750 Series is available with either the IP Base image or the IP Services image. The IP Base image feature set includes advanced quality of service (QoS), rate-limiting, access control lists (ACLs), static routing, Routing Information Protocol (RIP) and EIGRP stub routing, capabilities. The IP Services image provides a richer set of enterprise-class features, including advanced hardware-based IPv6 and multicast routing.

Single IP Management: Many Switches, One Address

Each Cisco Catalyst 3750 Series stack is managed as a single object and has a single IP address. Single IP management is supported for activities such as fault detection, VLAN creation and modification, network security, and QoS controls.

Jumbo Frames: Support for High-Demand Applications

The Cisco Catalyst 3750 Series supports jumbo frames on the 10/100/1000 configurations for advanced data and video applications requiring very large frames. All Cisco Catalyst 3750-E Series switch models also support jumbo frames.

IPv6 Support

The Cisco Catalyst 3750 Series supports IPv6 routing in hardware for maximum performance. As network devices grow and the need for larger addressing and higher security becomes critical, the Cisco Catalyst 3750 Series will be ready to meet the requirement.

Standard PoE Support: Graceful Addition of IP Communications

The Cisco Catalyst 3750 and 3750G PoE models support Cisco IP phones and Cisco Aironet® wireless LAN (WLAN) access points, as well as any IEEE 802.3af-compliant end device. The Cisco Catalyst 3750 and 3750G 24-port versions can support 24 simultaneous full-powered PoE ports at 15.4W for maximum powered device support. The 48-port versions can deliver the necessary power to support 24 ports at 15.4W, 48 ports at 7.7W, or any combination in between.

10 Gigabit Ethernet Support: Increased Uplink Bandwidth for Gigabit Ethernet Deployments

The Cisco Catalyst 3750 Series allows network managers to incrementally add IEEE 802.3ae-compliant 10 Gigabit Ethernet connectivity in their wiring closets or grid clusters, further facilitating and enhancing Gigabit Ethernet networks. This provides investment protection to customers who want to use their existing fiber plant, add uplink bandwidth capacity to their switching stacks, and provide higher performance to applications and users. The Cisco Catalyst 3750-E Series offers an even greater variety of 10 Gigabit Ethernet port configuration switches.

Ordering Information

Table 7 lists the ordering information for the Cisco Catalyst 3750 Series. To place an order, visit the Cisco Ordering homepage at http://www.cisco.com/en/US/ordering/or13/or8/order_customer_help_how_to_order_listing.html.

Table 7. Ordering Information

Part Number	Description
DWDM-SFP-3898=	DWDM SFP 1538.98 nm SFP (100 GHz ITU grid)
DWDM-SFP-3977=	DWDM SFP 1539.77 nm SFP (100 GHz ITU grid)
DWDM-SFP-4056=	DWDM SFP 1540.56 nm SFP (100 GHz ITU grid)
DWDM-SFP-4214=	DWDM SFP 1542.14 nm SFP (100 GHz ITU grid)
DWDM-SFP-4294=	DWDM SFP 1542.94 nm SFP (100 GHz ITU grid)
DWDM-SFP-4373=	DWDM SFP 1543.73 nm SFP (100 GHz ITU grid)

c) Características técnicas del Transceiver DWDM SFP 3977

Cisco Dense Wavelength-Division Multiplexing Small Form-Factor Pluggable Module

The Cisco® Dense Wavelength-Division Multiplexing (DWDM) Small Form Factor Pluggable (SFP) module (Figure 1) allow enterprise companies and service providers to provide scalable and easy-to-deploy Gigabit Ethernet or Fibre Channel services in their networks.

Figure 1. Cisco DWDM SFP Module



Main features of the Cisco DWDM SFP include:

- Support for International Telecommunication Union (ITU) 100-GHz wavelength grid
- Match for wavelength plan of Cisco 100-GHz ONS product family
- Fixed-wavelength SFP, with 40 different SFP models
- Hot-swappable input/output device that plugs into Gigabit Ethernet SFP ports or slots of a Cisco switch or router, linking the port with the network

Performance

- Supported protocols: Gigabit Ethernet, Fibre Channel 1 Gbps and 2 Gbps
- Optical link budget of 28 db

Connectors and Cabling

- Equipment: standard SFP interface network: dual LC/PC connector

Note: Only connections with patch cords with PC or UPC connectors are supported. Patch cords with APC connectors are not supported.

All cables and cable assemblies used must be compliant with the standards specified in the standards section.

Environmental Conditions and Power Requirements

- Operating temperature range: 32 to 158°F (0 to 70°C)
- Storage temperature range: -40 to 185°F (-40 to 85° C)

Table 1 describes the electrical power interface details, and Table 2 describes optical parameters.

Table 1. Electrical Power Interface Data

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Units
Supply Current	I_s	-	200	300	mA
Surge Current	I_{surge}	-	-	30	mA
Input Voltage	V_{cc}	3.1	3.3	3.5	V

Table 2. Optical Parameters

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Units	Notes and Conditions
Transmitter						
Spectral Width				0.2	nm	Full width, -20dB from maximum, with resolution bandwidth (RBW) = 0.01 nm
Transmitter Center Wavelength		x - 100	x	x + 100	pm	Refer to Table 4 for center wavelengths
Side-Mode Suppression Ratio	SMSR	30			dB	
Transmitter Extinction Ratio	OMI	8.2			dB	
Transmitter Optical Output Power	P_{out}	0		4.0	dBm	Average power coupled into single-mode fiber
Receiver						
Receiver Optical Input Wavelength		1530		1565	nm	
Receiver Damage Threshold				+5	dBm	
Power-Limited Performance at OSNR of 20 dB (1 GbE or 1-Gbps FC) or 21 dB (2 Gbps FC) at 0.1-nm RBW						
Optical Input Power	P_{in}	-28.0		-9.0	dBm	
Dispersion Power Penalty < 1 GbE and 1 Gbps FC				3	dB	-800/+3600 ps/nm
Dispersion Power Penalty > 2 Gbps FC				3	dB	-800/+2400 ps/nm
Noise-Limited Performance at OSNR of 19 dB (1 GbE or 1 Gbps FC) or 20 dB (2 Gbps FC) at 0.1-nm RBW						
Optical Input Power	P_s	-22.0		-9.0	dB	
Dispersion OSNR Penalty < 1 GbE and 1 Gbps FC				2	dB	-800/+3600 ps/nm
Dispersion OSNR Penalty > 2 Gbps FC				3	dB	-800/+2400 ps/nm

Ordering Information

Refer to Table 3 for details on ordering Cisco DWDM SFP modules.

Table 3. Cisco DWDM SFP Product Information

Product Number	Description	ITU Channel
DWDM-SFP-4134=	1000BASE-DWDM 1541.35 nm SFP (100-GHz ITU grid)	45
DWDM-SFP-4056=	1000BASE-DWDM 1540.56 nm SFP (100-GHz ITU grid)	46
DWDM-SFP-3977=	1000BASE-DWDM 1539.77 nm SFP (100-GHz ITU grid)	47
DWDM-SFP-3898=	1000BASE-DWDM 1538.98 nm SFP (100-GHz ITU grid)	48
DWDM-SFP-3819=	1000BASE-DWDM 1538.19 nm SFP (100-GHz ITU grid)	49
DWDM-SFP-3739=	1000BASE-DWDM 1537.40 nm SFP (100-GHz ITU grid)	50
DWDM-SFP-3661=	1000BASE-DWDM 1536.61 nm SFP (100-GHz ITU grid)	51
DWDM-SFP-3582=	1000BASE-DWDM 1535.82 nm SFP (100-GHz ITU grid)	52
DWDM-SFP-3504=	1000BASE-DWDM 1535.04 nm SFP (100-GHz ITU grid)	53
DWDM-SFP-3425=	1000BASE-DWDM 1534.25 nm SFP (100-GHz ITU grid)	54
DWDM-SFP-3346=	1000BASE-DWDM 1533.47 nm SFP (100-GHz ITU grid)	55
DWDM-SFP-3268=	1000BASE-DWDM 1532.68 nm SFP (100-GHz ITU grid)	56
DWDM-SFP-3190=	1000BASE-DWDM 1531.90 nm SFP (100-GHz ITU grid)	57
DWDM-SFP-3112=	1000BASE-DWDM 1531.12 nm SFP (100-GHz ITU grid)	58
DWDM-SFP-3033=	1000BASE-DWDM 1530.33 nm SFP (100-GHz ITU grid)	59

ANEXO II

Información de las líneas de subtransmisión Guaranda-Guanujo, la información del resto de líneas Guanujo-Echeandía, Guaranda-Cochabamba, Cochabamba-Sicoto y Cochabamba-Caluma se encuentran en el CD adjunto.

LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN GUARANDA-GUANUJO											
INFORMACION GENERAL						POSTE					
PROVINCIA	CANTÓN	UNIDAD DE NEGOCIO	SUBESTACIÓN DE SALIDA	SUBESTACIÓN DE LLEGADA	NIVEL DE VOLTAJE	CODIFICACIÓN NUEVA	COORDENADA		TIPO	MATERIAL	ALTURA
							ESTE	NORTE			
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR					722944	9823225	TORRE	ACERO	
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00113	722954	9823227	-	HORMIGÓN	18
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00114	722974	9823203	TORRE	ACERO	25
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00115	723244	9823071	-	HORMIGÓN	20
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00116	723599	9823543	TORRE	ACERO	23
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00117	723628	9824280	TORRE	ACERO	23
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00118	723527	9825055	TORRE	ACERO	23
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00119	723353	9825834	TORRE	ACERO	23
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00120	723304	9825955	-	HORMIGÓN	16
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00121	723197	9826233	TORRE	ACERO	23
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00122	723061	9826580	-	HORMIGÓN	18
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00123	723004	9826730	-	HORMIGÓN	16
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00124	722955	9826872	-	HORMIGÓN	20
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00125	722865	9827096	TORRE	ACERO	23
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00126	722714	9827331	-	HORMIGÓN	16
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00127	722656	9827419	-	HORMIGÓN	16
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00128	722544	9827601	-	HORMIGÓN	16
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00129	722460	9827733	-	HORMIGÓN	20
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00130	722349	9827917	TORRE	ACERO	25
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00131	722184	9827953	-	HORMIGÓN	16
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00132	721903	9828016	-	HORMIGÓN	18
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00133	721685	9828069	-	HORMIGÓN	16
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00134	721581	9828090	TORRE	ACERO	23
BOLÍVAR	GUARANDA	BOLÍVAR	GUARANDA	GUANUJO	69 Kv	111-00135	721573	9828201	TORRE	ACERO	16

Fuente: El Investigador.

ANEXO III

Diseño del enlace Guaranda-Guanujo en AutoCAD, los demás enlaces se pueden visualizar en el CD adjunto.

ANEXO IV

Proyecto en formato SENPLADES.

**EMPRESA ELÉCTRICA
PÚBLICA ESTRATÉGICA
CNEL EP
UNIDAD DE NEGOCIO
BOLÍVAR**



PROYECTO: Implementación una red de alta disponibilidad para interconectar las subestaciones eléctricas de la Provincia Bolívar.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Página
1. DATOS INICIALES DEL PROYECTO.....	1
1.1 Nombre del proyecto	1
1.2 Entidad (UDAF)	1
1.3 Entidad operativa desconcentrada (EOD).....	1
1.4 Ministerio Coordinador.....	1
1.5 Sector, subsector y tipo de inversión	1
1.6 Plazo de ejecución	2
1.7 Monto total.....	2
2. DIAGNÓSTICO Y PROBLEMA	2
2.1 Descripción de la situación actual del sector, área o zona de intervención y de influencia por el desarrollo del proyecto	2
2.2 Identificación, descripción y diagnóstico del problema	3
2.3 Línea Base del Proyecto	4
2.4 Análisis de oferta y demanda.....	5
2.5 Identificación y caracterización de la población objetivo (Beneficiarios).....	6
2.6 Ubicación geográfica e impacto territorial	6
3. ARTICULACIÓN CON LA PLANIFICACIÓN	7
3.1 Alineación objetivo estratégico institución.....	7
3.2 Contribución del proyecto a la meta del Plan Nacional del Buen Vivir.....	7

4. MATRIZ DE MARCO LÓGICO	9
4.1 Objetivo general y objetivos específicos	9
4.2 Indicadores de resultados	9
4.3 Marco Lógico.....	10
4.3.1 Anualización de las metas de los indicadores del propósito.....	12
5. ANÁLISIS INTEGRAL	12
5.1-Viabilidad-técnica.....	12
5.1.1 Descripción de la ingeniería del proyecto.....	13
5.1.2 Especificaciones técnicas.....	13
5.2 Viabilidad-Financiera-Fiscal	13
5.2.1 Metodología utilizada para el cálculo de la inversión total, costos de operación y mantenimiento e ingresos	13
5.2.1 Identificación y valoración de la inversión total, costos de operación y mantenimiento e ingresos	14
5.3 Viabilidad económica	14
5.4 Viabilidad ambiental y sostenibilidad social	14
5.4.1 Análisis de impacto ambiental y riesgos.....	14
5.4.2 Sostenibilidad social	14
6. FINANCIAMIENTO Y PRESUPUESTO	15
7. ESTRATEGIA DE EJECUCIÓN.....	16
7.1 Estructura operativa	16

7.2 Arreglos institucionales y modalidad de ejecución	16
7.3 Cronograma valorado por componentes y actividades	16
7.4 Demanda pública nacional plurianual.....	17
8. ESTRATEGIA DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN	18
8.1 Seguimiento a la ejecución	18
8.2 Evaluación de resultados e impactos	18
8.3 Actualización de línea base.....	18
9. REFERENCIAS.....	18
10. ANEXOS	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.- Árbol de problemas del proyecto.....	3
Figura 7.1.- Estructura operativa del proyecto.	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.- Responsable del Proyecto.....	1
Tabla 1.2.- Sector, subsector e intervención del proyecto.	2
Tabla 2.1.- Ubicación Geográfico del Proyecto.....	6
Tabla 3.1.- Objetivo estratégico.....	7
Tabla 3.2.- Objetivos del PNBV.....	7
Tabla 3.3.- Causas no programadas.	8
Tabla 3.4.- Frecuencia y tiempo de las interrupciones en el año 2015.....	8



Tabla 4.1.- Indicadores a nivel de propósito.....	9
Tabla 4.2.- Matriz de Marco Lógico	10
Tabla 4.3.- Anualización de metas.....	12
Tabla 5.1.- Listado de expedientes técnicos.	12
Tabla 6.1.- Presupuesto del proyecto.....	15
Tabla 7.1.- Arreglos Institucionales.....	16
Tabla 7.2.- Cronograma de actividades.	17
Tabla 7.3.- Demanda pública nacional plurianual.	17

1. DATOS INICIALES DEL PROYECTO

1.1 Nombre del proyecto

Implementación de un sistema de comunicación de alta disponibilidad para interconectar las subestaciones eléctricas de la Provincia Bolívar.

1.2 Entidad (UDAF)

La Unidad de Administración Financiera encargada del proyecto en concordancia con el Ministerio de Finanzas es el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER).

1.3 Entidad operativa desconcentrada (EOD)

La Empresa Eléctrica Pública Estratégica CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar será la responsable directa del proyecto, su ejecución se realizará a través del Área de Sistemas y Tecnología con la participación del profesional coordinador de ejecución de proyectos.

Tabla 1.1.- Responsable del Proyecto.

Datos Funcionario Responsable del Proyecto	
Responsable del Proyecto	Ing. Milton Barsallo
Cargo	Administrador de Redes y Telecomunicaciones
Correo Electrónico	milton.barsallo@cnel.gob.ec
Teléfono	032980225 Ext: 135

Elaborado por: El Investigador.

1.4 Ministerio Coordinador

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

1.5 Sector, subsector y tipo de inversión

En la siguiente tabla se detalla el sector, subsector y tipo de intervención al que pertenece el proyecto.

Tabla 1.2.- Sector, subsector e intervención del proyecto.

Sector, subsector y Tipo de Intervención		
Macro Sector	Sectores Estratégicos	
Sector	Energía	
Código	B1001	
Subsector	Administración Energía	
Tipo de Intervención	Código	T05
	Tipología	Infraestructura Institucional

Elaborado por: El Investigador.

1.6 Plazo de ejecución

El tiempo estimado para la ejecución del proyecto es de 8 meses a partir de su aprobación, mismo que incluye con la contratación y ejecución de obra.

1.7 Monto total

La inversión total del proyecto es de \$ 983.329,86 dólares de los Estados Unidos de Norteamérica, incluido el IVA (ver tabla 6.1).

2. DIAGNÓSTICO Y PROBLEMA

2.1 Descripción de la situación actual del sector, área o zona de intervención y de influencia por el desarrollo del proyecto

La CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar ha empleado durante algunos años enlaces inalámbricos para la transmisión de datos entre subestaciones y agencias. El sistema que consta de varios enlaces que operan en las bandas no licenciadas de 2.4 y 5.8 GHz, presenta una topología tipo estrella con equipos MikroTik y Proxim. Los sitios que forman parte del sistema inalámbrico de comunicación son las subestaciones de Guaranda, Guanujo, Echeandía, Cochabamba y Sicoto y los repetidores ubicados en los cerros Shunguna, Lourdes, Cuchicagua y Piscoquero.

Sin embargo, los enlaces entre subestaciones y repetidores presentan constantes caídas debido a las inclemencias del tiempo puesto que las comunicaciones inalámbricas son susceptibles a factores ambientales, el estado físico de los equipos también se suma a estos inconvenientes que por falta de mantenimiento y debido al clima tienden a

degradarse reduciendo su rendimiento. Factores que en conjunto perjudican la comunicación entre el Centro de Control ubicado en la S/E Guaranda con el resto de subestaciones eléctricas.

2.2 Identificación, descripción y diagnóstico del problema

La identificación del problema, así como sus causas y efectos se muestran en la siguiente figura.

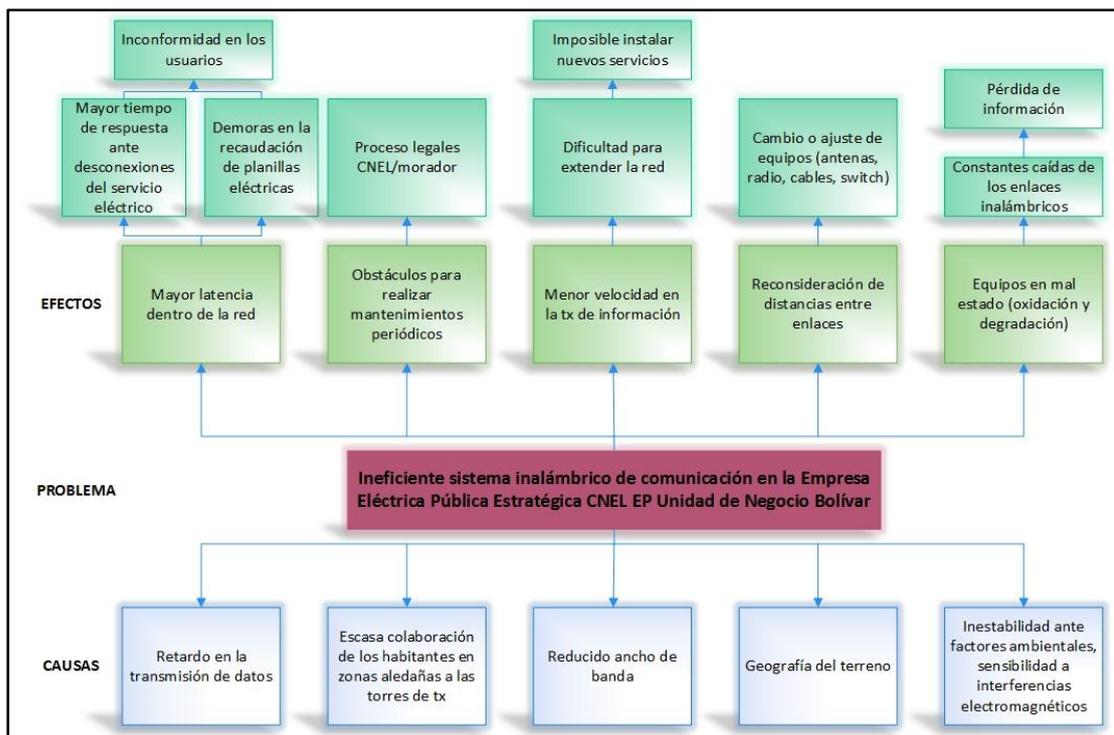


Figura 2.1.- Árbol de problemas del proyecto.
Elaborado por: El Investigador.

Los inconvenientes que se generan debido al ineficiente sistema inalámbrico de comunicación son:

- Latencia dentro de la red debido al retardo en la transmisión de datos, lo que ocasiona mayor tiempo de respuesta ante posibles desconexiones del servicio eléctrico, por ende, existe inconformidad en los usuarios.
- Obstáculos para realizar mantenimiento a equipos e infraestructura a causa de la escasa colaboración de los habitantes que viven en zonas aledañas a las torres y casetas de control, llevando a la CNEL a procesos legales con los moradores.

- Menor velocidad en la transmisión de información a causa del reducido ancho de banda, lo que dificulta la extensión de la red, por lo que es imposible instalar nuevos servicios como VoIP, videoconferencias, video vigilancia, etc.
- Restructuración de ingeniería, en ocasiones se debe reconsiderar las distancias entre los enlaces que debido a la geografía del terreno ocasiona cambios o ajustes en equipos (antenas, radios, cables, switchs, torres).
- Equipos en mal estado debido a factores ambientales e interferencias electromagnéticas por lo que existente constates caídas en los enlaces inalámbricos originando pérdidas de información.

Los inconvenientes señalados pueden ser reducidos con la ejecución de este proyecto en la CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar.

2.3 Línea Base del Proyecto

La Provincia Bolívar cuenta con un total de 183,642 habitantes comprendidos por los siete cantones Caluma, Chillanes, Echeandía, Guaranda, Las Naves, Chimbo y San Miguel, de los cuales un 51.1 % son mujeres y 48, 9% hombres. Gran parte de la población se dedica a la agricultura y casi el total de las viviendas cuentan con servicio eléctrico. Según el último censo realizado por el INEC en el 2010, de un total de 47,110 viviendas tan solo 5,651 no contaba con energía eléctrica, cifra que se ha reducido pues en el año 2001 bordeaba las 9,012 viviendas. [1]

Si bien este índice se ha reducido, el número de usuarios que demandan este servicio se incrementó, llevando a la Corporación Nacional de Electricidad Unidad de Negocio Bolívar a mejorar la calidad del servicio eléctrico que brinda a la ciudadanía, cuyo objetivo es aumentar la cobertura y suministrar de energía y sin interrupciones a importantes zonas de la provincia.

Es por tal motivo que las Subestaciones Eléctricas, lugares que abastecen de energía a la provincia, deben funcionar en óptimas condiciones. A parte del continuo monitoreo, respectivo mantenimiento, personal capacitado laborando en las instalaciones, un factor que influye directamente en la prestación el servicio eléctrico es la operatividad entre el Centro de Control con cada Subestación Eléctrica.

Debido a la geografía que presenta la provincia, en donde la distancia entre el Centro de Control y subestaciones es de decenas de kilómetros, es necesario un sistema de comunicación eficiente que sea capaz de recuperarse ante acontecimientos desfavorables de manera instantánea, afectando en lo más mínimo a la CNEL y a sus clientes, de ahí se deriva el interés y la importancia de implementar un sistema de comunicación de alta disponibilidad para interconectar entre sí las subestaciones y mejorar el Sistema de Distribución Energética.

Además de velar por el bienestar de sus clientes, la CNEL ve en el nuevo sistema de comunicación el recurso necesario para desplegar nuevos servicios en sus instalaciones, mejorando así el ambiente de trabajo para su personal.

2.4 Análisis de oferta y demanda

Oferta: El presente proyecto representa la oferta que la Corporación requiere para mejorar la infraestructura de comunicación entre las subestaciones eléctricas de Guaranda, Guanujo, Echeandía, Sicoto, Cochabamba y Caluma con el Centro de Control.

Demanda: El análisis de la demanda comprende los aspectos mencionados a continuación.

- **Población de referencia:** La población total del área de influencia del proyecto bordea los 59.838 clientes, los mismos que se sirven de las subestaciones eléctricas antes mencionadas.
- **Población demandante potencial:** La red de alta disponibilidad esta destina para interconectar exclusivamente las seis subestaciones eléctricas.
- **Población demandante efectiva:** Las trece agencias de la CNEL EP Bolívar: Chimbo, Balsapamba, San Miguel, El Tambo, Chillanes, Caluma, Echeandía, San Luis de Pambil, Las Naves, Simiatug y Facundo Vela requieren el servicio ofrecido por el proyecto, esto se debe a que resulta oportuno poseer un punto de conexión propio de la Corporación puesto que, en caso de ocurrir alguna falla en el sistema los operarios de la CNEL se encargarían de resolver los inconvenientes, así se evitará depender de terceros.

2.5 Identificación y caracterización de la población objetivo (Beneficiarios)

Los beneficiarios directos del proyecto son todos los clientes de la CNEL EP Bolívar pues obtendrá una mejora en la calidad y prestación de servicios, infraestructura propia de comunicación instalada sobre las redes eléctricas de alta tensión, ahorrándole a la Corporación costos en cuanto a materiales mano de obra y mantenimientos, asimismo sus usuarios se verán beneficiados ya que ante posibles desconexiones del servicio eléctrico el tiempo de respuesta será menor.

Este proyecto representa un impacto en la economía y en la calidad de servicios que ofrece la CNEL EP Bolívar, debido a que el nuevo sistema a diseñarse proyecta una comunicación más confiable y segura, tiene un mayor tiempo de vida y su mantenimiento no es tan periódico como en otros sistemas de comunicación. Es así como, la Corporación podrá tener concentrada la información de toda la red, monitorearla en tiempo real y proyectar a futuro servicios de VoIP, video vigilancia e internet de alta velocidad.

2.6 Ubicación geográfica e impacto territorial

El presente proyecto se desarrollará en la Provincia Bolívar y pretende incidir en algunos de sus cantones, a continuación, se detalla su cobertura y localización:

Tabla 2.1.- Ubicación Geográfico del Proyecto.

Ubicación Geográfico del Proyecto	
Zona	5
Región	Sierra
Cobertura geográfica	Provincial
Coordenada X	722509
Coordenada Y	9823043
Cantones	Guaranda, Chimbo, San Miguel, Caluma y Echeandía
Provincia	Bolívar

Elaborado por: El Investigador.

3. ARTICULACIÓN CON LA PLANIFICACIÓN

3.1 Alineación objetivo estratégico institución

Tabla 3.1.- Objetivos estratégico.

Objetivo Estratégico	
Incrementar la calidad de servicio y el nivel de satisfacción del cliente.	
Indicadores	FMI _K : Frecuencia media de interrupción.
	TTT _K : Tiempo medio de interrupción.
	Índice de satisfacción de los usuarios.

Elaborado por: El Investigador.

3.2 Contribución del proyecto a la meta del Plan Nacional del Buen Vivir

Tabla 3.2.- Objetivos del PNBV.

Objetivo 11	Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica.
#	Políticas y lineamientos estratégicos
Meta c	Establecer mecanismos de transferencia de tecnología en la normativa de telecomunicaciones, para permitir el desarrollo local de nuevas aplicaciones y servicios.
Meta n	Desarrollar redes y servicios de telecomunicaciones regionales para garantizar la soberanía y la seguridad en la gestión de la información.

Fuente: Plan Nacional del Buen Vivir. [4]

Objetivo 11: Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica.

De acuerdo al plan estratégico institucional, la Corporación plantea reducir con el nuevo proyecto las interrupciones producidas en los alimentadores, durante el año 2015 las interrupciones fueron varias, desde programadas como mantenimientos o trabajos de medición y las no programadas que son ponderadas a continuación:

Tabla 3.3.- Causas no programadas.

Causas	Año 2015
Postes caídos	40%
Vientos fuertes	20%
Deslizamientos de tierra	15%
Vegetación en la red	12%
Líneas arrancadas por autos	5%
Errores de operación	5%
Descargas atmosféricas	2%
Fallas en red	1%
Total	100%

Fuente: El Investigador.

Conociendo las principales causas de las interrupciones se pudo establecer un porcentaje de reducción que brindará el nuevo sistema de comunicación.

Tabla 3. 4.- Reducción de interrupciones.

S/E	Año	Frecuencia de interrupciones	Tiempo (horas)	Reducción con el proyecto (horas)	Porcentaje (%)
Guaranda	2015	111	392,92	361,4864	8
Guanujo	2015	145	5745,92	5286,2464	8
Cochabamba	2015	85	984,90	906,108	8
Sicoto	2015	118	1628,03	1497,7876	8
Echeandía	2015	169	2674,96	1952,7208	27
Caluma	2015	88	729,84	532,7832	27

Fuente: El Investigador.

La meta de la Corporación es reducir con la implementación del sistema de alta disponibilidad hasta un 27% las interrupciones.

4. MATRIZ DE MARCO LÓGICO

4.1 Objetivo general y objetivos específicos

Objetivo General

Implementar una red de alta disponibilidad para interconectar las subestaciones eléctricas en la Provincia Bolívar.

Objetivos Específicos

- Cambiar el medio de transmisión que utilizan las subestaciones eléctricas para establecer la comunicación.
- Instalar los nuevos equipos de comunicación en cada subestación eléctrica para la futura red de transmisión.
- Realizar pruebas reflectométricas de cada enlace óptico para comprobar la funcionalidad de la red para evitar la pérdida masiva de información.

4.2 Indicadores de resultados

Los indicadores que se obtuvieron en base a los componentes del proyecto son:

Tabla 4.1.- Indicadores a nivel de propósito.

Indicador	Meta
Tendido de fibra óptica sobre las líneas de alta tensión de la CNELEP Bolívar	100%
Interconexión entre las seis subestaciones eléctricas	100%
Pruebas de funcionamiento de cada enlace	100%
Comunicación del sistema SCADA en óptima condiciones	100%

Elaborado por: El Investigador.

4.3 Marco Lógico

Tabla 4.2.- Matriz de Marco Lógico.

Resumen Narrativo de Objetivos	Indicadores Verificables Objetivamente	Medios de Verificación	Supuestos
<p>FIN: Mejorar la calidad de comunicación entre las subestaciones de la Provincia Bolívar.</p>	<p>41,468 viviendas de la Provincia Bolívar dispondrán del servicio eléctrico, con bajos o nulos índices de cortes de energía en los próximos años.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ARCONEL. • Atención al cliente (CNEL). 	<p>Ausencia de recursos económicos para la ejecución total del proyecto.</p>
<p>PROPÓSITO: Implementar un sistema de alta disponibilidad para interconectar las subestaciones eléctricas en la Provincia Bolívar.</p>	<p>Sistema robusto de comunicación con redundancia para aumentar la eficacia y confiabilidad del Sistema de Distribución de energía eléctrica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • CNEL Bolívar. • Ingreso a datos históricos del sistema SCADA. 	<p>Ausencia de recursos económicos para la ejecución total del proyecto.</p>
<p>COMPONENTES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el medio de transmisión que utilizan las subestaciones eléctricas para establecer la comunicación. • Instalar los nuevos equipos de comunicación en cada subestación eléctrica para la futura red de transmisión. • Realizar pruebas reflectométricas de cada enlace óptico para comprobar la funcionalidad de la red para evitar la pérdida masiva de información. 	<ul style="list-style-type: none"> • 100% de tendido de fibra óptica en los tramos de cada subestación: Guaranda, Guanujo, Echeandía, Cochabamba y Sicoto hasta el 2017. • Instalación de equipos y accesorios en cada S/E hasta el 2017. • Enlaces totalmente en buen estado. 	<ul style="list-style-type: none"> • CNEL Bolívar. • Inspección de S/E. • Informes del auditor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres o postes en mal estado para la instalación de F.O. • Carencia de equipos y accesorios. • Roturas de la fibra en cualquier enlace.
<p>Componente 1: Cambiar el medio de transmisión que utilizan las subestaciones eléctricas para establecer la comunicación.</p>			

<p>Actividad 1.1: Compra de carretes.</p> <p>Actividad 1.2: Tendido de cable óptico ADSS sobre las torres de alta tensión y postes propiedad de la CNEL Bolívar.</p> <p>Actividad 1.3: Instalación de postes en vanos mayores a 900 m.</p>	<p>\$ 470.718,40</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección del avance de la obra en el campo. • Incremento de la tasa de empleo. 	<p>Adquisición de bobinas de fibra óptica ADSS.</p>
<p>Componente 2: Instalar los nuevos equipos de comunicación en cada subestación eléctrica para la futura red de transmisión.</p>			
<p>Actividad 2.1: Compra de equipos y accesorios homologados y estandarizados.</p> <p>Actividad 2.2: Instalación de mangas de empalme y portareservas en cada enlace.</p> <p>Actividad 2.3: Instalación de equipos en cada subestación eléctrica.</p>	<p>\$ 406.390,69</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Actas de entrega y recepción. • Inspección del cuarto de comunicación en cada S/E. 	<p>Proveedores nacionales no dispongan de equipos o materiales acorde a las especificaciones técnicas.</p>
<p>Componente 3: Realizar pruebas reflectométricas de cada enlace óptico para comprobar la funcionalidad de la red para evitar la pérdida masiva de información.</p>			
<p>Actividad 3.1: Prueba de reflectométrica unidireccional de fibra óptica.</p>	<p>\$ 864,00</p>	<p>Informes técnicos.</p>	<p>Carencia de equipos OTDR.</p>
<p>Subtotal</p>	<p>\$ 877.973,09</p>		
<p>IVA 12%</p>	<p>\$ 105.356,77</p>		
<p>SUBTOTAL+IVA</p>	<p>\$ 983.329,86</p>		

Elaborado por: El Investigador.

4.3.1 Anualización de las metas de los indicadores del propósito

Tabla 4.3.- Anualización de metas.

Indicador de propósito	Unidad	Meta propósito	Ponderación (%)	Mes 8	Total
Indicador 1: 100% de tendido de fibra óptica para interconectar las subestaciones Guaranda, Guanujo, Echeandía, Cochabamba, Sicoto y Caluma hasta el 2017.	-	100%	50	100%	100%
	Meta ponderada			50	50
Indicador 2: Instalación de equipos homologados y estandarizados en cada S/E hasta el 2017.	-	100%	25	100%	100%
	Meta ponderada			25	25
Indicador 3: Realización de pruebas reflectométricas de cada enlace óptico para comprobar la funcionalidad del sistema.	-	100%	10	100%	100%
	Meta ponderada			10	10
Indicador 4: Diseño de una red redundante para evitar la pérdida masiva de información.	-	100%	15	100%	100%
	Meta ponderada			15	15

Elaborado por: El Investigador.

5. ANÁLISIS INTEGRAL

5.1 Viabilidad técnica

Para la implementación de una red de alta disponibilidad que interconectará las subestaciones eléctricas de la provincia Bolívar, se adjuntan estudios técnicos debidamente elaborados y justificados, según el siguiente detalle:

Tabla 5.1.- Listado de expedientes técnicos.

Descripción	Anexos
Rutas de torres y postes.	I
Especificaciones técnicas de equipos	II
Diseño en AutoCAD	III

Elaborado por: El Investigador.

5.1.1 Descripción de la ingeniería del proyecto

A lo largo del recorrido de las líneas de alta tensión que une una subestación con otra se tenderá un cable de fibra óptica de tipo ADSS, ubicándola en la torre metálica después de la última fase y manteniendo la misma distancia que existe con las demás. El cable óptico partirá desde cada subestación pasando por cada torre y/o postes para sujetado por herrajes de suspensión o retención, a su vez en sus extremos se colocará uno o más amortiguadores dependiendo de la distancia entre estructuras.

La fibra seguirá su ruta formando parte de reservas y empalmes hasta llegar a su destino, el recorrido terminará con la instalación de ODFs en el rack de telecomunicaciones, este distribuidor óptico facilitará el uso de cada hilo de fibra puesto que, de los 12 hilos se empleará 2 para la transmisión de datos, uno de ellos será el enlace principal y el segundo el de reemplazo. Para ello se empleará módulos SFP con tecnología DWDM, los mismos que se insertarán en la ranura de cada Switch Ópticos de la marca Cisco Catalyst enlazando así todas las subestaciones.

5.1.2 Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas de los equipos y accesorios se muestran en el Anexo II.

5.2 Viabilidad Financiera Fiscal

5.2.1 Metodología utilizada para el cálculo de la inversión total, costos de operación y mantenimiento e ingresos

El presupuesto total que requiere el proyecto se ha determinado conforme a un previo levantamiento de información en el campo, el mismo que proporcionó un panorama real del precio de cada equipo, accesorios y mano de obra, los costos fueron calculados para cada enlace en una hoja Excel, también se elaboró el presupuesto global del proyecto incluyendo el 12% de IVA a fin de obtener un supuesto total de inversión.

5.2.2 Identificación y valoración de la inversión total, costos de operación y mantenimiento e ingresos

Inversión: Esta fase contempla el costo de equipos, accesorios, mano de obra calificada y no calificada, imprevistos, transporte y otros valores (IVA) necesarios para la realización del proyecto.

Costo de operación y mantenimiento: En el presupuesto del proyecto no se ha contemplado costos de operación y mantenimiento ya que son actividades post-proyecto que posteriormente cubrirá la CNEL EP Bolívar.

Ingresos: Los ingresos corresponden a la distribución de energía que la Corporación vende a sus clientes.

Vida útil: Se estima que el tiempo de vida útil del proyecto será de 30 años con los debidos mantenimientos.

5.3 Viabilidad económica

La mayoría de proyectos de infraestructura necesariamente no generan ingresos económicos, más bien contribuye a mejorar la calidad de un bien o servicio generando bienestar y participación de los actores directos o indirectos del proyecto.

5.4 Viabilidad ambiental y sostenibilidad social

5.4.1 Análisis de impacto ambiental y riesgos

La ejecución del proyecto producirá un mínimo impacto ambiental por lo tanto no habrá comunidades afectadas, evitando la necesidad de planificar medidas de remediación y restauración a consecuencia del desarrollo de las actividades durante la obra.

5.4.2 Sostenibilidad social

A través de este proyecto se contribuye al mantenimiento e incremento del capital social, pues genera fuentes de empleo para la población, impulsa el desarrollo humano, participación ciudadana, fomentando la equidad de género e igualdad social y promueve

tanto en hombres como mujeres sus capacidades y destrezas para su desarrollo y posterior mantenimiento, por lo tanto, es considerado como sostenible.

6. FINANCIAMIENTO Y PRESUPUESTO

A continuación, se presenta el presupuesto detallado del proyecto, así como los componentes y actividades propuestas para la ejecución del mismo.

Tabla 6.1.- Presupuesto del proyecto.

Componentes/rubros	Fuentes de Financiamiento (dólares)						Subtotal
	Externas		Internas				
	Crédito	Cooperación	Crédito	Fiscales	Autogestión	Aporte Comunidad	
Componente 1							
Actividad 1.1: Compra de carretes.				348.213,70			348.213,70
Actividad 1.2: Tendido de cable óptico ADSS sobre las torres de alta tensión y postes propiedad de la CNEL Bolívar.				122.465,28			122.465,28
Actividad 1.3: Instalación de postes en vanos mayores a 900 m.				97.855,74			97.855,74
Componente 2							
Actividad 2.1: Compra de equipos y accesorios homologados y estandarizados.				384.412,65			384.412,65
Actividad 2.2: Instalación de mangas de empalme y portareservas en cada enlace.				29.328,92			29.328,92
Actividad 2.3: Instalación de equipos en cada subestación eléctrica.				85,88			85,88
Componente 3							
Actividad 3.1: Prueba de reflectométrica unidireccional de fibra óptica.				967,68			967,68
Total (USD)				983.329,86			983.329,86

Elaborado por: El Investigador.

7. ESTRATEGIA DE EJECUCIÓN

7.1 Estructura operativa

Durante la ejecución del proyecto de la Corporación Nacional de Electricidad Unidad de Negocio Bolívar la estructura operativa quedaría organizada de la siguiente manera:

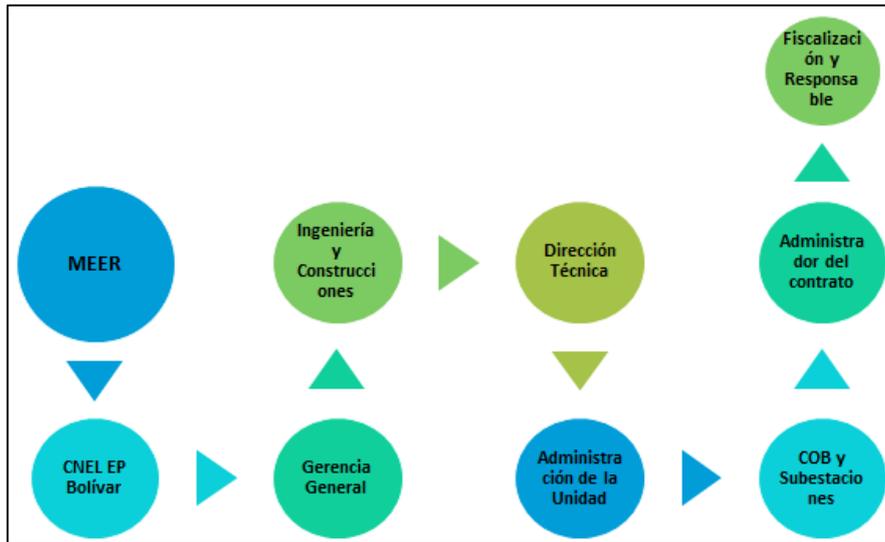


Figura 7.1.- Estructura operativa del proyecto.
Elaborado por: El Investigador.

7.2 Arreglos institucionales y modalidad de ejecución

Tabla 7.1.- Arreglos Institucionales.

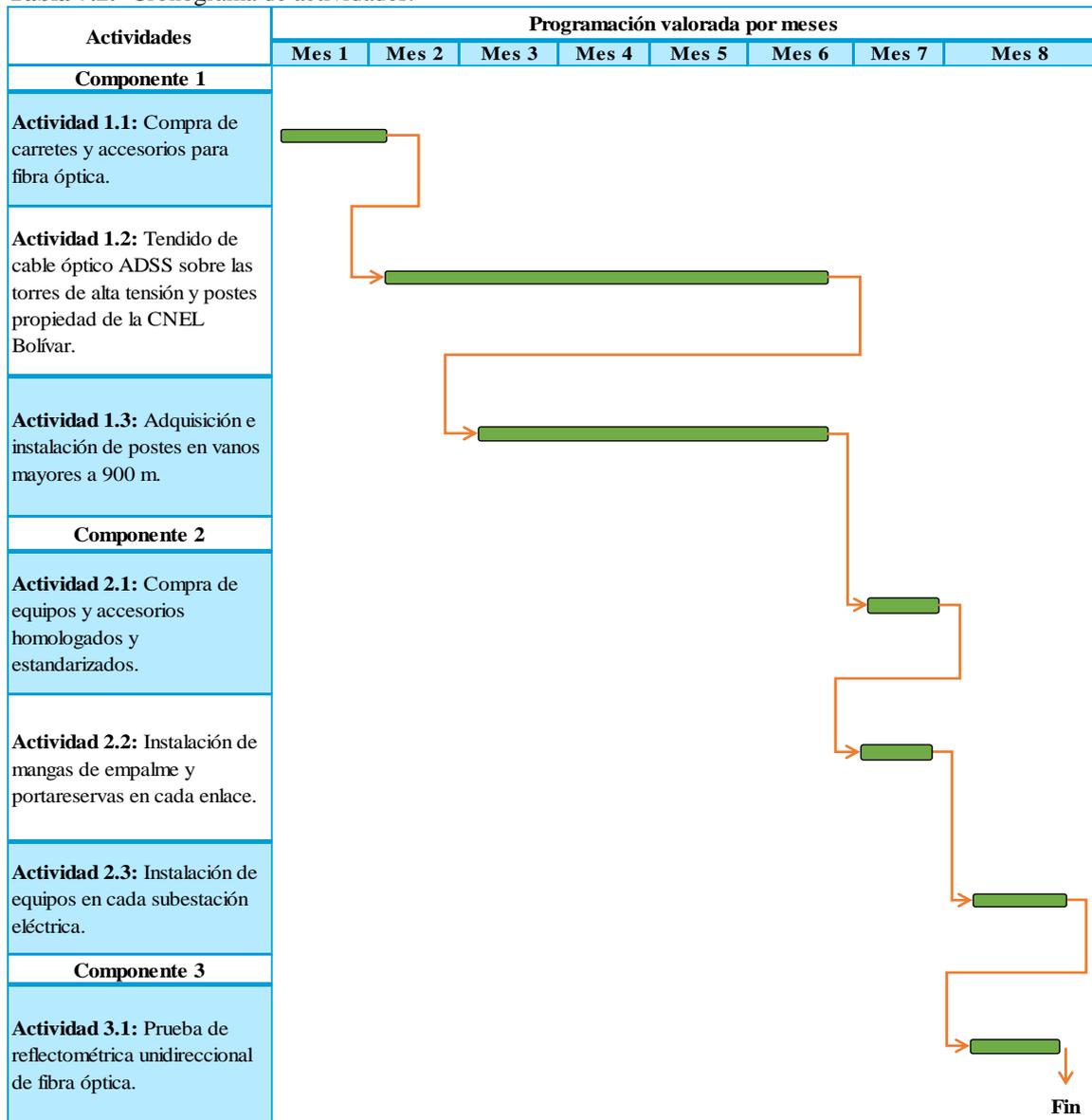
Arreglos Institucionales		
Tipo de ejecución		Instituciones Involucradas
Directa (D) o Indirecta (I)	Tipo de arreglo	
Directa	-	CNEL EP Bolívar

Elaborado por: El Investigador.

7.3 Cronograma valorado por componentes y actividades

La siguiente tabla refleja las actividades programadas por meses en donde se muestra los avances de cada una de ellas hasta llegar a la culminación del proyecto.

Tabla 7.2.- Cronograma de actividades.



Elaborado por: El Investigador.

7.4 Demanda pública nacional plurianual

Tabla 7.3.- Demanda pública nacional plurianual.

Demanda Pública Plurianual									
Código Categoría CPC	Tipo Compra (Bien o servicio)	Detalle producto	Cantidad Anual	Unidad	Costo Unitario (USD)	Origen de los insumos		Defina el monto a contratar Año 1	TOTAL
						Nacional	Importado		
46340.00.2	Bien	Fibra Óptica	33	Unidad	8.520,00		100%	8.520	281.160,00

Elaborado por: El Investigador.

8. ESTRATEGIA DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

8.1 Seguimiento a la ejecución

Para dar seguimiento a la ejecución del proyecto se planea intervenir a través del fiscalizador y el ingeniero responsable, quien a su vez tendrá que informar al departamento de Sistemas y Tecnología los avances del mismo o atrasos en la realización de algunas de las actividades para tomar las respectivas correcciones, este departamento está a cargo del área de Dirección Técnica.

8.2 Evaluación de resultados e impactos

La CNEL Bolívar en conjunto con la Dirección Técnica, una vez culminado el proyecto, evaluará el funcionamiento del mismo, definiendo responsables para monitorear y gestionar el nuevo sistema, de esta forma se obtendrá el máximo rendimiento de la red.

8.3 Actualización de línea base

La actualización de la línea base se realizará una vez que se ejecute el proyecto.

9. REFERENCIAS

- [1] INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, «Población y Demografía: INEC,» [En línea]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>. [Último acceso: 10 Septiembre 2015].
- [2] SENPLADES: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, « Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017: SENPLADES,» 2013. [En línea]. Available: www.buenvivir.gob.ec. [Último acceso: 10 Septiembre 2015].
- [3] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, «Portadores: ARCOTEL,» [En línea]. Available: http://controlenlinea.arcotel.gob.ec/wps/portal/informacion/informaciontecnica/portadores/estadisticaspor/!ut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8zijY08DAw8_A28DUJcHQ0cg50d3QPDTAwNPIz1C7IdFQHYgfsv/.



- [4] ARCONEL, «Cobertura Eléctrica: Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL),» 2015, [En línea]. Available: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1102&>. [Último acceso: 9 Septiembre 2015].

10. ANEXOS

Todos los anexos se encuentran en el CD adjunto.