

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y
COMPUTACIÓN**

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED PRIVADA DE
TELECOMUNICACIONES PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS
DEL SISTEMA SCADA, VOZ Y VIDEO PARA LAS
SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE LA EMPRESA ELEPCO
S.A. EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa la Obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

AUTORES:

**LUIS RAÚL QUISHPE CHANALATA
MAYRA MARLENE COROZO DÍAZ**

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

A Dios, por acompañarme en muchos días y noches de escritura, dándome la fuerza necesaria para llegar a culminar esta carrera profesional.

A mis hijas Sofía y Rafaela con gran amor, porque han sido mi fortaleza en los momentos más difíciles durante todo este proceso, ustedes son mi mayor inspiración. Espero les quede como ejemplo de que todo se puede lograr.

A mis padres, David e Hilda, quienes desde niño me han inculcado los valores de la disciplina, la dedicación y el sacrificio para alcanzar mis objetivos. A ustedes, que me ayudan a levantarme en cada caída y me motivan a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

Raúl Quishpe Ch.

DEDICATORIA

El Trabajo de titulación está dedicado a mi familia por ser el pilar fundamental en mi vida en especial a mis padres Esp. Oscar Andrés Corozo Cortez Abg. y Mgtr. Santa Marlene Díaz Góngora Lcda. por su apoyo incondicional para lograr culminar el postgrado.

A mi esposo el Mgtr. Carlos Giovanni Castañeda Castillo, por contribuir desde el inicio del proceso de postgrado hasta su culminación, siendo mi soporte en aquellos arduos días de estudio, construyendo un futuro juntos apoyándonos en el crecimiento profesional.

A mis hermanas por ser mi sostén y escucharme y motivarme en aquellos momentos que sentía que no lograría culminar mi objetivo.

Mayra Corozo D.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a:

A Todos mis respetados profesores de la maestría en telecomunicaciones cohorte 8 de la ESPOL, por transmitirme los conocimientos necesarios en cada una de sus asignaturas.

A Mayra Corozo por acompañarme y apoyarme en este arduo y difícil trabajo, para poder llegar a un feliz término de este proyecto.

Al doctor Germán Vargas, gracias por compartir sus conocimientos, brindar todo su apoyo, consejos y sugerencias para la elaboración de este trabajo.

Raúl Quishpe Ch.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios que me ha permitido con sus bendiciones llegar a esta etapa de todo este proceso de titulación.

A mi esposo Mgtr. Carlos Giovanny Castañeda Castillo por su apoyo durante todo este proceso, por su paciencia en mis días estresantes; por obsequiarme su perseverancia de mantenerse a mi lado recordándome y motivándome en que si podía culminar mi objetivo. Gracias por creer en mí.

A mis padres y hermanas este es el resultado de su ejemplo y apoyo incondicional.

A mis suegros Luis y Cristina por ayudarme con varias actividades para que pudiera dedicarme únicamente en las actividades relacionadas con el postgrado.

Al Ing. Luis Raúl Quishpe Chanalata por ser un compañero comprometido con todo el proceso de desarrollo del trabajo de titulación.

A la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL por ser el establecimiento que me permitió incrementar y obtener nuevos conocimientos. Al PhD Germán Ricardo Vargas López Mgtr por ser esa guía fundamental durante la realización del trabajo de titulación.

Mayra Corozo D.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Luis Raúl Quishpe Chanalata y Mayra Marlene Corozo Díaz*, damos nuestro consentimiento para que la ESPOC realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Luis Raúl Quishpe Ch.

Mayra Marlene Corozo D.

EVALUADORES

.....
María Antonieta Álvarez, Ph.D.

PROFESOR EVALUADOR

.....
Germán Ricardo Vargas, Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El avance tecnológico de las telecomunicaciones ha llegado a sectores de la industria como el eléctrico, donde los dispositivos electrónicos de una sub estación deben comunicarse con un servidor remoto, para la transmisión de datos de telemetría a través de una red de área amplia WAN.

En ese contexto hoy en día, la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.) utiliza la red WAN de un ISP para el transporte de datos, que es ineficiente, pues presenta desconexiones e indisponibilidad del servicio durante todos los meses del año; razón por la cual es indispensable diseñar una red de telecomunicaciones convergente para la interconexión de once sub estaciones eléctricas con el centro de control de ELEPCO S.A., garantizando que los datos teledados, videovigilancia y voz sobre IP sean transmitidos efectivamente sin interrupciones.

Este trabajo aplicó un método de diseño proyectivo que contempló enlaces de fibra óptica para 9 sub estaciones y enlaces microonda para 2 sub estaciones, basados en la tecnología Gigabit Ethernet de velocidades de 1 Gigabit/segundo, utilizando transceptores que operan bajo el estándar IEEE802.3z para la red de fibra; y, radios que integran IDU y ODU en un solo componente operando en frecuencias de la banda de 7GHz licenciada, para los enlaces microonda.

Mediante simulación de diseño lógico usando Packet Tracer se validó la funcionalidad de la red, en donde las pruebas de conectividad fueron efectuadas satisfactoriamente.

El diseño de red propuesto permite transportar tráfico de telemetría, voz y video, cuya demanda inicial es de 23.89 Mb/s por sub estación, que se puede ampliar hasta 1 Gb/s de acuerdo a las capacidades de los transceptores y radio microonda utilizados en el diseño; adicionalmente, el proyecto se considera rentable con base en los indicadores VAN = \$70,492.19 y TIR = 10.21%, que garantiza la recuperación de la inversión en un período de 10 años considerando un escenario de riesgo bajo del 6%.

Palabras Clave: Telecomunicaciones, fibra óptica, microonda, Gigabit Ethernet, jerarquía de red

ABSTRACT

Technological advances in telecommunications have reached industry sectors such as electricity, where telemetry data from electronic devices of a substation are sent to a remote server through a wide area network WAN.

In this context, the Cotopaxi Provincial Electric Company (ELEPCO S.A.) uses a WAN network of an ISP for data transport, which is inefficient since it presents disconnections and unavailability of the service during several months of the year. For this reason, it is essential to design a convergent telecommunications network for the interconnection of eleven electrical substations with the ELEPCO S.A. control center, guaranteeing that telemetry data, video surveillance and voice over IP are effectively transmitted without interruptions.

This work applied a projective design method that considered fiber optic links for 9 substations and microwave links for 2 substations, based on Gigabit Ethernet technology supporting speeds of 1 Gigabit/second, and using transceivers operating under the IEEE802.3z standard for the network fiber and radios that integrate IDU and ODU in a single component operating in frequencies of the licensed 7GHz band, for microwave links.

Through logical design simulation using the Packet Tracer software, the network functionality was validated, where connectivity tests were carried out satisfactorily.

The proposed network design allows the transport of voice and video telemetry traffic, whose initial demand is 23.89 Mb/s per substation, which can be expanded up to 1 Gb/s according to the capabilities of the transceivers and microwave radio used in the design; additionally, the project is considered profitable based on the VAN = \$ 70,492.19 and TIR = 10.21% indicators, which guarantees the recovery of the investment in a period of 10 years considering a low risk scenario of 6 %.

Keywords: Telecommunications, fiber optics, microwave, Gigabit Ethernet, network hierarchy

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
INDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Metodología.....	7
CAPÍTULO 2.....	10
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1 Sistema SCADA/OMS – MWM/DMS (ADMS Advanced Distribution Management System)	10
2.1.1 Funciones del ADMS (SCADA/DMS/OMS-MWM).....	11
2.1.2 Centros de Control.....	14
2.1.3 Arquitectura de red	17
2.2 Redes de Telecomunicaciones	18
2.2.1 Tipos de redes	18
2.2.2 Topología de red.....	20
2.2.3 Estándares.....	22
2.2.4 Transmisión por fibra óptica.....	24
2.2.5 Transmisión por enlaces microonda	26
2.3 Marco regulatorio de las telecomunicaciones.....	37
CAPÍTULO 3.....	43
3. ESTUDIO TÉCNICO DE LA RED ACTUAL.....	43
3.1 Resumen del servicio prestado por el ISP.....	43
3.2 Análisis de tráfico en las sub estaciones.....	45

3.3	Reporte de incidencias y diagnóstico de la red actual.....	66
3.3.1	Desconexiones en la red e Indisponibilidad del servicio	66
3.3.2	Diagnóstico de la red actual.....	73
CAPÍTULO 4.....		77
4.	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA RED PRIVADA DE TELECOMUNICACIONES ..	77
4.1	Escenario del diseño	77
4.1.1	Cálculo de la demanda de tráfico de telefonía VoIP	78
4.1.2	Cálculo de la demanda de tráfico de videovigilancia sobre IP	80
4.2	Topología de red	82
4.3	Diseño de la red de fibra óptica	83
4.3.1	Elementos de la red de fibra	85
4.3.2	Componentes del sistema óptico	91
4.3.3	Presupuesto Óptico	94
4.3.4	Nodos de la red de fibra óptica	96
4.4	Diseño de la red de radio microonda.....	100
4.4.1	Puntos terminales y repetidores.....	100
4.4.2	Componentes del sistema microonda.....	105
4.4.3	Herramienta de simulación de radio enlaces RadioMobile	109
4.4.4	Simulación de los radioenlaces en RadioMobile.....	111
4.4.5	Nodos de la red inalámbrica	121
4.5	Diseño lógico y simulación de la red	126
4.5.1	Software de simulación de redes	127
4.5.2	Dispositivos de red.....	127
4.5.3	Jerarquía de red.....	128
4.5.4	Configuración de parámetros.....	130
4.5.5	Simulación de la red	149
4.5.6	Requerimiento de dispositivos de red	164
CAPÍTULO 5.....		166
5.	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO	166
5.1	Estudio de mercado.....	166
5.2	Estudio técnico	167
5.2.1	Costos de la red de fibra óptica	168
5.2.2	Costos de la red microonda	171
5.2.3	Costos de ingeniería de la red privada	177
5.2.4	Costos de los dispositivos de red (switches y routers).....	178

5.3	Estudio económico	179
5.3.1	Gastos de operación.....	179
5.3.2	Ingresos	181
5.3.3	Inversión inicial	181
5.3.4	Evaluación financiera del proyecto	182
CAPÍTULO 6.....		186
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	186
6.1	Conclusiones.....	186
6.2	Recomendaciones.....	189
BIBLIOGRAFÍA.....		190
ANEXOS.....		201

ABREVIATURAS

ADMS	Sistema de Gestión de la Distribución Avanzado (Advanced Distribution Management System)
ARCERNNR	Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables
ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
CCIR	Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones
CCITT	Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico
CD	Concentrador de Datos
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía del Ecuador
CIP	Protección de Infraestructura Crítica (Critical Infrastructure Protection)
DMS	Sistema de Gestión de la Distribución (Distribution Management System)
DMZ	Zona Desmilitarizada (Demilitarized Zone)
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda (Dense Wavelength Division Multiplexing)
EIA	Alianza de Industrias Electrónicas (Electronic Industries Alliance)
ELEPCOSA	Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.
FEP	FrontEnd de Comunicaciones
FI	Frecuencia Intermedia
FM	Frecuencia Modulada
GIS	Sistema de Información Geográfica (Geographic Information System)
Hot standby	Sistema redundante en caliente
ICCP	Protocolo de Comunicaciones entre Centros de Control (Inter Control Center Communications Protocol)
IED	Dispositivo Electrónico Inteligente (Intelligent Electronic Device)
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
ISP	Proveedor de Servicios de Internet (Internet Services Provider)
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunication Union)
LAN	Red Local de comunicaciones (Local Área Network)
MPLS	Conmutación de etiquetas multiprotocolo (Multi Protocol Label Switching)
MWM	Sistema de Gestión de la Fuerza de Trabajo Móvil (Mobile Workforce Management)
NERC CIP	Estándar en ciberseguridad para empresas eléctricas de EEUU (North America Electric Reliability Corporation, Critical Infrastructure Protection)
OMS	Sistema de Gestión de Interrupciones (Outage Management System)

OTS	Simulador para Entrenamiento del Operador (Operator Training Simulator)
PI	Sistema Histórico de OsiSoft
QADS	Sistema de Aseguramiento de Calidad y Desarrollo (Quality Assurance Development System)
QoS	Calidad de Servicio (Quality of Service)
RT	Tiempo Real (Real Time)
RTU	Unidad Terminal Remota (Remote Terminal Unit)
SCADA	Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control And Data Acquisition)
SDH	Jerarquía Digital Síncrona (Synchronous Digital Hierarchy)
SE	Sub estación
SIG	Sistema de Gestión de la Información
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TIA	Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (Telecommunications Industry Association)
VLAN	Red de Área Local Virtual (Virtual Local Area Network)
VPC	Nube privada virtual (Virtual Private Cloud)
VPLS	Servicio de LAN privada virtual (Virtual Private LAN Service)
VPN	Red Virtual Privada (Virtual Private Network)
WAN	Red de comunicaciones de Área extensa (Wide Area Network)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Componentes funcionales de la arquitectura [7] [11].....	12
Figura 2.2: Áreas de Responsabilidad Local/Regional/Nacional [6]	14
Figura 2.3: Centro de Control Local ELEPCOSA [6]	15
Figura 2.4: Centro de Control Regional Ambato [6].....	16
Figura 2.5: Centro de Control Nacional Quito [6].....	16
Figura 2.6: Esquema de Telecomunicaciones para el Sistema SCADA/ADMS [7] [11]	17
Figura 2.7: Red convergente basada en tecnología Ethernet/IP [21]	20
Figura 2.8: Topología Punto a Punto [23].....	21
Figura 2.9: Topología Multipunto [23].....	21
Figura 2.10: Modelo de propagación de dos rayos [37].....	26
Figura 2.11: Zonas de Fresnel [40].....	27
Figura 2.12: Despeje de la primera zona de Fresnel [40].....	28
Figura 2.13: Elementos de un sistema de comunicación inalámbrico [40]	28
Figura 2.14: Estructura de un radioenlace [42].....	30
Figura 2.15: Patrón de radiación de una antena bidimensional [40].....	32
Figura 2.16: Patrón de radiación de una antena genérica [40].....	32
Figura 2.17: Polarización vertical [39].....	33
Figura 2.18: Polarización horizontal [39]	33
Figura 2.19: Asignación de frecuencias [37].....	34
Figura 2.20: Regiones para la atribución de bandas de frecuencias [43]	35
Figura 3.1: Localización geográfica de las sub estaciones.....	44
Figura 3.2: Diagrama de comunicaciones actual SCADA ELEPCO S.A.	45
Figura 3.3: Servicios EL CALVARIO	46
Figura 3.4: Tráfico de datos EL CALVARIO	47
Figura 3.5: Tráfico de Internet EL CALVARIO	47
Figura 3.6: servicios SAN RAFAEL	48
Figura 3.7: Tráfico de datos SAN RAFAEL.....	48
Figura 3.8: Tráfico de Internet SAN RAFAEL	49
Figura 3.9: Servicios SALCEDO.....	50
Figura 3.10: Tráfico de datos SALCEDO.....	50
Figura 3.11: Tráfico de Internet SALCEDO	51
Figura 3.12: Servicios MULALÓ	51
Figura 3.13: Tráfico de datos MULALÓ	52
Figura 3.14: Tráfico de Internet MULALÓ.....	53
Figura 3.15: Servicios LASSO	53
Figura 3.16: Tráfico de datos LASSO	54
Figura 3.17: Tráfico de Internet LASSO	55
Figura 3.18: Servicios LA COCHA.....	55
Figura 3.19: Tráfico de datos LA COCHA.....	56
Figura 3.20: Servicios PUJILÍ	56
Figura 3.21: Tráfico de datos PUJILÍ	57
Figura 3.22: Servicios LA MANÁ	58
Figura 3.23: Tráfico de datos LA MANÁ	58
Figura 3.24: Tráfico de Internet LA MANÁ.....	59

Figura 3.25: Servicio de datos SIGCHOS	60
Figura 3.26: Servicios Central ILLUCHI 1	60
Figura 3.27: Tráfico de datos Central ILLUCHI 1	61
Figura 3.28: Tráfico de Internet Central ILLUCHI 1	62
Figura 3.29: Servicios Central ILLUCHI 2.....	62
Figura 3.30: Tráfico de datos Central ILLUCHI 2.....	63
Figura 3.31: Tráfico de Internet Central ILLUCHI 2	64
Figura 3.32: Servicios en MATRIZ ELEPCOSA	64
Figura 3.33: Tráfico de datos Concentrador MATRIZ ELEPCOSA.....	65
Figura 3.34: Tráfico de Internet Concentrador MATRIZ ELEPCOSA	66
Figura 3.35: Eventos de Desconexiones, mes de JUNIO.....	67
Figura 3.36: Indisponibilidad del servicio mes de JUNIO	67
Figura 3.37: Eventos de Desconexiones, mes de JULIO	68
Figura 3.38: Indisponibilidad del servicio, mes de JULIO	68
Figura 3.39: Eventos de Desconexiones, mes de AGOSTO	69
Figura 3.40: Indisponibilidad del servicio, mes de AGOSTO	69
Figura 3.41: Eventos de Desconexiones, mes de SEPTIEMBRE	70
Figura 3.42: Indisponibilidad del servicio, mes de SEPTIEMBRE	70
Figura 3.43: Eventos de Desconexiones, mes de OCTUBRE	71
Figura 3.44: Indisponibilidad del servicio, mes de OCTUBRE.....	71
Figura 3.45: Eventos de Desconexiones, mes de NOVIEMBRE	72
Figura 3.46: Indisponibilidad del servicio, mes de NOVIEMBRE	72
Figura 4.1: Calculadora de ancho de banda VoIP [48]	79
Figura 4.2: Calculadora de ancho de banda [51].....	81
Figura 4.3: Topología de la red de telecomunicaciones	82
Figura 4.4: Dimensiones del tendido de fibra óptica aéreo en la postería eléctrica [53]	83
Figura 4.5: Esquemático de la red de fibra óptica	84
Figura 4.6: Cable aéreo ADSS [54]	85
Figura 4.7: Magas Domo de 24 hilos [55].....	86
Figura 4.8: Herraje tipo A de dos extensiones [56].....	87
Figura 4.9: Herraje tipo B para sujeción del cable [57]	87
Figura 4.10: Thimble Clevis y preformado para curvaturas del cable [58].....	88
Figura 4.11: Etiquetado de la red privada de ELEPCO S.A.	89
Figura 4.12: Reserva de cable tipo 8 de la red privada de ELEPCO S.A. [59].....	89
Figura 4.13: Transceiver óptico Gigabit Ethernet [61]	91
Figura 4.14: Atenuador óptico fijo (FOA) [60]	93
Figura 4.15: Atenuador óptico variable (VOA) [60]	93
Figura 4.16: Instalación de atenuador fijo (FOA) [60]	93
Figura 4.17: Distribuidor de Fibra Óptica (ODF)	96
Figura 4.18: Esquema general de un enlace de fibra óptica [62].....	98
Figura 4.19: Esquema de la red microonda.....	100
Figura 4.20: Centro de Control ELEPCOSA	101
Figura 4.21: Estación El Guango.....	102
Figura 4.22: Estación Simaurco.....	102
Figura 4.23: Estación Achayanchidi	103
Figura 4.24: Estación Macuchi	104

Figura 4.25: punto terminal SE La Maná	104
Figura 4.26: Punto terminal SE Sigchos	104
Figura 4.27: Radio FODU versión 6 a 11 GHz [63]	106
Figura 4.28: Diagrama de bloques radio Integra G [64].....	106
Figura 4.29: Configuración 1+0 sin redundancia [64]	107
Figura 4.30: Frecuencias de Transmisión y Recepción banda de 7 GHz.....	108
Figura 4.31: Antena Andrew ValuLine 0.6 m 7 Ghz [66].....	108
Figura 4.32: Ángulo de apuntamiento y azimut centro de control - estación el guango	117
Figura 4.33:Esquema general para nodos de puntos terminales	123
Figura 4.34:Esquema para nodos de repetidores El Guango, Achayanchidi, Macuchi	124
Figura 4.35:Esquema general para nodo de estación Simaurco	126
Figura 4.36: Modelo jerárquico de tres capas de Cisco [74].....	129
Figura 4.37: Nomenclatura de equipos Calvario.....	131
Figura 4.38: Topología lógica de red	135
Figura 4.39: Topología lógica El Calvario	136
Figura 4.40: Resumen de VLANs creadas en el switch SW01CV de Calvario	136
Figura 4.41: Puertos asignados a cada VLAN.....	137
Figura 4.42: Puerto configurado en modo troncal.....	137
Figura 4.43: Topología lógica El Calvario	138
Figura 4.44: Configuración de sub-interfaces	139
Figura 4.45: DHCP para la red de teléfonos IP de El Calvario	139
Figura 4.46: Habilitar servicio de telefonía en el router RO01CV	140
Figura 4.47: Asignación de números de líneas.....	141
Figura 4.48: Enrutamiento de línea telefónica	141
Figura 4.49: Configuración de OSPF Área 1	143
Figura 4.50: Esquema del enlace Centro de control - Calvario	146
Figura 4.51: Port-channel 1 del lado de centro de control	146
Figura 4.52: Port-channel 1 del lado de Calvario.....	147
Figura 4.53: Enlaces con El Calvario.....	147
Figura 4.54: Interfaces switch SWCalvario	148
Figura 4.55: Activación del protocolo OSPF	148
Figura 4.56: Tabla de enrutamiento para la red de IEDs(scada)	150
Figura 4.57: Tabla de enrutamiento para la red de teléfonos IP	150
Figura 4.58: Tabla de enrutamiento para la red de cámaras IP	151
Figura 4.59: Pruebas de conectividad red de cámaras IP	151
Figura 4.60: Pruebas de conectividad red SCADA.....	151
Figura 4.61: Pruebas de conectividad red VoIP	152
Figura 4.62: Esquema enlace Etherchannel Calvario-Centro de control	152
Figura 4.63: Respuesta desde el dispositivo CAM06CH de La Cocha	153
Figura 4.64: Esquema con desconexión de un enlace redundante	153
Figura 4.65: Estado del enlace Port-channel1	154
Figura 4.66: Respuesta del dispositivo CAM06CH de La Cocha.....	154
Figura 4.67: Esquema para prueba de conectividad Centro de control – Salcedo	155
Figura 4.68: Prueba de conectividad Centro de control - Salcedo (Sin desconexión) .	156
Figura 4.69: Esquema cuando se produce la desconexión	156

Figura 4.70: Pérdida de paquetes por desconexión	157
Figura 4.71: Dead Time OSPF	157
Figura 4.72: Vecino 2.2.2.2 dado de baja del proceso OSPF	158
Figura 4.73: Restablecimiento de comunicación con el IED de Salcedo.....	159
Figura 4.74: Traza ServerSCADA – IED03SA por el segundo camino disponible.....	159
Figura 4.75: Secuencia para una sesión BFD [84]	160
Figura 4.76: Enrutamiento de líneas telefónicas, router ROCCL (centro de control)....	162
Figura 4.77: Pruebas de telefonía IP Pujilí	162
Figura 4.78: Pruebas de telefonía IP Sigchos	163
Figura 5.1 Proceso SIE-GPA-042-2022 instalación de red de fibra óptica [87]	168
Figura 5.2 Proceso SIE-EEPGSA-40-2020 tendido de fibra óptica [88]	169
Figura 5.3 Organigrama Dirección Administrativa y de Tecnologías ELEPCO S.A. [97]	179

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Servicio de Datos e Internet en Subestaciones	2
Tabla 2.1 Ejemplo de cantidad de bits en una conversación RTU - estación maestra [14]	12
Tabla 2.2: Estaciones de trabajo del Centro de Control ELEPCOSA [6]	15
Tabla 2.3: Estaciones de trabajo del Centro de Control regional Ambato [6]	16
Tabla 2.4: Estaciones de trabajo del Centro de Control Nacional Quito [6]	17
Tabla 2.5: Clasificación de Estándar para redes LAN [27]	23
Tabla 2.6: Clasificación del Estándar Ethernet [28]	23
Tabla 2.7 Clasificación de Estándar para Cableado Estructurado [29].....	24
Tabla 2.8: Características típicas de los terrenos [35].....	27
Tabla 2.9:Cuadro de atribución de bandas de frecuencia 7 GHz [40]	36
Tabla 3.1: Resumen del servicio de datos e internet.....	44
Tabla 3.2: Cantidad de desconexiones Junio – Noviembre / 2022.....	74
Tabla 3.3: Tiempo de Indisponibilidad del servicio junio - noviembre.....	74
Tabla 3.4: Nivel de servicio en seis meses.....	75
Tabla 4.1: Cálculo de ancho de banda real VoIP [44]	79
Tabla 4.2: Tasa de datos requerida para VoIP	80
Tabla 4.3: Capacidad mínima requerida x sub estación.....	81
Tabla 4.4: Coordenadas de nodos de la red de fibra óptica	84
Tabla 4.5: Normativa ARCOTEL ubicación de herrajes	86
Tabla 4.6: Normativa ARCOTEL etiquetado del tendido de fibra	88
Tabla 4.7: Volumen de obra del tendido de fibra	90
Tabla 4.8: Tipos de transceivers para fibra óptica [57]	91
Tabla 4.9: Presupuesto óptico de enlaces de la red.....	94
Tabla 4.10: Equipamiento de nodo Calvario.....	99
Tabla 4.11: Equipamiento para nodo con dos enlaces adyacentes.....	99
Tabla 4.12: Equipamiento para nodo Illuchi 1.....	100
Tabla 4.13: Resumen de los sitios para radio enlace	105
Tabla 4.14: Distancias de los enlaces de radio	105
Tabla 4.15: Dúplex de frecuencias Transmisión/Recepción [62].....	107
Tabla 4.16: Valores para terreno irregular [65].....	110
Tabla 4.17: Constantes eléctricas del terreno [65]	110
Tabla 4.18: Valores sugeridos para Ns según el clima [35] [65].....	111
Tabla 4.19: Datos para el enlace centro de control - Estación El Guango [66] [63].....	112
Tabla 4.20: Ángulos para el apuntamiento de antenas	117
Tabla 4.21: Resultados de los cálculos teóricos.....	117
Tabla 4.22: Resultados de la simulación del enlace.....	118
Tabla 4.23: Comparación de resultados teóricos y de simulación.....	119
Tabla 4.24: Datos iniciales para RadioMobile.....	119
Tabla 4.25: Resultados Simulación de radioenlaces	120
Tabla 4.26: Equipamiento para nodos de puntos terminales.....	124
Tabla 4.27: Equipamiento para nodos de repetidores	125
Tabla 4.28: Equipamiento para nodo Simaurco.....	125
Tabla 4.29: Códigos para nombramiento de equipos	131

Tabla 4.30: Nomenclatura de equipos nodo Calvario	131
Tabla 4.31: Direcciones IPv4 privadas	132
Tabla 4.32: Direccionamiento para la red VoIP	132
Tabla 4.33: Direccionamiento para la red de cámaras IP	133
Tabla 4.34: Direccionamiento para la red SCADA.....	133
Tabla 4.35: Direccionamiento para la red WAN.....	134
Tabla 4.36: Directorio telefónico	140
Tabla 4.37: Áreas estándar OSPF.....	142
Tabla 4.38: Direccionamiento para las interfaces de los SWITCHES WAN	144
Tabla 4.39: Direccionamiento para dispositivos terminales	149
Tabla 4.40: Líneas telefónicas habilitadas.....	161
Tabla 4.41: Equipos de red para el diseño propuesto	164
Tabla 5.1: Tasas de datos del servicio actual.....	166
Tabla 5.2: Cotización del servicio propuesto por el ISP 1 [83]	167
Tabla 5.3: Costos de suministro, tendido e instalación de elementos de la red de fibra óptica [86].....	170
Tabla 5.4: Costos de equipos para radioenlaces [87].....	171
Tabla 5.5: Infraestructura adicional en nodos [87] [88] [89].....	172
Tabla 5.6: Contraprestación para el caso de torres [90].....	172
Tabla 5.7: Precios estimados de un proveedor de infraestructura [91].....	173
Tabla 5.8: Costos por pago de arrendamiento de infraestructura física	173
Tabla 5.9: Valor a pagar por derechos de otorgamiento de títulos habilitantes	176
Tabla 5.10: Tarifa mensual por el uso de frecuencias	177
Tabla 5.11: Costo de ingeniería red de fibra óptica	178
Tabla 5.12: Costos de ingeniería red inalámbrica	178
Tabla 5.13: Costos de los dispositivos de red [93]	178
Tabla 5.14: Costos por pagos de salarios [94]	180
Tabla 5.15: Costos por herramientas para mantenimiento	180
Tabla 5.16: Proyección de Ingresos	181
Tabla 5.17: Inversión inicial del proyecto.....	181
Tabla 5.18: Indicadores VAN y TIR	183

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El contexto de este capítulo, describe el origen y la razón por la cual se plantea el tema tratado en el presente trabajo de titulación, cuya estructura se centra en los antecedentes que describen la información y caracterización de trabajos investigativos similares que sustentan la identificación de la necesidad en la empresa ELEPCO S.A. generando el problema a resolver, donde el apartado de la justificación definirá por qué la problemática requiere ser investigada, además de definir una propuesta de solución a la empresa ELEPCO S.A., en base al planteamiento de objetivos que especifican las metas que se quiere alcanzar, mediante la utilización de metodología proyectiva.

1.1 Antecedentes

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. (ELEPCO S.A.) entra en funcionamiento el primero de febrero 1984, ofreciendo servicio de energía eléctrica y alumbrado público a la provincia de Cotopaxi [1], con el pasar de los años y el incremento de la demanda del servicio eléctrico, la empresa en el año 2015 tuvo la necesidad de implementar sistemas que le permitan supervisión, control y adquisición de datos, conocidos como SCADA (por sus siglas en inglés de Supervisory Control And Data Acquisition) [2], que permite obtener los datos analógicos y digitales de los dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs) instalados en las subestaciones eléctricas de distribución de la empresa.

Para obtener los datos del sistema eléctrico, las funciones de recolección de datos SCADA deben conectarse a todos los elementos de campo utilizando un sistema de telecomunicaciones de área amplia (WAN), que debe cumplir con ciertas condiciones para un óptimo funcionamiento, que consiste en disponibilidad permanente del servicio con el mínimo de desconexiones (cerca a cero) que permita garantizar la transmisión de datos de forma ininterrumpida desde los concentradores de datos (CD), dispositivos electrónicos inteligentes (IED) instalados en cada una de las subestaciones y redes de distribución, hasta los servidores locales ubicados en el Centro de Control de la empresa ELEPCO S.A., dichos datos son presentados en las consolas de operación para el respectivo análisis y toma de decisiones por parte del operador del sistema.

Dado que la información que proviene de los distintos elementos de campo es fundamental para una efectiva toma de decisiones, es de vital importancia que la red de telecomunicaciones no presente problemas de desconexiones. Hoy en día la empresa ELEPCO S.A. hace uso del sistema de telecomunicaciones de un proveedor de servicios externo ISP, que presta servicio a las sub estaciones de acuerdo a la Tabla 1.1:

Tabla 1.1: Servicio de Datos e Internet en Subestaciones

Sitios	Nombre	Medio de Transmisión	Capacidad Datos (Mb/s)	Capacidad internet (Mb/s)
Sub estaciones	Calvario Centro de Control	Fibra óptica	5	3
	San Rafael	Fibra óptica	6	2
	Salcedo	Fibra óptica	6	2
	Mulaló	Fibra óptica	6	2
	Lasso	Fibra óptica	6	2
	La Cocha	Radio	4	-
	Pujilí	Radio	4	-
	Sigchos	Fibra óptica	4	-
Centrales de Generación	La Maná	Radio	4	4
	Illuchi 1	Radio	3	1
	Illuchi 2	Radio	3	1
MATRIZ ELEPCO	Equipo concentrador	Fibra óptica	60	8

Considerando que el tráfico de datos SCADA en todas y cada una de las sub estaciones en promedio no supera los 10 kb/s de acuerdo a la información obtenida de la herramienta de monitoreo de tráfico proporcionado por el ISP, las tasas de datos indicadas en la Tabla 1.1 satisfacen esta necesidad; sin embargo, se presentan desconexiones frecuentes, específicamente en los enlaces de radio lo que provoca indisponibilidad del servicio, esto implica que se pierda el monitoreo y control de los dispositivos de campo con la consecuente incapacidad de operar dichos dispositivos desde el Centro de Control.

Las desconexiones en los enlaces de radio se deben principalmente a interferencias producidas por el reuso de frecuencias en las bandas libres, utilizadas por el ISP en la prestación del servicio. El mayor número de desconexiones por esta causa se han producido en las sub estaciones de La Cocha, La Maná e Illuchi 2, Con un total de 148, 121 y 108 eventos respectivamente en el período de junio a noviembre del 2022 según los registros históricos del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

Existen otras causas por las cuales en menor medida también ocasionan desconexiones, tales como: saturación del canal por el tráfico de internet en las sub estaciones que poseen este servicio, rotura de fibra óptica, fallas desconocidas que ocurren en la red del ISP, mantenimientos del sistema de telecomunicaciones por parte del mismo proveedor, etc. Debido a estas causas la mayor cantidad de desconexiones se han registrado en Salcedo con 106 y en Mulaló y Lasso con 52, en el mismo periodo, de acuerdo con el histórico de eventos del sistema SCADA.

Lo anterior ha originado problemas de eficiencia y que los datos se pierdan suscitándose que no se pueda comunicar posibles problemas de los sistemas. Además, que debido a la no efectividad de la toma de decisiones esto aumenta el tiempo de inactividad causando que los entes de control que supervisan la gestión de la institución realicen llamados de atención dado que los datos no se encuentran disponibles cuando ocurren fallas en las comunicaciones.

Los estudios antecedentes permiten dar mayor fundamento al trabajo investigativo, debido a que, se demuestra que el problema no solo se presenta en el lugar delimitado, sino que, se ha evidenciado en otras partes del mundo, por ello, la extracción de información se da mediante la recolección de datos publicados en revistas y repositorios de universidades prestigiosas.

El estudio de Villanueva [3], tuvo como objetivo desarrollar una evaluación y diagnóstico del sistema de telecomunicaciones del SCADA. Se aplicó la metodología descriptiva y bibliográfica. Los resultados reflejaron que mediante la simulación se comprobó el funcionamiento de la red SCADA, así como también la transferencia de los datos con el mismo protocolo. Por su parte, el Packet Tracer permitió un buen manejo de las redes, lo cual aporta a las futuras decisiones. En la seguridad del puerto, los enlaces de GPRS y Satelital fueron integrados con el SCADA, sin embargo, presentaron complejidad en las configuraciones, por lo que, se optó por las conexiones directas. Se concluyó que, el sistema SCADA, contribuyó en la medición del ancho de la banda consumida y analizó los paquetes de datos circulatorios.

Otro estudio propuesto por Avilés [4], cuyo objetivo fue automatizar los equipos de protección y reconexión, por medio del sistema SCADA. Se aplicó la metodología descriptiva y bibliográfica. Los resultados reflejaron tres tipos de pruebas, donde la

primera fue un control remoto de reconectores que fue desde la interfaz SCADA, este permitió comprobar que el sistema controla de manera manual los cambios de HMI, en la base de datos de SCADA, luego pasa por los equipos de protección y reconexión. La segunda prueba consistió en la supervisión en tiempo real del sistema SCADA, donde se observó los valores analógicos y digitales con el fin de igualar los cambios al sistema de campo, dando positivo a la supervisión remota automática en tiempo real. La tercera prueba, se empleó equipos de GPRS, dando configuraciones de comunicación estable, es decir que, hubo cobertura y velocidad de respuesta. Se concluyó que, se cumplieron con cada objetivo, debido a que se logró ventajas en los costos operativos, recursos optimizados, velocidad de ejecución y sobre todo la satisfacción de los clientes. Por otro lado, el sistema SCADA favoreció en la supervisión de todos los parámetros de la red de distribución, lo cual fue viable.

De la misma manera, Klinger y Cepeda [5], cuyo objetivo fue diseñar e implementar el sistema SCADA en la comunicación IEC 61850 con el fin de monitorear los parámetros. Se aplicó la metodología descriptiva y bibliográfica. Los resultados reflejaron que las mediciones reales obtenidas mediante un analizador de red, de las cuales se tomaron muestras de voltaje en un rango de 100 milisegundos, difieren con los datos de tensión medidas con el sistema SCADA, dado que en este último el parámetro de tensión al ser pasado por varias etapas de conversión pierde la confiabilidad en las mediciones, los niveles de error estuvieron en el 10%. Se concluyó que, el sistema SCADA contribuye en las funciones de protección y comunicación, por lo que, mediante la interfaz se puede integrar los dispositivos IED, dando una buena conversión y comunicación en los IEDs y software LabVIEW.

En resumen, los referentes empíricos muestran cómo en las últimas décadas las telecomunicaciones han favorecido a la comunicación, logrando cada vez, un nivel alto dentro del país; el avance tecnológico ha permitido obtener datos de distintos equipos para lograr el monitoreo y control remoto, mediante sistemas SCADA.

1.2 Justificación

La ELEPCO S.A. tiene implantado el sistema SCADA/DMS/OMS-MWM que se utiliza tanto para la gestión en tiempo real como para las operaciones de Planificación. La solución tiene un modelo estático de datos que se obtiene mediante la interfaz con el

sistema ArcGIS (Geographic Information System), y los cambios de datos dinámicos son recibidos desde el sistema SCADA [6].

El sistema SCADA recolecta datos de todas las fuentes incluyendo Unidad Terminal Remota (RTU), Concentradores de Datos (CDs) o Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IEDs) [7] y dispositivos de campo desplegados en las sub estaciones y redes de distribución eléctrica, por medio de protocolos estándar como DNP3, Modbus, IEC 61850, IEC 60870-5-104, todos ellos sobre TCP/IP utilizando una red de área amplia (WAN).

Todos los datos analógicos y digitales recolectados por el sistema SCADA son desplegados en las consolas de operación del Centro de Control, las mismas que le ayudan al operador a monitorear y controlar los dispositivos de campo de forma remota, permitiendo tomar decisiones ágiles y oportunas para el restablecimiento del servicio eléctrico en caso de un corte.

En tal virtud, el uso de herramientas tecnológicas como el sistema SCADA/ADMS, permiten mejorar la calidad del servicio técnico y por ende cumplir con las disposiciones legales emitidas por los organismos de control del sector eléctrico, como la ARCERNNR (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables), quienes en la Regulación Nro. ARCERNNR 002/20, numeral 13.3 “Interrupciones a ser consideradas” indican que: *“Para el cálculo de los índices e indicadores de calidad de servicio técnico, se considerarán todas las interrupciones con duración mayor a tres (3) minutos, incluyendo todas las desconexiones internas y externas, programadas y no programadas.”* [8]; así también, en el numeral 16.2 “Evaluación y control anual” de la misma regulación, menciona lo siguiente: *“La ARCERNNR controlará el cumplimiento de los indicadores de calidad de servicio técnico a través del ADMS, y en caso encontrare inconformidades, inconsistencias y/o incumplimientos, podrá ejecutar las acciones y sanciones que le faculta la normativa vigente”* [8].

Por lo tanto, para cumplir con los parámetros de calidad exigidos, es necesario que ELEPCO S.A. cuente con un sistema de telecomunicaciones fiable que garantice el transporte de datos sin interrupciones, de tal forma que, la gestión del sistema eléctrico a través del sistema SCADA/ADMS sea confiable, posibilitando que la atención de interrupciones esté dentro de los tiempos establecidos.

Hoy en día la red del ISP son enlaces de comunicación que poseen gran cantidad de desconexiones e indisponibilidad frecuente de servicio durante todos los meses del año de acuerdo a los eventos registrados en la base de datos histórica del sistema SCADA, a pesar de que en el contrato vigente se establece un nivel de servicio del 99% [9], por lo que se genera la necesidad de disponer de una red más confiable en la disponibilidad del servicio y permita reducir las continuas desconexiones, con la consecuente mejora en el transporte de datos.

Bajo este contexto se plantea una red convergente que permita mejorar la calidad del servicio en cuanto a disponibilidad, reduciendo las desconexiones al mínimo (cercano a cero) mediante el uso de fibra óptica y enlaces inalámbricos en bandas de frecuencias licenciadas para disponer de conexiones dedicadas para la transmisión de datos. Para lo cual se propone diseñar una red de telecomunicaciones privada, para transportar datos del sistema SCADA, voz y video, desde las sub estaciones eléctricas hasta el Centro de Control de la empresa ELEPCO S.A. en la provincia de Cotopaxi. La red de fibra óptica enlazará 7 sub estaciones en topología anillo y 2 centrales de generación en topología estrella desde el Centro de Control; mientras que para los sitios más alejados que son las sub estaciones de La Maná y Sigchos se contemplan enlaces inalámbricos con bandas de frecuencias licenciadas, para evitar interferencias por reúso de frecuencias en las bandas libres.

La red por diseñar será exclusivamente para la transmisión de los tres tipos de tráfico ya indicados, por lo que será independiente de la red del servicio de internet, que, en caso de requerirlo en alguna sub estación, esta será provista por un ISP de forma separada. El diseño propuesto será escalable para permitir ampliaciones futuras, considerando que la ELEPCO S.A. tiene planificado la construcción de varias sub estaciones en el mediano plazo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una red privada de telecomunicaciones convergente para la interconexión de las sub estaciones eléctricas con el centro de control de la empresa ELEPCO S.A. en la provincia de Cotopaxi, basado en redes ópticas y radio enlaces.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Revisar el estado del arte de la red de telecomunicaciones para la transmisión de datos del sistema SCADA, voz y video.
- Evaluar el funcionamiento de la red actual en cada sub estación eléctrica para establecer un diagnóstico.
- Diseñar la red convergente con base en los estándares internacionales de la ITU, TIA, EIA, IEEE y simulación de la red lógica (routers, switches, VLANs, basados en enlaces Fast Ethernet) para comprobar su funcionamiento.
- Realizar el estudio de viabilidad técnica-económica del proyecto, para el análisis de factibilidad de implementación.

1.4 Metodología

La metodología utilizada en el proyecto de titulación es de tipo proyectiva que se define como aquella que consiste en encontrar la solución a los problemas prácticos, se ocupa de cómo deberían de ser las cosas para alcanzar los fines y funcionar adecuadamente, además de que consiste en la elaboración de una propuesta o de un modelo, para solucionar problemas o necesidades de tipo práctico, ya sea de un grupo social, institución, un área particular de conocimiento, partiendo de un diagnóstico, preciso de las necesidades del momento [10].

Para conseguir el objetivo principal del proyecto, en principio se realizó una evaluación técnica del servicio prestado en cada una de las sub estaciones, cuyos resultados permitieron tener información documentada de la situación actual y sirvió de base para mejorar la red con el nuevo diseño.

La revisión de la literatura consistió en un trabajo investigativo de material bibliográfico de las tecnologías, estándares, protocolos y regulaciones lo que a su vez ayudó a caracterizar la red de telecomunicaciones propuesta, para cada uno de los sitios hacia donde llega la red.

Con toda la información adquirida se da inicio a la etapa de diseño en donde con ayuda de herramientas informáticas Packet Tracer y Radio Mobile se procedió a armar la topología de la red tomando en consideración todos los parámetros definidos en la caracterización de la red propuesta, como la geografía, alturas de terreno, ubicación de

los sitios, especificaciones técnicas de los equipos, materiales y los ajustes necesarios para conseguir el funcionamiento de la red.

Posteriormente, la validación del diseño se realizó mediante la simulación de la red lógica (Routers, Switches, VLANs, basado en enlaces fast ethernet y giga ethernet) utilizando la herramienta Packet Tracer.

Finalmente, se realizó la estimación de costos de la infraestructura física, operación y mantenimiento de la red, los resultados permitieron determinar la factibilidad técnica y económica de su implementación.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo realiza una revisión de la literatura como teorías, normativas y conceptos relacionado con el diseño e implementación de un sistema de comunicaciones destinado para la transmisión de datos telemétricos, voz y video en sub estaciones eléctricas que constituyen el enfoque que expone la problemática planteada, implicando una integración de la información a partir del análisis de la teoría.

2.1 Sistema SCADA/OMS – MWM/DMS (ADMS Advanced Distribution Management System)

El sistema SCADA/DMS/OMS-MWM (ADMS), es un sistema nacional de plataforma común para todas las empresas eléctricas de distribución del país, el cual se utiliza tanto para la gestión en tiempo real como para las operaciones de planificación. La solución tiene un modelo estático de datos que se obtiene mediante la interfaz con el sistema GIS (Sistema de Información Geográfica), y los cambios de datos dinámicos son recibidos desde el sistema SCADA [6].

La plataforma común es del tipo misión crítica, razón por la cual los sistemas implantados son altamente confiables que pueden operar continuamente con el mínimo mantenimiento necesario.

El sistema ADMS comprende varios entornos o zonas:

- Entorno de Producción o Core, que consiste en operaciones SCADA (**S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**cquisition) / DMS (**D**istribution **M**anagement **S**ystem) y las funciones de OMS (**O**utage **M**anagement **S**ystem).
- Entorno de Acceso Corporativo DMZ (Demilitarized Zone).
- Entorno de Aseguramiento de la Calidad y Test, QADS (**Q**uality **A**ssurance **D**evelopment **S**ystem).
- Entorno de Entrenamiento OTS (**O**perator **T**raining **S**imulator) [6].

El sistema en el entorno de producción está basado en servidores duales HOT/STANDBY de forma que los servicios críticos están respaldados por servidores que conmutan automáticamente en caso de detectar un fallo en un proceso o servicio. Tanto para el entorno de Producción como en el entorno DMZ existen dos centros, principal y

respaldo, situados en los Centros de Datos Nacionales (CDNs) de Quito y Guayaquil. La conmutación entre centros se realiza de forma manual ante la indisponibilidad de algún servicio crítico del Centro que tenga el control [6].

2.1.1 Funciones del ADMS (SCADA/DMS/OMS-MWM)

La colección de sistemas vinculados con la operación del sistema en tiempo real, conocida como *suite de tiempo real*, comprende el conjunto de funciones de alto rendimiento y que están conectadas por un bus de datos de gran velocidad llamado *Bus de tiempo real* [7] [11].

Un sistema de tiempo real es un sistema informático que responde a estímulos producidos externamente en un intervalo de tiempo finito y especificable. De esta manera un Sistema en Tiempo Real depende no sólo del resultado lógico de la computación, sino también del instante en el cual se producen dichos resultados; es debido a estas características que son utilizados en aplicaciones de control, supervisión y comunicaciones. Los sistemas supervisores en tiempo real en el sector eléctrico reciben la denominación de Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) [12].

Rigurosamente, un sistema de tiempo real es el que no introduce retardos entre la señal de medición recibida y la señal de control. En la realidad, todos los sistemas de control introducen pequeños retardos al proceso, sin embargo, estos no deben afectar al rendimiento del proceso para que sea un sistema de tiempo real [13]. Para minimizar los efectos de retardo de tiempo, se puede seleccionar el intervalo de SCAN, que es el tiempo de conversación con una RTU y la próxima conversación con la misma RTU [14].

El intervalo de SCAN depende de varios factores como son [14]:

- Cantidad de RTUs a ser escaneadas
- Cantidad de información a ser enviadas en cada conversación
- Velocidad del medio de comunicación en bits por segundo.
- Eficiencia del medio de comunicación.

Como ejemplo se realiza el cálculo del intervalo de SCAN, con los siguientes datos:

- Cantidad de RTUs: 20
- Cantidad de información a ser enviadas x cada RTU como se muestra en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1 Ejemplo de cantidad de bits en una conversación RTU - estación maestra [14]

RTU	
140 puntos de estado	140 bits
30 puntos de alarma	30 bits
10 indicadores (1 palabra de 16 bits)	160 bits
10 puntos análogos (1 palabra de 16 bits)	160 bits
ESTACIÓN MAESTRA	
150 controles discretos (válvulas y motores)	150 bits
6 motores de posición (1 palabra de 16 bits)	96 bits
10 válvulas moduladoras (1 palabra de 16 bits)	160 bits
Cantidad de total de bits en la conversación	896 bits

Si se considera un medio de comunicación UHF que alcanza una velocidad de 1,200 b/s con una eficiencia del 100% [14] se tiene lo siguiente:

$$\text{Intervalo SCAN} = (20 \times 896) / (1,200 \times 100\%) = 14.93 \text{ segundos}$$

Por lo tanto, en este ejemplo, el sistema estaría diseñado para operar con un tiempo de 14.93 segundos de actualización de cada RTU. En la Figura 2.1 se indican los elementos funcionales de la arquitectura del ADMS.

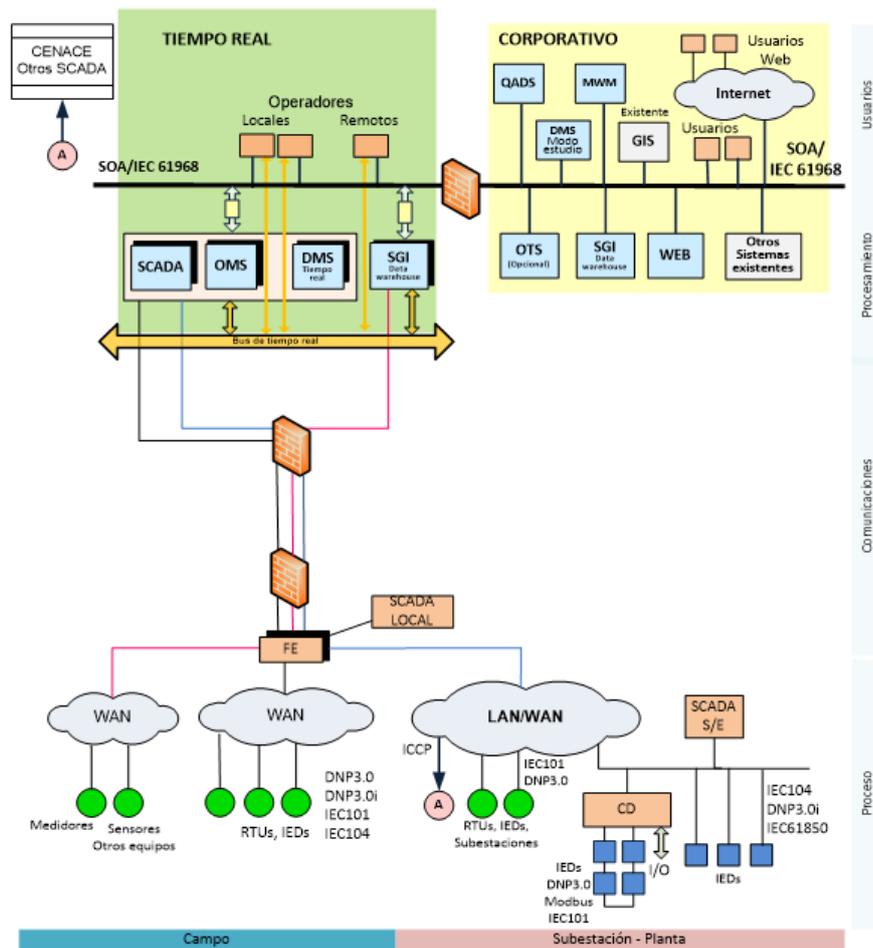


Figura 2.1: Componentes funcionales de la arquitectura [7] [11]

Las tareas de operación que se conectan entre sí por el bus de tiempo real y que se entrelazan a otras funciones (Figura 2.1) por el bus de servicios (SOA/IEC61968), son:

- SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition): Monitoreo en tiempo real de todos los parámetros eléctricos y el estado de los equipos de campo, así como maniobrar los equipos de las sub estaciones; controlando los elementos del sistema en tiempo real.
- OMS (Outage Management System): El Sistema de Gestión de Incidencias son aplicaciones diseñadas para ayudar al operador a restaurar el servicio eléctrico tras una interrupción. Tiene gestión de llamadas, gestión de cuadrillas, localización, aislamiento y restauración de fallas.
- DMS (Distribution Management System): Aplicaciones diseñadas para monitorear y controlar la red del sistema de distribución en su integridad, tiene la capacidad de realizar análisis basados en flujos de carga, reconfiguración de la red, cálculo de fallas, entre otras aplicaciones.
- SGI (Sistema de Gestión de la Información): Consiste de una funcionalidad de captura de datos a partir de la base de datos de tiempo real, cálculo y almacenamiento de datos derivados, presentación de la información en reportes y gestión de datos para almacenamiento a largo plazo [7] [11].

Así mismo, las funciones que no son de tiempo real y que se utilizan para las operaciones de planificación, se detallan a continuación:

- DMS Modo Estudio: Es la colección de aplicaciones que soportan los estudios de parámetros de la red eléctrica, que permiten a los usuarios estudiar tanto las condiciones actuales del sistema de tiempo real como las futuras para análisis de mantenimiento u otros.
- QADS (Quality Assurance and Development System): Sistema de desarrollo y pruebas de aplicativos, bases de datos, implementaciones y registros del sistema para asegurar la calidad de los datos, además de actualizaciones de software del proveedor o parches antes de cargar al sistema de operación.
- El Sistema de Información Geográfica (GIS) son los datos del modelo eléctrico, que proporciona al SCADA/ADMS la información que representa el sistema eléctrico.

- El sistema MWM (Mobile Workforce Management System) para la administración del trabajo en vehículos, incluye la función de localización para el seguimiento de cada una de las cuadrillas de campo desde el Centro de Control.
- OTS: Ejecuta su funcionalidad en hardware, destinado a entrenar operadores en un ambiente simulado del sistema eléctrico.
- ICCP: Para intercambiar datos entre el SCADA/OMS-MWM/DMS (ADMS) y otro sistema SCADA.
- Servidor WEB: ofrece servicios para los usuarios externos mediante acceso tipo internet con equipos fijos o móviles que pueden acceder con las respectivas autorizaciones, a la información del sistema.
- REPORTERÍA: Minería de datos, generación de reportes utilizando el almacenamiento de datos históricos (Eventos, alarmas, curvas tendencias) [7] [11]

2.1.2 Centros de Control

Se distinguen tres tipos de Centros de Control; Local, Regional y Nacional, cada una tiene su área específica de responsabilidad y hardware dedicado [6]. Figura 2.2. muestra la configuración de la asignación de zonas de control.

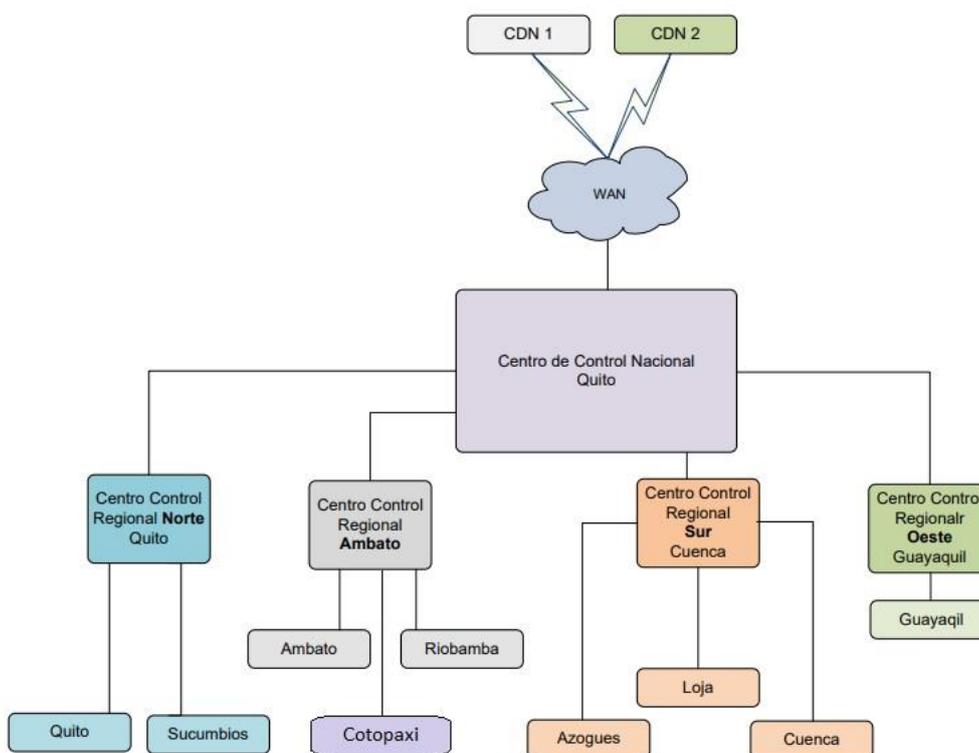


Figura 2.2: Áreas de Responsabilidad Local/Regional/Nacional [6]

Centro de Control Local: Permite a las Empresas Eléctricas operar su sistema eléctrico a través del SCADA del Centro de Control Local, cuyas funciones básicas son las mismas que del SCADA nacional, con capacidad de operación en modo de contingencia recopilando datos en su área de cobertura que luego se sincronizan con el Datacenter Nacional. Este sistema opera como respaldo en caso de falla en las comunicaciones con el Centro de Datos Nacional CDN1 y CDN2 [6] [11].

Centro de Control Local ELEPCOSA

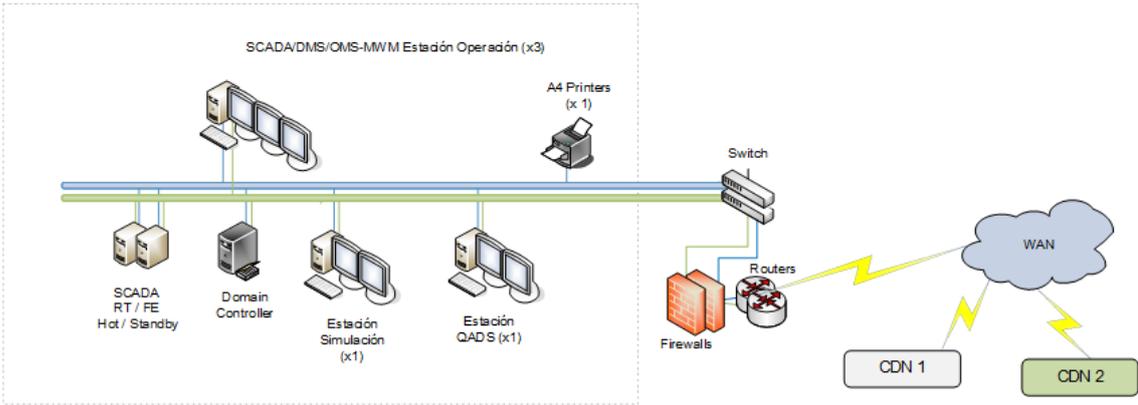


Figura 2.3: Centro de Control Local ELEPCOSA [6]

Las diferentes estaciones de trabajo que constituyen un Centro de Control Local se muestran en la Figura 2.3, cuyos detalles se especifican en la Tabla 2.2:

Tabla 2.2: Estaciones de trabajo del Centro de Control ELEPCOSA [6]

Nombre	Descripción
SCADA/DMS/OMS-MWM Estación de Operación (x 3 estaciones)	Puesto de trabajo para SCADA/DMS/OMS-MWM, con aplicativos ezXOS (interfaz SCADA) y DMD (interfaz DMS/OMS-MWM)
Estación de Simulación (x 1 estación)	Estación de trabajo para realizar simulaciones de la red de distribución.
Estación QADS (x 1 estación)	Estación de trabajo para el aseguramiento de la calidad
SCADA RT/FE (HOST/STANDBY)	Servidores SCADA local – Front End de comunicaciones
Controlador de Dominio	Servidor de directorio activo para la gestión de los recursos del sistema y la seguridad.

Centro de Control Regional: Cubre las funcionalidades de todos los Centros de Control Locales dentro de su zona [11].

Centro Control Regional – Ambato

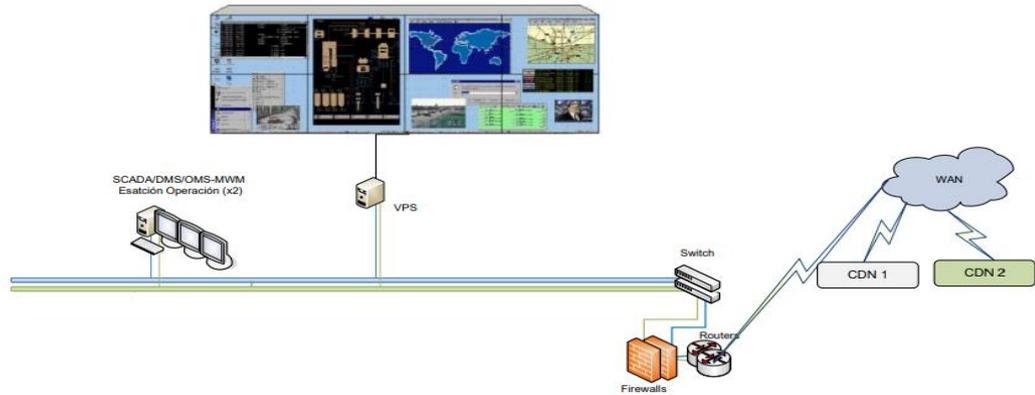


Figura 2.4: Centro de Control Regional Ambato [6]

La Figura 2.4, muestra los componentes del Centro de Control Regional de Ambato, cuyos detalles se especifican en la siguiente Tabla 2.3:

Tabla 2.3: Estaciones de trabajo del Centro de Control regional Ambato [6]

Nombre	Descripción
SCADA/DMS/OMS-MWM Estación de Operación (x 2 estaciones)	Puesto de trabajo para SCADA/DMS/OMS-MWM, con aplicativos ezXOS (interfaz SCADA) y DMD (interfaz DMS/OMS-MWM)
VPS	Servidor de Video Wall

Centro de Control Nacional: Opera el sistema eléctrico de todas las regiones o de cualquier Empresa individualmente [11].

Centro de Control Nacional EEQ

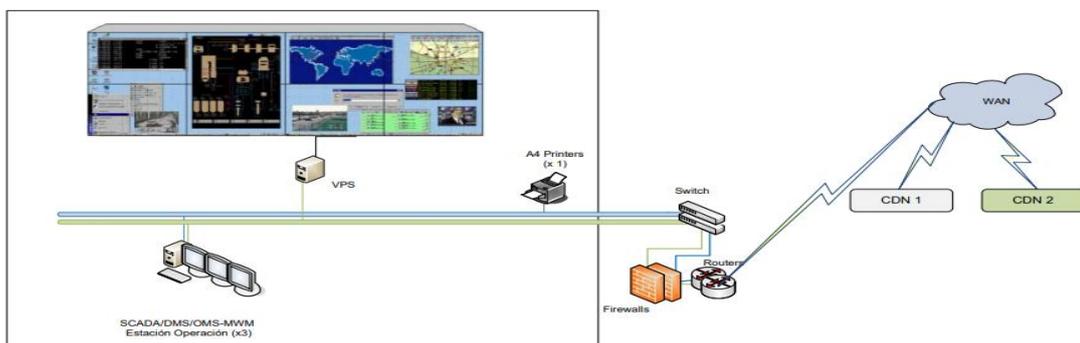


Figura 2.5: Centro de Control Nacional Quito [6]

La Figura 2.5, muestra los componentes del Centro de Control Nacional Quito, cuyos detalles se especifican en la siguiente Tabla 2.4:

Quito, Guayaquil y Cuenca. En el esquema se puede identificar los siguientes dispositivos de red:

- **P. Provider:** Router del proveedor (Transelectric), con interfaces de 10 Gb/s en fibra óptica, backplane mínimo 0.8 Tb/s, redundancia de controladora y fuente de poder DC, soporte y activación de MPLS (Multiprotocol Label Switching) y VPLS (Virtual Private LAN Service).
- **PE. Provider Edge:** Router de borde del Proveedor (Transelectric), con interfaces de 10 Gb/s y 1Gb/s en fibra óptica, backplane mínimo de 720 Gb/s, redundancia de controladora y fuente de poder DC, soporte y activación de MPLS y VPLS.
- **CE1. Customer Edge:** Router de borde de los clientes (Empresas Eléctricas) con interface óptica de 1 Gb/s, backplane mínimo de 4 Gb/s, redundancia de controladora y fuente de poder DC.
- **CE2. Customer Edge:** Switch L3 de borde de los clientes (Centros de Datos Nacionales CDNs) con interface óptica de 10 Gb/s, backplane mínimo de 160 Gb/s, redundancia de controladora y fuente de poder DC, soporte y activación de MPLS, VPLS, VPC (Virtual Private Cloud), Virtual Port Channel [7].

2.2 Redes de Telecomunicaciones

Las redes de telecomunicaciones hacen referencia al conjunto de nodos y enlaces alámbricos, radioeléctrico, ópticos u otros sistemas electromagnéticos incluidos todos sus componentes físicos y lógicos necesarios, que proveen conexiones entre dos o más puntos fijos o móviles, terrestres o espaciales, para cursar para telecomunicaciones [15].

Las redes de telecomunicaciones conciernen a la infraestructura física, donde se trasfiere o transporta la información, desde una fuente hacia otra [16]. Mediante esta infraestructura se puede proporcionar a los clientes distintos servicios en telecomunicación, donde el usuario se beneficia de una entrada de red, mediante un canal de acceso empleando equipos terminales, como por ejemplo dispositivos inteligentes que sirven como receptor y transmisor.

2.2.1 Tipos de redes

Para que la comunicación llegue a su destino, es necesario que la red mantenga una cobertura geográfica óptima, de manera que, tanto el equipo de entrada y salida se

mantengan conectados para tener acceso a las redes, de modo que los usuarios puedan hacer uso de los servicios que ofrecen las operadoras.

Entre los tipos de redes se pueden mencionar las redes conmutadas y de difusión, descritos a continuación:

- **Redes conmutadas.** – se basa en un conjunto de nodos conectados entre sí, mediante conexiones que pueden ser físicas o lógicas, para permitir la comunicación confiable desde cualquier lugar y está diseñada mediante una arquitectura jerárquica de redes convergentes [17], [18].
- **Redes de difusión.** – consiste en un canal en donde los usuarios se mantienen conectados, con el fin de obtener la información o mensaje, luego de recibir estos son identificados como destinatarios [19].

Clasificación según su escala geográfica

Se definen dos tipos de redes, que se describen a continuación:

- **Redes Local Area Network (LAN) o Red de Área Local**

Las redes LAN son aquellas que se desarrollan en espacios pequeños, teóricamente se establece para rangos de $200m^2$, por lo que son redes implementadas en edificios de instituciones o para el hogar, gestionadas por el personal técnico del departamento de TICs.

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

Las redes WAN son constituidas por varias redes LAN que permiten conectar dispositivos y equipamiento de telecomunicaciones que se encuentran distantes para lo cual hacen uso de proveedores de servicios en el área de las telecomunicaciones [20].

Red Convergente

Las redes de datos convergentes transportan múltiples servicios en un solo enlace, incluidos datos, voz y video, a distintos tipos de dispositivos a través de la misma infraestructura de red utilizando el mismo conjunto de reglas y normas. La Figura 2.7. demuestra los equipos que pueden operar en este tipo de redes, además de la funcionalidad según su arquitectura.

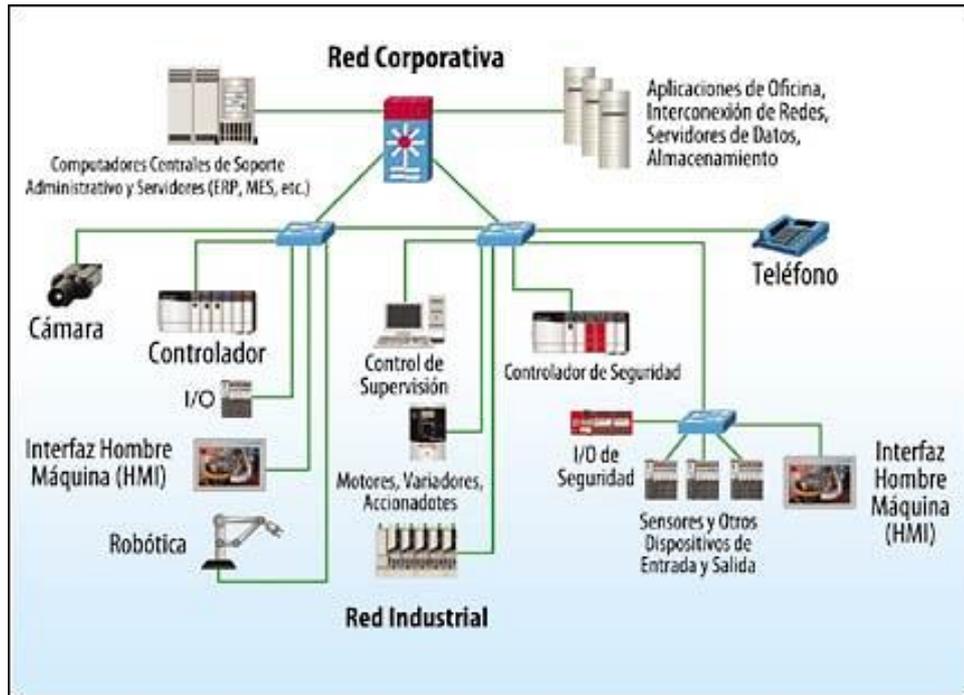


Figura 2.7: Red convergente basada en tecnología Ethernet/IP [21]

2.2.2 Topología de red

La topología de red viene siendo un mapa físico de la propia red, que sirve para transmitir y recibir datos, en otras palabras, es la forma en como está diseñada la red, ya que este puede presentarse en distintas maneras, como estrella, bus, anillo, híbrida o mixta, malla, entre otras que cumple con la misma función. Por otro lado, la topología de red no es más que el conjunto de nodos interconectados; este nodo o dispositivo es conocido como el punto que permite la conexión para transferir la información [22].

Entre las topologías de red, se pueden presentar de dos maneras, física y lógica que se describen a continuación:

Topología de red física

Consiste en la ubicación de los diferentes componentes de una red. Aquí los conectores simbolizan los cables de red físicos y los dispositivos (nodos) como los switches.

- **Punto a punto:** son las conexiones directas entre parejas de estaciones adyacentes, sin que exista equipos intermedios [23]. Un ejemplo se visualiza en la Figura 2.8.

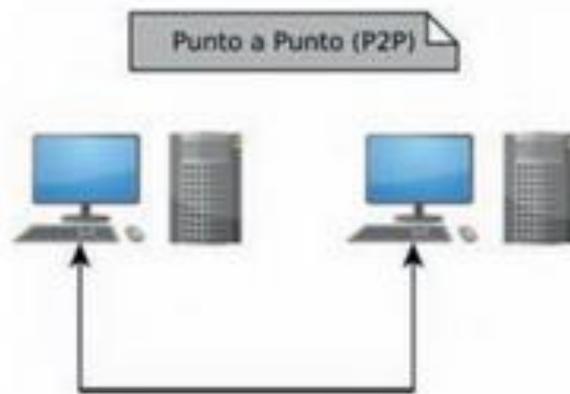


Figura 2.8: Topología Punto a Punto [23]

- **Multipunto:** existe un único canal de conexión, el cuál es compartido por todas las máquinas de la red, donde cualquier dato que se envía a una maquina es recibo por todas las demás [23]. En la Figura 2.9 se puede ver un ejemplo de esta topología.

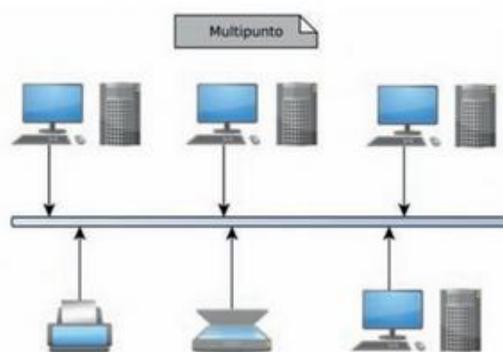


Figura 2.9: Topología Multipunto [23]

- **Topología Anillo:** es aquella donde cada nodo está vinculado solamente con los dos contiguos, por tanto, para que la información pueda circular, cada estación debe transmitirla a la que tiene junto hasta que llegue al receptor, recibiendo cada nodo la información que circula a través del enlace para retransmitirla al nodo contiguo únicamente cuando recibe el token que circula por ella, esta misma topología puede tener una variante de doble anillo permitiendo una estructura redundante, aumentando la tolerancia a fallos [24].

Topología de red lógica

Es la forma en que los hosts acceden a los medios para enviar datos, los dos tipos más comunes de topología lógica son:

- La transmisión de broadcast, en donde cada host envía sus datos hacia todos los demás hosts del medio de red de acuerdo con el orden de llegada.
- La transmisión de tokens, que controla el acceso a la red mediante la transmisión de un token electrónico a cada host de forma secuencial, para que el host que tenga el token pueda enviar datos a través de la red [25].

En efecto, la topología hace referencia al estudio de las propiedades de los cuerpos geométricos, ya que para conectarse debe estar disponible una red, así como también, los nodos que son los puntos de intersección o el enlace de otros elementos, que serán utilizados para garantizar la transmisión de la información, evitando que esto sea interrumpido o que se cree un flujo de la información [26].

2.2.3 Estándares

Se considera que un estándar es una norma establecida dentro del área de comunicación, que lleva a cabo entre los fabricantes y usuarios que implementan los sistemas tecnológicos, garanticen la operatividad de las redes o de los datos que se transfieren de un ordenador a otro. Entre ellos se encuentra la norma OSI, el mismo que corresponde a una arquitectura de red, que sirve para la conexión de otros dispositivos. Por otro lado, el TCP, es un protocolo que controla la transmisión que vincula al transporte de datos, mientras que, el IP, pertenece al nivel de red, similar al anterior que encamina los datos hacia el destino [27].

Los estándares, no son más que normativas establecidas a nivel internacional, que se deben cumplir para permitir la interconectividad entre dispositivos de varios fabricantes o proveedores tecnológicos, independientemente de su implementación o fabricación, además de evitar la vulneración de los sistemas informáticos o tecnológicos. Por esta razón, en el presente trabajo se tomarán en cuenta las normas vinculadas para ejecutar el diseño y simulación de la red privada de telecomunicaciones propuesta.

Estándar Ethernet

Ethernet es el estándar utilizado en las redes LAN, por dispositivos que implementan el protocolo de acceso al medio compartido CSMA/CD Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection o acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones, desarrollado por la IEEE [28].

Tabla 2.5: Clasificación de Estándar para redes LAN [29]

Estándar	Descripción
802.1	Definición internacional de redes
802.3	Ethernet
802.5	Redes Token Ring
802.11	Redes inalámbricas (Wifi)
802.15	Redes de área personal PAN (Bluetooth)
802.16	Banda Ancha inalámbrica (WIMAX)

La Tabla 2.5 muestra los estándares IEEE 802 para las redes LAN, los cuales se desarrollaron con la finalidad de que diferentes tipos de tecnologías pudieran integrarse y trabajar juntas. Los protocolos y servicios especificados en IEEE 802 corresponden a las dos capas más bajas del modelo OSI; capa física y capa de enlace de datos [29]. El estándar Ethernet en la actualidad tiene diferentes tecnologías para la transferencia de datos a nivel de enlace.

Tabla 2.6: Clasificación del Estándar Ethernet [30]

Estándar	Tecnología	Velocidad	Medio de Transmisión
802.3	10Base5	10 MB/s	Cable coaxial
802.3a	10Base2	10 MB/s	Cable coaxial
802.3i	10Base-T	10 MB/s	Cable de par trenzado
802.3j	10Base-FL	10 MB/s	Cable de fibra óptica
802.3u	10Base-TX-100Base-FX100Base-SX	100 MB/s	Cable de par trenzado
802.3z	100Base-SX1000Base-LX	1 GB/s	Cable de fibra óptica
802.3ab	1000Base-T	1 GB/s	Cable de fibra óptica
802.3ae	100GBase-SR, 10GBase-SW, 10GBase-LR, 10GBase-LW, 10GBase-ER, 10GBase-EW, 10GBase-LX4	10 GB/s	Cable de par trenzado
802.3an	10GBase-T	10 GB/s	Cable de fibra óptica

En la Tabla 2.6 se listan los diferentes estándares de ethernet, cuyas tecnologías han ido evolucionando para conseguir altas velocidades en la transmisión de datos, usando distintos medios como cable coaxial, par trenzado y fibra óptica. El IEEE 802.3 es el protocolo actual y más extendido que se usa en oficinas, viviendas particulares y portadores (carrier) [30].

Tabla 2.7 Clasificación de Estándar para Cableado Estructurado [31]

NORMA	DESCRIPCIÓN
ANSI/TIA/EIA-568-B	Diseño e implementación de sistemas de cableado estructurado para edificios. (Tipos de cable. Espacios, conectores)
ANSI/TIA/EIA-569-A	Recorridos y Espacios de Telecomunicaciones en edificios, sobre como enrutar el cableado.
ANSI/TIA/EIA-606-A	Administración de Infraestructura de Telecomunicaciones en edificios. (colores, etiquetado, documentación de un sistema de cableado instalado)
ANSI/TIA/EIA-607	Instalaciones de Sistemas de puesta a tierra de Telecomunicaciones en edificios.
ANSI/TIA/EIA-758	Cliente propietario de cableado de planta externa de telecomunicaciones

La Tabla 2.7 resume los estándares para la instalación de cableado estructurado, redes de datos y telecomunicaciones en edificios comerciales, residenciales y centros de datos, emitidos por organizaciones internacionales como American National Standards Institute (ANSI), International Organization for Standard (ISO), Electronic Industries Alliance (EIA), Advancing Global Communications (TIA).

2.2.4 Transmisión por fibra óptica

Los sistemas de transmisión de fibra óptica constan de un transmisor y un receptor en cada extremo de la fibra denominados transceivers, que convierten pulsos eléctricos en haz de luz y viceversa, donde la luz del transmisor es acoplada a la fibra mediante un conector, para que esta sea transmitida a través de este medio de transmisión [32].

El medio de transmisión utilizado es un cable por el que se envían pulsos de luz (láser o LED) para la transmisión de datos; fabricado de vidrio o plástico que posee tres secciones concéntricas que son:

- El núcleo que se encuentra a lo largo de toda la fibra,
- El revestimiento que posee propiedades distintas al núcleo
- La capa que recubre la fibra, elaborado por un material más resistente para evitar daños en la fibra por factores externos [33].

En la Tabla 2.8 se describen las principales características de la fibra óptica.

Tabla 2.8 Características de la Fibra Óptica [34]

Medio de Transmisión Guiado	Características		
	Generales	Técnicas	Mecánicas
Fibra Óptica	Resistentes al agua Anti-flamables	Región cilíndrica Capacidad de transmisión: Diseño geométrico, materiales de fabricación, anchura espectral	Tensión Comprensión Impacto Enrollamiento Torsión Limitaciones Térmicas

Aspectos generales en la transmisión por fibra óptica

En la transmisión de datos por fibra óptica se debe de considerar las características de algunos componentes que intervienen en el enlace y tienen una incidencia en la calidad de transmisión, los cuales se describen a continuación:

Tipos de Fibras: los tipos de fibras ópticas según el modo de propagación se dividen en monomodo y multimodos.

- Monomodo: son fibras con características de un núcleo pequeño que soportan grandes distancias de transmisión, 40 km o más, donde se utiliza el láser para generar luz.
- Multimodo: son fibras que soportan pequeñas distancias menor o igual a 2 km de transmisión y tienen varios modos de propagación [34].

Tipo de Cable ADSS: el tipo de cable ADSS son dieléctricos y auto soportados que permiten una instalación aérea sin la necesidad de soportes, están diseñados para resistir factores climáticos extremos, por lo que son óptimos para transportar datos a altas velocidad y grandes distancias [35].

Conectores: son aquellos que permiten conectar los hilos de fibra hacia los dispositivos de red, entre los que se pueden encontrar están los siguientes:

- FC: utilizado en la transmisión de datos y en las telecomunicaciones.
- FDDI: para redes de fibra óptica.
- LC y MT: utilizado para transmisiones de altos flujo de datos.
- SC – SC Duplex: para transmisión de datos.
- ST o BFOC: utilizado en sistemas de videovigilancia y en edificios [34].

Presupuesto óptico

El presupuesto óptico es el cálculo que determina el alcance de los equipos activos a utilizar y la atenuación que se tiene en conjunto con todos los elementos pasivos que componen el enlace, incluyendo las pérdidas por empalmes, conectores y cableado, para lo cual se utilizan los valores establecidos por los entes reguladores de las telecomunicaciones como la ITU y los especificados por los fabricantes de los componentes, en la Tabla 2.9. se indica los parámetros del presupuesto óptico.

Tabla 2.9 Cálculo del presupuesto óptico

	ELEMENTO	Cantidad	Atenuación típica Att(dB)	Total, Att(dB)
Enlace XXXX	Conectores (mated) ITU671=0.5dB	XX	0,50	XX
	Empalmes de fusión ITU751=0.1db promedio	XX	0,10	XX
	<i>Fibras longitudes de onda</i> 1310 nm	XX km	0,35	XX
	TOTAL (dB)			XX

2.2.5 Transmisión por enlaces microonda

Se definen los distintos componentes que intervienen en un enlace microonda, así como también los diversos factores ambientales y físicos que pueden afectar la calidad de la señal junto con las posibles soluciones, dentro de las cuales está una adecuada gestión de las frecuencias radioeléctricas para optimizar su uso garantizando la fiabilidad y capacidades requeridas de los enlaces.

Influencia del terreno

Si el transmisor y receptor se encuentran situados en la superficie terrestre con visibilidad directa entre ambos, la propagación se modela mediante un rayo directo y un rayo reflejado en el suelo (Figura 2.10) [36] [37].

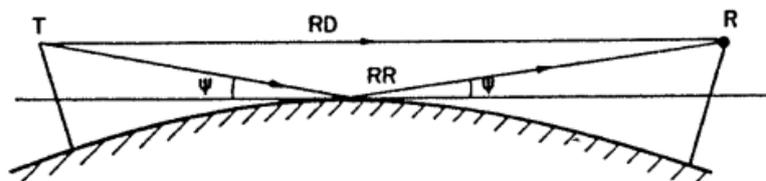


Figura 2.10: Modelo de propagación de dos rayos [36]

También puede haber una componente de onda de superficie, pero esto depende del terreno, la frecuencia y polarización de la onda.

Características del suelo

La propagación radioeléctrica, está caracterizada por los parámetros eléctricos constante dieléctrica relativa, ϵ_r y conductividad σ (mhos/m) del terreno [37].

La Tabla 2.10 muestra los valores típicos de conductividad y permitividad para varios tipos de terrenos habituales.

Tabla 2.10: Características típicas de los terrenos [38]

Terreno	σ (mS/m)	ϵ_r
Mar	4000	80
Agua Dulce	5	80
Tierra húmeda	5	15
	20	15
	5	30
	20	30
Tierra rocosa	1	7
	5	7
Tierra seca	1	4
	10	4

Zonas de Fresnel

La obstrucción de las zonas de Fresnel alrededor del rayo directo se ilustra en la Figura 2.11. La n-sima zona de Fresnel es la región dentro de un elipsoide definido por los puntos donde la distancia $(a+b)$ es mayor que la trayectoria directa entre el transmisor y el receptor (d_1+d_2) para n longitudes de media onda [39].

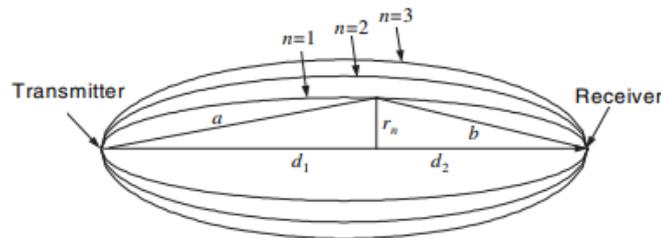


Figura 2.11: Zonas de Fresnel [39]

Cuando la obstrucción ocupa 0,6 veces la primera zona de Fresnel, las pérdidas por obstrucción es entonces 0 dB. Por lo tanto, la región sombreada de la Figura 2.12 puede considerarse como una región “prohibida”, si esta región se mantiene clara, entonces la atenuación de la trayectoria total será prácticamente la misma que en el caso sin obstrucciones [39].

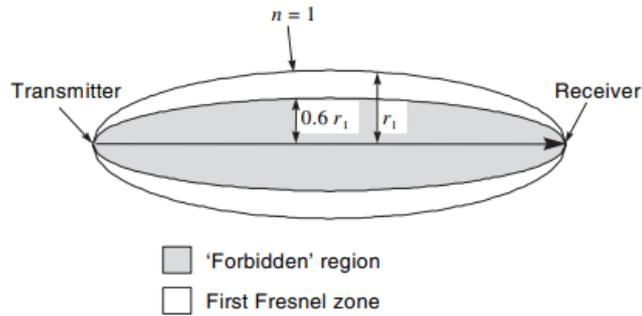


Figura 2.12:Despeje de la primera zona de Fresnel [39]

Desvanecimiento

Las señales radioeléctricas que se propagan por diversos medios están sujetas a las características físicas cambiantes de estos medios. Por ello, los cambios de la pérdida básica, implica que, la potencia recibida sea también variable.

Entonces, el desvanecimiento es la disminución del nivel de potencia de la señal recibida con relación a su valor nominal. La diferencia de valores entre el nominal y el recibido se llama profundidad de desvanecimiento que se expresa en dB. El intervalo de tiempo que media desde la disminución hasta la recuperación del nivel nominal, se denomina duración del desvanecimiento [36] [37].

Pérdida de trayecto

La pérdida de trayectoria entre un par de antenas es la relación entre la potencia transmitida y la potencia recibida, usualmente expresada en decibelios. Incluye todos los posibles elementos de pérdida asociados con las interacciones entre la onda de propagación y cualquier objeto entre las antenas de transmisión y recepción, además de la pérdida de espacio libre.

Los elementos de un enlace inalámbrico simple se presentan en la Figura 2.13 [39]

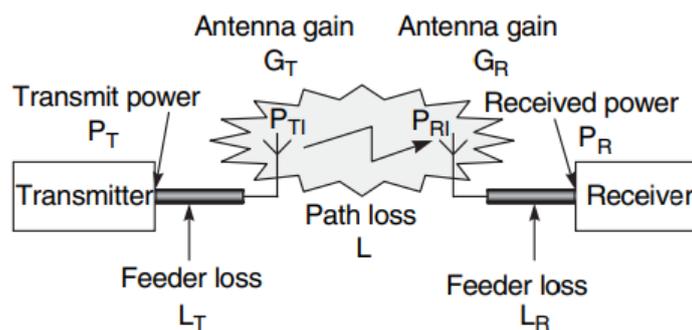


Figura 2.13: Elementos de un sistema de comunicación inalámbrico [39]

El objetivo principal del modelamiento de propagación es predecir las pérdidas con la mayor precisión posible, permitiendo determinar el alcance de un sistema radioeléctrico antes de la instalación. El rango máximo del sistema ocurre cuando la potencia recibida cae por debajo de un nivel que proporciona una calidad de comunicación aceptable. Este nivel a menudo se conoce como sensibilidad del receptor [39].

Radioenlaces terrenales de servicio fijo

Estos radioenlaces se pueden definir como sistemas de radiocomunicaciones entre puntos fijos situados en la superficie terrestre, que generalmente operan entre unos 800 MHz y 22 GHz, según su capacidad. Debido a que la mayoría de los sistemas de servicio fijo emplean frecuencias mayores a 1 GHz, se les denominan también radioenlaces microondas [36] [40].

De acuerdo al tipo de modulación, los radioenlaces se clasifican en dos categorías, cada una utilizando una tecnología específica [36] [40]:

1. Radioenlaces analógicos

La modulación de la portadora en este tipo de enlaces es en frecuencia (FM), sin embargo, este tipo de transmisiones cada día son menos usados.

2. Radioenlaces digitales

La portadora se modula digitalmente, pudiendo ser de tipo binario o multinivel. La modulación para este tipo de radioenlaces se usa mucho las de fase coherente: BPSK (binaria), QPSK (cuaternaria), DPSK (diferencial), PSK desplazada, así también modulaciones en amplitud y fase del tipo NQAM ($N = 16, 64, 128$) conocidas como de multinivel mixtas [41].

Dependiendo de la capacidad, se puede establecer tres tipos de radioenlaces [36]:

- Hasta 2 Mb/s, baja capacidad
- Hasta 8 Mb/s, Media capacidad
- Por encima de 34 Mb/s, Alta capacidad

Los radioenlaces de servicio fijo lo conforman dos estaciones terminales y varias estaciones repetidoras o simplemente repetidores, para que la señal transmitida efectúe un tránsito [36].

A cada sección del enlace radioeléctrico se denomina vano, que está compuesto por un terminal y un repetidor o entre dos repetidores, con un despeje de al menos el 60 % de la primera zona de Fresnel para el trayecto del rayo. La longitud de los vanos no debe exceder los 80Km para frecuencias de hasta 10GHz, por sobre esta, la atenuación por lluvia puede limitar la longitud de los vanos a 30 Km [36] [40].

Para los radioenlaces, en general se emplean antenas muy directivas, que permitan establecer radiocanales (pareja de portadoras para transmitir y recibir) empleando únicamente dos frecuencias f_1 y f_2 , una para cada sentido de transmisión, las cuales se reutilizan en vanos sucesivos [36].

Estructura de un radioenlace

La Figura 2.14 representa un esquema de bloques de la estructura de un radioenlace y de la terminología que se utiliza [41].

En los radioenlaces, además de los repetidores, es posible tener estaciones intermedias conocidas como nodales, donde la señal es demodulada en banda de base, y a veces se extrae e inserta canales.

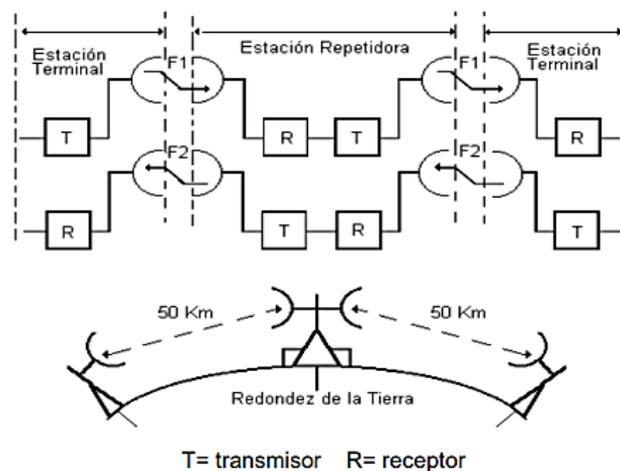


Figura 2.14: Estructura de un radioenlace [41]

Se tienen dos tipos de repetidores:

- **Activos**, que reciben la señal en la frecuencia de llegada, se pasa a una frecuencia intermedia (FI), para amplificarla y retransmitirla en la frecuencia de salida. Dado que la señal no se modula, estos repetidores constan de un conjunto transmisor-receptor para cada sentido de transmisión.

- **Pasivos**, Son simplemente reflectores que desvían el haz radioeléctrico en otra dirección. Específicamente se utilizan para evitar obstáculos aislados [36] [40].

Interferencia de radiofrecuencia (RF) en radioenlaces

Las interferencias de RF producen a la entrada de un receptor de radioenlace señales no deseadas que pueden afectar a la calidad de funcionamiento. Se pueden clasificar según diversos criterios:

- **Interferencia del canal adyacente**, se trata de una interferencia proveniente de un canal contiguo al deseado, cuando hay una pequeña separación entre canales. El uso de filtros de caída brusca puede ofrecer protección para este tipo de interferencias [38].
- **Interferencia co-canal**, son interferencias debidas a una fuente modulada o no, de frecuencia próxima a la de portadora deseada, como consecuencia del reúso de frecuencias en la misma red. Como medida de prevención se puede invertir la polarización de la onda en el repetidor [36] [38].

Control de interferencias

Para minimizar las interferencias en un radioenlace se pueden adoptar las siguientes medidas:

- Para evitar interferencias en el mismo canal por sobre alcance dentro de un mismo sistema o entre redes diferentes, el emplazamiento de las antenas debe ser elegido convenientemente, procurando que sus lóbulos lateral y posterior sean reducidos.
- Para reducir las interferencias en canales adyacentes, hay que considerar varios factores, como la separación espectral adecuada de estos canales, asegurar buena selectividad en RF (radio frecuencia) y FI (frecuencia intermedia) de los receptores.
- Minimizar lóbulos secundarios de radiación, utilizando antenas con una relación Frente/Espalda alta.
- La polarización entre canales adyacentes debe ser diferente, en los sistemas con antenas en la configuración back to back [36].

Patrón de radiación de una antena

El patrón de radiación de una antena es la descripción gráfica de la ganancia de las antenas (dB) versus el ángulo. Es un patrón de dos dimensiones, como una función de

los ángulos de azimut y la elevación. En la Figura 2.15 se muestra el diagrama tridimensional de un patrón de radiación de una antena bidimensional [39].

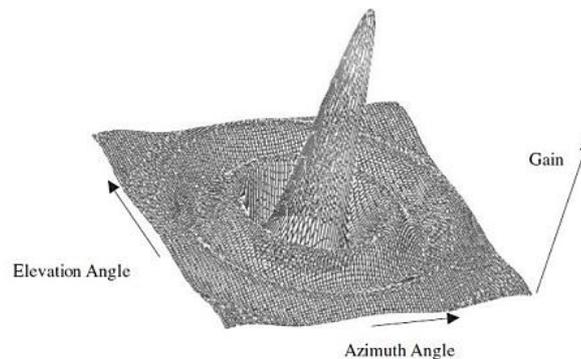


Figura 2.15: Patrón de radiación de una antena bidimensional [39]

El lóbulo principal es en donde ocurre el pico de ganancia.

Una imagen de patrón de radiación para una antena direccional genérica se representa en la Figura 2.16, que ilustra el lóbulo principal incluyendo la dirección de la radiación máxima, un lóbulo posterior de radiación diametralmente opuesto al principal y varios lóbulos laterales separados por nulos donde no se produce radiación [39].

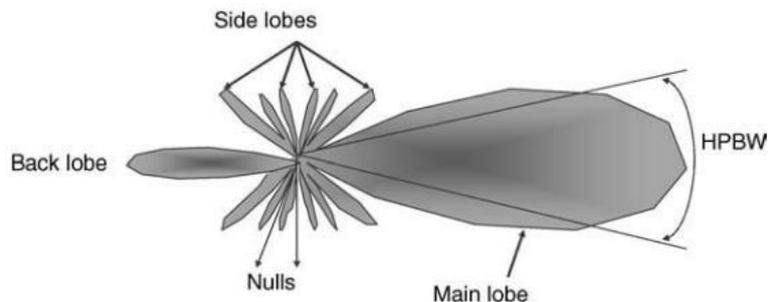


Figura 2.16: Patrón de radiación de una antena genérica [39]

Algunos parámetros comunes utilizados para comparar los patrones de radiación se definen de la siguiente manera:

- El ancho del haz de media potencia (HPBW: half-power beamwidth), o comúnmente el ancho del haz, es el ángulo subtendido por los puntos de media potencia del lóbulo principal.
- La relación frente-espalda es la relación entre las amplitudes máximas de los lóbulos principal y posterior, generalmente expresado en decibelios.
- El nivel del lóbulo lateral es la amplitud del lóbulo lateral más grande, usualmente expresado en decibelios en relación con el pico del lóbulo principal [39].

Polarización de la antena

La polarización de la onda es el sentido del vector campo eléctrico, que debe ser perpendicular al sentido de propagación, siendo el plano de la tierra la referencia, como se observan en las Figura 2.17 y Figura 2.18 [38].

- **Polarización vertical**

El vector del campo eléctrico es perpendicular al plano terrestre. En consecuencia, la fuerza del campo magnético es horizontal.

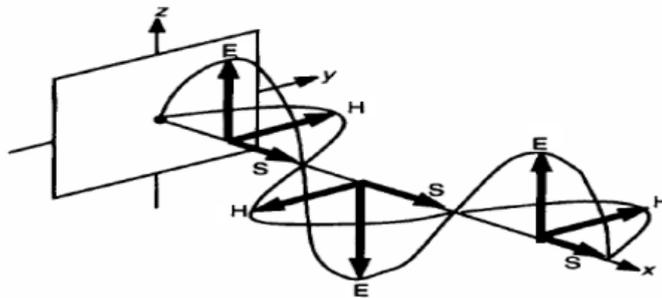


Figura 2.17: Polarización vertical [38]

- **Polarización horizontal**

La componente del campo eléctrico es paralela al plano terrestre. Siendo la fuerza del campo magnético verticales.

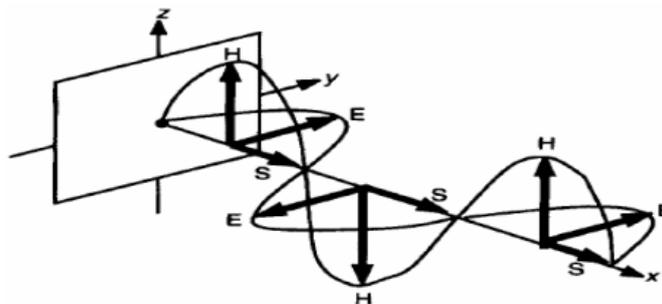


Figura 2.18: Polarización horizontal [38]

Planes de frecuencias utilizadas por los radioenlaces

se requieren dos frecuencias por radiocanal (transmisión/recepción) en una estación terminal. Cuando se trata de una estación repetidora con al menos una antena en cada sentido, hay que tomar en cuenta que las frecuencias de transmisión y de recepción tengan una separación suficiente por estas razones:

- Diferencia muy grande de los niveles de las señales transmitida y recibida, que van de 60dB a 90dB.
- Se requiere evitar acoples entre las dos direcciones de transmisión.
- Poca directividad de las antenas [36] [41].

Las frecuencias se asignan a las estaciones conforme dos tipos de planes, que son:

- **Plan a 4 frecuencias**

Para cada radiocanal se emplean cuatro frecuencias diferentes. Este tipo de plan se utiliza en frecuencias bajas o cuando la relación delante/atrás de las antenas es insuficiente. En la Figura 2.19 (a) se puede ver la asignación a 4 frecuencias.

- **Plan a 2 frecuencias**

En este plan se usan solo un par de frecuencias por radiocanal, en cada estación las frecuencias de transmisión y de recepción son iguales [41]. La Figura 2.19 (b) muestra esta asignación. Debido a la reutilización de frecuencias se pueden producir interferencias cocanal, por las siguientes causas:

- Por radiación hacia atrás desde A y captación directa en B (trayecto interferente "1").
- Por radiación directa de C y captación por el lóbulo posterior de B (trayecto interferente "2") [36].

Para reducir al mínimo los efectos de estas posibles interferencias, se cambia la polarización de la onda en cada vano.

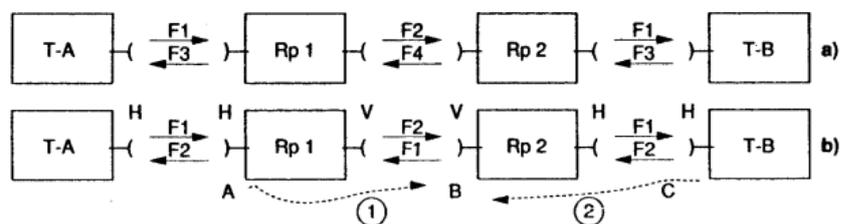


Figura 2.19: Asignación de frecuencias [36]

Gestión de las frecuencias radioeléctricas

Siendo el espectro radioeléctrico un recurso natural, reutilizable pero escaso, se debe optimizar su empleo, para que más estaciones puedan usarlo. Por lo que, la gestión en buena parte es competencia de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y se

instrumentará a través del Reglamento de Radiocomunicaciones [36] [37]. En el Ecuador se tiene elaborado el Plan Nacional de Frecuencias que determina su utilización y control. El espectro radioeléctrico se divide en bandas de frecuencias, que se atribuyen a los diferentes servicios; para su uso es necesario conocer tres aspectos, que son:

- **Atribución:** Consiste en inscribir una determinada banda de frecuencias en el Cuadro de Atribución de bandas de frecuencias, que será utilizada en uno o varios servicios de radiocomunicación.
- **Adjudicación:** Cuando se inscribe un canal radioeléctrico determinado en un plan, para usarlo en servicios de radiocomunicación de acuerdo a condiciones especificadas.
- **Asignación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico):** Cuando se Autoriza a una administración el uso de una frecuencia o un canal radioeléctrico en una estación, bajo condiciones especificadas [41] [42].

Atribuciones de frecuencias

Según las atribuciones de bandas de frecuencias, el mundo se ha dividido en tres Regiones que se indican en el mapa de la Figura 2.20

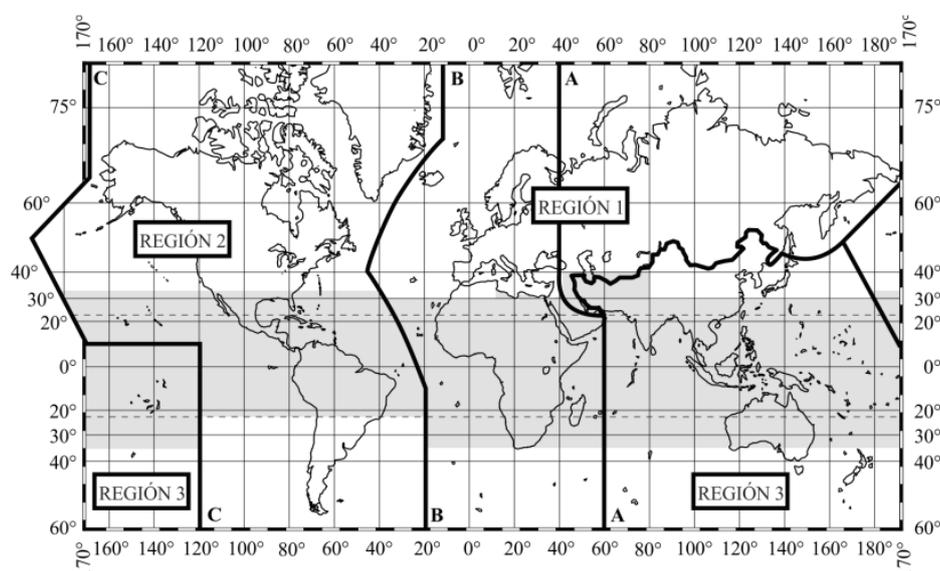


Figura 2.20: Regiones para la atribución de bandas de frecuencias [42]

Como se observa en la Figura 2.20, la Región 1 abarca África, Europa, Siberia y varios países del medio oriente; la Región 2 son todas las Américas y la Región 3 lo comprende Australia, el Sur y Sureste de Asia y la parte sur del Pacífico [40].

Servicios primarios y permitidos (bandas licenciadas), tienen los mismos derechos, excepto que, en el desarrollo de los planes de frecuencias, los servicios primarios tienen prioridad de elección de las frecuencias. En el cuadro, el nombre de estos servicios está impreso en “mayúsculas” (ejemplo: **FIJO**) [42].

Un ejemplo de Cuadro de atribuciones de servicios primarios se tiene en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11:Cuadro de atribución de bandas de frecuencia 7 GHz [42]

REGIÓN 2 (RR-2020)		ECUADOR		
Banda	Atribución	Banda	Atribución	Normativa Técnica Relacionada
7075-7245	FIJO MÓVIL 5.458 5.459	7075-7245	FIJO MÓVIL 5.458 EQA. 25	Res. ARCOTEL-2018-1012 Res. ARCOTEL-2018-0028
7145-7190	FIJO MÓVIL INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio lejano) (Tierra-espacio) 5.458 5.459	7145-7190	FIJO MÓVIL INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio lejano) (Tierra-espacio) 5.458 EQA.25	Res. ARCOTEL-2018-1012
7190-7235	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (Tierra-espacio) 5.460A 5.460B FIJO MÓVIL INVESTIGACIÓN ESPACIAL (Tierra-espacio) 5.460 5.458 5.459	7190-7235	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (Tierra-espacio) 5.460A 5.460B FIJO MÓVIL INVESTIGACIÓN ESPACIAL (Tierra-espacio) 5.460 5.458 EQA.25	Res. ARCOTEL-2018-1012
7235-7250	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (Tierra-espacio) 5.460A FIJO MÓVIL 5.458	7235-7250	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (Tierra-espacio) 5.460A FIJO MÓVIL 5.458 EQA.25	Res. ARCOTEL-2018-1012
7250-7300	FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL 5.461	7250-7300	FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL 5.461 EQA.25	Res. ARCOTEL-2018-1012
7300-7375	FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.461	7300-7375	FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.461 EQA.25	Res. ARCOTEL-2018-1012
7375-7450	FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico MÓVIL MARÍTIMO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.461AA 5.461AB	7375-7450	FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico MÓVIL MARÍTIMO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.461AA 5.461AB EQA.25	Res. ARCOTEL-2018-1012
7450-7550	FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico MÓVIL MARÍTIMO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.461AA 5.461AB 5.461A	7450-7550	FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico MÓVIL MARÍTIMO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.461AA 5.461AB 5.461A EQA.25	Res. ARCOTEL-2018-1012
7550-7750	FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico MÓVIL MARÍTIMO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.461AA 5.461AB	7550-7750	FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico MÓVIL MARÍTIMO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.461AA 5.461AB EQA.25	Res. ARCOTEL-2018-1012
7750-7900	FIJO METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra)5.461B MÓVIL salvo móvil aeronáutico	7750-7900	FIJO METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra)5.461B MÓVIL salvo móvil aeronáutico EQA.25	Res. ARCOTEL-2018-1012

Se puede observar en la tabla que existe similitud en las atribuciones tanto para la Región 2, como para el Ecuador.

Además, a la banda de 7 GHz le pertenece la nota EQA.25, donde se especifica lo siguiente: “En cuanto al servicio fijo: Las bandas 222 – 243 MHz, 243 – 245 MHz, 246 –

248 MHz, 360 – 370 MHz, 417,5 – 430 MHz, 430 – 440 MHz, 928 – 940 MHz, 1670 – 1690 MHz, 2200 – 2300 MHz, 5925 – 6425 MHz, **6425 – 7100 MHz, 7100 – 8500 MHz**, 12,7 – 12,849 GHz, 14,4 – 15,35 GHz, 17,7 – 19,7 GHz, 21,2 – 23,6 GHz, 31 – 31,3 GHz, 71 – 76 GHz y 81 – 86 GHz son utilizadas prioritariamente, a título primario, para la operación de enlaces radioeléctricos” [42] [43].

2.3 Marco regulatorio de las telecomunicaciones

Al respecto, dentro de todo estudio e investigaciones, deben estar vinculadas a las normativas constitucionales, debido a que, respaldan y dan fundamento al trabajo investigativo, además que se debe cumplir con lo establecido en cada uno de sus preceptos.

El marco regulatorio que rige dentro de esta área, comprende de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, el cual establece que las instituciones públicas de los sectores estratégicos, deben promover el desarrollo y fortalecimiento de este sector, así como también, fomentar la convergencia de redes, servicios y equipos tecnológicos. Por su parte, en el artículo de las redes telecomunicaciones, menciona que el despliegue de las redes comprende de la instalación e integración de sistemas operativos que garanticen el traslado de información, así como también cumplir con las normas técnicas, políticas que se vinculen a este hecho [44].

ARCOTEL Resolución No. 584, Registro Oficial No. 48 de 1 de agosto de 2017, última modificación el 19 de agosto de 2021 Norma Técnica para el Ordenamiento, despliegue y tendido Redes Física Áreas de Servicios de Régimen General de Telecomunicaciones y Redes Privadas [45].

Por su parte, es importante analizar cada uno de los articulados que se muestran dentro de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, ya que, si bien es cierto, existen obligaciones, tanto de los abonados, clientes y usuarios; son muchas más las obligaciones de los prestadores de servicios que deben garantizar el servicio de manera, eficiente y regulatorio, cumpliendo con cada parámetro.

CAPÍTULO 3

3. ESTUDIO TÉCNICO DE LA RED ACTUAL

Las secciones de este capítulo describen los resultados obtenidos de las herramientas de monitoreo en el servicio ofrecido por los ISP a la empresa ELEPCO S.A. en lo referente a, la tasa real del tráfico SCADA que ingresa desde el centro de control hacia los dispositivos de las sub estaciones, el tráfico de salida que generan los equipos de las sub estaciones hacia los servidores SCADA del centro de control y la velocidad de transmisión de cada una de las sub estaciones; además, de analizar los registros históricos de las desconexiones e indisponibilidad del servicio según el medio de transmisión, ayudarán a realizar un análisis si el servicio cumple con los parámetros de calidad de servicio para la transmisión de datos que la empresa ELEPCO S.A. requiere.

3.1 Resumen del servicio prestado por el ISP

La provincia de Cotopaxi está conformada por 7 cantones: Latacunga (Capital Provincial), Salcedo, Saquisilí, Pujilí, La Maná, Sigchos y Pangua. Para brindar el servicio de energía eléctrica, ELEPCO S.A. cuenta con 9 sub estaciones de distribución y 2 centrales de generación (las más grandes), de las cuales en la ciudad de Latacunga se encuentran 5 subestaciones, El Calvario, San Rafael, La Cocha, Mulaló y Lasso, y 2 centrales de generación Illuchi 1 e Illuchi 2. Mientras que, para los cantones Salcedo, Pujilí, La Maná y Sigchos la empresa cuenta con una sub estación en cada cantón. En el Cantón Pangua el suministro de energía llega desde la sub estación La Maná y para el cantón Saquisilí desde la sub estación Mulaló.

Todas las sub estaciones y centrales mencionadas anteriormente están automatizadas con el sistema SCADA, las cuales hacen uso de la red de telecomunicaciones de dos Proveedores de Servicios de Internet (ISP) para la transmisión de datos.

Dependiendo de la disponibilidad de la red y factibilidad técnica, el medio de transmisión utilizado para la conexión puede ser por fibra óptica o radioenlace. En la Tabla 3.1 se resume el servicio de datos e internet en cada una de las subestaciones:

Tabla 3.1: Resumen del servicio de datos e internet

Sitios	Nombre	Medio de Transmisión	Capacida d Datos (Mb/s)	Capacidad internet (Mb/s)	Localización Coord.	
					Latitud	Longitud
Sub estaciones	Calvario (Centro de control)	Fibra óptica	5	3	-0.93146	-78.61201
	San Rafael	Fibra óptica	6	2	-0.93703	-78.62299
	Salcedo	Fibra óptica	6	2	-1.03281	-78.59857
	Mulaló	Fibra óptica	6	2	-0.79538	-78.60858
	Lasso	Fibra óptica	6	2	-0.74437	-78.60956
	La Cocha	Radio	4	-	-0.91421	-78.60556
	Pujilí	Radio	4	-	-0.94911	-78.67379
	Sigchos	Fibra óptica	4	-	-0.70138	-78.88490
	La Maná	Radio	4	4	-0.95274	-79.24701
Centrales de Generación	Illuchi 1	Radio	3	1	-0.91893	-78.52862
	Illuchi 2	Radio	3	1	-0.93519	-78.54725
MATRIZ ELEPCO	Equipo concentrador	Fibra óptica	60	8	-0.93665	-78.61326

En la Figura 3.1 se puede observar la ubicación geográfica de cada una de las sub estaciones, 7 de las cuales (Lasso, Mulaló, Calvario, San Rafael, La Cocha, Illuchi 1 e Illuchi 2), el Centro de control y la oficina matriz se encuentran en la Ciudad de Latacunga. En los cantones Salcedo, Pujilí, La Maná y Sigchos la empresa cuenta con una sub estación en cada cantón.



Figura 3.1: Localización geográfica de las sub estaciones

Las comunicaciones de los sitios citados en la Tabla 3.1 convergen hacia el Centro de Control, el mismo que está ubicado en las instalaciones de la sub estación El Calvario, zona centro-oriente de la ciudad de Latacunga, donde se realiza el monitoreo y control de los dispositivos de campo, a través del sistema SCADA.

El ISP 1 es una empresa privada de carácter nacional que presta sus servicios en todos los sitios mencionados en la Tabla 3.1 utilizando fibra óptica y radio enlace como medios de transmisión, se debe mencionar que en Sigchos la conexión es de back up. El ISP 2 es una empresa pública que presta su servicio en la sub estación Sigchos solamente, utilizando como medio de transmisión la fibra óptica; esta conexión funciona como principal, mientras que el respaldo es a través del ISP 1.

3.2 Análisis de tráfico en las sub estaciones

En la Figura 3.2 se muestra el diagrama general actual de la red de comunicaciones del sistema SCADA de ELEPCO S.A., en donde se puede observar el Centro de Control, la nube de los ISPs, la nube de los Centros de Datos Nacionales y las sub estaciones.

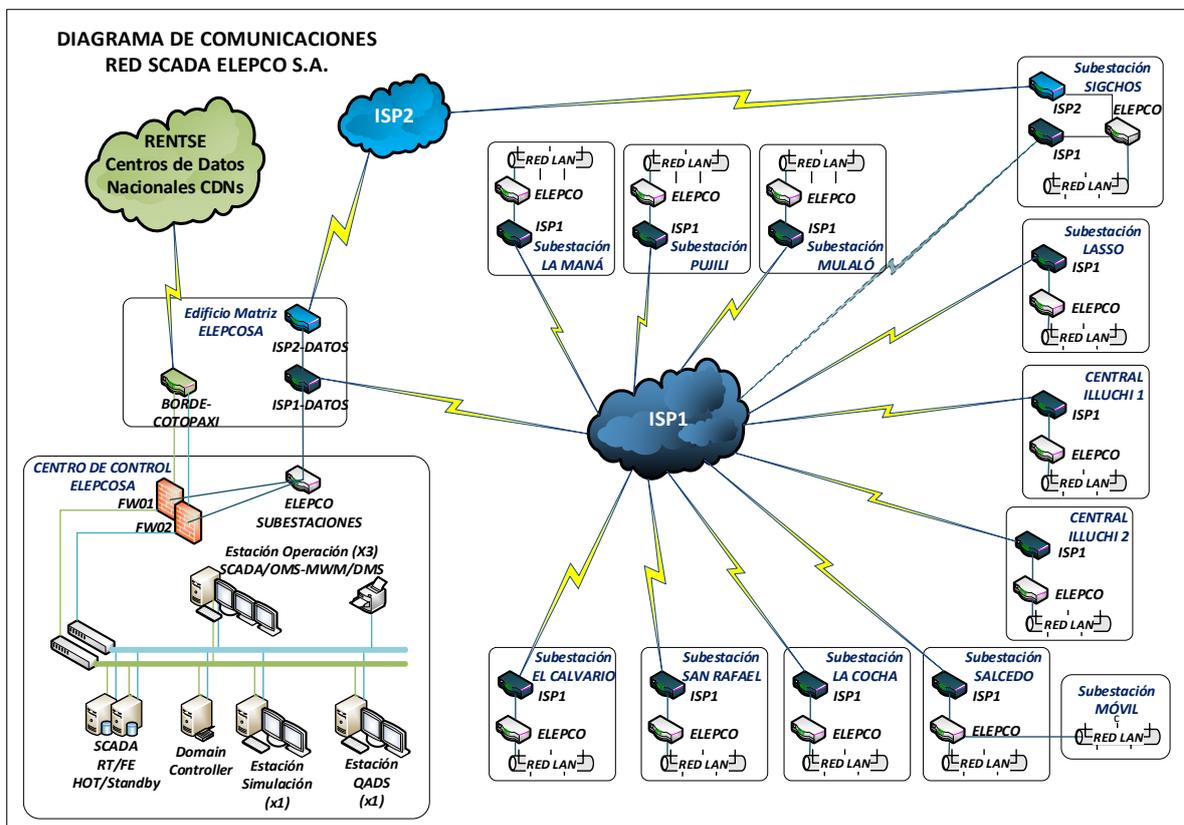


Figura 3.2: Diagrama de comunicaciones actual SCADA ELEPCO S.A.

El análisis de tráfico en cada una de las subestaciones, es por medio de la herramienta de monitoreo basado en aplicaciones web proporcionada por los ISPs, TELCOGRAF en el caso del ISP1 y CACTI en el caso del ISP2, para verificar el estado de equipos y la cantidad de tráfico entrante y saliente en el equipo del proveedor, tanto de datos del sistema SCADA, como de internet (en las sub estaciones que disponen de este servicio). Los dos servicios están separados en dos canales de forma lógica mediante VLANs, es

decir, se tiene la VLAN de datos y la VLAN de internet, que se encuentran configurados en el equipo de última milla del ISP.

El análisis de tráfico corresponde a 30 días comprendidos entre los meses de noviembre y diciembre del 2022, dado que, el tráfico es el mismo durante todos los meses del año, pues la cantidad de señales ya están establecidas, es decir no se producen variaciones.

Análisis de tráfico en EL CALVARIO

Se presenta la información de los servicios activos y el consumo de ancho de banda en El Calvario. En la Figura 3.3. se aprecia que esta sub estación cuenta con los servicios de internet y datos, con capacidades de 3.07 Mb/s y 5.12 Mb/s respectivamente.

SERVICIOS				
SERVICIO	IP	INTERFAZ	DESCRIPCION	CAPACIDAD
ELEPCO-ELCALVARIO_3	10.30.6 [REDACTED] (*)	[Ethernet0/0.141]	DATOS	5.12 Mb/s
ELEPCO-ELCALVARIO_1	186.3.8 [REDACTED]	[Ethernet0/0]	INTERNET	3.07 Mb/s

Figura 3.3: Servicios EL CALVARIO

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

A continuación, se realiza un análisis del comportamiento del flujo de datos en ambos servicios.

- **Servicio de Datos:** La interfaz [Ethernet0/0.141] con capacidad de 5.12 Mb/s permite el tráfico de datos entrante y saliente del sistema SCADA. En los 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: min: 608 b/s; máx.: 26.2 kb/s; **promedio: 953 b/s.** El tráfico entrante pertenece a los datos que se envían del SCADA hacia los dispositivos de la sub estación.

OUTBOUND: min: 1.37 kb/s; 94.1 kb/s; **promedio: 2.12 kb/s.** El tráfico saliente corresponde a los datos que envían los dispositivos de campo al SCADA, los cuales son más altos respecto del tráfico entrante, dado que se tiene que enviar mucha más información desde la sub estación.

La tasa de datos de INBOUND y OUTBOUND son muy bajas en relación a la capacidad que es de 5.12 Mb/s. La Figura 3.4 muestra las métricas indicadas.

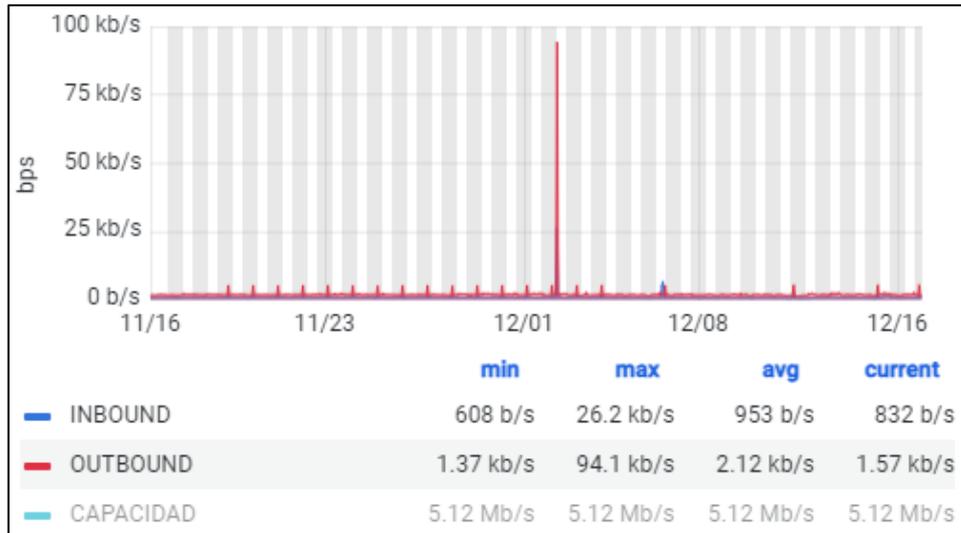


Figura 3.4:Tráfico de datos EL CALVARIO

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

- Servicio de internet:** La interfaz [Ethernet0/0] con capacidad de 3.07 Mbps permite el tráfico de internet. En los 30 días se tiene los siguientes valores:
INBOUND: min: 29.3 kb/s; max: 8.70 Mb/s; **Promedio: 4.05 Mb/s.**
OUTBOUND: min: 3.22 kb/s; max: 4.42 Mb/s; **Promedio: 386 kb/s.**

El tráfico de internet es mayor que la capacidad asignada que es de 3.07 Mb/s, por lo que ocasionalmente puede producirse intermitencias en la conexión debido a la saturación del canal, afectando incluso al servicio de datos SCADA. La Figura 3.5 muestra claramente el exceso de tráfico en el servicio de internet.

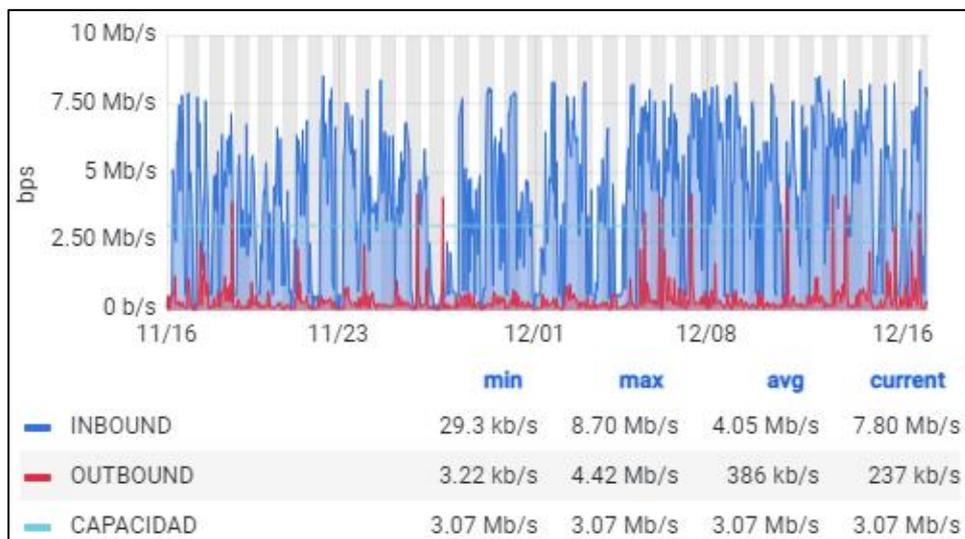


Figura 3.5:Tráfico de Internet EL CALVARIO

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

Análisis de tráfico en SAN RAFAEL

Se presenta la información de los servicios activos y el consumo de ancho de banda en San Rafael, como se describe a continuación:

SERVICIOS				
SERVICIO	IP	INTERFAZ	DESCRIPCION	CAPACIDAD
ELEPCO-SANRAFAEL_3	10.30 [REDACTED] (*)	[Ethernet0/0.141]	DATOS	6.14 Mb/s
ELEPCO-SANRAFAEL_1	186.3 [REDACTED]	[Ethernet0/0]	INTERNET	2.05 Mb/s

Figura 3.6: servicios SAN RAFAEL

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

En la Figura 3.6. se aprecia que esta sub estación cuenta con los servicios de internet y datos, con capacidades de 2.05 Mb/s y 6.14 Mb/s respectivamente. A continuación, se realiza un análisis del comportamiento del flujo de datos en ambos servicios.

- **Servicio de Datos:** La interfaz [Ethernet0/0.141] con capacidad de 6.14 Mb/s permite el tráfico de datos entrante y saliente del sistema SCADA. En los 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: min: 720 b/s; max: 28.8 kb/s; **promedio: 981 b/s.** El tráfico entrante son los datos que llegan desde el SCADA a los dispositivos de la sub estación.

OUTBOUND: min: 2.54 kb/s; 104 kb/s; **promedio: 3.40 kb/s.** El tráfico saliente son los datos que se envían desde los dispositivos de la sub estación hacia el SCADA, siendo más altos que del tráfico entrante, pues se tiene que enviar más información.

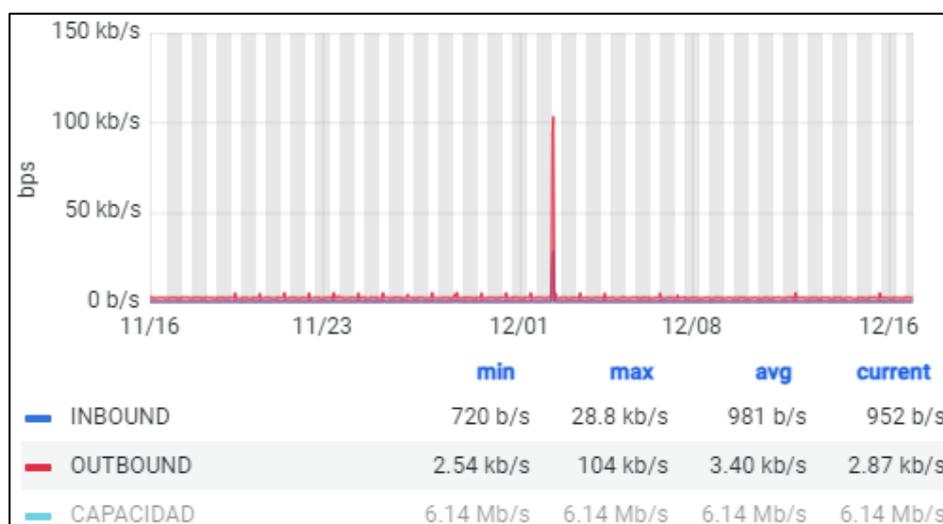


Figura 3.7: Tráfico de datos SAN RAFAEL

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

La tasa de datos de INBOUND y OUTBOUND es muy baja en relación con la capacidad del servicio que es de 6.14 Mb/s. La Figura 3.7 muestra dichos valores.

- **Servicio de internet:** La interfaz [Ethernet0/0] con capacidad de 2.05 Mb/s permite el tráfico de internet. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: min: 53.8 kb/s; max: 2.72 Mb/s; **Promedio: 123 kb/s.**

OUTBOUND: min: 30.4 kb/s; max: 2.66 Mb/s; **Promedio: 86.7 kb/s.**

Los valores promedio de tráfico de internet tanto de INBOUND como de OUTBOUND son bajos en relación a la capacidad asignada que es de 2.05 Mb/s, dado que en esta sub estación no se tiene usuarios. Por lo que el uso del canal se debería al tráfico de gestión propio del ISP.

En la Figura 3.8 se muestra las métricas de tráfico indicadas.

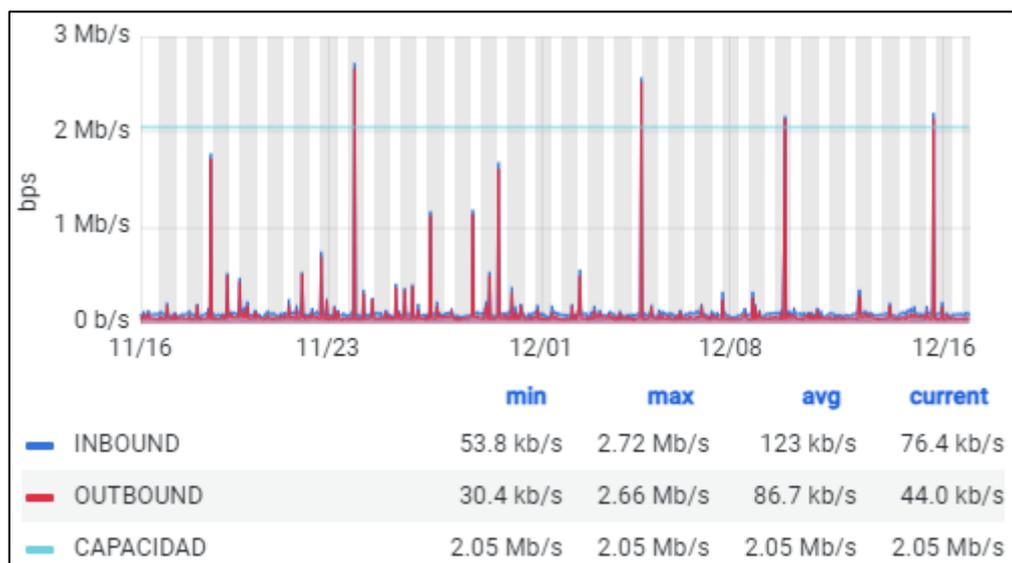


Figura 3.8: Tráfico de Internet SAN RAFAEL

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

Análisis de tráfico en SALCEDO

Se presenta la información de los servicios activos y el consumo de ancho de banda en Salcedo, como se describe a continuación:

En la Figura 3.9. se puede apreciar que esta sub estación cuenta con los servicios de internet y datos, con capacidades de 2.05 Mb/s y 6.14 Mb/s respectivamente.

SERVICIOS ▾				
SERVICIO	IP	INTERFAZ	DESCRIPCION	CAPACIDAD
ELEPCO-SALCEDO_3	181.198.██████ (*)	[Ethernet0/0]	INTERNET	2.05 Mb/s
ELEPCO-SALCEDO_2	10.32.1██████	[Ethernet0/0.117]	DATOS	6.14 Mb/s

Figura 3.9: Servicios SALCEDO

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

A continuación, se realiza un análisis del comportamiento del flujo de datos en ambos servicios.

- **Servicio de Datos:** La interfaz [Ethernet0/0.117] con capacidad de 6.14 Mb/s permite el tráfico de datos entrante y saliente del sistema SCADA. En los 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: Min: 976 b/s; Max: 585 kb/s; **promedio: 2.19 kb/s.** El tráfico entrante son los datos que llegan desde el SCADA hacia los dispositivos de la sub estación.

OUTBOUND: Min: 3.08 kb/s; Max: 1.70 Mb/s; **promedio: 6.66 kb/s.** El tráfico saliente son los datos que se envían desde los dispositivos de la sub estación al SCADA, los cuales son más altos que el tráfico entrante, dado que se tiene que enviar mucha más información.

La tasa de datos de INBOUND y OUTBOUND son muy bajas en comparación con la capacidad que es de 6.14 Mb/s. La Figura 3.10 muestra dichos valores.

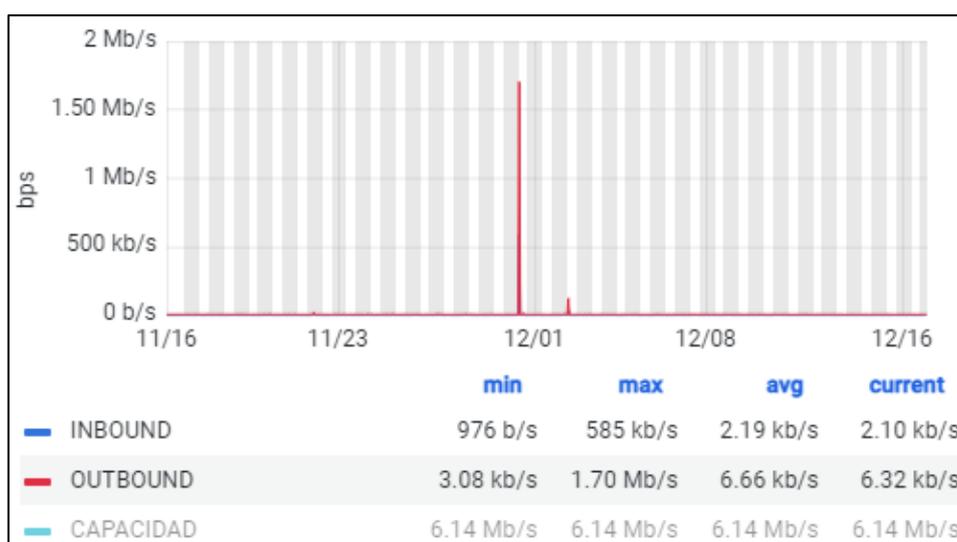


Figura 3.10: Tráfico de datos SALCEDO

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

- **Servicio de internet:** La interfaz [Ethernet0/0] con capacidad de 2.05 Mb/s permite el tráfico de internet. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: min: 7.13 kb/s; max: 592 kb/s; Promedio: 16.2 kb/s.

OUTBOUND: min: 3.47 kb/s; max: 1.70 Mb/s; Promedio: 7.27 kb/s.

Los valores promedio de tráfico tanto de INBOUND como de OUTBOUND son bajos en relación con la capacidad que es de 2.05 Mb/s, dado que en esta sub estación no hay usuarios. El consumo del canal se debe al tráfico de gestión propio del ISP.

En la Figura 3.11 se muestra las métricas de tráfico indicadas.

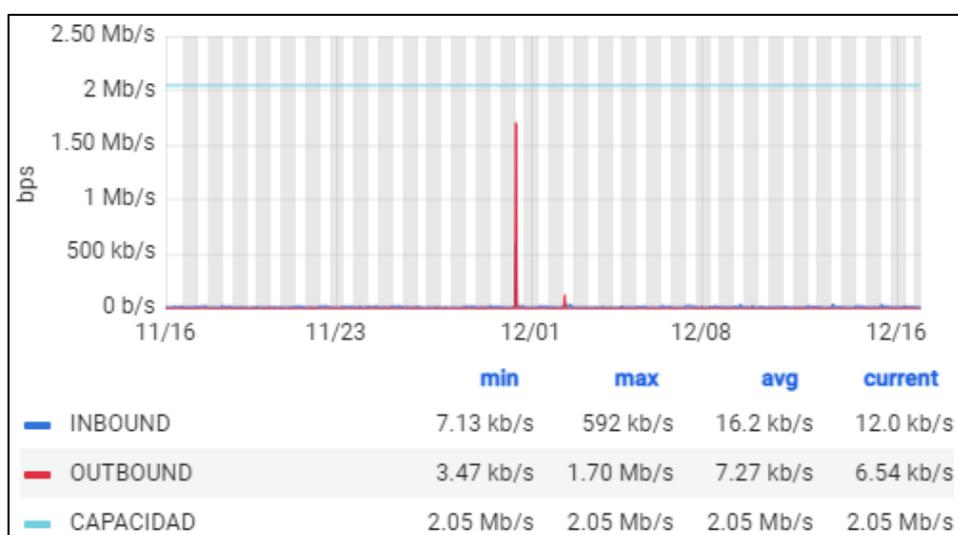


Figura 3.11: Tráfico de Internet SALCEDO

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

Análisis de tráfico en MULALÓ

Se presenta la información de los servicios activos y el consumo de ancho de banda en Mulaló. En la Figura 3.12. se puede apreciar que esta sub estación cuenta con los servicios de internet y datos, con capacidades de 2.05 Mb/s y 6.14 Mb/s respectivamente.

i SERVICIOS				
SERVICIO	IP	INTERFAZ	DESCRIPCION	CAPACIDAD
ELEPCO-MULALO_3	10.90 [REDACTED]	[Ethernet0/0.100]	DATOS	6.14 Mb/s
ELEPCO-MULALO_1	181.198 [REDACTED] (*)	[Ethernet0/0]	INTERNET	2.05 Mb/s

Figura 3.12: Servicios MULALÓ

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

A continuación, se realiza un análisis del comportamiento del flujo de datos en ambos servicios.

- **Servicio de Datos:** La interfaz [Ethernet0/0.100] con capacidad de 6.14 Mb/s permite el tráfico de datos entrante y saliente del sistema SCADA. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: min: 1.56 kb/s; max: 28.5 kb/s; **promedio: 1.94 kb/s.** El tráfico entrante pertenece a los datos que se envían del SCADA hacia los dispositivos de la sub estación.

OUTBOUND: min: 3.36 kb/s; Max: 102 kb/s; **promedio: 4.75 kb/s.** El tráfico saliente corresponde a los datos que envían los dispositivos de campo al SCADA.

La tasa de datos tanto de INBOUND como de OUTBOUND son muy bajas en relación a la capacidad que es de 6.14 Mb/s. La Figura 3.13 muestra dichas métricas.

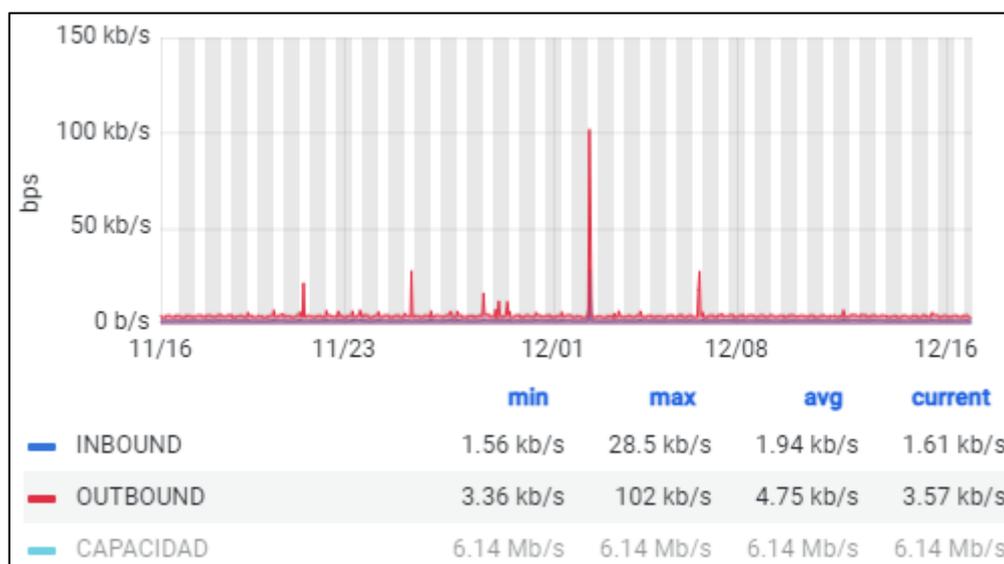


Figura 3.13: Tráfico de datos MULALÓ

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

- **Servicio de internet:** La interfaz [Ethernet0/0] con capacidad de 2.05 Mb/s permite el tráfico de internet. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: min: 5.64 kb/s; max: 9.17 Mb/s; **Promedio: 1.73 Mb/s.**

OUTBOUND: min: min: 4.13 kb/s; 8.30 Mb/s; **Promedio: 136 kb/s.**

El tráfico promedio entrante y saliente no sobrepasa la capacidad que es de 2.05 Mb/s, sin embargo, los excesos de tráfico de inbound, ocasionalmente puede producir intermitencias en la conexión debido a la saturación del canal, afectando incluso al

servicio de datos SCADA. La Figura 3.14 muestra el exceso de tráfico entrante en el servicio de internet.

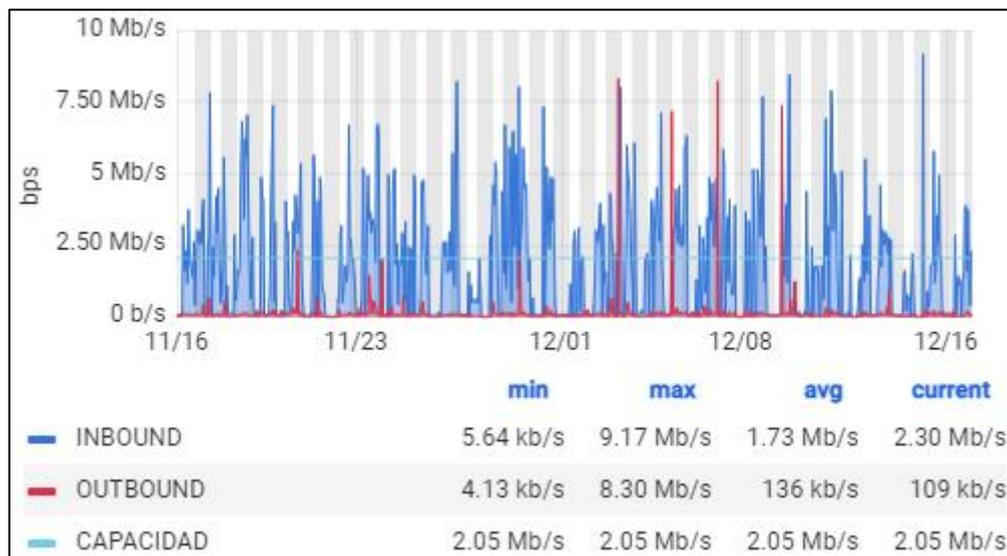


Figura 3.14: Tráfico de Internet MULALÓ

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

Análisis de tráfico en LASSO

Se presenta la información de los servicios activos y el consumo de ancho de banda en Lasso. En la Figura 3.15 se puede apreciar que esta sub estación cuenta con los servicios de internet y datos, con capacidades de 2.05 Mb/s y 6.14 Mb/s respectivamente.

SERVICIOS ▾				
SERVICIO	IP	INTERFAZ	DESCRIPCION	CAPACIDAD
ELEPCO-LASSO_1	181.198.██████ (*)	[Ethernet0/0]	INTERNET	2.05 Mb/s
ELEPCO-LASSO_3	10.90██████	[Ethernet0/0.100]	DATOS	6.14 Mb/s

Figura 3.15: Servicios LASSO

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

A continuación, se realiza un análisis del comportamiento del flujo de datos de ambos servicios.

- **Servicio de Datos:** La interfaz [Ethernet0/0.100] con capacidad de 6.14 Mb/s permite el tráfico de datos entrante y saliente del sistema SCADA. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: min: 728 b/s; max: 27.4 kb/s; **promedio: 955 b/s.** Tráfico entrante que proviene del SCADA hacia los dispositivos de la sub estación.

OUTBOUND: min: 2.58 kb/s; Max: 99.4 kb/s; **promedio: 3.38 kb/s.** El tráfico saliente corresponde a los datos que se envían desde los dispositivos de la sub estación hacia el SCADA.

La tasa de datos tanto de INBOUND como de OUTBOUND son muy bajas en relación a la capacidad que es de 6.14 Mb/s. La Figura 3.16 muestra dichas métricas.

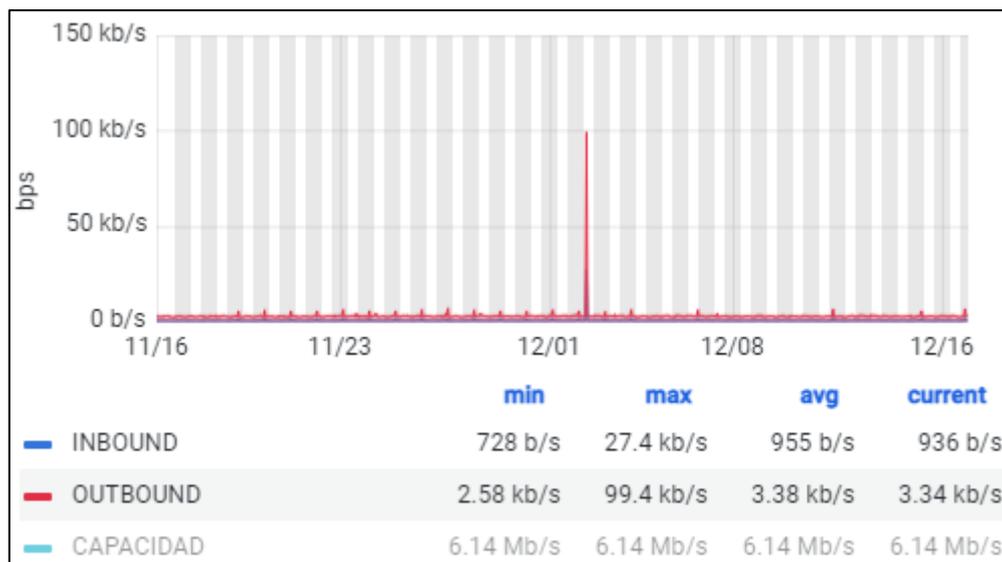


Figura 3.16: Tráfico de datos LASSO

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

- **Servicio de internet:** La interfaz [Ethernet0/0] con capacidad de 2.05 Mb/s permite el tráfico de internet. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: min: 44.2 kb/s; max: 5.94 Mb/s; **Promedio: 2.70 Mb/s.**

OUTBOUND: min: 41.7 kb/s; max: 2.84 Mb/s; **Promedio: 424 kb/s.**

El tráfico entrante en muchos casos sobrepasa la capacidad que es de 2.05 Mb/s, por lo que ocasionalmente puede producirse intermitencias en la conexión debido a la saturación del canal, afectando incluso al servicio de datos SCADA.

La Figura 3.17 muestra el exceso de tráfico entrante del servicio de internet, el cual supera la capacidad asignada.

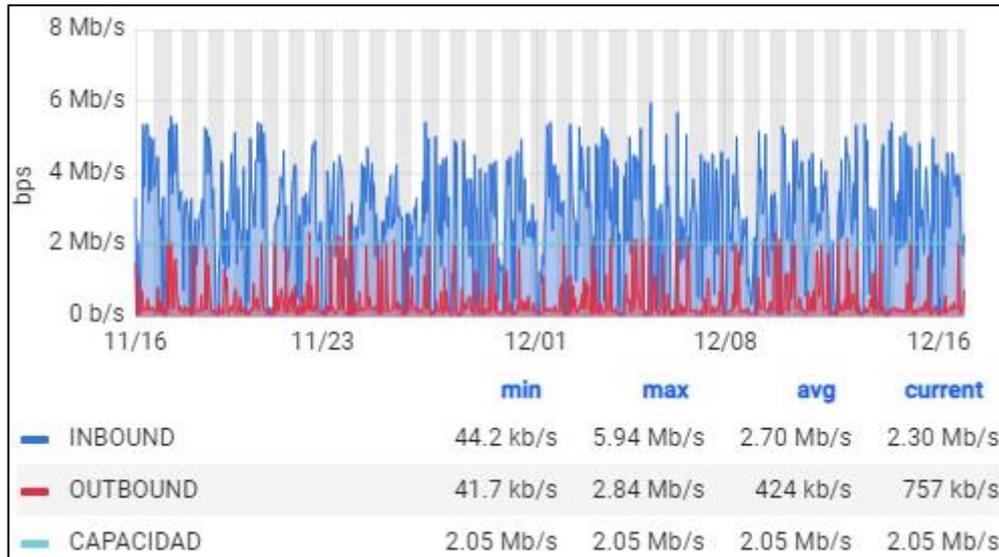


Figura 3.17: Tráfico de Internet LASSO

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

Análisis de tráfico en LA COCHA

Se presenta la información de los servicios activos y el consumo de ancho de banda en La Cocha, como se describe a continuación:

En la Figura 3.18. se puede apreciar que esta sub estación cuenta solamente con el servicio de datos, con una capacidad de 4.10 Mb/s.

SERVICIOS				
SERVICIO ↓	IP	INTERFAZ	DESCRIPCION	CAPACIDAD
ELEPCO-LACOCHA_3	10.30.8 [REDACTED] (*)	[Ethernet0/0]	DATOS	4.10 Mb/s

Figura 3.18: Servicios LA COCHA

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

A continuación, se realiza un análisis del comportamiento del flujo de datos en el servicio.

- **Servicio de Datos:** La interfaz [Ethernet0/0] con capacidad de 4.10 Mb/s permite el tráfico de datos entrante y saliente del sistema SCADA. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: Min: 1.19 kb/s; max: 2.78 kb/s; **promedio: 1.39 kb/s.** El tráfico entrante son datos que se envían desde el SCADA hacia los dispositivos de la sub estación.

OUTBOUND: Min: 2.49 kb/s; Max: 4.74 kb/s; **promedio: 3.43 kb/s.** El tráfico saliente son datos que envían los dispositivos de campo hacia el SCADA.

La tasa de datos de INBOUND y OUTBOUND son muy bajas en relación a la capacidad del servicio, el cual es de 4.10 Mb/s. La Figura 3.19 muestra las métricas indicadas.

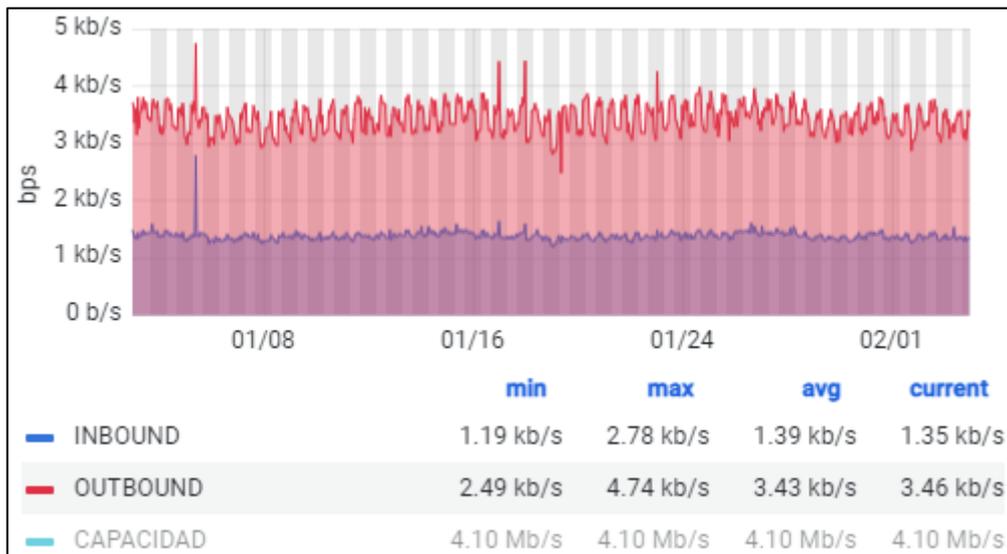


Figura 3.19: Tráfico de datos LA COCHA

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

Análisis de tráfico en PUJILÍ

Se presenta la información de los servicios activos y el consumo de ancho de banda en Pujilí, como se describe a continuación:

En la Figura 3.20. se puede apreciar que esta sub estación cuenta solamente con el servicio de datos, con una capacidad de 4.10 Mb/s.

SERVICIOS				
SERVICIO ↓	IP	INTERFAZ	DESCRIPCION	CAPACIDAD
ELEPCO-PUJILI_3	10.30. [REDACTED] (*)	[Ethernet0/0]	DATOS	4.10 Mb/s

Figura 3.20: Servicios PUJILÍ

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

A continuación, se realiza un análisis del comportamiento del flujo de datos en el servicio.

- **Servicio de Datos:** La interfaz [Ethernet0/0] con capacidad de 4.10 Mb/s permite el tráfico de datos entrante y saliente del sistema SCADA. Se tiene los siguientes valores:

INBOUND: Min: 816 b/s; Max: 25.9 kb/s; **promedio: 1.01 kb/s.** El tráfico entrante son datos que se envían desde el SCADA hacia los dispositivos de la sub estación.

OUTBOUND: Min: 1.03 kb/s; Max: 94.8 kb/s; **promedio: 1.81 kb/s.** El tráfico saliente son datos que envían los dispositivos de la sub estación hacia el SCADA.

La tasa de datos de INBOUND y OUTBOUND son muy bajas en relación a la capacidad del servicio que es de 4.10 Mb/s. La Figura 3.21 muestra las métricas anteriores.

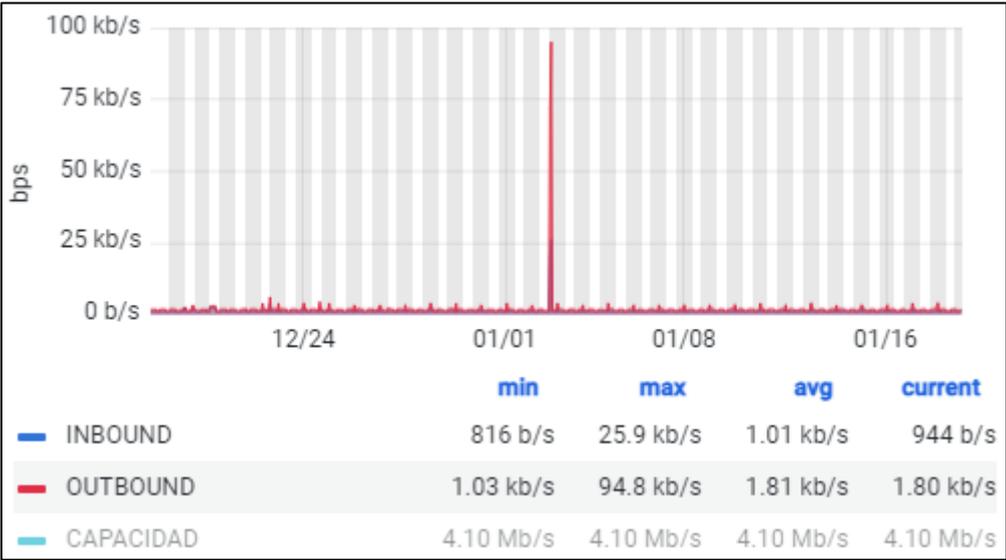


Figura 3.21: Tráfico de datos PUJILÍ

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

Análisis de tráfico en LA MANÁ

Se presenta la información de los servicios activos y el consumo de ancho de banda en La Maná, como se describe a continuación:

En la Figura 3.22. se puede apreciar que esta sub estación cuenta con los servicios de internet y datos, con capacidades de 4.10 Mb/s en cada canal.

SERVICIOS				
SERVICIO ↓	IP	INTERFAZ	DESCRIPCION	CAPACIDAD
ELEPCO-LAMANASUB_5	186.3.1 [REDACTED]	[wan]	INTERNET	4.10 Mb/s
ELEPCO-LAMANASUB_4	10.71.2 [REDACTED] (*)	[WAN-DATOS]	DATOS	4.10 Mb/s

Figura 3.22: Servicios LA MANÁ

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

A continuación, se realiza un análisis del comportamiento del flujo de datos en ambos servicios.

- **Servicio de Datos:** La interfaz [WAN-DATOS] con capacidad de 4.10 Mb/s permite el tráfico de datos entrante y saliente del sistema SCADA. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: Min: 552 b/s; Max: 856 kb/s; **promedio: 2.68 kb/s.** El tráfico entrante son los datos que se envían desde el SCADA hacia los dispositivos de la sub estación.

OUTBOUND: Min: 888 b/s; Max: 858 kb/s; **promedio: 7.54 kb/s.** El tráfico saliente son los datos que envían los dispositivos de la sub estación hacia el SCADA.

La tasa de datos tanto de INBOUND como de OUTBOUND son muy bajas en relación a la capacidad del servicio que es de 4.10 Mb/s. La Figura 3.23 muestra dichas métricas.

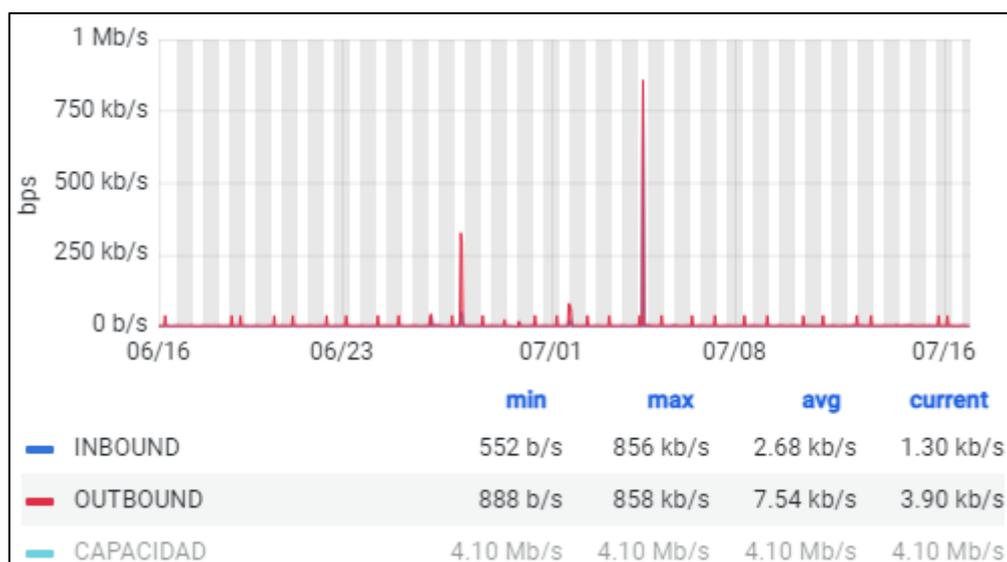


Figura 3.23: Tráfico de datos LA MANÁ

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

- **Servicio de internet:** La interfaz [wan] con capacidad de 4.10 Mb/s permite el tráfico de internet. Se tiene los siguientes valores:

INBOUND: Min: 9.78 kb/s; Max: 9.05 Mb/s; **Promedio: 3.28 Mb/s.**

OUTBOUND: Min: 5.28 kb/s; Max: 9.58 Mb/s; **Promedio: 515 kb/s.**

Se puede evidenciar que el tráfico entrante sobrepasa la capacidad que es de 4.10Mb/s, por lo que ocasionalmente puede producirse intermitencias en la conexión debido a la saturación del canal, afectando incluso el servicio de datos SCADA.

La Figura 3.24 muestra el exceso de tráfico en el servicio de internet, el cual está por encima de la capacidad asignada.

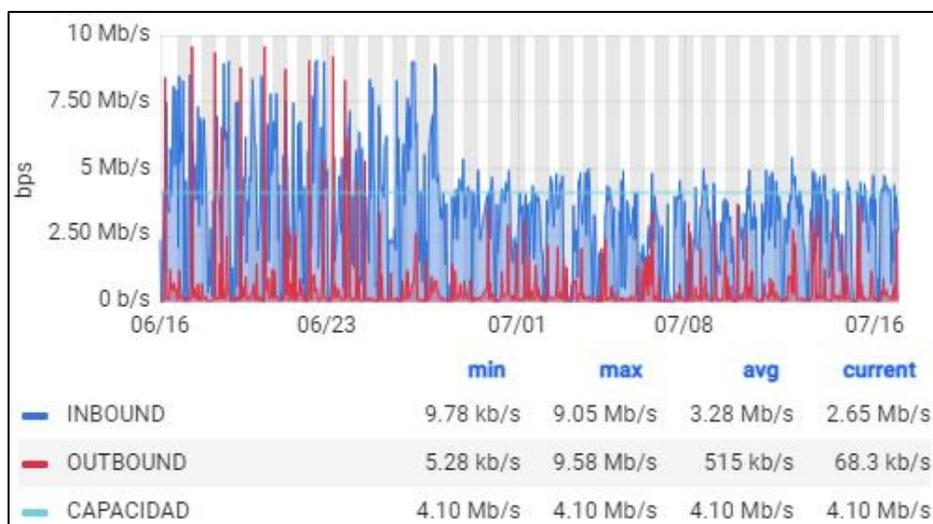


Figura 3.24: Tráfico de Internet LA MANÁ

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

Análisis de tráfico en SIGCHOS

Se presenta la información de los servicios activos y el consumo de ancho de banda en Sigchos, como se describe a continuación:

En Sigchos se cuenta únicamente con el servicio de datos, con una capacidad de 4.0 Mb/s. A continuación, se realiza un análisis del comportamiento del flujo de datos en el servicio.

- **Servicio de datos:** En la sub estación Sigchos el servicio de datos lo provee el ISP 2 con una capacidad de 4 Mb/s. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: Actual: 1.80 kb/s; **Promedio: 1.94 kb/s;** Max: 4.46 kb/s. El tráfico entrante son los datos de los dispositivos de la sub estación que ingresan al puerto LAN del

router del ISP y que luego serán transmitidos hacia el SCADA a través de un puerto WAN del mismo router.

OUTBOUND: Actual: 434.62 b/s; **Promedio: 446.40 b/s;** Max: 995.80 b/s. El tráfico saliente son los datos del SCADA que llegan al router del ISP y salen por el puerto LAN del mismo router hacia los dispositivos de la sub estación.

La tasa de datos de INBOUND y OUTBOUND son bajas en relación a la capacidad del servicio, por lo tanto, se descartan los eventos de desconexiones por saturación del canal, dado que tampoco se tiene servicio de internet que pueda afectar al servicio de datos SCADA. Las métricas anteriores se pueden visualizar en la Figura 3.25.

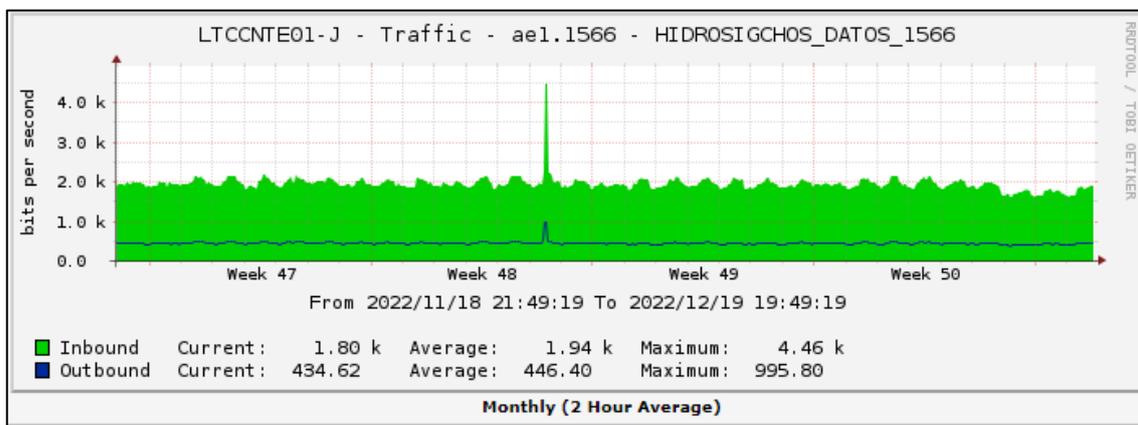


Figura 3.25: Servicio de datos SIGCHOS

FUENTE: Herramienta de monitoreo CACTI de ISP2.

Análisis de tráfico en CENTRAL ILLUCHI1

Se presenta la información de los servicios activos y el consumo de ancho de banda en Illuchi 1, como se describe a continuación:

en la Figura 3.26. se aprecia que esta sub estación cuenta con los servicios de internet y datos, con capacidades de 1.02 Mb/s y 3.07 Mb/s respectivamente.

SERVICIOS				
SERVICIO ↓	IP	INTERFAZ	DESCRIPCION	CAPACIDAD
ELEPCO-ILLUCHI1_3	186.3.8 [REDACTED]	[Ethernet0/0]	INTERNET	1.02 Mb/s
ELEPCO-ILLUCHI1_2	10.30.8 [REDACTED] (*)	[Ethernet0/0.141]	DATOS	3.07 Mb/s

Figura 3.26: Servicios Central ILLUCHI 1

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

A continuación, se realiza un análisis del comportamiento del flujo de datos en ambos servicios.

- **Servicio de Datos:** La interfaz [Ethernet0/0.141] con capacidad de 3.07 Mb/s permite el tráfico de datos entrante y saliente del sistema SCADA. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: Min: 496 b/s; Max: 1.61 kb/s; **promedio: 590 b/s.** El tráfico entrante son los datos que llegan desde el SCADA hacia los dispositivos de la sub estación.

OUTBOUND: Min: 1.38 kb/s; Max: 5.42 kb/s; **promedio: 1.86 kb/s.** El tráfico saliente son los datos que envían los dispositivos de campo hacia el SCADA.

La tasa de datos de INBOUND y OUTBOUND son muy bajas en relación a la capacidad del servicio que es de 3.07 Mb/s. La Figura 3.27 muestra dichas métricas.

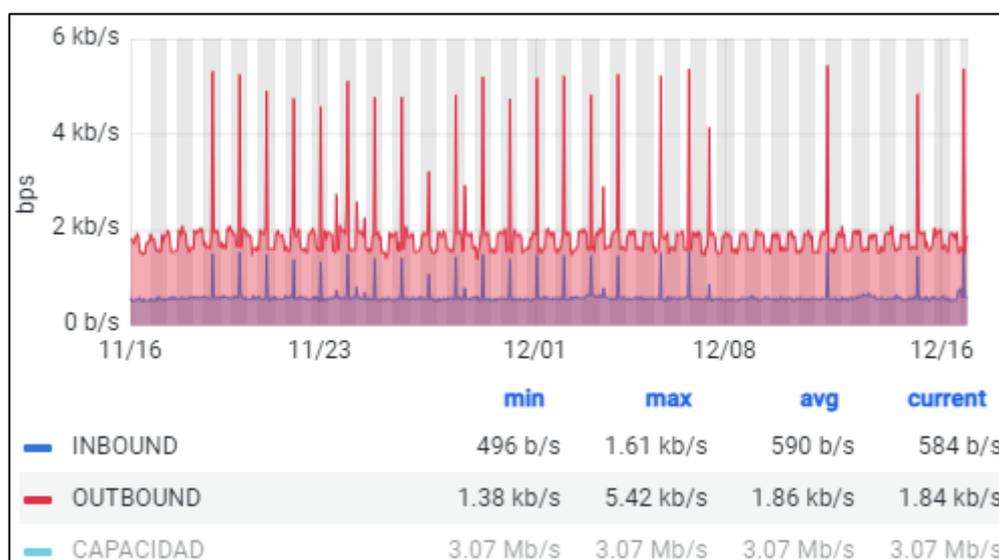


Figura 3.27: Tráfico de datos Central ILLUCHI 1

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

- **Servicio de internet:** La interfaz [Ethernet0/0] con capacidad de 1.02 Mb/s permite el tráfico de internet. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: Min: 30.2 kb/s; Max: 2.87 Mb/s; **Promedio: 1.62 Mb/s.**

OUTBOUND: Min: 6.16 kb/s; Max: 1.15 Mb/s; **Promedio: 264 kb/s.**

Se puede evidenciar que el tráfico entrante sobrepasa la capacidad que es de 1.02 Mb/s, por lo que ocasionalmente puede producirse intermitencias en la conexión debido a la saturación del canal, afectando incluso el servicio de datos SCADA.

La Figura 3.28 muestra el exceso de tráfico en el servicio de internet, el cual está por encima de la capacidad asignada.

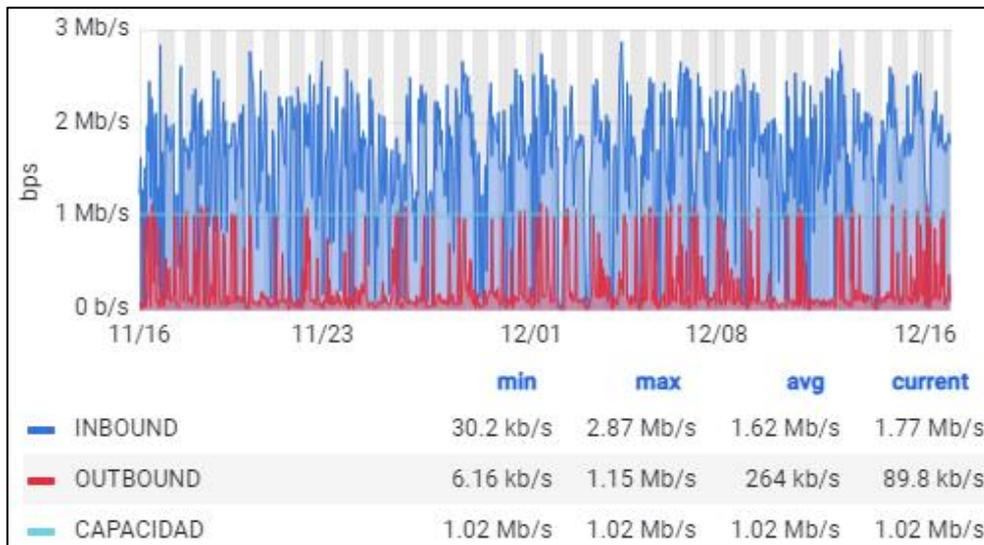


Figura 3.28: Tráfico de Internet Central ILLUCHI 1

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

Análisis de tráfico en CENTRAL ILLUCHI2

Se presenta la información de los servicios activos y el consumo de ancho de banda en Illuchi 2, como se describe a continuación:

En la Figura 3.29. se puede apreciar que esta sub estación cuenta con los servicios de internet y datos, con capacidades de 1.02 Mb/s y 3.07 Mb/s respectivamente.

SERVICIOS				
SERVICIO ↓	IP	INTERFAZ	DESCRIPCION	CAPACIDAD
ELEPCO-ILUNCHI2_3	186.3.8 [REDACTED]	[Ethernet0/0]	INTERNET	1.02 Mb/s
ELEPCO-ILUNCHI2_2	10.30.8 [REDACTED] (*)	[Ethernet0/0.141]	DATOS	3.07 Mb/s

Figura 3.29: Servicios Central ILLUCHI 2

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

A continuación, se realiza un análisis del comportamiento del flujo de datos en ambos servicios.

- **Servicio de Datos:** La interfaz [Ethernet0/0.141] con capacidad de 3.07 Mb/s permite el tráfico de datos entrante y saliente del sistema SCADA. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: Min: 712 b/s; Max: 1.25 Mb/s; **promedio: 6.34 kb/s.** El tráfico entrante son los datos que llegan desde el SCADA hacia los dispositivos de la sub estación.

OUTBOUND: Min: 2 kb/s; Max: 1.25 Mb/s; **promedio: 8.69 kb/s.** El tráfico saliente son los datos que envían los dispositivos de campo hacia el SCADA.

La tasa de datos de INBOUND y OUTBOUND son muy bajas en relación a la capacidad del servicio. La Figura 3.30 muestra dichas métricas.

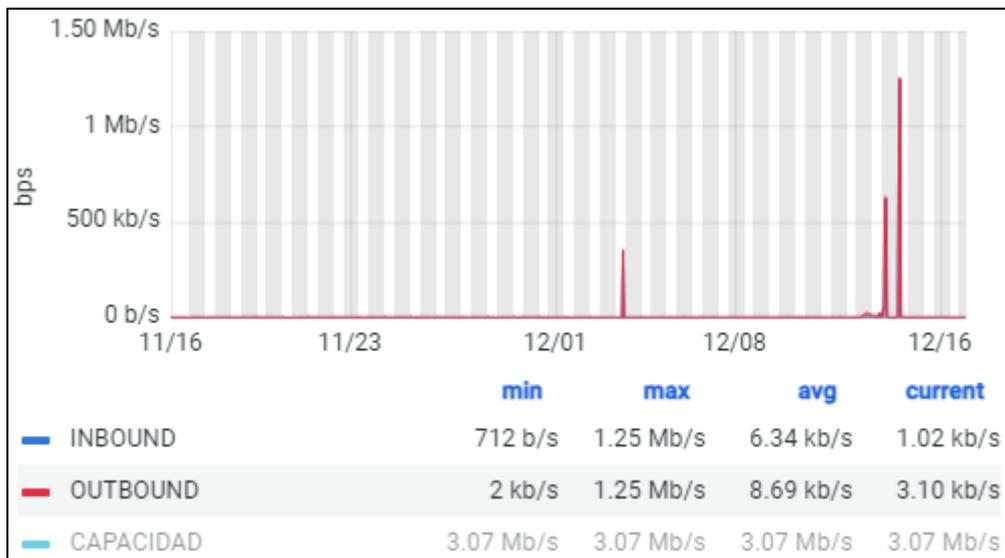


Figura 3.30: Tráfico de datos Central ILLUCHI 2

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

- **Servicio de internet:** La interfaz [Ethernet0/0] con capacidad de 1.02 Mb/s permite el tráfico de internet. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: Min: 24.5 kb/s; Max: 4.33 Mb/s; **Promedio: 1.74 Mb/s.**

OUTBOUND: Min: 9.41 kb/s; Max: 1.34 Mb/s; **Promedio: 229 kb/s.**

Se puede evidenciar que el tráfico entrante sobrepasa la capacidad asignada, por lo que ocasionalmente puede producirse intermitencias en la conexión debido a la saturación del canal, afectando incluso el servicio de datos SCADA.

La Figura 3.31 muestra el exceso de tráfico en el servicio de internet, el cual está por encima de la capacidad asignada.

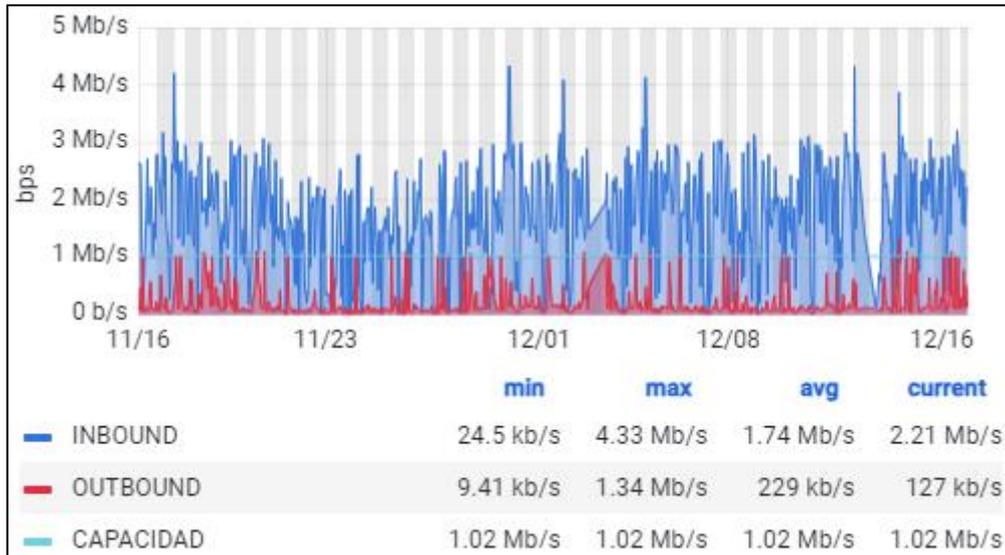


Figura 3.31: Tráfico de Internet Central ILLUCHI 2

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

Análisis de tráfico en MATRIZ ELEPCOSA

Se presenta la información de los servicios activos y el consumo de ancho de banda en el equipo concentrador de Matriz, como se describe a continuación:

En la Figura 3.32. se aprecia, que el punto matriz de ELEPCOSA cuenta con los servicios de internet y datos, con capacidades de 8.19 Mb/s y 64.5 Mb/s respectivamente.

SERVICIOS				
SERVICIO ↑	IP	INTERFAZ	DESCRIPCION	CAPACIDAD
EELA-LATAC-I_1	201.218 [REDACTED] (*)	[Fa4]	INTERNET	8.19 Mb/s
EELA-LATAC-I_2	10.30 [REDACTED]	[Fa4.141]	DATOS	64.5 Mb/s

Figura 3.32: Servicios en MATRIZ ELEPCOSA

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

A continuación, se realiza un análisis del comportamiento del flujo de datos en ambos servicios.

- **Servicio de Datos:** La interfaz [Fa4.141] con capacidad de 64.5 Mb/s, concentra todo el tráfico entrante y saliente del sistema SCADA desde y hacia las subestaciones. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: Min: 22.9 kb/s; Max: 1.67 Mb/s; **promedio: 31.1 kb/s.** El tráfico entrante son los datos que llegan desde las subestaciones hacia el sistema SCADA.

OUTBOUND: Min: 6.26 kb/s; Max: 606 kb/s; **promedio: 8.67 kb/s.** El tráfico saliente son los datos que se envían desde el SCADA hacia los dispositivos de las subestaciones.

La tasa de datos de INBOUND y OUTBOUND son muy bajas en relación a la capacidad ofrecida que es de 64.5 Mb/s. La Figura 3.33 muestra las métricas anteriores.

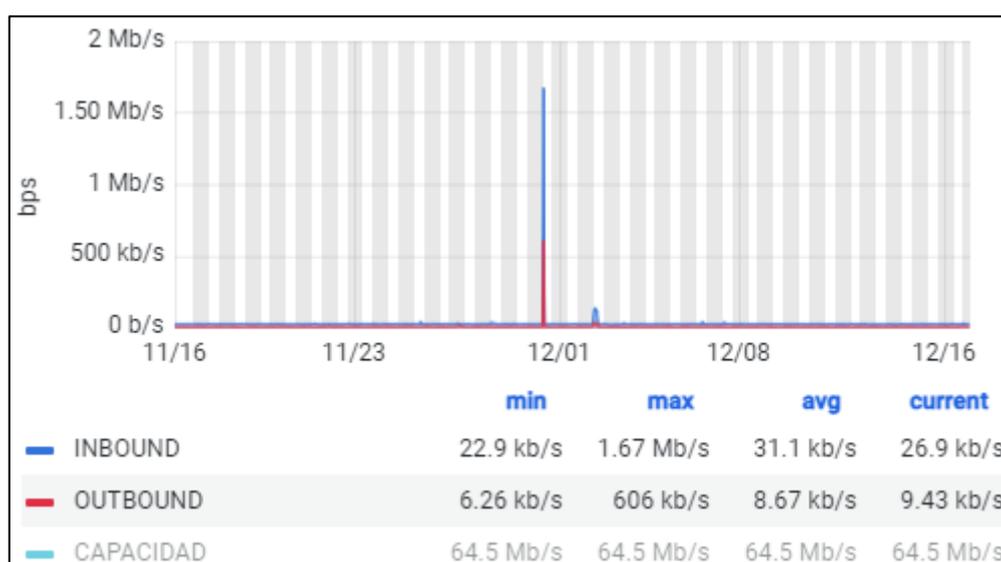


Figura 3.33: Tráfico de datos Concentrador MATRIZ ELEPCOSA

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

- **Servicio de internet:** La interfaz [Fa4] con capacidad de 8.19 Mb/s permite el tráfico de internet. En 30 días se tiene los siguientes valores:

INBOUND: Min: 78.4 kb/s; Max: 81.2 Mb/s; **Promedio: 1.39 Mb/s.**

OUTBOUND: Min: 20.8 kb/s; Max: 26.4 Mb/s; **Promedio: 1.92 Mb/s.**

Se puede evidenciar que el tráfico promedio entrante y saliente no sobrepasa la capacidad que es de 8.19 Mb/s, sin embargo, ocasionalmente podría producirse alguna intermitencia en la conexión, debido a los picos de tráfico tal como se aprecia en la gráfica.

La Figura 3.34 muestra las métricas del servicio de internet.

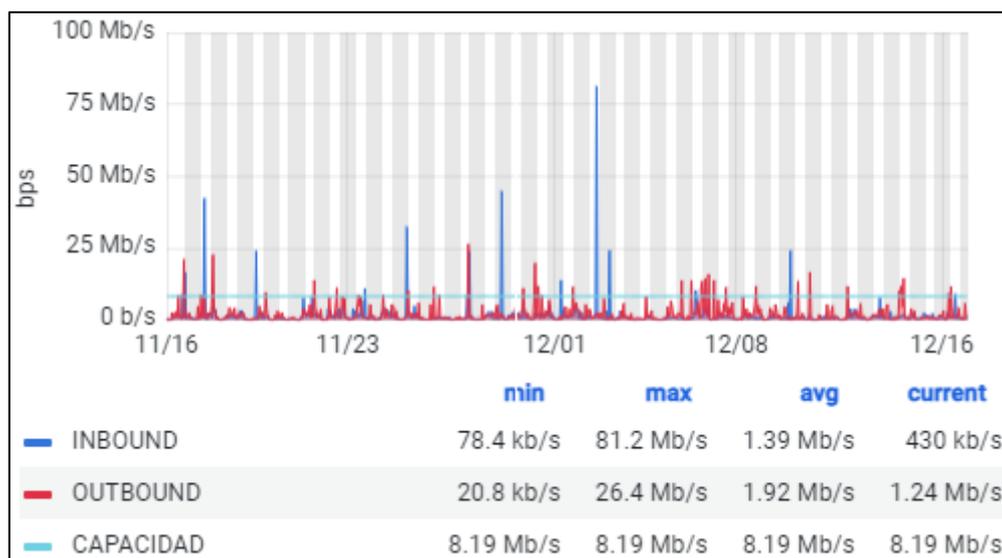


Figura 3.34: Tráfico de Internet Concentrador MATRIZ ELEPCOSA

FUENTE: Herramienta de monitoreo telcograf de ISP1.

3.3 Reporte de incidencias y diagnóstico de la red actual

El sistema SCADA posee un servidor de datos históricos, donde se almacenan todos los eventos que ocurren en el sistema eléctrico tales como: alarmas por variaciones en los valores de señales analógicas, desconexión de interruptores, etc.; pero además, se registra los eventos de fallas que se producen en la red de comunicaciones que conecta a los dispositivos remotos de las sub estaciones; por tanto, con base en esta información histórica se evalúa el comportamiento de la red durante el periodo de 6 meses comprendidos de Junio a Noviembre del 2022, para posteriormente establecer un diagnóstico de la situación actual del nivel de servicio que ofrece el ISP.

3.3.1 Desconexiones en la red e Indisponibilidad del servicio

Durante todos los meses del año se producen desconexiones en la red del ISP, que afectan la comunicación con todas las sub estaciones; los sitios más problemáticos son aquellos que utilizan enlaces de radio frecuencia como medio de transmisión, donde los cortes son más recurrentes que en aquellos que disponen de fibra óptica, ocasionando que se produzca indisponibilidad del servicio, que puede durar desde unos pocos segundos hasta varias horas, dependiendo de la magnitud del fallo y de la dificultad para acceder al lugar para restablecer el servicio.

Los eventos de desconexiones e indisponibilidad del servicio de cada mes se presentan a continuación:

- **Desconexiones en el mes de JUNIO**

En la Figura 3.35 se muestra el número total de desconexiones producidas en cada sub estación. En La Maná e Illuchi 2 se tienen el mayor número de eventos, con 15 y 11 respectivamente.



Figura 3.35: Eventos de Desconexiones, mes de JUNIO

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

- **Tiempo de Indisponibilidad de servicio en el mes de JUNIO.**

En la Figura 3.36 se presenta el tiempo de indisponibilidad del servicio de cada una de las sub estaciones. En ILLUCHI 2 se ha registrado el mayor tiempo de indisponibilidad con 49 horas 43 minutos y 28 segundos, debido a que personal técnico del proveedor tuvo dificultades para acceder al nodo por factores climáticos de la zona.



Figura 3.36: Indisponibilidad del servicio mes de JUNIO

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

- **Desconexiones en el mes de JULIO**

En la Figura 3.37 se puede observar que la mayor cantidad de desconexiones se han producido en La Cocha y La Maná con un total de 62 y 41 eventos respetivamente.



Figura 3.37: Eventos de Desconexiones, mes de JULIO

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

- **Tiempo de Indisponibilidad de servicio en el mes de JULIO.**

La Figura 3.38 muestra que el mayor tiempo de indisponibilidad del servicio en este mes se produjo en LA COCHA, con un tiempo de 6 horas 42 minutos y 41 segundos, debido a que personal técnico del proveedor tuvo dificultades para acceder al nodo.

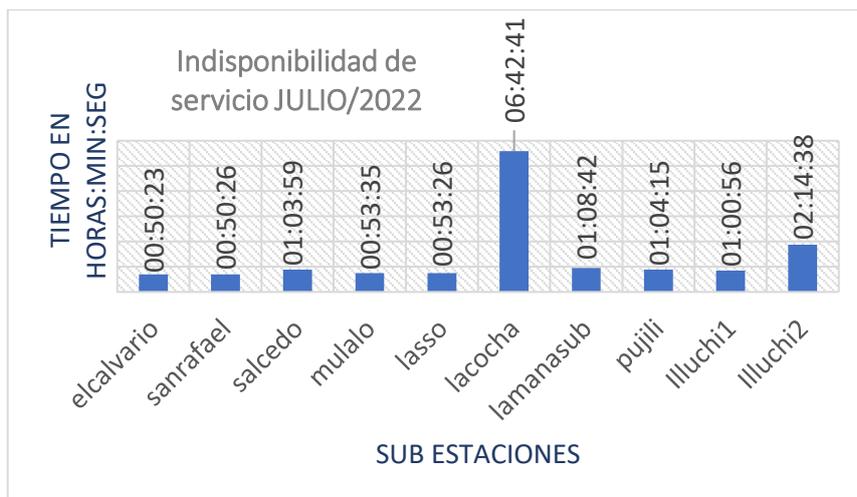


Figura 3.38: Indisponibilidad del servicio, mes de JULIO

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

- **Desconexiones en el mes de AGOSTO**

En la Figura 3.39 se muestra el número total de desconexiones producidas en el mes. En ILLUCHI 2 y LA COCHA se han registrado el mayor número de eventos con 69 Y 66 respectivamente.

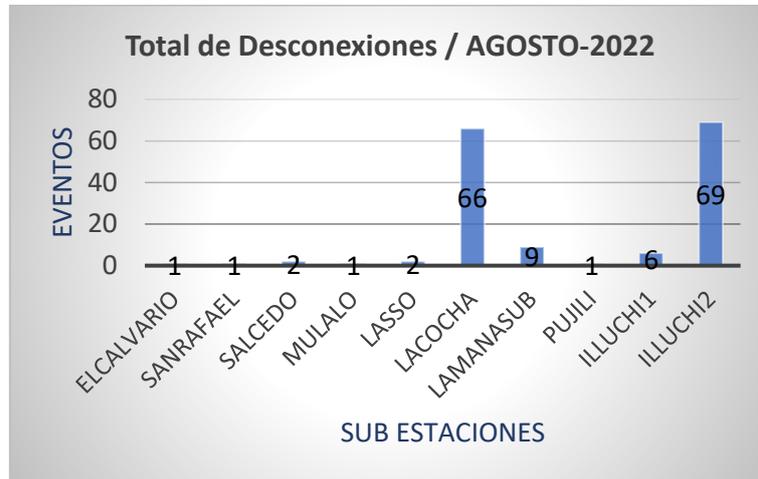


Figura 3.39: Eventos de Desconexiones, mes de AGOSTO

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

- **Tiempo de Indisponibilidad de servicio en el mes de AGOSTO.**

La Figura 3.40 muestra que en Illuchi 2 y Lasso se han producido el mayor tiempo de indisponibilidad de servicio en este mes, con más de 9 horas y 7 horas respectivamente.



Figura 3.40: Indisponibilidad del servicio, mes de AGOSTO

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

- **Desconexiones en el mes de SEPTIEMBRE**

En este mes, La Maná, Illuchi 2 y Salcedo han registrado el mayor número de desconexiones con 13, 10 y 7 eventos respectivamente, como se puede observar en la Figura 3.41.



Figura 3.41: Eventos de Desconexiones, mes de SEPTIEMBRE

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

- **Tiempo de Indisponibilidad de servicio en el mes de SEPTIEMBRE.**

La Figura 3.42 muestra que en ILLUCHI 2 se ha registrado el mayor tiempo de indisponibilidad, con 11 horas, 57 minutos y 56 segundos. En las demás subestaciones la duración ha sido menos de una hora en el mes.



Figura 3.42: Indisponibilidad del servicio, mes de SEPTIEMBRE

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

- **Desconexiones en el mes de OCTUBRE**

En la Figura 3.43 se muestra el número total de desconexiones producidas en el mes. En SALCEDO y LA MANÁ se registra el mayor número de eventos con 24 y 14 respectivamente.

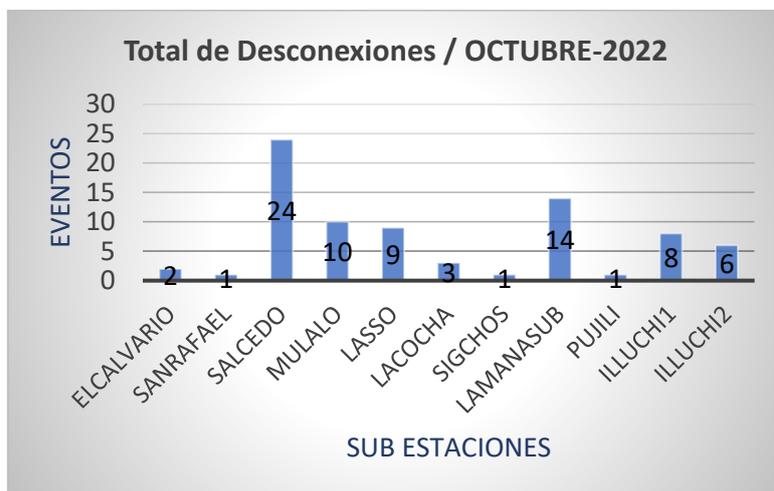


Figura 3.43: Eventos de Desconexiones, mes de OCTUBRE

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

- **Tiempo de Indisponibilidad de servicio en el mes de OCTUBRE.**

En la Figura 3.44 se muestra el tiempo de indisponibilidad del servicio en todo el mes en cada una de las subestaciones. En ILLUCHI 2 se registra el mayor tiempo de indisponibilidad con 2 horas, 6 minutos y 10 segundos.



Figura 3.44: Indisponibilidad del servicio, mes de OCTUBRE

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

- **Desconexiones en el mes de NOVIEMBRE**

En la Figura 3.45 se muestra el número total de desconexiones producidas en el mes. En Salcedo se registra el mayor número con 57 eventos, seguido de Mulaló y Lasso con 35 y 34 eventos respectivamente.



Figura 3.45: Eventos de Desconexiones, mes de NOVIEMBRE

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

- **Tiempo de Indisponibilidad de servicio en el mes de NOVIEMBRE.**

En la Figura 3.46 se muestra el tiempo de indisponibilidad del servicio en todo el mes, en cada una de las subestaciones. En Salcedo se registra el mayor tiempo de indisponibilidad con 7 horas y 37 minutos en el mes.



Figura 3.46: Indisponibilidad del servicio, mes de NOVIEMBRE

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

Es importante mencionar que ELEPCO S.A. no tiene el acceso a los dispositivos de red del proveedor para realizar un diagnóstico (troubleshooting) más profundo de la red cuando se producen fallos, por lo que se limita a reportar el daño para que el ISP con su personal técnico efectúe las revisiones pertinentes y solucione el problema de indisponibilidad del servicio. Posteriormente, cuando se concluyen los trabajos de reparación, los técnicos encargados informan las acciones correctivas ejecutadas para levantar el servicio.

3.3.2 Diagnóstico de la red actual

Con la información obtenida de la herramienta de monitoreo de tráfico, se ha podido determinar la tasa de datos real entrante y saliente desde cada una de las sub estaciones, el análisis está basado en información de 30 días comprendidos entre los meses de noviembre y diciembre del 2022; así mismo, de la base de datos histórica del sistema SCADA se han obtenido los registros de los eventos de desconexiones e indisponibilidad del servicio de seis meses comprendido en el período de Junio a Noviembre del 2022. A continuación, se hace un resumen del diagnóstico de la situación actual del servicio en las sub estaciones:

Servicio de datos: En las Once (11) subestaciones el tráfico promedio de datos del sistema SCADA tanto de INBOUND como de OUTBOUND no superan los 10 kb/s y el valor máximo registrado es de 1.7 Mb/s en Salcedo, por lo que la capacidad asignada de acuerdo a la distribución de la Tabla 3.1, es suficiente para la transmisión de datos SCADA. De la misma forma, en el equipo concentrador de matriz ELEPCO S.A., el tráfico promedio de datos que llega y sale hacia y desde los servidores SCADA es inferior a 50 kb/s, mientras que el valor máximo es de 1.67 Mb/s, por lo tanto, la capacidad asignada de acuerdo a la Tabla 3.1, es suficiente para este servicio.

Servicio de Internet: Se dispone de este servicio en 8 subestaciones.

En San Rafael y Salcedo la tasa de datos promedio tanto de INBOUND como de OUTBOUND permanecen muy por debajo de la capacidad asignada (Tabla 3.1) para este servicio, por lo que el canal no presenta problemas de saturación y el servicio se mantiene estable.

En El Calvario, Lasso, Mulaló, La Maná, Illuchi 1 e Illuchi2, la tasa de datos de INBOUND promedio y máximo sobrepasan la capacidad asignada (Tabla 3.1), por lo que

ocasionalmente se producen intermitencias en la conexión debido a la saturación del canal, esto hace que se presenten pérdida de paquetes, afectando también al servicio de datos SCADA.

Desconexiones producidas en 6 meses (Junio – Noviembre / 2022)

De acuerdo con la información obtenida de los eventos registrados en la base de datos histórica del sistema SCADA, la Tabla 3.2 muestra la cantidad de desconexiones producidas en cada una de las 11 sub estaciones en el periodo mencionado.

Tabla 3.2: Cantidad de desconexiones Junio – Noviembre / 2022

Sub estación	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Total
El Calvario	0	1	1	1	2	9	14
San Rafael	0	1	1	2	1	6	11
Salcedo	2	14	2	7	24	57	106
Mulaló	0	3	1	3	10	35	52
Lasso	1	3	2	3	9	34	52
La Cocha	6	62	66	3	3	8	148
Sigchos	0	0	0	5	1	6	12
Pujilí	1	3	1	2	1	6	14
La Maná	15	41	9	13	14	29	121
Illuchi 1	1	1	6	4	8	18	38
Illuchi2	11	4	69	10	6	8	108

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCOSA.

En Salcedo, La Cocha, La Maná e Illuchi 2 se han producido la mayor cantidad de desconexiones, con un número superior a 100 eventos en seis meses.

Tiempo de Indisponibilidad del servicio en seis meses

De la información histórica obtenida del sistema SCADA, la Tabla 3.3 refleja el tiempo de indisponibilidad del servicio en cada una de las sub estaciones en el periodo de junio a noviembre del 2022. En ILLUCHI 2 se tiene el tiempo más alto, con 78 horas 25 minutos y 49 segundos.

Tabla 3.3: Tiempo de Indisponibilidad del servicio junio - noviembre

Sub estación	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Total
El Calvario	00:00:00	00:50:23	00:05:10	00:07:33	00:01:12	01:27:33	2:31:51
San Rafael	00:00:00	00:50:26	00:04:54	00:07:28	00:01:06	01:27:00	2:30:54
Salcedo	00:02:53	01:03:59	00:07:09	00:12:57	00:18:39	07:37:00	9:22:37
Mulaló	00:00:00	00:53:35	00:06:58	00:09:18	00:07:06	02:30:45	3:47:42
Lasso	00:00:13	00:53:26	07:46:20	00:09:33	00:05:46	02:30:23	11:25:41

Continuación Tabla 3.3: Tiempo de Indisponibilidad del servicio junio - noviembre

Sub estación	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Total
La Cocha	00:02:09	06:42:41	03:38:17	00:11:17	00:01:44	01:27:45	12:03:53
Sigchos	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:56:50	00:01:13	03:07:32	4:05:35
Pujilí	00:00:28	01:04:15	00:05:21	00:07:51	00:01:11	01:27:21	2:46:27
La Maná	00:06:17	01:08:42	00:09:50	00:16:14	00:43:41	01:43:06	4:07:50
Illuchi 1	00:00:02	01:00:56	01:37:49	00:20:20	00:19:36	01:34:57	4:53:40
Illuchi2	49:43:28	02:14:38	09:47:25	11:57:56	02:06:10	02:36:12	78:25:49

FUENTE: Base de datos histórica del sistema SCADA de ELEPCO S.A.

Nivel de servicio en el periodo de junio a noviembre (seis meses)

De acuerdo con el contrato vigente entre ELEPCO S.A. y el ISP, los datos técnicos más relevantes para el servicio de internet y transmisión de datos son los siguientes:

- Nivel de servicio: 99%
- Nivel de compartición: Enlaces no compartidos, relación 1:1
- Tipo de conexión: Canal dedicado, con servicio de conexión las 24 horas del día [9].

Considerando que en seis meses se tiene un tiempo de **4380 horas**, el nivel de servicio recibido por ELEPCO S.A. es el siguiente:

Tabla 3.4: Nivel de servicio en seis meses

Sub estación	Tiempo (100%)	(-) Tiempo de indisponibilidad de servicio	Tiempo Efectivo de servicio	(%) Nivel de servicio	Número total de desconexiones
El Calvario	4380:00:00	2:31:51	4377:28:09	99,94%	14
San Rafael	4380:00:00	2:30:54	4377:29:06	99,94%	11
Salcedo	4380:00:00	9:22:37	4370:37:23	99,79%	106
Mulaló	4380:00:00	3:47:42	4376:12:18	99,91%	52
Lasso	4380:00:00	11:25:41	4368:34:19	99,74%	52
La Cocha	4380:00:00	12:03:53	4367:56:07	99,72%	148
Sigchos	4380:00:00	4:05:35	4375:54:25	99,91%	12
Pujilí	4380:00:00	2:46:27	4377:13:33	99,94%	14
La Maná	4380:00:00	4:07:50	4375:52:10	99,91%	121
Illuchi 1	4380:00:00	4:53:40	4375:06:20	99,89%	38
Illuchi2	4380:00:00	78:25:49	4301:34:11	98,21%	108

Como se puede evidenciar en la Tabla 3.4 el nivel de servicio se cumple en 10 sub estaciones, mientras que en ILLUCHI 2 no, donde el nivel de servicio es del 98,21%. Así mismo, se tiene gran cantidad de desconexiones, si se suman de todas las subestaciones, el número total es de 676 desconexiones en seis meses.

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA RED PRIVADA DE TELECOMUNICACIONES

Este apartado aborda el diseño de una red privada convergente para la interconexión de las sub estaciones de la empresa eléctrica ELEPCO S.A. con el sistema SCADA del centro de control; se inicia con el cálculo de la demanda de tráfico de los tres tipos de servicio, de telemetría, videovigilancia y voz sobre IP, lo que permite dimensionar la red y definir la topología; se continúa con el desarrollo del diseño en base a estándares y normativas de las entidades de control de las telecomunicaciones determinándose el diseño de la red de transporte de fibra y microonda. Además del diseño de nodos conjuntamente con las especificaciones técnicas de los elementos pasivos y activos de la red de fibra y enlaces de microondas. Finalmente, se realiza el diseño lógico y su simulación para validar que el diseño propuesto cumple con los parámetros que la empresa ELEPCO S.A. necesita.

4.1 Escenario del diseño

En el capítulo 3 se realizó el estudio de la red actual con base en la información obtenida de los datos históricos del sistema SCADA y de la herramienta de monitoreo de tráfico proporcionada por el ISP; se determinó que debido a las continuas desconexiones el ISP ofrece un nivel de servicio del 99% en 10 sub estaciones, mientras que en la central ILLUCHI 2 ofrece el 98%, por lo que el cumplimiento del nivel de servicio es parcial, ya que el convenio establece el 99%.

El estudio evidenció también que la tasa de datos requerido para la transmisión de datos del sistema SCADA en cada sub estación en promedio no sobrepasa los 10 kb/s, sin embargo, se tiene un valor de 1.7 Mb/s como pico máximo registrado en la sub estación Salcedo, el cual será considerado para el cálculo de la demanda mínima a satisfacer dentro del diseño.

La red de telecomunicaciones diseñada permite transportar tres tipos de tráfico que son: de telemetría (sistema SCADA), de telefonía VoIP y de videovigilancia.

- **Tráfico de telemetría (SCADA):** son los datos de las señales analógicas y digitales que se obtienen de los equipos de medición de energía y de los equipos de protección

de la red eléctrica instalados en una sub estación, todos ellos denominados “dispositivos electrónicos inteligentes” (IEDs); y que luego son transmitidos hacia el centro de control para su análisis.

- **Tráfico de voz sobre IP:** Tecnología que posibilita la transmisión de la voz en forma de paquetes de datos a través de redes IP, en vez de ser transportadas vía la red de telefonía convencional. Voz IP reserva una cantidad de ancho de banda constante durante una llamada, que es aproximadamente la misma en ambas direcciones. La latencia en una conexión Voz IP no debe ser mayor a unas pocas decenas de milisegundos, puesto que ocasiona inmediatamente molestias a los usuarios [41] [46].
- **Flujo de video (streaming):** partiendo del significado básico de la palabra ‘stream’ que significa ‘chorro’ o ‘flujo’, se puede decir que Streaming es una tecnología de transmisión de información a través de la red para que el cliente pueda reproducir el contenido en tiempo real. En el flujo de audio, la latencia producida esporádicamente se supera utilizando la memoria temporal del cliente. El flujo de video necesita una conexión de alto rendimiento y baja latencia para que se transmita de forma correcta [41] [46].

A la demanda de tráfico de datos SCADA (1.7 Mb/s) que actualmente se tiene, se sumarán las demandas de tráfico de telefonía VoIP y de video, cuyos cálculos se detallan a continuación:

4.1.1 Cálculo de la demanda de tráfico de telefonía VoIP

La demanda de tráfico que requieren las Subestaciones eléctricas de ELEPCOSA, se calculan según el número de host y usuarios, para el cálculo de la demanda se contempla los siguientes parámetros:

- Número de usuarios por sub estación: 2
- Número de teléfonos IP: 2
- Se considera la conectividad simultánea del 100% del total de los usuarios.
- Se considera que cada teléfono IP utiliza el estándar G.711 como técnica de codificación.
- El G711 es uno de los códecs más usados en dispositivos de telefonía IP, cuya característica principal es la calidad de voz, debido a que casi no la comprime. Utiliza una velocidad de 64 kb/s, es decir un muestreo de 8 bits a 8 kHz [46].

Dado que para transportar la voz se necesita además de otros protocolos como: Ethernet, IP, UDP, RTP que transmiten data adicional ocupando ancho de banda extra a la de la voz; se pone a consideración la Tabla 4.1 con el detalle del cálculo de la demanda real del tráfico del servicio de VoIP.

Tabla 4.1: Cálculo de ancho de banda real VoIP [46]

ETHERNER HEADER + CRC + PREAMBLE + GAP	IP HEADER	UDP HEADER	RTP HEADER	20 ms of G711 audio	Bits transmitidos (20ms)	Bits transmitidos (20ms)	Bits transmitidos (cada segundo)
38 bytes	20 bytes	8 bytes	12 bytes	160 bytes	238 bytes	238 bytes * 8 bits/bytes = 1904 bits	1904 bits/frame * 50 frames/seg =95.200 kb/s
Cálculo de AB real (Unidad igual a 2 usuarios)							
AB = G*C							
AB = Ancho de banda requerido							
G = Velocidad de transferencia garantizada para cada usuario (95.2 kb/s)							
C = Conectividad simultanea del 100% del total de funcionarios							
Total, de Teléfonos VOIP				2			
C = 2 * 100%				2			
AB = G * C							
AB = 95.2 kb/s * 2							
Tasa de datos requerido = 190.4 kb/s x sub estación							

El cálculo de la tasa de datos del servicio VoIP también se lo puede realizar en una calculadora de ancho de banda, que está disponible en internet [47], según como se puede apreciar en la Figura 4.1.

Parámetros¹

Codificador es G.711 64kbps con² ms ó tramas³ por paquete.

RTP es RTP (RFC 3550)

UDP

IP

Enlace ethernet 802.3

Supresión de Silencios⁴ RTCP⁵ canal(es)⁶

Resultados

Ancho de banda	Retardo ⁹	Performance
Promedio ⁷ : <input type="text" value="95.2"/> kbps	Trama: <input type="text" value="0.125"/> ms	DSP MIPS ¹⁰ : <input type="text" value=".52"/>
Máxima ⁸ : <input type="text" value="95.2"/> kbps	Lookahead: <input type="text" value="0"/> ms	MOS ¹¹ : <input type="text" value="4.3 - 4.7"/>
Tasa de paquete ¹²	Algorítmico: <input type="text" value="20"/> ms	
Promedio: <input type="text" value="50"/> pps		
Máxima: <input type="text" value="50"/> pps		

Figura 4.1: Calculadora de ancho de banda VoIP [47]

Como se puede observar en la Figura 4.1, el resultado que entrega la calculadora es de 95.2 kb/s que debe ser multiplicado por el número total de equipos, en este caso será por 2. Por lo tanto, la tasa de datos requerida para el servicio de VoIP en una sub estación se detalla en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Tasa de datos requerida para VoIP

Número de teléfonos IP	2
Número de usuarios	2
Porcentaje de uso	100%
Tasa de datos requerida x sub estación	190.4 kb/s

4.1.2 Cálculo de la demanda de tráfico de videovigilancia sobre IP

Para realizar el cálculo se consideran 3 cámaras IP para cada sub estación, y se debe conocer los siguientes parámetros:

- Velocidad de fotograma (FPS): la velocidad de fotogramas no son más que fotografías que se muestran a una determinada velocidad para crear el efecto de movimiento. En general la velocidad estándar es de 24 a 30 fotogramas por segundo para grabaciones en donde implica objetos en rápido movimiento [48]. La elección de la velocidad de fotogramas para un video tiene un gran impacto en el tamaño del archivo del video.
- Resolución, calidad y algoritmo de compresión: Este parámetro dependerá del tipo de cámara IP a utilizar; para este caso el equipo tendrá una resolución de 4.1 MP (megapíxeles) (2688 x 1520), calidad media y usando un algoritmo de compresión H.264.
- El códec H.264 es el estándar para grabación, compresión y distribución de contenido de video multimedia más eficiente que existe actualmente, esto significa que se necesita mucho menos ancho de banda de red y espacio de almacenamiento para un archivo de video H.264, que con otras técnicas de compresión [49].
- Ancho de banda: Está relacionado con la cantidad de información que se transmite. Se mide en Hertz (Hz) en un sistema analógico y en bits por segundo en uno digital. Dependerá de lo rápido que varíe la señal en el tiempo, de la cantidad de información y de la compresión usada.

Los parámetros indicados anteriormente, se ingresan a una calculadora de ancho de banda, la cual está disponible en internet [50]. En la Figura 4.2 se muestran los datos ingresados y los resultados de los cálculos.

número de cámaras:

resolución:

compresión:

velocidad de fotogramas (fps):

período de archivo (días):

ancho de banda de almacenamiento (MB/s):

ancho de banda de la red (Mb/s):

almacenamiento de datos (GB):

Figura 4.2: Calculadora de ancho de banda [50]

Con los resultados obtenido según se muestra en la Figura 4.2, se concluye que la tasa de datos requerida para la transmisión de datos del servicio de video sobre IP es de 22 Mb/s.

Por lo tanto, la capacidad total mínima requerida para la transmisión de datos del sistema SCADA, voz y video se ve en la Tabla 4.3:

Tabla 4.3: Capacidad mínima requerida x sub estación

CAPACIDAD REQUERIDA PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS	
Tráfico SCADA	1.7 Mb/s
Tráfico de VoIP	0.1904 Mb/s
Tráfico de videovigilancia	22 Mb/s
Total (Mb/s)	23.89 Mb/s

4.2 Topología de red

Tomando en consideración la localización geográfica de cada una de las sub estaciones, la topología a utilizar es mixta, es decir anillo y estrella, según como se ilustra en la Figura 4.3. Dentro de la topología se tienen dos tipos de redes, la red de fibra óptica y la red inalámbrica. La red de fibra óptica está conformada por las siguientes sub estaciones:

- El Calvario y Centro de Control
- San Rafael
- Salcedo
- Mulaló
- Lasso
- La Cocha
- Pujilí
- Illuchi 1
- Illuchi 2

Por su parte la red inalámbrica permite establecer conexión con el Centro de Control dos sub estaciones que son: La Maná y Sigchos.

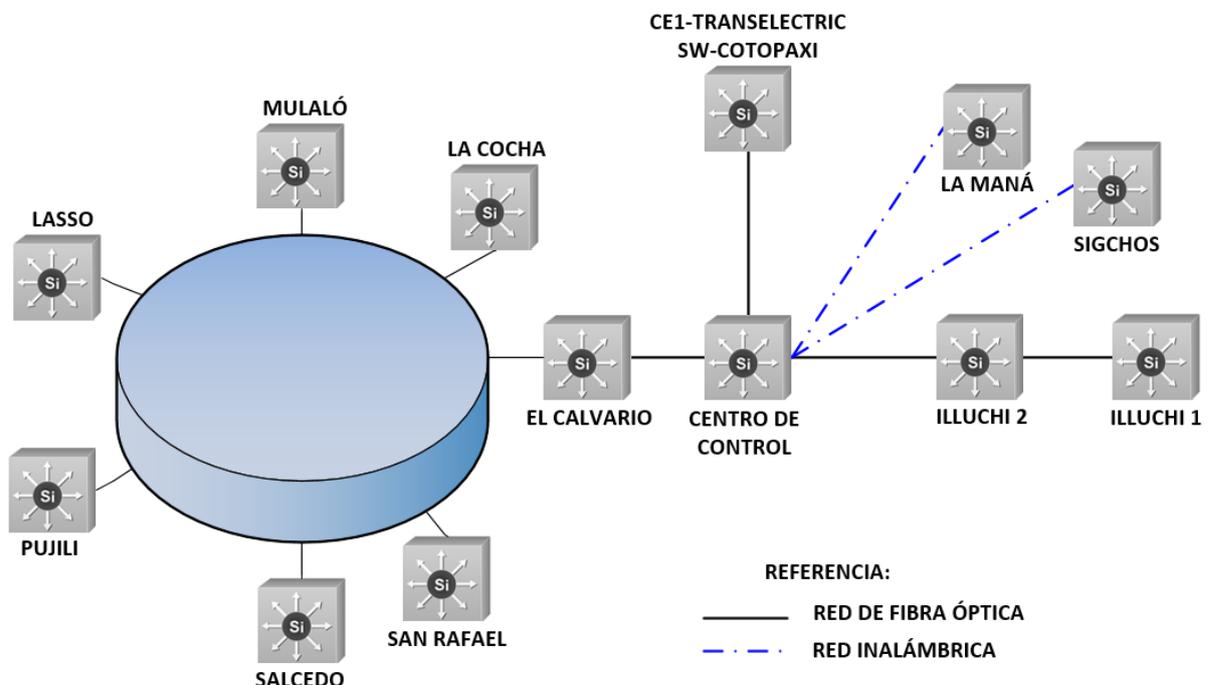


Figura 4.3: Topología de la red de telecomunicaciones

4.3 Diseño de la red de fibra óptica

Teniendo como punto de partida la topología ya definida, en esta sección se realiza el diseño de la planta externa de la red, que consiste en el tendido aéreo del cable de fibra óptica de forma manual sobre la postería de la empresa ELEPCO S.A., para ello se deben seguir las recomendaciones emitidas por la ITU G.652D [51]; de la misma forma, es necesario cumplir con la normativa legal vigente emitida por la ARCOTEL en relación al tendido de cables para telecomunicaciones, que debe estar por debajo del tendido eléctrico con una separación de 50 cm. En la Figura 4.4 se ilustra la disposición de los cables en un poste.

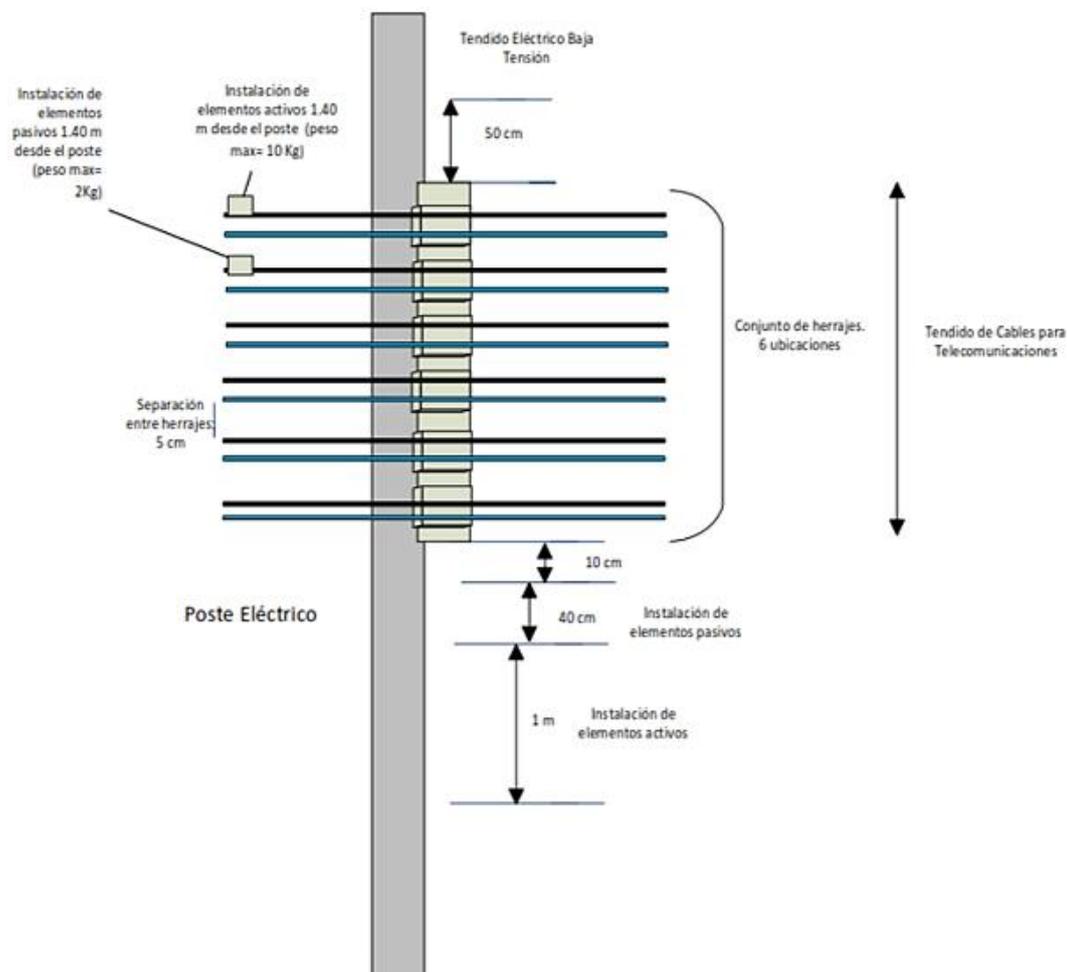


Figura 4.4: Dimensiones del tendido de fibra óptica aéreo en la postería eléctrica [52]

En el diseño que se presenta en la Figura 4.5 se usaron las coordenadas de cada uno de los nodos que se indica en la Tabla 4.4, así mismo se importó las coordenadas de los postes de la red eléctrica de ELEPCO S.A. hacia el programa de dibujo técnico AutoCAD 2023, que mediante el uso de diversas herramientas del programa en el desarrollo del

proyecto, ha permitido encontrar las mejores alternativas para el dimensionamiento y diseño de la red de fibra óptica.

Tabla 4.4: Coordenadas de nodos de la red de fibra óptica

ENLACES RED DE FIBRA ÓPTICA	COORDENADAS	
	LATITUD	LONGITUD
Lasso – Mulaló	0°44'40.07"S	78°36'33.30"O
	0°47'43.30"S	78°36'30.78"O
Lasso – Pujilí	0°44'40.07"S	78°36'33.30"O
	0°56'57.07"S	78°40'25.70"O
Pujilí – Salcedo	0°56'57.07"S	78°40'25.70"O
	1° 1'58.08"S	78°35'57.36"O
Salcedo – San Rafael	1° 1'58.08"S	78°35'57.36"O
	0°56'12.36"S	78°37'23.39"O
San Rafael – El Calvario	0°56'12.36"S	78°37'23.39"O
	0°55'52.81"S	78°36'42.37"O
Mulaló – La Cocha	0°47'43.30"S	78°36'30.78"O
	0°54'51.21"S	78°36'20.17"O
La Cocha – El Calvario	0°54'51.21"S	78°36'20.17"O
	0°55'52.81"S	78°36'42.37"O
El Calvario – Centro de Control	0°55'52.81"S	78°36'42.37"O
Centro de Control – Illuchi 2	0°55'52.81"S	78°36'42.37"O
	0°56'7.11"S	78°32'50.41"O
Illuchi 2 – Illuchi 1	0°56'7.11"S	78°32'50.41"O
	0°55'8.06"S	78°31'43.13"O

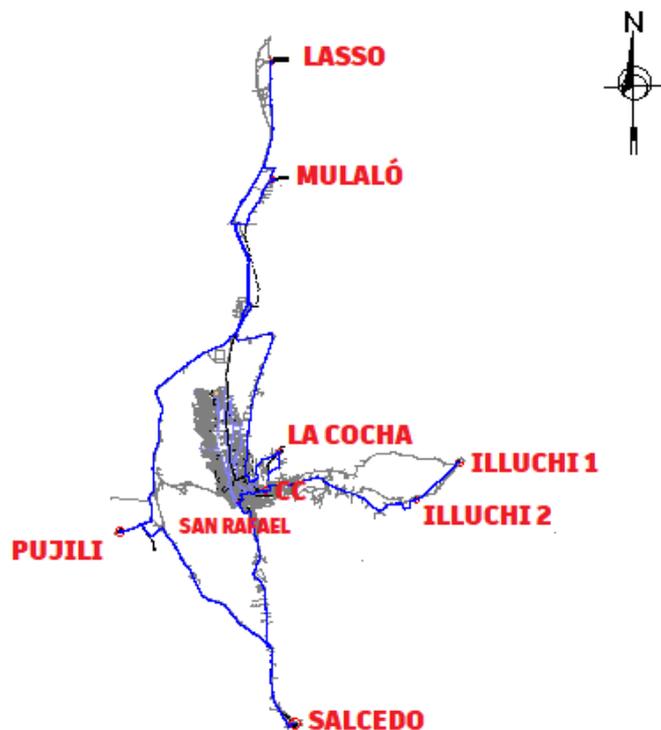


Figura 4.5: Esquemático de la red de fibra óptica

Para elaborar el diseño del tendido de la red, se utilizó la planimetría de la provincia de Cotopaxi que proporciona exactitud en el diseño con base en las coordenadas geográfica de los postes que están debidamente referenciados a lo largo del trayecto, de esta forma se pudo obtener el cálculo del volumen de obra para efectuar la cuantificación de los elementos de la red.

4.3.1 Elementos de la red de fibra

Lo componen todos los elementos, materiales y estructuras utilizados para el tendido del cable de fibra óptica, los mismos que se han seleccionado siguiendo las recomendaciones emitidas por los entes de control nacional y verificando que los materiales cumplan con las especificaciones técnicas normadas por organismos internacionales como la ITU en materia de redes ópticas. A continuación, se describe cada uno de los elementos empleados.

Cable aéreo All Dielectric Self Supported (ADSS) o completamente dieléctrico y auto soportado

El cable elegido es un tipo de fibra monomodo G.652D diseñado para instalaciones aéreas resistentes a la tracción que no requiere de cables guías, diseñado para enlaces de larga distancia por lo que presentan una baja atenuación permitiendo transmitir a un ancho de banda operando a longitudes de onda de 1310, 1550 y 1650 nm, la capacidad de los hilos a considerarse en el diseño se determinó que el enlace que sale de Lasso hacia Pujilí y Mulaló será con una fibra de 48 hilos y para los demás enlaces fibras de 24 hilos.



Figura 4.6: Cable aéreo ADSS [53]

Mangas de Empalme

Las mangas seleccionadas en el diseño son de tipo domo como se muestra en la

Figura 4.7, ubicadas cada 4 kilómetros para la realización de empalmes permiten la continuidad mecánica y electro-óptica de los enlaces del anillo, con capacidades que dependerán de las características del enlace de 48 y 24 hilos con sistemas de aterramiento.



Figura 4.7: Magas Domo de 24 hilos [54]

Herrajes para cable de fibra óptica ADSS

Los herrajes contemplados en el diseño cumplen con la normativa legal vigente emitida por la ARCOTEL con seis posiciones para instalar los herrajes con una separación de 5 cm, donde cada herraje tiene una distancia de 12 cm para instalación de los elementos (mangas, reservas), en el diseño planteado la ubicación de los herrajes se consideró la quinta y sexta posición cumpliendo la normativa para lo referente a otros prestadores de servicio del régimen general de telecomunicaciones u operadores de redes privadas que se detalla en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Normativa ARCOTEL ubicación de herrajes

Ubicación desde la parte superior a la parte inferior del herraje	Prestador del Servicio
1	CNT E.P., ETAPA E.P (Cantón Cuenca)
2	SURATEL S.A.
3	MEGADATOS S.A, TELCONET S.A.
4	CONECCEL S.A.
5	OTROS PRESTADORES DE SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES U OPERADORES REDES PRIVADAS
6	OTROS PRESTADORES DE SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES U OPERADORES REDES PRIVADAS

Las ubicaciones detalladas en la Tabla 4.5 pueden ser modificadas por el propietario (ELEPCO S.A) de los postes asignando cualquiera ubicación para la instalación de los

herrajes a otros prestadores del servicio, siempre que no se encuentren cables instalados de esos prestadores y que la instalación no exceda la capacidad máxima. Los herrajes considerados en el diseño se mencionan los siguientes:

Herraje tipo A o herraje terminal

Los herrajes tipo A de templado considerados en el diseño fueron de 1, 2 y 3 extensiones como se muestra en la Figura 4.8, que incluyen material de sujeción y varillas de extensión, para el inicio y fin de los enlaces, además de su utilización en los cambios de dirección de ruta y en tramos mayores o iguales a 90 metros.



Figura 4.8: Herraje tipo A de dos extensiones [55]

Herraje tipo B o herraje de paso

Los herrajes tipo B de sujeción y los accesorios de material de sujeción al poste y soporte cilíndrico representados en la Figura 4.9, se los consideró en el diseño para tramos rectos de la ruta y para distancias menores de 90 metros, para que la fibra no se resbale.

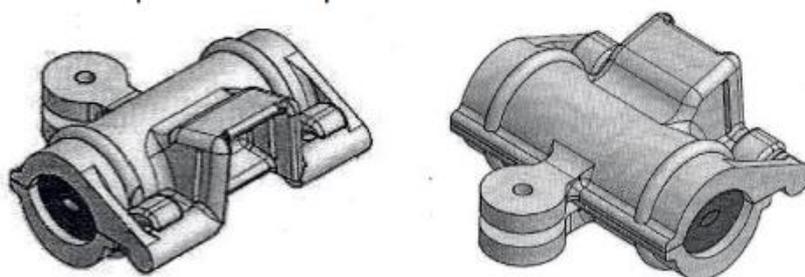


Figura 4.9: Herraje tipo B para sujeción del cable [56]

Preformados de retención o terminales

Los preformados de la Figura 4.10, considerados en el diseño permiten sujetar el cable de manera envolvente sobre su chaqueta realizando curvaturas leves sobre el cable de

fibra, a través del Thimble Clevis que protegerá la zona del lazo de retención, para lo cual el número de preformado se basa en el tipo de herraje y el número de extensiones.

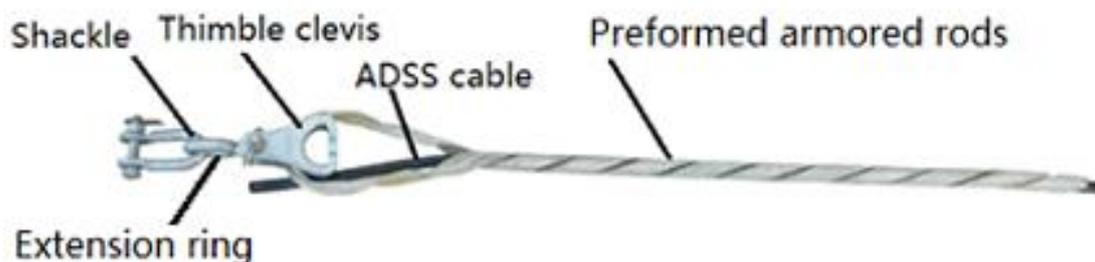


Figura 4.10: Thimble Clevis y preformado para curvaturas del cable [57]

Identificadores

El etiquetado de diseño de la red física aérea representado en la Figura 4.11, está determinado por un color específico (Blanco y violeta) que es lo referente a redes privadas, de acuerdo a la distribución de la Tabla 4.6, donde se indica el nombre de la empresa ELEPCO S.A. además de información que sea útil, de acuerdo a los lineamientos emitidos por la ARCOTEL el etiquetado se ubicará dos por poste sobre los preformados.

Tabla 4.6: Normativa ARCOTEL etiquetado del tendido de fibra

COLOR DE ETIQUETA	PRESTADOR DEL SERVICIO
BLANCO	CNT EP
GRIS	ETAPA EP
AZUL	SETEL, SATNET, SURATEL, TV CABLE, SATELCOM
AMARILLO	MEGADATOS, TELCONET
ROJO	CLARO
VERDE	LEVEL 3 ECUADOR LVL T S.A.
NARANJA	PUNTONET S.A.
BLANCO Y AZUL	OTECEL S.A.
VIOLETA	TELEHOLDING S.A.
BLANCO Y GRIS	GRUPO BRAVCO S.A.
BLANCO Y ROJO	CELEC E.P. TRANSELECTRIC, TRANSNEXA
BLANCO Y AMARILLO	OTROS Y NUEVOS PRESTADORES DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES
BLANCO Y VIOLETA	REDES PRIVADAS
BLANCO Y VERDE	PRESTADORES DEL SERVICIO DE AUDIO Y VIDEO POR SUSCRIPCIÓN MODALIDAD CABLE FÍSICO



Figura 4.11: Etiquetado de la red privada de ELEPCO S.A.

Reserva de Cable

Las reservas de cable consideradas en el diseño son proyectadas a lo largo de los enlaces como se muestra en la Figura 4.12, considerando la normativa legal vigente, para lo cual se estima reservas de 30 metros cada 500 metros de longitud y reservas de 15 metros en cada extremo del cable; su ubicación en el diseño será de un metro alejada del poste, formando una figura tipo 8.



Figura 4.12: Reserva de cable tipo 8 de la red privada de ELEPCO S.A. [58]

Volumen de Obra

El volumen de obra que se describe en la Tabla 4.7 hace uso de la planimetría y el recorrido del tendido de fibra óptica para ir identificando los elementos utilizados en cada uno de los enlaces del diseño, de lo cual se puede identificar que el enlace de Lasso – Pujilí es el más largo, considerando un recorrido inicial de 3987 metros con fibra de 48 hilos desde Lasso hasta la primera manga; el siguiente tramo corresponde desde la primera manga hasta Pujilí con fibra de 24 hilos, se asume una reserva de 1560 m, dando un total de 28997 metros de cable de fibra óptica. Para el tendido de este enlace se han contemplado 405 herrajes conformados de tipo A y B, 168 fusiones y 810 identificadores de red.

Tabla 4.7: Volumen de obra del tendido de fibra

ENLACES	FIBRA OPTICA		RESERVA	TOTAL F.O.	MANGAS		ODF'S		HERRAJES				PREFORMADOS	FUSIONES	PATCH CORD	RACK	IDENTIFICADORES
	48 H	24 H			48H	24H	48P	24P	HERRAJE TRIPO A			HERRAJE TIPO B					
									1 EXTENSION	2 EXTENSIONES	3 EXTENSIONES						
LASSO-MULALO-PUJILI	3717		270	3987	1		1		1	41	1	12	86	96			110
LASSO-MULALO		2944	180	3124				1	1	37			75	24	4	1	76
LASSO-PUJILI		23450	1560	25010		6		1	1	312		92	625	168	4	1	810
PUJILI - SALCEDO		15075	960	16035		3		2	2	198		26	398	120	4	1	452
SALCEDO - SAN RAFAEL		12370	810	13180		3		2	2	123		81	248	120	4	1	412
SAN RAFAEL - EL CALVARIO		1950	180	2130		0		2	2	41		15	84	48	4	1	116
LA COCHA - EL CALVARIO		2512	210	2722		0		2	2	42		13	86	48	4	1	114
MULALO - LA COCHA		21058	1200	22258		5		2	2	270		89	542	168	4	1	722
CENTRO DE CONTROL EL CALVARIO - ILLUCHI 2		8832	600	9432		2		2	2	151		37	304	96	4	1	380
ILLUCHI 2 - ILLUCHI 1		2871	210	3081		0		2	2	31			64		4	1	66

4.3.2 Componentes del sistema óptico

Una vez realizado el diseño de la planta externa, lo siguiente es seleccionar los componentes del sistema que harán posible la transmisión de los datos a través de los hilos de fibra óptica, para ello se debe tener presente que la tecnología a usar en el diseño es Gigabit Ethernet a nivel de capa de enlace, esto con la finalidad de satisfacer la demanda de tráfico inicial que fue determinada en la sección 4.1, y la demanda futura.

Teniendo como base que el dispositivo de red a usar para la interconexión entre las subestaciones será un switch de capa tres, se expone más adelante en la sección 4.5; este switch deberá disponer de puertos SFP (Small Form-factor Pluggable), para albergar un módulo SFP de fibra, comúnmente denominado transceiver, constituye uno de los elementos principales de un enlace óptico.

Transceptores (transceiver) SFP

Transmisor – Receptor (full dúplex) son dispositivos que permiten conectar fibras en redes. En los dispositivos de red, los transceivers son módulos que forman puertos, como por ejemplo Gigabit Ethernet. Según el estándar IEEE hay dos tipos de transceivers SFP (Small Form-factor Pluggable): para fibra y para cobre. Los tipos de SFP para fibra se detallan en la Tabla 4.8 [59].

Tabla 4.8: Tipos de transceivers para fibra óptica [59]

Tipo de transceiver SFP	Estándar IEEE de redes Ethernet	Tipos de conector	Especificación	Velocidad
Modulo SFP fibra	SX, MX, LX EX, ZX, EZX, BX	LC Dúplex	100m – 160km MMF o SMF	100Mb/s 1000Mb/s

El transceiver de fibra trabaja en la capa física del modelo OSI, su función es realizar la conversión fotoeléctrica, es decir, convertir las señales ópticas en señales eléctricas y viceversa.

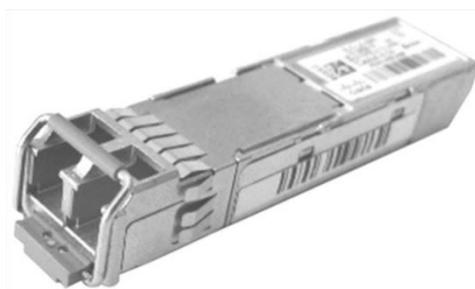


Figura 4.13: Transceiver óptico Gigabit Ethernet [60]

En la Figura 4.13 se muestra un transceiver óptico Cisco Gigabit Ethernet SFP con conector tipo LC.

Del diseño de la red de planta externa se han obtenido las distancias de los diferentes enlaces, lo que a su vez ha permitido determinar que se pueden emplear transceptores SFP para distancias de 10 y 40 km; por lo que para este diseño se usarán módulos SFP de la marca Cisco que están diseñados para operar con una longitud de onda de 1310 nm, y que se describen a continuación:

- **SFP 1000BASE-LX/LH para fibras multimodo y monomodo**

El SFP 1000BASE-LX/LH es compatible con el estándar IEEE 802.3z 1000BASE-LX, que funciona en tramos de enlace de fibra óptica monomodo estándar de hasta 10 km y hasta 550 m en cualquier fibra multimodo [60] (especificaciones ver anexo 27).

- **SFP 1000BASE-EX para fibras monomodo de largo alcance**

El SFP 1000BASE-EX funciona con tramos de enlace de fibra óptica monomodo estándar de hasta 40 km de longitud. Se debe insertar un atenuador óptico en línea de 5 dB entre el cable de fibra óptica y el puerto receptor en el SFP en cada extremo del enlace para conectividad consecutiva (back to back) [60] (especificaciones ver anexo 28).

Atenuador de fibra óptica

Son dispositivos pasivos que sirven para reducir el nivel de potencia de una señal óptica, dado que una potencia excesiva puede sobrecargar los receptores e incluso dañar la red óptica. Generalmente se utilizan en dos situaciones diferentes, la primera, cuando hay una potencia excesiva debido al desajuste entre transmisor/receptor o por el uso de convertidores diseñados para distancias mucho mayores; y la segunda, para probar los márgenes de nivel de potencia, en este caso los atenuadores añadirán una cantidad calibrada de pérdida de señal [59].

Los atenuadores pueden ser fijos o variables.

- **Atenuador óptico fijo (FOA):** Los más utilizados son de fibras dopadas o empalmes desalineados y están diseñados para tener un valor invariable de atenuación, normalmente de 1 dB, 5 dB, 10 dB, etc., hasta 30 dB. Los atenuadores de valor fijo

son de tipo en línea y de tipo conector, que se incorporan a los cables de conexión [59]. Un ejemplo de este tipo de atenuador se muestra en la Figura 4.14.



Figura 4.14: Atenuador óptico fijo (FOA) [59]

- **Atenuador óptico variable (VOA):** Utiliza generalmente un filtro de densidad neutra variable, y se emplean para pruebas y mediciones, pero también se adopta ampliamente en el amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA) para igualar la potencia de luz entre diferentes canales [59]. En la Figura 4.15 se puede observar dos tipos de VOA.



Figura 4.15: Atenuador óptico variable (VOA) [59]

Cuando se requiera hacer una conexión consecutiva (back to back) con transceptores SFP 1000BASE-EX, a distancias muy cortas, es decir, donde no se tenga pérdidas de señal por atenuación, se debe colocar un atenuador de 5 dB en línea, de acuerdo con la especificación de Cisco, para ello se pueden utilizar atenuadores fijos (FOA), que serán instalados en el extremo receptor del enlace, según como se indica en la Figura 4.16:

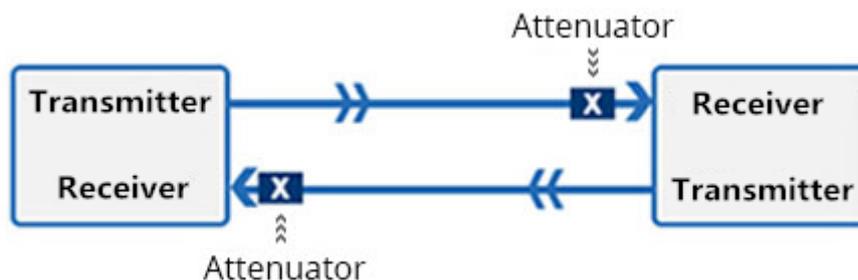


Figura 4.16: Instalación de atenuador fijo (FOA) [59]

4.3.3 Presupuesto Óptico

El cálculo de la atenuación de todos los elementos pasivos de la red se determinaron bajo las recomendaciones de la ITU categoría G denominada Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales; permitiendo que se valide el diseño propuesto, mediante las normas técnicas establecidas como ITU-G652D Características de las fibras y cables ópticos monomodo, ITU-G61 Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos, ITU-G751 Equipos múltiples digitales que funcionan a la velocidad binaria de tercer orden de 34368 kb/s y a la velocidad binaria de cuarto orden de 139264 kb/s y utilizan justificación positiva. Para verificar que cada uno de los enlaces cumple con la normativa se utiliza la fórmula (4.1), mediante la cual se determina que la atenuación sea menor a 24 dB en cada enlace.

$$A_t = 2 * A_c + empalmes_{ext} * 0.1 + longitud_{km} * XdB/km \quad (4.1)$$

Donde:

A_t = Atenuación total del enlace

A_c = Atenuación conector

$empalmes_{ext}$ = # de empalmes

XdB/km = Atenuación según la ventana de transmisión

Tabla 4.9: Presupuesto óptico de enlaces de la red

Enlace Lasso – Mulaló	ELEMENTO		Cantidad	Atenuación típica Att(dB)	Total, Att(dB)
	Conectores (mated) ITU671=0.5dB		2	0,50	1,00
	Empalmes de fusión ITU751=0.1db promedio		1	0,10	0,10
	<i>Fibras longitudes de onda</i>	1310 nm	7,111 km	0,35	2,49
	TOTAL (dB)				3,59
Enlace Lasso – Pujilí	ELEMENTO		Cantidad	Atenuación típica Att(dB)	Total, Att(dB)
	Conectores (mated) ITU671=0.5dB		2	0,50	1,00
	Empalmes de fusión ITU751=0.1db promedio		7	0,10	0,70
	<i>Fibras longitudes de onda</i>	1310 nm	28,727 km	0,35	10,05
	TOTAL (dB)				11,75
Enlace Pujilí – Salcedo	ELEMENTO		Cantidad	Atenuación típica Att(dB)	Total, Att(dB)
	Conectores (mated) ITU671=0.5dB		2	0,50	1,00
	Empalmes de fusión ITU751=0.1db promedio		3	0,10	0,30
	<i>Fibras longitudes de onda</i>	1310 nm	16,035 km	0,35	5,61
	TOTAL (dB)				6,91

Continuación Tabla 4.9: Presupuesto óptico de enlaces de la red

Enlace Salcedo – San Rafael	ELEMENTO		Cantidad	Atenuación típica Att(dB)	Total, Att(dB)
	Conectores (mated) ITU671=0.5dB		2	0,50	1,00
	Empalmes de fusión ITU751=0.1db promedio		3	0,10	0,30
	<i>Fibras longitudes de onda</i>	1310nm	13,18 km	0,35	4,61
	TOTAL (dB)				5,91
Enlace San Rafael – El Calvario	ELEMENTO		Cantidad	Atenuación típica Att(dB)	Total, Att(dB)
	Conectores (mated) ITU671=0.5dB		2	0,50	1,00
	Empalmes de fusión ITU751=0.1db promedio		0	0,10	0,00
	<i>Fibras longitudes de onda</i>	1310nm	2,13 km	0,35	0,75
	TOTAL (dB)				1,75
Enlace Mulaló – La Cocha	ELEMENTO		Cantidad	Atenuación típica Att(dB)	Total, Att(dB)
	Conectores (mated) ITU671=0.5dB		2	0,50	1,00
	Empalmes de fusión ITU751=0.1db promedio		5	0,10	0,50
	<i>Fibras longitudes de onda</i>	1310nm	22,258 km	0,35	7,79
	TOTAL (dB)				9,29
La Cocha – Calvario	ELEMENTO		Cantidad	Atenuación típica Att(dB)	Total, Att(dB)
	Conectores (mated) ITU671=0.5dB		2	0,50	1,00
	Empalmes de fusión ITU751=0.1db promedio		0	0,10	0,00
	<i>Fibras longitudes de onda</i>	1310nm	2,722 km	0,35	0,95
	TOTAL (dB)				1,95
Centro de Control El Calvario – Illuchi 2	ELEMENTO		Cantidad	Atenuación típica Att(dB)	Total, Att(dB)
	Conectores (mated) ITU671=0.5dB		2	0,50	1,00
	Empalmes de fusión ITU751=0.1db promedio		2	0,10	0,20
	<i>Fibras longitudes de onda</i>	1310nm	9,432 km	0,35	3,30
	TOTAL (dB)				4,50
Illuchi 2 – Illuchi 1	ELEMENTO		Cantidad	Atenuación típica Att(dB)	Total, Att(dB)
	Conectores (mated) ITU671=0.5dB		2	0,50	1,00
	Empalmes de fusión ITU751=0.1db promedio		0	0,10	0,00
	<i>Fibras longitudes de onda</i>	1310nm	3,081 km	0,35	1,08
	TOTAL (dB)				2,08

Como se evidencia en la Tabla 4.9, para el cálculo del presupuesto óptico se considera la longitud de onda en una ventana de transmisión que opera a 1310 nm que permite una atenuación hasta un rango máximo de 0.35 dB/km, para lo cual el diseño propuesto tiene como resultado que el enlace San Rafael – El Calvario tiene la atenuación más baja

de 1,75 dB mientras que el enlace Lasso – Pujilí tiene la atenuación más alta con 11,75 dB, esto se debe a que, al transmitir en la venta de 1310 nm, las bandas espectrales comienzan a disminuir trabajando en la banda O: 1260 – 1360 nm.

4.3.4 Nodos de la red de fibra óptica

Para el diseño de los nodos de la red de fibra óptica, se utiliza la infraestructura básica existente en las instalaciones de cada una de las sub estaciones de ELEPCO S.A. que cumple con la norma IEC 61850 para lograr la interoperabilidad de los equipos de los sistemas de automatización; en donde se cuenta con el suministro de energía eléctrica, sistema de puesta a tierra, banco de baterías para respaldo de energía y seguridad privada para garantizar la integridad de los equipos. En tal virtud, los elementos adicionales que se requieren dentro del diseño de nodos para la red de fibra óptica, además de los transceivers, son los que se mencionan a continuación.

- **ODF (Optical Distribution Frame = Distribuidor de Fibra Óptica)**

Los ODFs son equipos pasivos que sirven para organizar y conectar cables de fibra óptica; en el diseño se han considerado dos ODF de 24 puertos (especificaciones ver anexo 29) para permitir habilitar los hilos de fibra óptica del cable instalado a fin de conectorizarlo físicamente hacia las interfaces de los elementos de transmisión, un ODF para la fibra que proviene del exterior y el otro ODF para la fibra que sale hacia el siguiente nodo.

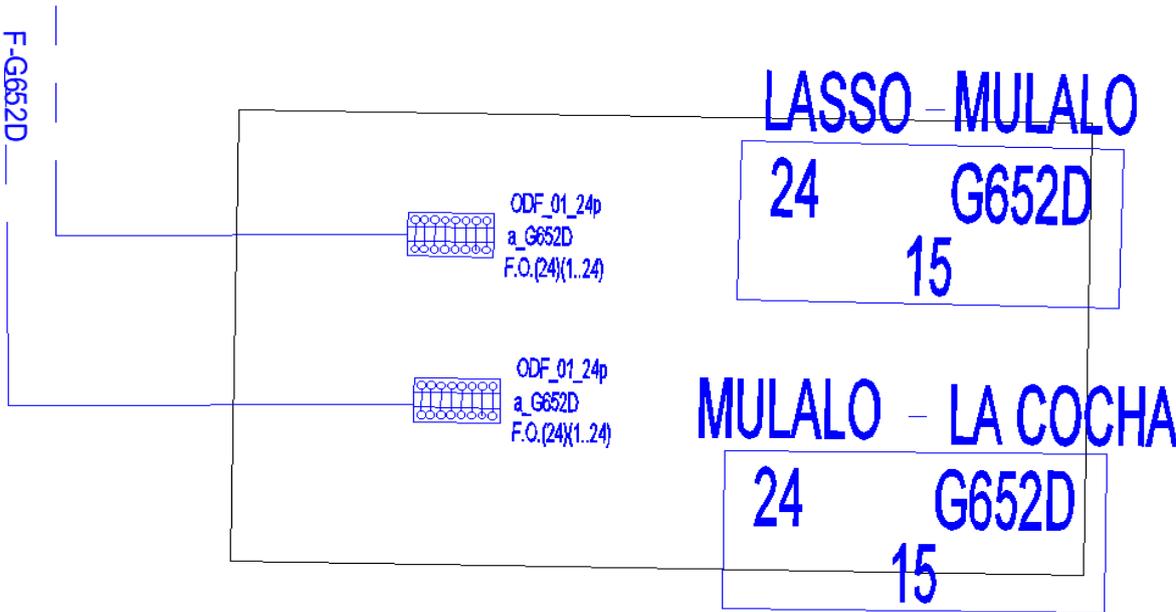


Figura 4.17: Distribuidor de Fibra Óptica (ODF)

La forma de etiquetado de la fibra de llegada en los ODFs se puede apreciar en Figura 4.17, en donde se identifica claramente el nombre del ODF, el tipo de cable, cantidad de hilos de fibra, nombre del enlace y la cantidad de puertos del ODF.

- **Patchcords (Puentes Ópticos)**

Los patchcords dúplex monomodo LC – LC (especificaciones ver anexo 30) elegidos para el diseño aseguran el desempeño de la red al transportar señales de audio, video y datos a alta velocidad; el conector tipo LC brinda un sistema de sujeción tipo plug que garantiza un acople con baja pérdida de inserción y retorno al conectar diferentes dispositivos de fibra óptica, como lo es la interconexión del ODF al que esta conectorizado un hilo de fibra de los enlaces que vienen del exterior con los transceivers de los equipos de transmisión instalados en cada uno de los nodos de las sub estaciones.

- **Suministro de energía**

En cada una de las sub estaciones (nodos) se cuenta con una acometida eléctrica con voltaje de 110 Voltios de corriente alterna, por lo que a esta acometida se conecta un UPS para energizar los equipos de red.

- **Puesta a tierra**

Es la conexión de todas las partes metálicas de una instalación hacia un conjunto de electrodos utilizando cables de sección suficiente, con el fin de desviar las corrientes de falla o las de descargas atmosféricas, logrando evitar una diferencia de potencial peligrosa en edificios, instalaciones y superficies próximas al terreno [41].

En las instalaciones de las sub estaciones se dispone de un sistema de puesta a tierra, hacia donde los dispositivos activos deben ser aterrizados.

- **UPS**

La fuente de alimentación ininterrumpida (UPS), suministra energía emergente a la carga cuando la alimentación de entrada deja de funcionar. El tiempo de duración de las baterías del UPS en la mayoría de los casos es relativamente corto de 5 a 10 minutos típicamente en unidades pequeñas, pero suficiente hasta encender una fuente auxiliar o apagar correctamente algún equipo [41].

Para proteger los equipos de las variaciones de voltaje y de los cortes repentinos del

suministro normal de energía eléctrica, se ha considerado adquirir UPSs de 1350W/1,5KVA para cada uno de los nodos. (especificaciones ver anexo 9)

- **RACK**

Para albergar los componentes de la red de fibra óptica y los dispositivos de red, en cada nodo de las sub estaciones se ha considerado un rack de 42 unidades, de tipo cerrado que deberá contener paneles, charolas para montaje de los equipos de telecomunicaciones.

Los elementos descritos serán utilizados en cada uno de los nodos de la red de fibra óptica dependiendo de la necesidad y del número de interconexiones con los nodos adyacentes, que según la topología de red (Figura 4.3) se establecen tres configuraciones, con uno, dos y tres interconexiones, cada uno con enlaces redundantes a nivel de puertos físicos. El esquema general de un enlace de fibra óptica se presenta en la Figura 4.18, donde se puede apreciar los elementos que lo conforman.

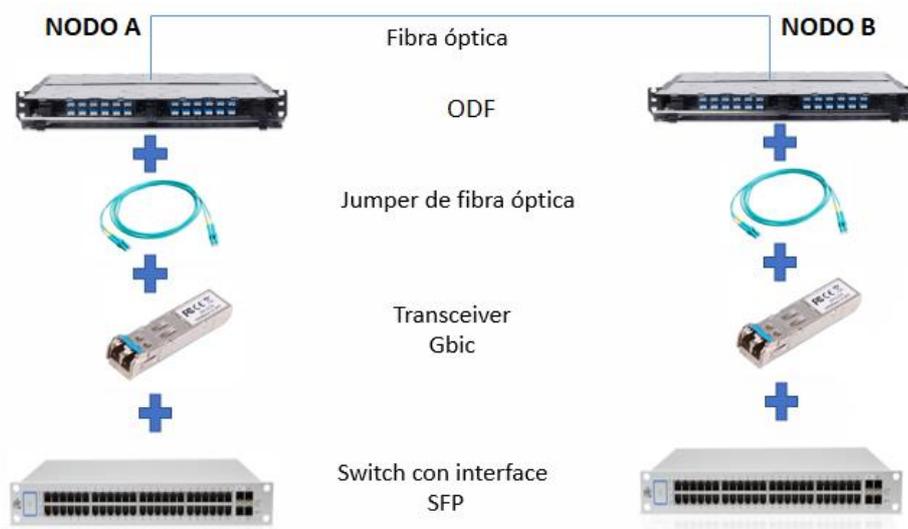


Figura 4.18: Esquema general de un enlace de fibra óptica [61]

Equipamiento para nodo con tres interconexiones

En el nodo Calvario se tiene tres interconexiones con nodos adyacentes de la siguiente forma: Calvario – La Cocha, Calvario – San Rafael; y, Calvario – Centro de control; es así que, en la Tabla 4.10 se detallan los elementos que intervienen en el diseño del nodo Calvario, para establecer conexión con los tres nodos adyacentes. Dado que las distancias de los enlaces referidos son menores a 5 km, se usan transceptores 1000BASE-LX/LH, que soportan distancias de hasta 10 km.

Tabla 4.10: Equipamiento de nodo Calvario

ÍTEM	EQUIPO	CANTIDAD
1	ODF de 24 puertos	3
2	Patch Cord de fibra dúplex conector LC	6
3	Transceiver SFP 1000BASE-LX/LH (10 km)	6
4	UPS	1
5	RACK de 42 UR	1

Equipamiento para nodo con dos interconexiones

Los nodos con dos interconexiones adyacentes son los siguientes:

- **San Rafael:** San Rafael – Calvario; San Rafael – Salcedo
- **Salcedo:** Salcedo – San Rafael; Salcedo – Pujilí
- **Pujilí:** Pujilí – Salcedo; Pujilí – Lasso
- **Lasso:** Lasso – Pujilí; Lasso – Mulaló
- **Mulaló:** Mulaló – Lasso; Mulaló – La Cocha
- **La Cocha:** La Cocha – Mulaló; La Cocha – Calvario
- **Centro de control:** Centro de control – Calvario; Centro de control – Illuchi 2
- **Illuchi 2:** Illuchi 2 – Centro de control; Illuchi 2 – Illuchi 1

Por lo tanto, en la Tabla 4.11 se detallan los elementos necesarios que intervienen en los nodos citados, para establecer conexión con sus respectivos nodos adyacentes. Dado que las distancias de los enlaces referidos están en un rango de entre 9 y 29 km, se ha decidido usar transceptores 1000BASE-EX, que soportan distancias de hasta 40 km.

Tabla 4.11: Equipamiento para nodo con dos enlaces adyacentes

ÍTEM	EQUIPO	CANTIDAD
1	ODF de 24 puertos	2
2	Patch Cord de fibra dúplex conector LC	4
3	Transceiver SFP 1000BASE-EX (40 km)	4
4	UPS	1
5	RACK de 42 UR	1

Equipamiento para nodo con una interconexión

En el nodo Illuchi 1 se tiene una sola interconexión, que es con el nodo adyacente Illuchi 2; por lo tanto, en la Tabla 4.12 se detallan los elementos que intervienen en el diseño del nodo Illuchi 1. Dado que la distancia del enlace con Illuchi 2 no supera los 5 km, se utilizan transceptores 1000BASE-LX/LH, que soportan distancias de hasta 10 km.

Tabla 4.12: Equipamiento para nodo Illuchi 1

ÍTEM	EQUIPO	CANTIDAD
1	ODF de 24 puertos	1
2	Patch Cord de fibra dúplex conector LC	2
3	Transceiver SFP 1000BASE-LX/LH (10 km)	2
4	UPS	1
5	RACK de 42 UR	1

4.4 Diseño de la red de radio microonda

Las sub estaciones de Sigchos y La Maná son las más lejanas y debido a que no existe línea de vista directa con el centro de control, se ha contemplado el uso de varios repetidores en el trayecto que permitan enlazar dichos puntos. Por lo tanto, la red microonda lo conforman los puntos terminales centro de control, Sigchos y La Mana, y las estaciones repetidoras de El Guango, Simaurco, Achayanchidi y Macuchi, tal como se muestra en el esquema de red de la Figura 4.19.

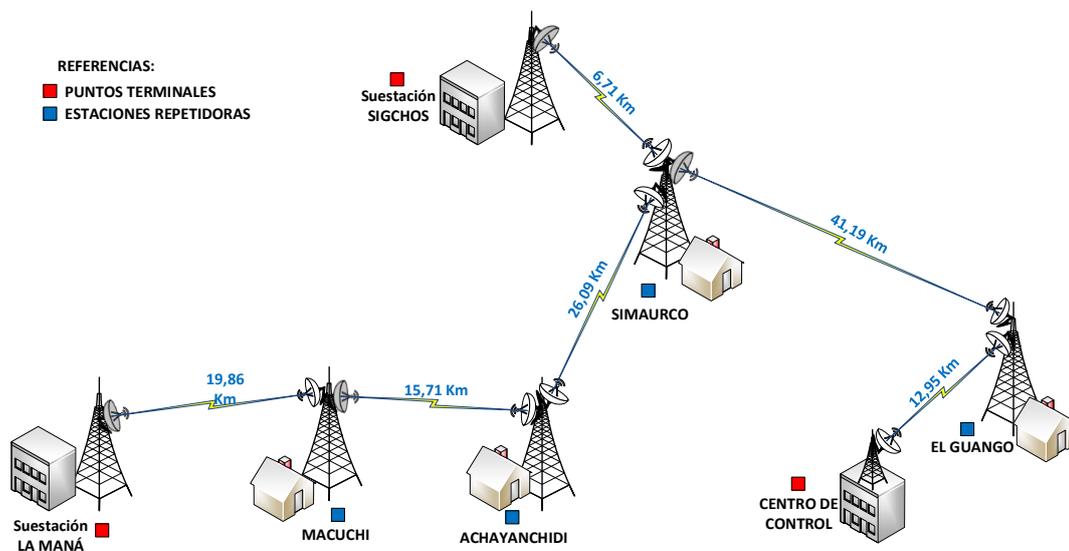


Figura 4.19: Esquema de la red microonda

4.4.1 Puntos terminales y repetidores

Para interconectar los puntos terminales a través de enlaces microonda, los sitios que se han elegido para la ubicación de repetidores, son elevaciones con línea de vista y facilidades de acceso que actualmente ya disponen de la infraestructura necesaria como torres con la altura adecuada para la instalación de antenas, energía eléctrica, caseta de comunicaciones para garantizar la seguridad de los equipos y vías de acceso; lo que permitirá reducir los costos de instalación. Además, para el diseño se ha considerado la

utilización de frecuencias licenciadas en la banda de 7 GHz, con lo que se evitará las interferencias y el desvanecimiento de la señal, logrando alta disponibilidad de la red.

Los puntos que forman parte de la red de transporte microonda se describen a continuación:

Centro de Control (Punto terminal)

Se encuentra ubicado dentro de las instalaciones de la sub estación El Calvario, en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi a una altitud de 2,800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), cuyas coordenadas son: $0^{\circ}55'52.81''S$, $78^{\circ}36'42.37''O$. En el sitio se cuenta con un edificio de 2 plantas con una altura hasta la terraza de 10 metros, en donde se debe instalar un mástil de 5 metros para la colocación de una antena que apunta hacia la estación El Guango. En la Figura 4.20 se visualiza sus instalaciones.

Este punto es hacia donde confluyen las comunicaciones de las subestaciones, para la recolección y almacenaje de los datos telemididos en los servidores del sistema SCADA; de la misma forma, los datos de telefonía IP y video llegarán hacia este punto.



Figura 4.20: Centro de Control ELEPCOSA

Estación El Guango (repetidor)

Se encuentra localizado en el cerro El Guango, en la zona oriente del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, a una altitud de 3,979.5 m.s.n.m, sus coordenadas son: $0^{\circ}53'43.98''S$, $78^{\circ}30'2.95''O$. Este sitio cuenta con una torre auto soportada de 30 metros, según como se muestra en la Figura 4.21, en el cual se ubican 2 antenas que apuntan una hacia el centro de control y otra hacia la estación Simaurco.



Figura 4.21: Estación El Guango

Estación Simaurco (repetidor)

Se localiza en el sector sur oriente del cantón Sigchos, a una altitud de 4,001.3 m.s.n.m, con coordenadas $0^{\circ}44'8.02''S$, $78^{\circ}50'6.68''O$; este punto cuenta con una torre auto soportada de 30 metros, como se puede ver en la Figura 4.22, en donde se ubican 3 antenas con dirección a las estaciones repetidoras El Guango, Achayanchidi y al punto terminal Sigchos.



Figura 4.22: Estación Simaurco

Estación Achayanchidi (repetidor)

Está ubicado en el sector nor occidente de la parroquia Zumbahua, cantón Pujilí, a una altitud de 4,048.3 m.s.n.m, coordenadas: 0°57'8.03"S, 78°55'32.15"O. Cuenta con una torre auto soportada de 35 metros en donde se ubican 2 antenas con dirección hacia la estación Simaurco y la estación Macuchi. La Figura 4.23 muestra sus instalaciones.



Figura 4.23: Estación Achayanchidi

Estación Macuchi (repetidor)

Localizada en la parroquia El Tingo La esperanza, cantón Pujilí, a una altitud de 2,355.5 m.s.n.m con coordenadas: 0°56'39.70"S, 79° 4'0.44"O. El sitio cuenta con una torre auto soportada de 30 metros como se muestra en la Figura 4.24, donde se colocan 2 antenas con dirección a la estación Achayanchidi y hacia La Maná.

Sub estación La Maná (punto terminal)

Esta locación es el último punto del radio enlace entre el Centro de control y La Maná, se localiza en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, a una altitud de 184.6 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas: 0°57'6.66"S, 79°14'43.28"O. Este punto cuenta con una torre triangular de viento atirantada de 36 metros de altura, en él se ubica una antena con dirección hacia la estación Macuchi, para continuar con el trayecto por las distintas estaciones hacia el centro de control. En la Figura 4.25 se visualiza la estructura indicada.



Figura 4.24: Estación Macuchi



Figura 4.25: punto terminal SE La Maná

Sub estación Sigchos (punto terminal)

Está localizada en el cantón Sigchos, provincia de Cotopaxi, a una altitud de 2,831.1 m.s.n.m, sus coordenadas son: $0^{\circ}42'5.00''S$, $78^{\circ}53'5.78''O$. en el sitio se cuenta con una torre triangular de viento atirantada de 36 metros de altura, en él se coloca una antena con dirección hacia la estación Simaurco, para continuar con el trayecto hacia el centro de control. En la Figura 4.26 se puede observar sus instalaciones.



Figura 4.26: Punto terminal SE Sigchos

De lo expuesto, se presenta a continuación la Tabla 4.13 con el resumen de los sitios que forman parte de la red de transporte microonda:

Tabla 4.13: Resumen de los sitios para radio enlace

SITIOS	Función del equipo de radio	COORDENADAS		Altitud m.s.n.m	Altura de la torre	Observación
		LATITUD	LONGITUD			
CENTRO DE CONTROL	punto terminal	0°55'52.81"S	78°36'42.37"O	2805.1	Edif. De 2P (10m)+mástil de 5 m	Mástil Proyectado
EL GUANGO	repetidor	0°53'43.98"S	78°30'2.95"O	3979.5	30 m	Torre Existente
SIMAUROCO	repetidor	0°44'8.02"S	78°50'6.68"O	4001.3	30 m	Torre Existente
ACHAYANCHIDI	repetidor	0°57'8.03"S	78°55'32.15"O	4048.3	35 m	Torre Existente
MACUCHI	repetidor	0°56'39.70"S	79° 4'0.44"O	2355.5	30 m	Torre Existente
SE LA MANA	punto terminal	0°57'6.66"S	79°14'43.28"O	184.6	36 m	Torre Existente
SE SIGCHOS	punto terminal	0°42'5.00"S	78°53'5.78"O	2831.1	36 m	Torre Existente

En la Tabla 4.14 se presenta cada uno de los enlaces con sus distancias.

Tabla 4.14: Distancias de los enlaces de radio

Punto A	Punto B	Distancia (Km)
CENTRO DE CONTROL	EL GUANGO	12,95
EL GUANGO	SIMAUROCO	41,19
SIMAUROCO	SIGCHOS	6,71
SIMAUROCO	ACHAYANCHIDI	26,09
ACHAYANCHIDI	MACUCHI	15,71
MACUCHI	LA MANA	19,86

4.4.2 Componentes del sistema microonda

Una vez conocido la localización geográfica de los sitios y verificado las condiciones iniciales de la infraestructura básica con que cuenta cada sitio, se procede a definir los equipos de radio y todos sus componentes a utilizar en el diseño.

Los equipos a elegir deben ofrecer una alta capacidad para la transmisión de datos, con la finalidad de solventar la demanda de tráfico inicial y futura, por lo que, se revisan las especificaciones técnicas de los equipos en base a criterios de capacidad, potencia de transmisión, ganancia de las antenas, niveles de recepción de la señal, bandas de frecuencias de operación, disponibilidad, facilidad de instalación, etc.

Considerando los aspectos mencionados anteriormente, se ha decidido trabajar con radios de la marca SAF modelo Integra-GS, que operan en la banda de 7 GHz y que

ofrecen capacidades de hasta 1 Gb/s.

Radio SAF INTEGRA-GS

Es un sistema de radio microondas punto a punto en bandas licenciadas para exteriores (FODU Full Outdoor Unit), que integra la radio microondas con antenas de alto rendimiento en una sola unidad; ofrece una capacidad de carga útil de hasta 1 Gb/s Full Dúplex con compresión de cabeceras HC, o, en configuraciones de agregación 2 + 0 (2 radios 1 antena) se puede obtener capacidad Full Dúplex de hasta 982 Mb/s; mientras que con una configuración 1 + 0 (1 radio 1 antena) la capacidad entregada es de hasta 491 Mb/s sin HC (Header Compression) [62].



Figura 4.27: Radio FODU versión 6 a 11 GHz [62]

La Figura 4.27 muestra una radio FODU modelo Integra GS en un diseño de hardware compacto y único, para versiones de 6 a 11 GHz. (Especificaciones ver anexo 1)

La unidad exterior completa incluye radio, modem, procesador de red ethernet y divisor PoE (Power over Ethernet) con supresor de sobretensiones. El diagrama de bloques interno del equipo se muestra en la Figura 4.28. Tiene un procesador de red Gigabit Ethernet incorporado con tres puertos LAN: LAN 1 puerto PoE-in de 1 Gb/s que se debe usar para alimentar el equipo, LAN 2 y LAN 3 puertos SFP (Small Form-Factor Pluggable) son usados como interfaces de datos [63].

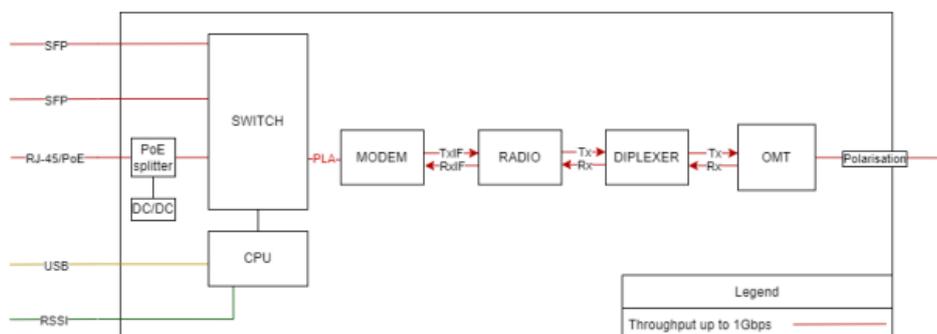


Figura 4.28: Diagrama de bloques radio Integra G [63]

Solución con radios SAF modelo Integra GS

Para este diseño se utiliza la configuración 1+0 (1 radio 1 antena) que no presenta redundancia de equipos, tal como se muestra en la Figura 4.29. En esta configuración se puede transmitir hasta 1 Gb/s con compresión de cabecera y hasta 491 Mb/s sin compresión, a través de las interfaces Ethernet de cobre o fibra.

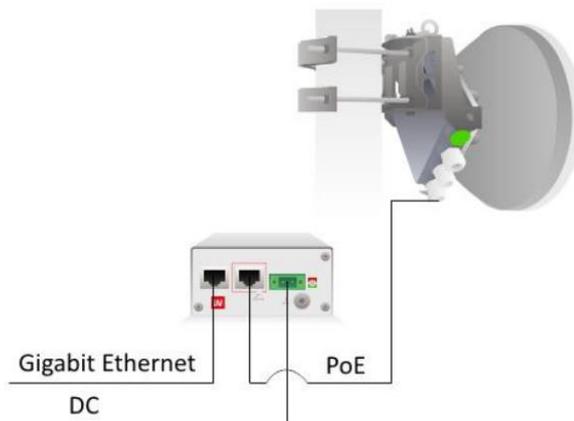


Figura 4.29: Configuración 1+0 sin redundancia [63]

Los radios SAF modelo Integra GS están diseñadas para un amplio rango de frecuencias en las bandas licenciadas incluyendo la banda de 7 GHz, en la cual es posible trabajar con muchas opciones de par de frecuencias para la transmisión y recepción en un enlace. Dado que en la banda de 7 GHz se pueden emplear dúplex de frecuencias con separación de 154 MHz y ancho de banda de canal de 28 MHz, se tiene los siguientes dúplex de frecuencias utilizables resumidas en la Tabla 4.15 [64].

Tabla 4.15: Dúplex de frecuencias Transmisión/Recepción [64]

RANGO [7425 – 7725] MHz		
AB [MHz]: 28	SHIFTER [MHz]: 154 MHz	
No. Canal	Frecuencias Tx (MHz)	Frecuencias Rx (MHz)
1	7442	7596
2	7470	7624
3	7498	7652
4	7526	7680
5	7554	7708
1	7456	7610
2	7484	7638
3	7512	7666
4	7540	7694

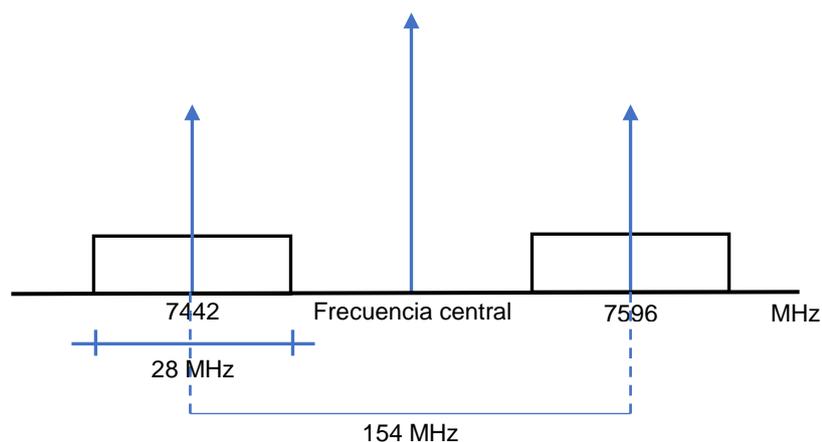


Figura 4.30: Frecuencias de Transmisión y Recepción banda de 7 GHz

En la Figura 4.30 se muestra el dúplex de frecuencias para transmisión y recepción con un desplazamiento de 154 MHz, cada frecuencia tiene un ancho de canal de 28 MHz.

Antena ANDREW ValuLine

Las antenas ValuLine proporcionan una solución para todos los sistemas microondas operando a frecuencias entre 7 GHz y 60 GHz. La gama ValuLine incluye antenas blindadas de alto rendimiento y antenas sin blindaje de rendimiento estándar. Están disponibles en configuraciones polarizadas simples y dobles, con tamaños que van desde 0.3 m (1 ft) hasta 1.8 m (6 ft). En el diseño se utilizan antenas de 0.6 m y 0.9 m de polarización simple (Horizontal o Vertical) para una banda de 7 GHz.

La Figura 4.31 muestra una antena ValuLine de 0.6 m. (Especificaciones ver anexo 2)

Antenna Dimensions and Mounting Information

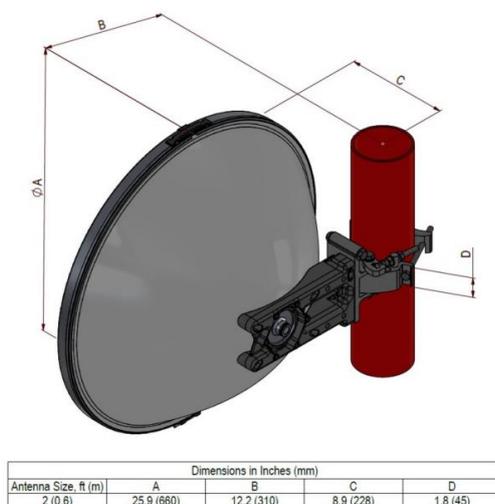


Figura 4.31: Antena Andrew ValuLine 0.6 m 7 GHz [65]

4.4.3 Herramienta de simulación de radio enlaces RadioMobile

Es un software de libre distribución creado por el ingeniero y radioaficionado canadiense Roger Coudé en 1988 que sirve para calcular los radio enlaces de distancias largas sobre terreno irregular, emplea datos digitales de elevaciones para generar un perfil del trayecto entre el transmisor y el receptor. Estos datos, junto a otros relativos al entorno y a las características técnicas de los transceptores permiten obtener el área de cobertura de un sistema de radiocomunicaciones para trabajar en una frecuencia comprendida entre 20 y 40,000 MHz con longitudes de trayecto de entre 1 y 2,000 km. Los cálculos efectuados por el software están basados en el algoritmo Longley-Rice el cual forma parte del propio programa [38] [41] [66].

RadioMobile usa para evaluar los enlaces, el perfil geográfico de los sectores de trabajo. Los mapas se pueden obtener desde internet, para lo cual se debe configurar previamente una opción en el software que permita descargarlos. Hay disponibles tres tipos de mapas: Los SRTM, los GTOPO30 y los DTED. Para la simulación de los radio enlaces en este diseño se utilizarán los mapas tipo SRTM [38] [41] [66].

Algoritmo para el cálculo de propagación

El algoritmo de Longley_Rice conocido como Irregular Terrain Model (ITM) e implementado en RadiMobile, es un modelo de predicción troposférica para transmisión de radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance. Este modelo tiene dos formas de trabajo.

1. Modo punto a punto: Predice estadísticamente las pérdidas de propagación sobre un trayecto partiendo de los datos característicos de la señal y el entorno.
2. Modo de predicción del área de cobertura: Similar al modo punto a punto, pero no trabaja sobre un trayecto determinado, sino que genera una proyección del área de cobertura de un terminal dado, en función de sus características y las irregularidades del terreno [66].

El modelo Longley-Rice requiere ciertos parámetros que están relacionados, tanto con el grupo de equipos de radio involucrados como a las condiciones del entorno. Estos son:

Parámetros de los equipos:

- Frecuencia: Especificado entre 20 MHz y 20 GHz.
- Distancia entre los equipos transceptores: Se encuentra en el rango de 1 km a

2,000 km.

- Altura de las antenas: El software permite alturas en el rango de 0.5m a 3,000 m.
- Polarización: Puede ser vertical u horizontal, el programa asume la misma polarización en ambas antenas.
- ERP (Effective Radiated Power): Es la potencia efectiva de radiación de los transceptores, en las mismas unidades que la potencia de salida de un transmisor (dBW o dBm), relativa a una antena dipolo [67].

Parámetros del entorno:

Son independientes de los sistemas de radiocomunicaciones y detallan con estadísticas las características del sitio en donde trabajará el sistema

- **Variable de terreno irregular (Δh):** El terreno irregular que se encuentran entre dos puntos, se tratan como una función aleatoria de la distancia entre los terminales. Para evaluar esta función el ITM emplea un valor único de Δh para representar simplificadaamente el promedio de las alturas del terreno irregular. Esta variable es determinada automáticamente por el software [41] [67]. Algunos valores sugeridos se presentan en la Tabla 4.16

Tabla 4.16: Valores para terreno irregular [67]

Forma del terreno	Δh (m)
Plano o superficie de agua	0
Llanuras	30
Colinas	90
Montañas	200
Montañas escabrosas	500

- **Constantes dieléctricas del suelo:** Los valores típicos de la permitividad y la conductividad de la tierra expresada en siemens por metro (S/m) se presenta en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17: Constantes eléctricas del terreno [67]

Tipo de suelo	Permitividad relativa	Conductividad (S/m)
Tierra promedio	15	0.005
Tierra pobre	4	0.001
Tierra buena	25	0.02
Agua dulce	81	0.01
Agua salada	81	5.0

- **Refractividad:** La refractividad de la atmósfera determina la curvatura que experimentarán las ondas de radio. Otros modelos, introducen la refractividad como la curvatura efectiva de la tierra, siendo el valor típico $4/3$. Con este parámetro, la refractividad de la superficie (N_s) corresponde a un valor de aproximadamente 301 Unidades de n (partes por millón). Longley – Rice recomienda este valor para condiciones atmosféricas promedio [38] [67].
- **Clima:** En conjunto con N_s , el clima se utiliza para caracterizar la atmósfera y su variabilidad en el tiempo. Los 7 climas reconocidos actualmente y caracterizados en este modelo se indican en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18: Valores sugeridos para N_s según el clima [38] [67]

Clima	N_s
Ecuatorial	360
Continental Subtropical	320
Marítimo Subtropical	370
Desierto	280
Continental Templado	301
Marítimo Templado, sobre la tierra	320
Marítimo Templado, sobre el mar	350
Valor recomendado por Longley – Rice (Continental Templado)	301 N_s

4.4.4 Simulación de los radioenlaces en RadioMobile

El software RadioMobile permite determinar la viabilidad de los radioenlaces, dado que el programa realiza las simulaciones con base en los parámetros que se ingresen de los equipos reales que se piensa utilizar en la instalación. Los resultados que se espera obtener, en resumen, son los siguientes: Nivel de señal de recepción, ángulos de azimut y de elevación, pérdidas en el espacio libre y pérdida total, Rx relativo que es el margen respecto del nivel de señal recibida y la sensibilidad del receptor, etc.

Para corroborar dichos resultados se realiza un ejemplo de cálculo de radioenlace, considerando la ubicación geográfica de los sitios, las características propias de los equipos microondas y las antenas a utilizar en cada enlace.

Cálculos teóricos del enlace Centro de control – Estación El Guango

En la Tabla 4.19 se indican los datos iniciales. Este y todos los demás enlaces tendrán una capacidad de 114 Mb/s con una modulación 64 QAM y un ancho de banda de canal de 28 MHz. Dependiendo de la necesidad del radio enlace, los equipos de radio pueden variar la potencia y tipo de modulación hasta una capacidad de 226 Mb/s.

Tabla 4.19: Datos para el enlace centro de control - Estación El Guango [68] [65]

Datos	Centro de control	Estación El Guango
Latitud	0°55'52.82"S	0°53'43.98"S
Longitud	78°36'42.40"O	78°30'2.95"O
Altura de la antena	15 m	20 m
Radio transmisor / receptor		
Potencia del radio	28 dBm *	
Umbral de recepción	-76 dBm *	
Frecuencia mínima	7442 MHz	
Frecuencia máxima	7596 MHz	
Ancho de Banda	28 MHz*	
Modulación	64 QAM*	
Capacidad	114 Mb/s*	
Antena		
Frecuencia de operación	7.1 – 8.5 GHz*	
Diámetro de la antena	0,6 m *	
Ganancia de la antena	31.1 dBi *	
VSWR de antena	1.3 *	
Return Loss	17.7 dB *	
*Se anexa datasheet del radio y antena		

Los cálculos teóricos permiten validar los resultados que se obtienen de la simulación con RadioMobile, mediante una comparación entre estos dos resultados. Para ello se realiza los siguientes cálculos:

- **Distancia Centro de control – Estación El Guango**

Dado que se trabaja en la zona ecuatorial, para el cálculo de la distancia se considera la equivalencia de 111.32 km. por cada grado de longitud o latitud, dentro del sistema geométrico o superficie, por lo que la fórmula para el cálculo de la distancia entre dos puntos estará dada por la ecuación 4.2 [38].

$$D = \sqrt{(\Delta Long * 111.32)^2 + (\Delta Lat * 111.32)^2 + (\Delta h)^2} \quad (4.2)$$

De acuerdo con los cálculos efectuados (ver anexo 3) utilizando la ecuación 4.2 se tiene:

D = 13,03 Km.

- **Radio de la primera zona de Fresnel y altura de despeje**

La condición de propagación con visibilidad establece que el 55% (normalmente 60%) del radio de la primera zona de Fresnel debe estar libre, para que la señal en el receptor llegue como en el espacio libre, por lo que se debe calcular la altura de despeje, considerando la altura del obstáculo más alto en el trayecto [38].

De acuerdo con los cálculos efectuados (ver anexo 3) utilizando las fórmulas 4.3 y 4.4 se tiene lo siguiente:

Radio del n-ésima zona [38]:

$$r_n = 547,72 \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}} \quad (4.3)$$

$$\mathbf{R_{F1} = 4,027 m}$$

Altura de despeje [38]:

$$H_{des} = \frac{H_1 \cdot d_2 + H_2 \cdot d_1}{D} - H_0 - \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot k \cdot R_0} \quad (4.4)$$

$$\mathbf{H_{des} = 47,18 m}$$

Con los resultados anteriores se puede obtener el peor Fresnel y el margen de despeje, así:

Peor Fresnel [38]:

$$\frac{H_{des}}{R_{F1}} = \frac{47,18 m}{4,027 m} = \mathbf{11,71}$$

Margen de despeje [38]:

$$M = H_{des} - R_{F1} \quad (4.5)$$

$$\mathbf{M = 43,15 m}$$

Entonces:

Si $M > 0$, la primera zona de Fresnel está sin obstrucciones.

Si $M < 0$, la primera zona de Fresnel presenta obstrucciones.

Dado que $M > 0$, entonces la primera zona de Fresnel está despejada totalmente, por lo tanto, no se tiene pérdidas por obstrucciones [41].

- **Pérdidas de propagación**

Dentro de las pérdidas a determinar están: pérdidas en el espacio libre y pérdidas por desacople, dado que el acople entre la radio FODU y la antena es de forma directa sin el uso de cables y conectores.

Pérdidas en el espacio libre (Path loss): La pérdida de trayecto en el espacio libre es la pérdida de potencia de una señal cuando se propaga en línea recta por el vacío, sin atenuación por absorción o reflexión de energía ocasionados por objetos cercanos. La ecuación viene dada por [38]:

$$L_P = \left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi Df}{c}\right)^2 \quad (4.6)$$

$$L_{p(dB)} = 32.4 + 20\log f_{(MHz)} + 20\log D_{(Km)} \quad (4.7)$$

Entonces aplicando la fórmula 4.7 (ver anexo 3) se tiene:

$$L_{P(dB)} = 132,22 \text{ dB}$$

Pérdidas por desacople: Cuando hay un cable entre la antena y el transceptor, el desacople crea una relación de onda estacionaria de voltaje VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) en el cable. El efecto de un VSWR en un cable es aumentar el efecto de pérdida por el cable [39].

La pérdida de retorno (Return Loss) tiene un enfoque similar a VSWR, pero es usado en aplicaciones donde los cables no son usados o son muy cortos. Por definición el "Return Loss" es la pérdida de potencia en la señal retornada/reflejada.

De acuerdo con las especificaciones técnicas de la antena (Tabla 4.19) y con los cálculos realizados (ver anexo 3), se tiene que la pérdida por desacople es:

$$L_{Desacople} = 0.088 \text{ dB aproximadamente.}$$

- **Potencia de recepción**

El rendimiento del radioenlace puede calcularse mediante la fórmula de balance de potencia que se indica a continuación [38]:

$$Pr = Tx - Lt + At - Lp + Ar - Lr \quad (4.8)$$

Aplicando la ecuación 4.8 para el cálculo (ver anexo 3), con los datos de la Tabla 4.19 y las pérdidas obtenidas, se obtiene la potencia de recepción:

$$Pr = 28 \text{ dBm} - 0,088 \text{ dB} + 31,1 \text{ dBi} - 132,22 \text{ dB} + 31,1 \text{ dBi} - 0.088 \text{ dB}$$

$$Pr = -42,196 \text{ dBm}$$

- **Margen de umbral Mu y margen de desvanecimiento**

Margen de Umbral: El margen de umbral se calcula con la siguiente ecuación [38]:

$$Mu = Pr - Ur \quad (4.9)$$

De acuerdo a la Tabla 4.19, el Umbral del receptor Ur (Threshold) es de -76 dBm, la potencia de recepción calculada es de -49,196 dBm, por tanto:

$$Mu = 33,804 \text{ dB}$$

El margen de desvanecimiento (F_M): Esencialmente es una pérdida adicional que se agrega a la pérdida de trayectoria normal de la señal, para tomar en cuenta las características no ideales de la propagación de las ondas de radio. El margen de desvanecimiento considera también los objetivos de confiabilidad del sistema, por lo que, la disponibilidad anual de un sistema no protegido sin diversidad, se calcula con la fórmula siguiente [38]:

$$F_M = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad (4.10)$$

Aplicando la fórmula 4.10 y efectuando los cálculos (ver anexo 3) se tiene:

$$F_M = 22,82 \text{ dBm}$$

El valor de Mu se debe de comparar con el margen de desvanecimiento (F_M), para determinar si el objetivo de confiabilidad se cumple.

Para que un sistema cumpla con la confiabilidad, el margen de umbral (Mu) debe ser mayor que el margen de desvanecimiento (F_M)

Por lo tanto, la confiabilidad se cumple $Mu \geq F_M$

- **Indisponibilidad y confiabilidad del radioenlace**

La confiabilidad es el valor porcentual del tiempo que un enlace no se interrumpa debido al desvanecimiento. Dado que su complemento es la indisponibilidad, el cual se puede calcular partiendo del margen de desvanecimiento (F_M); la confiabilidad se puede obtener de la siguiente manera [38]:

$$P = 6 * 10^{-7} * C * f * D^3 * 10^{-F_M/10} \quad (4.11)$$

$$R = (1 - P) * 100 \quad (4.12)$$

Utilizando la ecuación 4.11 y realizando los cálculos respectivos (ver anexo 3), se tiene que la Indisponibilidad es:

$$P = 0,0000032585$$

Por lo tanto, la confiabilidad es:

$$R = 99,9996\%$$

De acuerdo con la recomendación G.801 de la ITU, la confiabilidad del enlace para una longitud $L < 280$ km debe ser de:

$$R_T = 99,9664\%$$

Por lo tanto, la confiabilidad del enlace cumple con el objetivo de la ITU.

- **PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente).**

La PIRE es la cantidad de potencia que emitirá una antena isotrópica teórica (es decir, aquella que distribuye la potencia exactamente igual en todas direcciones) para generar la densidad de potencia en el sentido de máxima ganancia de la antena. La PIRE considera las pérdidas en la línea de transmisión y los conectores e incluye la ganancia de la antena, según como se expresa en la fórmula 4.13 [69].

$$PIRE = T_{X(dBm)} + A_{T(dBi)} - L_{T(dB)} \quad (4.13)$$

Efectuando los cálculos (ver anexo 3) con la ecuación 4.13 se tiene:

$$PIRE_{KW} = 796,526 W$$

- **Intensidad de campo eléctrico**

De acuerdo a la recomendación de la UIT-R PN.525-2, la intensidad de campo eléctrico se puede calcular (ver anexo 3) mediante la ecuación 4.14 [38].

$$E_{dB(\mu V/m)} = 10 * \log(PIRE_{(W)}) - 20 * \log d_{(Km)} + 74,8 \quad (4.14)$$

$$E_{dB(\mu V/m)} = 81,51 dB\mu V/m$$

- **Alineación de antenas del transmisor y receptor**

Se determinan los valores de los siguientes parámetros.

Ángulo de elevación: Está formado por la dirección de la onda irradiada por la antena

y el plano horizontal. Mientras más bajo sea el ángulo de elevación, mayor será la distancia de la onda propagada por la atmósfera terrestre [38].

Ángulo de apuntamiento: Se obtiene de la relación entre la variación de latitud y la variación de longitud [38]:

Azimut: Es el ángulo en el plano horizontal formado entre la dirección de una onda irradiada de una antena y el plano vertical. Se mide en grados a partir del norte verdadero, en dirección de las manecillas del reloj [38].

De acuerdo con los cálculos efectuados (ver anexo 3), la alineación de las antenas se realiza con base en los resultados obtenidos en la Tabla 4.20.

Tabla 4.20: Ángulos para el apuntamiento de antenas

Ángulo de elevación	Ángulo de apuntamiento	Azimut	
		Centro de control	El Guango
$\alpha = 5,1866^\circ$	$\Theta = 17,876^\circ$	Az = $72,124^\circ$	Az = $252,124^\circ$

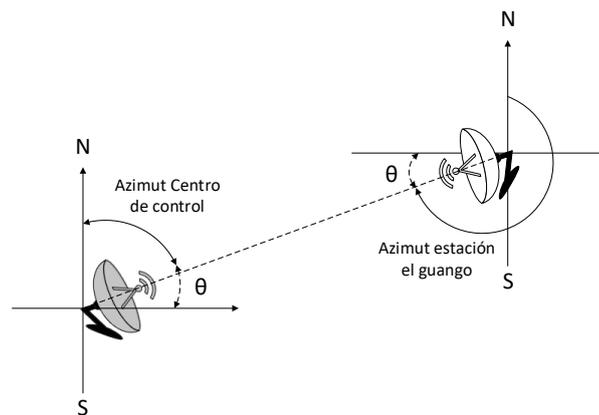


Figura 4.32: Ángulo de apuntamiento y azimut centro de control - estación el guango

En la Figura 4.32 se ilustra la forma de apuntar una antena, según los ángulos de apuntamiento y azimut. Los resultados de los cálculos teóricos efectuados, se presentan en la Tabla 4.21:

Tabla 4.21: Resultados de los cálculos teóricos

Parámetro	Cálculos Teóricos
Distancia del enlace D [Km]	13.03 km
Despeje H_{des} [m]	47.18 m
Peor Fresnel $\left(\frac{H_{des}}{R_{F1}}\right)$	11.71
Pérdida en espacio libre (L_p) [dB]	132.22 dB

Continuación Tabla 4.21: Resultados de los cálculos teóricos

Parámetro	Cálculos Teóricos
Potencia de recepción (P_r) [dBm]	-42.196 dBm
Margen de Umbral (M_U) [dB]	33.804 dB
Potencia isotrópica radiada equivalente PIRE [W]	796.526 W
Intensidad de campo eléctrico E [dB μ V/m]	81.51 dB μ V/m
Ángulo de elevación [°]	5.1866 °
Azimut centro de control [°]	72.124 °
Azimut estación el guango [°]	252.124 °

Simulación del radioenlace Centro de control – estación El Guango

Una vez cargado el mapa topográfico en el software, sobre el cual se emplazan los sitios para la simulación del radioenlace, y configurado las unidades y propiedades de las redes (ver anexo 4); se procede a realizar la simulación del primer radioenlace, cuyos resultados se presentan en el anexo 4, los mismos que se recopilan en la Tabla 4.22:

Tabla 4.22: Resultados de la simulación del enlace

Parámetro	Simulación en RadioMobile
Distancia del enlace D [Km]	12.95
Despeje H_{des} [m]	47.34 m
Peor Fresnel ($\frac{H_{des}}{R_{F1}}$)	11.8
Pérdida en espacio libre (L_P) [dB]	132.2 dB
Potencia de recepción (P_r) [dBm]	-43.0 dBm
Margen de Umbral (M_U) [dB]	33.0 dB
Potencia isotrópica radiada equivalente PIRE [W]	796.53 W
Intensidad de campo eléctrico E [dB μ V/m]	80.7 dB μ V/m
Ángulo de elevación [°]	5.134 °
Azimut centro de control [°]	72.12 °
Azimut estación el guango [°]	252.12 °

Comparación de resultados teóricos y de simulación

En la Tabla 4.23 se muestra los resultados obtenidos mediante los cálculos teóricos y con la simulación en Radio Mobile. Como se puede observar, los resultados son similares en las dos formas de cálculo en tal sentido, para los demás enlaces, los cálculos para predecir el comportamiento de la red se realizan mediante el software RadioMobile.

Tabla 4.23: Comparación de resultados teóricos y de simulación

Parámetro	Cálculos Teóricos	Simulación en RadioMobile
Distancia del enlace D [Km]	13.03 km	12.95
Despeje H_{des} [m]	47.18 m	47.34 m
Peor Fresnel $\left(\frac{H_{des}}{R_{F1}}\right)$	11.71	11.8
Pérdida en espacio libre (L_p) [dB]	132.22 dB	132.2 dB
Potencia de recepción (P_r) [dBm]	-42.196 dBm	-43.0 dBm
Margen de Umbral (M_U) [dB]	33.804 dB	33.0 dB
Potencia isotrópica radiada equivalente PIRE [W]	796.526 W	796.53 W
Intensidad de campo eléctrico E [$dB\mu V/m$]	81.51 $dB\mu V/m$	80.7 $dB\mu V/m$
Ángulo de elevación [°]	5.1866 °	5.134 °
Azimut centro de control [°]	72.124 °	72.12 °
Azimut estación el guango [°]	252.124 °	252.12 °

Simulación de los radioenlaces: El Guango – Simaurco, Simaurco – Sigchos, Simaurco – Achayanchidi, Achayanchidi – Macuchi y Macuchi – La Maná.

En la Tabla 4.24 se indican los datos iniciales para ingresar en el programa. Para el enlace El Guango – Simaurco, que es la distancia más larga (41,19 km), se utilizan antenas de 0.9 metros de diámetro que ofrecen una mayor ganancia. Los cuatro enlaces restantes emplean antenas de 0.6 metros.

Tabla 4.24: Datos iniciales para RadioMobile

Datos	El Guango	Simaurco
Latitud	0°53'43.98"S	0°44'8.02"S
Longitud	78°30'2.95"O	78°50'6.68"O
Altura de la antena	20 m	20 m
Datos	Simaurco	Sigchos
Latitud	0°44'8.02"S	0°42'5.00"S
Longitud	78°50'6.68"O	78°53'5.78"O
Altura de la antena	20 m	20 m
Datos	Simaurco	Achayanchidi
Latitud	0°44'8.02"S	0°57'8.03"S
Longitud	78°50'6.68"O	78°55'32.15"O
Altura de la antena	15 m	25 m
Datos	Achayanchidi	Macuchi
Latitud	0°57'8.03"S	0°56'39.70"S
Longitud	78°55'32.15"O	79° 4'0.44"O
Altura de la antena	25 m	15 m
Datos	Macuchi	La Maná
Latitud	0°56'39.70"S	0°57'6.66"S
Longitud	79° 4'0.44"O	79°14'43.28"O
Altura de la antena	20 m	20 m

Continuación Tabla 4.24: Datos iniciales para RadioMobile

Radio transmisor / receptor	
Potencia del radio	28 dBm *
Umbral de recepción	-76 dBm *
Frecuencia min	7442 MHz
Frecuencia max	7596 MHz
Ancho de Banda	28 MHz*
Modulación	64 QAM*
Capacidad	114 Mb/s*
Antena	
Frecuencia de operación	7.1 – 8.5 GHz*
Polarización	Vertical
Diámetro de la antena	0.9 y 0.6 m *
Ganancia de la antena	31.1 dBi *
VSWR de antena	1.3 *
Return Loss	17.7 dB *
*Se anexa datasheet del radio y antena	

Los resultados de los principales parámetros de desempeño de los radioenlaces, obtenidos de las simulaciones en RadioMobile, se presentan en el anexo 4, los mismos que se recogen en la Tabla 4.25.

Tabla 4.25: Resultados Simulación de radioenlaces

Parámetro	ENLACES				
	El Guango - Simaurco	Simaurco – Sigchos	Simaurco - Achayanchidi	Achayanchidi – Macuchi	Macuchi – La Maná
Distancia del enlace D [Km]	41.19 Km	6.71 Km	26.09 Km	15.71 Km	19.86 Km
Peor Fresnel ($\frac{H_{des}}{R_{F1}}$)	10.4	6.1	13.4	11.1	1.8
Pérdida total (L) [dB]	148.0 dB	132.5 dB	144.0 dB	139.7 dB	137.5 dB
Potencia de recepción (P_r) [dBm]	-49.6 dBm	-42.5 dBm	-54.0 dBm	-49.7 dBm	-47.4 dBm
Margen de Umbral (M_U) [dB]	26.4 dB	33.5 dB	22.0 dB	26.3 dB	28.6 dB
PIRE [KW]	2.1 KW	796.53 W	796.53 W	796.53 W	796.53 W
Intensidad de campo eléctrico E [$dB\mu V/m$]	69.9 $dB\mu V/m$	81.2 $dB\mu V/m$	69.7 $dB\mu V/m$	74.0 $dB\mu V/m$	76.3 $dB\mu V/m$
Ángulo de elevación [°]	-0,153 °	-9,903 °	0,002 °	-6,242 °	-6,316 °
Azimut [°]	295,57 °	304,49 °	202,65 °	273,19 °	267,60 °

De la Tabla 4.25 de resultados, se evidencia que las mayores pérdidas se producen en los enlaces El Guango – Simaurco (148 dB) y Simaurco – Achayanchidi (144.0 dB) que son los de mayor distancia; sin embargo, las potencias de recepción de -49.6 dBm y -54.0 dBm respectivamente, son muy superiores al Umbral de recepción fijado en -76 dBm (Tabla 4.24); así mismo, el margen de umbral en todos los casos superan los 20 dB, esto significa que la señal llega con un excelente nivel de potencia al receptor. El

peor Fresnel se tiene en el enlace Macuchi – La Maná con 1.8 que significa el 180% de despeje con relación a la primera zona de Fresnel, es decir, no hay obstrucciones.

4.4.5 Nodos de la red inalámbrica

Los nodos para la red inalámbrica corresponden a las instalaciones con la infraestructura física necesaria para albergar y poner en funcionamiento el equipamiento para el despliegue de los enlaces microonda; además, al tratarse de enlaces punto a punto los sitios escogidos ofrecen línea de vista directa hacia los puntos remotos de interés, lo que permite evitar pérdidas en la señal debido a obstrucciones en el trayecto.

Para definir los elementos que debe tener cada nodo de acuerdo a su función se debe considerar el diseño de red propuesto, que consta de tres puntos terminales que son: Centro de control, La Maná y Sigchos, y cuatro repetidores dispersos en el trayecto según como se muestra en el esquema de la Figura 4.19 (Esquema de la red microonda).

Los equipos que intervienen en el diseño de nodos, además de los componentes principales del sistema, radio y antena descritos en la sección 4.4.2, son los siguientes:

- **Inyector universal programable PoE**

Es un inyector de alimentación a través de Ethernet para interiores. Proporciona Gigabit Ethernet y alimentación a través de un solo cable Ethernet. Esta solución permite pasar un solo cable desde el interior del equipo a la radio exterior en lugar de dos cables separados para alimentación y datos. (especificaciones ver anexo 5)

- **Fuente de alimentación de 48 VDC**

Permite el suministro de energía a la radio, mediante un cable adaptador para entregar solamente alimentación DC, o utilizando un cable de red ethernet para entregar energía y datos desde un inyector PoE. (especificaciones ver anexo 6)

- **Kit de conducto de fibra y cable óptico SM (Single Mode) con 2 transceptores SFP (Small Form-Factor Pluggable)**

Está diseñado para interconectar dos radios integra mediante cable óptico single mode dúplex de 1m; y, para proteger el cable óptico instalado se cuenta con un conducto de fibra que está hecho de poliuretano robusto, a prueba de abrasión y resistente al aceite. (especificaciones ver anexo 7)

El kit de conducto de fibra se suministra con dos transceptores LC-LC para la

interconexión entre los puertos SFP de los radios Integra -GS, que se utilizan en las estaciones repetidoras de El Guango, Achayanchidi y Macuchi.

- **Cable STP con conector RJ45**

Se recomienda utilizar el cable Ethernet STP/FTP con conector RJ-45 para exteriores, con la finalidad de reducir la interferencia electromagnética (EMI) y la interferencia de radio frecuencia (RFI). La longitud de los cables Ethernet desde el CPE (router, switch) al inyector PoE (puerto DATA) y desde el radio al inyector PoE (puerto DATA + PWR) combinados no debe exceder los 100 m [63]. (especificaciones ver anexo 8)

- **UPS**

Como se definió anteriormente, el UPS permite proteger los equipos de telecomunicaciones presentes en el nodo, de las variaciones de voltaje y suministrar energía emergente a una carga cuando la alimentación de entrada deja de funcionar. Por ello se ha considerado UPSs de 1350W/1,5KVA. (especificaciones ver anexo 9)

- **Suministro de energía**

En cada uno de los nodos se cuenta con una acometida eléctrica con voltaje de 110 Voltios de corriente alterna, por lo que el UPS se conectará a esta acometida para energizar los equipos del sistema microonda.

- **Puesta a tierra**

Con base en la definición de la sección 4.3.4, y dado que en las instalaciones de cada uno de los nodos ya existe un sistema de puesta a tierra, las conexiones de todo el equipamiento de radioenlace deberán ser aterrizados a este sistema existente.

- **Mástil**

Considerando que en el nodo centro de control se debe ubicar una antena a 15 m. de altura desde el suelo, se ha visto la necesidad de instalar un mástil de 6 m. en la terraza del edificio centro de control cuya altura es de 10 m., lo que permitirá alcanzar la altura requerida de la antena. (especificaciones ver anexo 10)

- **RACK**

Para albergar todo el equipamiento de radioenlace se ha considerado utilizar un rack de 42 unidades, de tipo cerrado.

Los equipos y accesorios descritos se utilizan en los nodos de acuerdo a la necesidad y dependiendo del rol que cumple en la red, es decir, si es un punto terminal o un repetidor.

Equipamiento de radioenlace para nodos de los puntos terminales

En la Figura 4.33 se presenta el esquema del equipamiento para los puntos terminales centro de control, La Maná y Sigchos, donde se aprecia la forma de conexonado de todos los elementos, considerando en este caso, que los datos y el suministro de energía se lleva a través de un solo cable Ethernet, utilizando un inyector PoE.

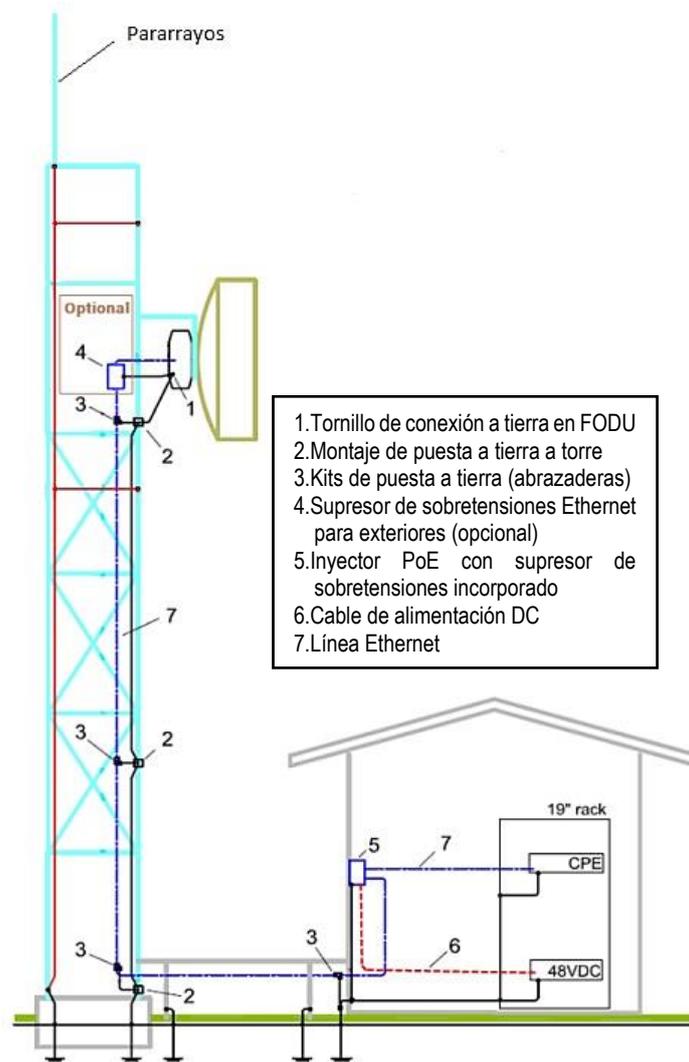


Figura 4.33: Esquema general para nodos de puntos terminales

Los equipos necesarios para cada uno de los nodos se especifican en la Tabla 4.26. donde se puede identificar que en el centro de control se proyecta la instalación de un mástil de 6 metros para ubicar la antena, además, en este nodo no se requiere de UPS y Rack, puesto que se cuenta con un datacenter.

Tabla 4.26: Equipamiento para nodos de puntos terminales

ÍTEM	EQUIPO	Centro de control	La Maná	Sigchos
1	Radio SAF Integra-GS Full Outdoor	1	1	1
2	Antena parabólica Andrew ValuLine de 0.6 m de diámetro	1	1	1
3	Inyector universal programable PoE	1	1	1
4	Fuente de alimentación de 48 VDC	1	1	1
5	Cable Ethernet STP	25 m	50 m	30m
6	Conectores RJ45	4	4	4
7	Mástil de 6m	1	-	-
8	UPS	-	1	1
9	Rack de 42UR	-	1	1

Equipamiento de radioenlace para nodos El Guango, Achayanchidi y Macuchi

En la Figura 4.34 se presenta el esquema del equipamiento para los repetidores El guango, Achayanchidi y Macuchi, en el cual se indica la forma de conexionado de todos los elementos.

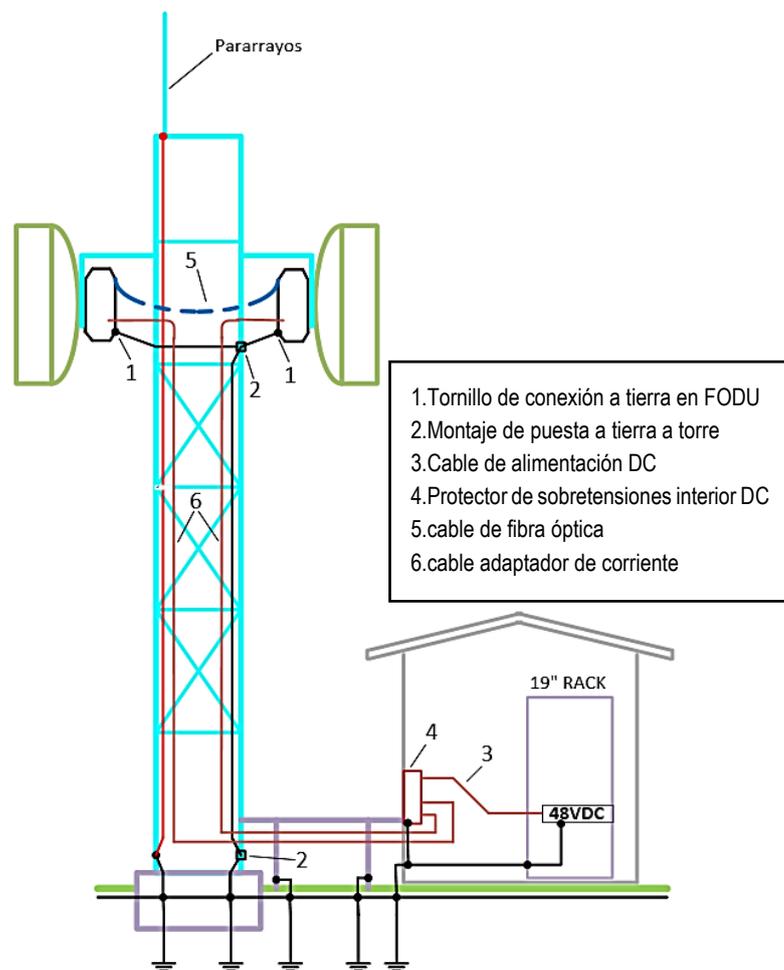


Figura 4.34: Esquema para nodos de repetidores El Guango, Achayanchidi, Macuchi

Dado que los radios SAF Integra -GS tienen un switch incorporado para la retransmisión de los datos, la interconexión entre ellos es directa mediante un cable de fibra óptica full-dúplex como se ve en la Figura 4.34; mientras que el suministro de energía es a través de un cable adaptador de corriente, que interconecta el puerto Ethernet (PoE) del radio con el cable de alimentación DC de 48 voltios. Por tanto, los equipos requeridos para los nodos repetidores se especifican en la Tabla 4.27, donde además se puede constatar que en el nodo el guango se contempla una antena de 0.6 m y otra de 0.9 m.

Tabla 4.27: Equipamiento para nodos de repetidores

ÍTEM	EQUIPO	El Guango	Achayanchidi	Macuchi
1	Radio SAF Integra-GS Full Outdoor	2	2	2
2	Antena parabólica Andrew ValuLine de 0.6 m de diámetro	1	2	2
3	Antena parabólica Andrew ValuLine de 0.9 m de diámetro	1	-	-
4	Kit de conducto de fibra y cable óptico SM (Single Mode) con 2 transceptores SFP	1	1	1
5	Fuente de alimentación de 48 VDC	2	2	2
6	Cable Ethernet STP	2 x 30 m	1 x 25m; 1 x 30m	2 x 30m
7	UPS	1	1	1

Equipamiento de radioenlace para nodo Simaurco

El nodo Simaurco concentra tres enlaces que provienen de, el Guango, Achayanchidi y Sigchos, permitiendo distribuir el tráfico hacia los puntos terminales, para ello en la Tabla 4.28 se especifican los elementos necesarios para la implementación del nodo.

Tabla 4.28: Equipamiento para nodo Simaurco

ÍTEM	EQUIPO	Simaurco
1	Radio SAF Integra-GS Full Outdoor	3
2	Antena parabólica Andrew ValuLine de 0.6 m de diámetro	2
3	Antena parabólica Andrew ValuLine de 0.9 m de diámetro	1
4	Inyector universal programable PoE	3
5	Fuente de alimentación de 48 VDC	3
6	Cable Ethernet STP	2 x 30m; 1 x 25m
7	Conectores RJ45	12
8	UPS	1
9	Rack de 42UR	1

En la Figura 4.35 se presenta el esquema del equipamiento y su forma de conexionado, para este caso, los datos y el suministro de energía se llevan a través de un solo cable Ethernet desde el interior del nodo hacia cada uno de los radios exteriores (FODU), para

lo cual se utilizan tres inyectores PoE.

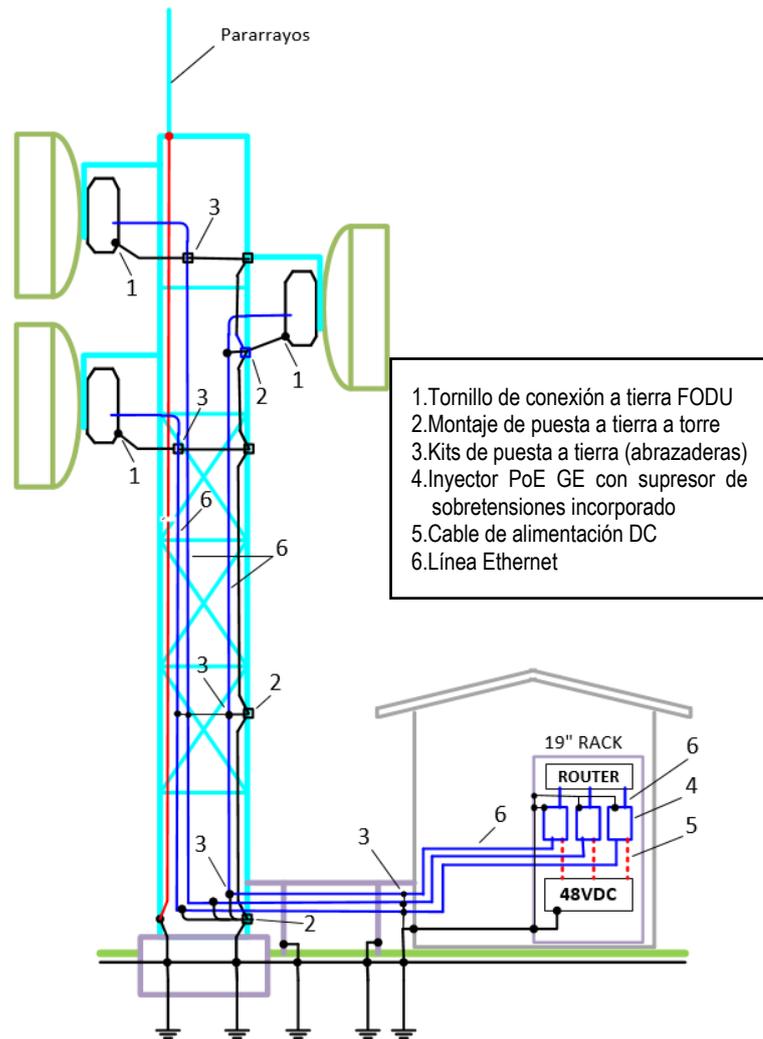


Figura 4.35: Esquema general para nodo de estación Simaurco

4.5 Diseño lógico y simulación de la red

Mediante el uso del programa Packet Tracer de Cisco se experimenta con el diseño de la red, al realizar simulaciones de configuración de dispositivos, prueba de comandos de red y análisis del comportamiento como si fuera real; para ello se han efectuado varias actividades que involucran los siguientes aspectos: determinar una jerarquía de red, seleccionar los dispositivos de red a usar, desarrollar un plan de direccionamiento IPv4 basado en redes privadas, definir protocolos etc., que luego son configurados y validados mediante pruebas de conectividad. Cabe mencionar que, si bien el diseño y la simulación de la red están soportados en el software y dispositivos Cisco, no se excluye el uso de equipos de otra marca para cuando la empresa ELEPCO S.A. decida su implementación, de esta manera se evita la dependencia que pueda llegar a existir de un solo fabricante.

4.5.1 Software de simulación de redes

Packet Tracer es un producto oficial de Cisco para simular redes ethernet, capaz de experimentar con el comportamiento de la red. Dispone de un conjunto de protocolos de la capa de aplicación simulados, como: FTP (File Transfer Protocol), DNS (Domain Name System), DHCP (Dinamic Host Configuration Protocol), TELNET (para acceder a equipos remotos), SSH (Secure SHell), entre otros, al igual que protocolos de enrutamiento básico como RIP (Routing Information Protocol), OSPF (Open Shortest Path First) y EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) [70].

Provee una simulación de redes funcionales utilizando solo un pequeño número de características encontradas en el hardware real de un equipo que esté corriendo una versión de Cisco IOS (Internetwork Operating System), el cual permite ejecutar todos los comandos de configuración y hacer simulaciones de conectividad (pings, traceroutes) accediendo a las consolas de los dispositivos [70].

En general, en Packet Tracer se realizan configuraciones de VLANs, EtherChannel, telefonía IP, asignación de IPs a las interfaces, protocolo de enrutamiento OSPF y dispositivos finales; posteriormente se realiza las pruebas de conectividad.

4.5.2 Dispositivos de red

Los dispositivos de red que intervienen en el diseño lógico son Routers, switches y dispositivos finales (PCs, teléfonos IP).

Router

Un enrutador actúa hasta el nivel de red. Cuando un enrutador recibe un mensaje de una red dirigida a otra red, el enrutador es el responsable de encontrar el mejor camino posible para dirigir el mensaje. Este dispositivo WAN hace uso de ciertos algoritmos de enrutamiento para encontrar la ruta que sea más óptima, es decir, que la transferencia de información puede tomar diversas rutas, dependiendo del estado de la red [71].

El router realiza sus funciones en el nivel 3 (Capa de Red) del modelo OSI, utilizando una tabla de enrutamiento en donde están todas las direcciones de la red. Dicha tabla tiene una estructura que contiene varios campos donde se describe la información necesaria para realizar una transferencia, estos campos son [71]:

- **Identificador de red**, que es la dirección de red de un computador.

- **Dirección de reenvíos de información**, que puede ser la dirección de la interfaz.
- **Interface**, que es un número de puerto u otra clase de identificador lógico.
- **La métrica**, que describe cual es el camino más adecuado para guardarlo en la tabla de enrutamiento.

Switch

Los conmutadores son componentes que cumplen su función en el nivel de enlace, como los puentes y surgen como una evolución de los mismos. Este dispositivo puede ser de dos tipos, el que trabaja en el nivel dos (Capa de enlace de datos) del modelo OSI y el que realiza además varias funciones de los enrutadores, este último hace sus funciones del nivel dos, pero a la vez puede actuar sobre las direcciones del nivel tres, como si fuese un enrutador, permitiendo de esta manera obtener mejores velocidades de transferencia que los routers [71].

Actualmente, la utilización de switches en un entorno LAN es muy conveniente porque permiten la utilización de segmentos dedicados en un entorno virtual libre de colisiones, lo que maximiza el ancho de banda.

Dispositivos finales

Los distintos equipos informáticos que se conectan a una red se clasifican como hosts que también se denominan dispositivos finales, clientes o simplemente terminales. Un dispositivo final consta de varios elementos de hardware como: la placa base, unidad de almacenamiento, CPU, memoria RAM, además requieren de un sistema operativo y varias aplicaciones que son gestionados por los usuarios que lo demandan. Para enviar y recibir información estos dispositivos pueden incluir un tipo de tarjeta denominado NIC a la cual se debe asignar una dirección IP para que se pueda identificar dentro de una red determinada [72].

Los dispositivos terminales que se tienen dentro de la red LAN de cada una de las sub estaciones son: los IEDs (Dispositivos Electrónicos Inteligentes), teléfonos IP y cámaras de seguridad IP, mismos que serán representados en la topología de red de Packet Tracer mediante una PC.

4.5.3 Jerarquía de red

La jerarquía de red de Cisco Systems sugiere los modelos de capas de dos y tres niveles para el diseño de la red, lo que facilita la comprensión de la función de cada dispositivo

en cada nivel. Las tres capas fundamentales dentro del diseño son las capas de acceso, de distribución y de núcleo, como se ilustra en la Figura 4.36.

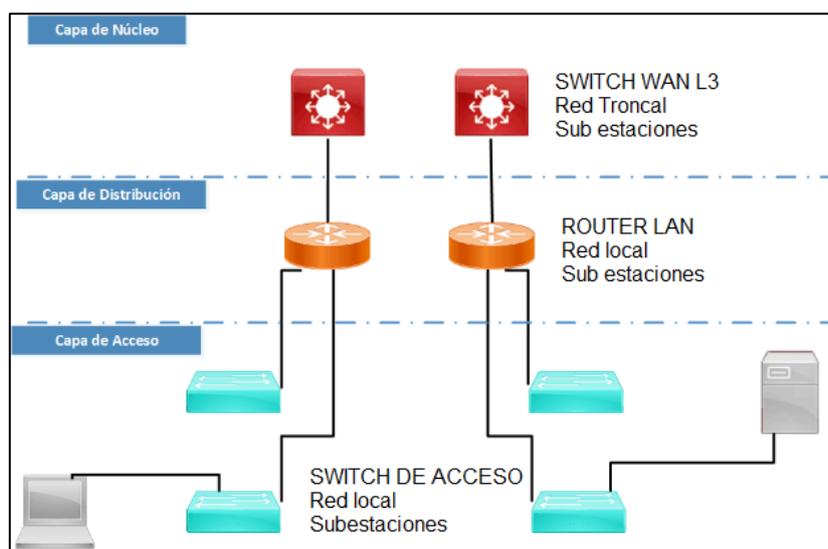


Figura 4.36: Modelo jerárquico de tres capas de Cisco [73]

- **Capa de acceso:** Representa el perímetro de la red, por donde entra o sale el tráfico, en este nivel se encuentran los switches de acceso, cuya función principal es proporcionar acceso de red a los usuarios finales. Estos switches se conectan con los switches de la capa de distribución, que implementan tecnologías de base de red como el enrutamiento, la calidad de servicio y la seguridad [74].
- **Capa de distribución:** Interactúa entre la capa de acceso y la capa de núcleo para cumplir varias funciones como, enrutamiento, filtrado y acceso a la WAN, es decir define las políticas de la red. Al mismo tiempo que garantiza que los paquetes se enruten correctamente entre las subredes y las VLAN que están operando en una red [74].
- **Capa de núcleo central:** Es el backbone de una red, encargada de transportar grandes cantidades de tráfico de manera confiable y rápida, para conseguir este propósito es importante no implementar políticas de red que retrasen el envío de los paquetes. El tráfico transportado a través del núcleo es de todos los usuarios, por lo que la velocidad y la latencia son unos de los aspectos importantes a considerar en el diseño de una red [75].

De acuerdo con las definiciones de capas, los modelos de la jerarquía de red son:

Modelo de tres niveles o capas: En este modelo las capas de acceso, de distribución y de núcleo están separadas. Es un modelo de red escalable, rentable y eficaz, utilizado en redes de gran tamaño.

Modelo de dos niveles o capas: Cuando no existe una red física extensa, no es necesario mantener las capas de núcleo y de distribución separadas, es decir las funciones de ambas capas puede ser implementada mediante un único dispositivo. A este modelo se le denomina también “diseño de núcleo contraído”, que es recomendable para ubicaciones más pequeñas como por ejemplo de un solo edificio [74].

Para el diseño se ha considerado el modelo de tres niveles, puesto que se desea simplificar las funciones de los dispositivos en cada nivel, con la finalidad de obtener un mejor desempeño de la red; por tanto, la división de las capas será de la siguiente manera:

- **Capa de acceso:** Consiste en un switch de capa 2, en donde se conectarán todos los dispositivos finales de la sub estación, se crearán VLANs para separar los tres tipos de tráfico, de telemetría, VoIP y video IP.
- **Capa de distribución:** Se utiliza un router para habilitar el servicio de telefonía IP, configuración de un puerto troncal con encapsulación para el enrutamiento de las VLANs y configuración del protocolo OSPF para enrutar el tráfico hacia la red WAN.
- **Capa de núcleo:** Consiste en un switch de capa tres que actuará como backbone (red WAN) para el transporte de datos hacia las demás redes, utilizando el protocolo de enrutamiento OSPF.

4.5.4 Configuración de parámetros

Para la configuración de los dispositivos de red se desarrollan las siguientes actividades:

1. Nombramiento de equipos

Para identificar cada uno de los equipos en la red, se han asignado sus nombres utilizando el código de acuerdo a la función que desempeña más el nombre o código del nodo (ubicación de los equipos), según como se indica en la Tabla 4.29.

Tabla 4.29: Códigos para nombramiento de equipos

Función de los equipos		Ubicación de los equipos (Nodo)	
Código	Descripción	Nombre	Código
RO	Router	Centro de Control	CCL
SW	Switch	Calvario	01CV
IED	Equipo de medición	San Rafael	02SR
PHO	Teléfono IP	Salcedo	03SA
CAM	Cámara IP	Mulaló	04ML
ServerSCADA	Servidor Scada	Lasso	05LA
ServerNVR	Grabador de video	La Cocha	06CH
XOS	Consola de operación	Sigchos	08SG
		La Maná	09MA
		Pujilí	10PJ
		Illuchi 1	4111
		Illuchi 2	4212
		Simaurco	

De acuerdo a la codificación de la Tabla 4.29 y considerando el modelo jerárquico de tres capas, se presenta como ejemplo el nombramiento que tendrán los equipos del nodo Calvario, tal como se puede apreciar en la Tabla 4.30 y Figura 4.37. Con el mismo formato se nombrará a los dispositivos de los demás nodos.

Tabla 4.30: Nomenclatura de equipos nodo Calvario

Dispositivo	Nomenclatura	Capa
Switch de la red WAN	SWCalvario	Núcleo
Router de la red LAN	RO01CV	Distribución
Switch de red LAN	SW01CV	Acceso
Equipo de medición/protección	IED01CV	
Teléfono IP	PHO01CV	
Cámara IP	CAM01CV	

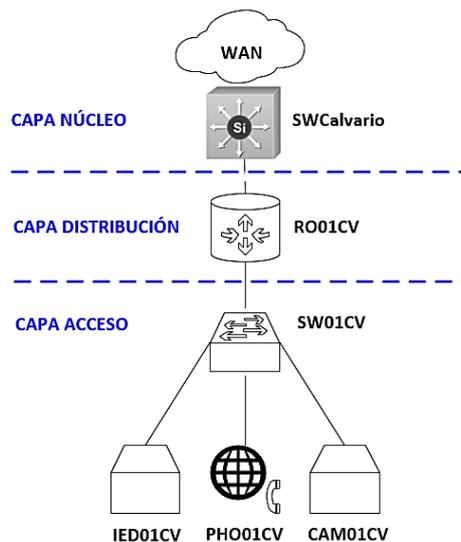


Figura 4.37: Nomenclatura de equipos Calvario

2. Direccionamiento IPv4

Se usan direcciones de redes privadas de clases A, B y C, que serán divididas en redes más pequeñas (subnetting) utilizando el método de VLSM (Variable Length Subnet Mask), que es compatible con CIDR (Classless Inter-Domain Routing), lo que significa que los protocolos de enrutamiento pueden enviar actualizaciones a sus vecinos de redes con VLSM. En la Tabla 4.31 se especifica el rango de direcciones privadas a utilizar.

Tabla 4.31: Direcciones IPv4 privadas

Clase	Dirección	Máscara	Uso
A	10.0.0.0	255.0.0.0	Red de VoIP Red de cámaras IP
B	172.17.0.0	255.255.0.0	Red SCADA
C	192.168.100.0	255.255.255.0	Red WAN

Por consiguiente, el direccionamiento para cada una de las redes se detalla a continuación:

- **Red de VoIP y Red de cámaras IP:** En cada sub estación se contemplan 2 teléfonos IP y 3 cámaras IP, por lo que, la red de clase A 10.0.0.0 /8 se “subnetea” para obtener redes más pequeñas de 8 hosts, tanto para la red VoIP como para la red de cámaras IP, según como se detalla en la Tabla 4.32 y Tabla 4.33 respectivamente.

Tabla 4.32: Direccionamiento para la red VoIP

Ubicación	Red	Máscara	Puerta de enlace	Primera dirección usable	Última dirección usable	VLAN ID
Centro de control	10.0.0.0/29	255.255.255.248	10.0.0.1	10.0.0.2	10.0.0.6	30
Calvario	10.0.0.8/29	255.255.255.248	10.0.0.9	10.0.0.10	10.0.0.14	31
San Rafael	10.0.0.16/29	255.255.255.248	10.0.0.17	10.0.0.18	10.0.0.22	32
Salcedo	10.0.0.24/29	255.255.255.248	10.0.0.25	10.0.0.26	10.0.0.30	33
Mulaló	10.0.0.32/29	255.255.255.248	10.0.0.33	10.0.0.34	10.0.0.38	34
Lasso	10.0.0.40/29	255.255.255.248	10.0.0.41	10.0.0.42	10.0.0.46	35
La Cocha	10.0.0.48/29	255.255.255.248	10.0.0.49	10.0.0.50	10.0.0.54	36
Sigchos	10.0.0.56/29	255.255.255.248	10.0.0.57	10.0.0.58	10.0.0.62	37
La Maná	10.0.0.64/29	255.255.255.248	10.0.0.65	10.0.0.66	10.0.0.70	38
Pujilí	10.0.0.72/29	255.255.255.248	10.0.0.73	10.0.0.74	10.0.0.78	39
Illuchi 1	10.0.0.80/29	255.255.255.248	10.0.0.81	10.0.0.82	10.0.0.86	40
Illuchi 2	10.0.0.88/29	255.255.255.248	10.0.0.89	10.0.0.90	10.0.0.94	41

Tabla 4.33: Direccionamiento para la red de cámaras IP

Ubicación	Red	Máscara	Puerta de enlace	Primera dirección usable	Ultima dirección usable	VLAN ID
Centro de control	10.0.1.0/29	255.255.255.248	10.0.1.1	10.0.1.2	10.0.1.6	50
Calvario	10.0.1.8/29	255.255.255.248	10.0.1.9	10.0.1.10	10.0.1.14	51
San Rafael	10.0.1.16/29	255.255.255.248	10.0.1.17	10.0.1.18	10.0.1.22	52
Salcedo	10.0.1.24/29	255.255.255.248	10.0.1.25	10.0.1.26	10.0.1.30	53
Mulaló	10.0.1.32/29	255.255.255.248	10.0.1.33	10.0.1.34	10.0.1.38	54
Lasso	10.0.1.40/29	255.255.255.248	10.0.1.41	10.0.1.42	10.0.1.46	55
La Cocha	10.0.1.48/29	255.255.255.248	10.0.1.49	10.0.1.50	10.0.1.54	56
Sigchos	10.0.1.56/29	255.255.255.248	10.0.1.57	10.0.1.58	10.0.1.62	57
La Maná	10.0.1.64/29	255.255.255.248	10.0.1.65	10.0.1.66	10.0.1.70	58
Pujilí	10.0.1.72/29	255.255.255.248	10.0.1.73	10.0.1.74	10.0.1.78	59
Illuchi 1	10.0.1.80/29	255.255.255.248	10.0.1.81	10.0.1.82	10.0.1.86	60
Illuchi 2	10.0.1.88/29	255.255.255.248	10.0.1.89	10.0.1.90	10.0.1.94	61

- **Red SCADA:** Dado que la red scada tiene un número estimado de 15 equipos por sub estación /ubicación, la red de clase B 172.17.0.0/16 se “subnetea” en redes más pequeñas de 32 hosts, tal como se muestra en la Tabla 4.34.

Tabla 4.34: Direccionamiento para la red SCADA

Ubicación	Red	Máscara	Puerta de enlace	Primera dirección usable	Ultima dirección usable	VLAN ID
Centro de control	172.17.70.0/27	255.255.255.224	172.17.70.1	172.17.70.2	172.17.70.30	10
Reserva	172.17.70.32/27	255.255.255.224	172.17.70.33	172.17.70.34	172.17.70.62	-
Reserva	172.17.70.64/27	255.255.255.224	172.17.70.65	172.17.70.66	172.17.70.94	-
Calvario	172.17.70.96/27	255.255.255.224	172.17.70.97	172.17.70.98	172.17.70.126	11
San Rafael	172.17.70.128/27	255.255.255.224	172.17.70.129	172.17.70.130	172.17.70.158	12
Salcedo	172.17.70.160/27	255.255.255.224	172.17.70.161	172.17.70.162	172.17.70.190	13
Mulaló	172.17.70.192/27	255.255.255.224	172.17.70.193	172.17.70.194	172.17.70.222	14
Lasso	172.17.70.224/27	255.255.255.224	172.17.70.225	172.17.70.226	172.17.70.254	15
La Cocha	172.17.71.0/27	255.255.255.224	172.17.71.1	172.17.71.2	172.17.71.30	16
Sigchos	172.17.71.32/27	255.255.255.224	172.17.71.33	172.17.71.34	172.17.71.62	17
La Maná	172.17.71.64/27	255.255.255.224	172.17.71.65	172.17.71.66	172.17.71.94	18
Pujilí	172.17.71.96/27	255.255.255.224	172.17.71.97	172.17.71.98	172.17.71.126	19
Illuchi 1	172.17.71.128/27	255.255.255.224	172.17.71.129	172.17.71.130	172.17.71.158	20
Illuchi 2	172.17.71.160/27	255.255.255.224	172.17.71.161	172.17.71.162	172.17.71.190	21

- **Red WAN:** La red WAN lo constituyen los segmentos de red conformados entre cada uno de los routers y switches de capa 3, que permiten la interconexión de las redes LAN de sub estaciones con el centro de control y viceversa. Dado que para cada segmento WAN se requieren dos direcciones IP, la red de clase C 192.168.100 0/24 se “subnetea” en redes más pequeñas de 4 hosts, como se indica en la Tabla 4.35.

Tabla 4.35: Direccionamiento para la red WAN

Segmento WAN	Red	Máscara	Primera dirección usable	Segunda dirección usable
SWCalvario-RO01CV	192.168.100.0/30	255.255.255.252	192.168.100.1	192.168.100.2
SWSanRafael-RO02SR	192.168.100.4/30	255.255.255.252	192.168.100.5	192.168.100.6
SWSalcedo-RO03SA	192.168.100.8/30	255.255.255.252	192.168.100.9	192.168.100.10
SWMulalo-RO04ML	192.168.100.12/30	255.255.255.252	192.168.100.13	192.168.100.14
SWLasso-RO05LA	192.168.100.16/30	255.255.255.252	192.168.100.17	192.168.100.18
SWLaCocha-RO06CH	192.168.100.20/30	255.255.255.252	192.168.100.21	192.168.100.22
SWSigchos-RO08SG	192.168.100.24/30	255.255.255.252	192.168.100.25	192.168.100.26
SWLaMana-RO09MA	192.168.100.28/30	255.255.255.252	192.168.100.29	192.168.100.30
SWPujili-RO10PJ	192.168.100.32/30	255.255.255.252	192.168.100.33	192.168.100.34
SWIlluchi1-RO4111	192.168.100.36/30	255.255.255.252	192.168.100.37	192.168.100.38
SWIlluchi2-RO4212	192.168.100.40/30	255.255.255.252	192.168.100.41	192.168.100.42
SWCalvario-SWControlControl	192.168.100.44/30	255.255.255.252	192.168.100.45	192.168.100.46
SWCalvario-SWSanRafael	192.168.100.48/30	255.255.255.252	192.168.100.49	192.168.100.50
SWCalvario-SWLaCocha	192.168.100.52/30	255.255.255.252	192.168.100.53	192.168.100.54
SWLaCocha-SWMulalo	192.168.100.56/30	255.255.255.252	192.168.100.57	192.168.100.58
SWMulalo-SWLasso	192.168.100.60/30	255.255.255.252	192.168.100.61	192.168.100.62
SWLasso-SWPujili	192.168.100.64/30	255.255.255.252	192.168.100.65	192.168.100.66
SWPujili-SWSalcedo	192.168.100.68/30	255.255.255.252	192.168.100.69	192.168.100.70
SWSalcedo-SWSanRafael	192.168.100.72/30	255.255.255.252	192.168.100.73	192.168.100.74
SWControlControl-ROCCCL	192.168.100.76/30	255.255.255.252	192.168.100.77	192.168.100.78
SWControlControl-SWSimaurco	192.168.100.80/30	255.255.255.252	192.168.100.81	192.168.100.82
SWSimaurco-SWLaMana	192.168.100.84/30	255.255.255.252	192.168.100.85	192.168.100.86
SWSimaurco-SWSigchos	192.168.100.88/30	255.255.255.252	192.168.100.89	192.168.100.90
SWControlControl-SWIlluchi2	192.168.100.92/30	255.255.255.252	192.168.100.93	192.168.100.94
SWIlluchi2-SWIlluchi1	192.168.100.96/30	255.255.255.252	192.168.100.97	192.168.100.98

3. Topología lógica de red

En Packet Tracer se procede al armado de la topología lógica con cada uno de los dispositivos de red; se incluye el nombramiento de VLANs y las correspondientes direcciones IP, tanto para la red LAN de cada sub estación, la LAN del centro de control, como para la red WAN que transporta los datos desde las sub estaciones hacia el centro de control y viceversa. En la Figura 4.38 se ilustra la topología completa de la red, donde se pueden identificar la disposición de los equipos, las áreas estándar correspondientes a cada sub estación, el área 0 que corresponde a la red troncal y el nombramiento que se le ha dado a cada equipo dentro de la topología; adicionalmente, el equipo denominado “CPE – TRANSELECTRIC” “SW-COTOPAXI” permite la conectividad con el sistema SCADA/ADMS de los centros de datos nacionales (CDNs) de Quito y Guayaquil.

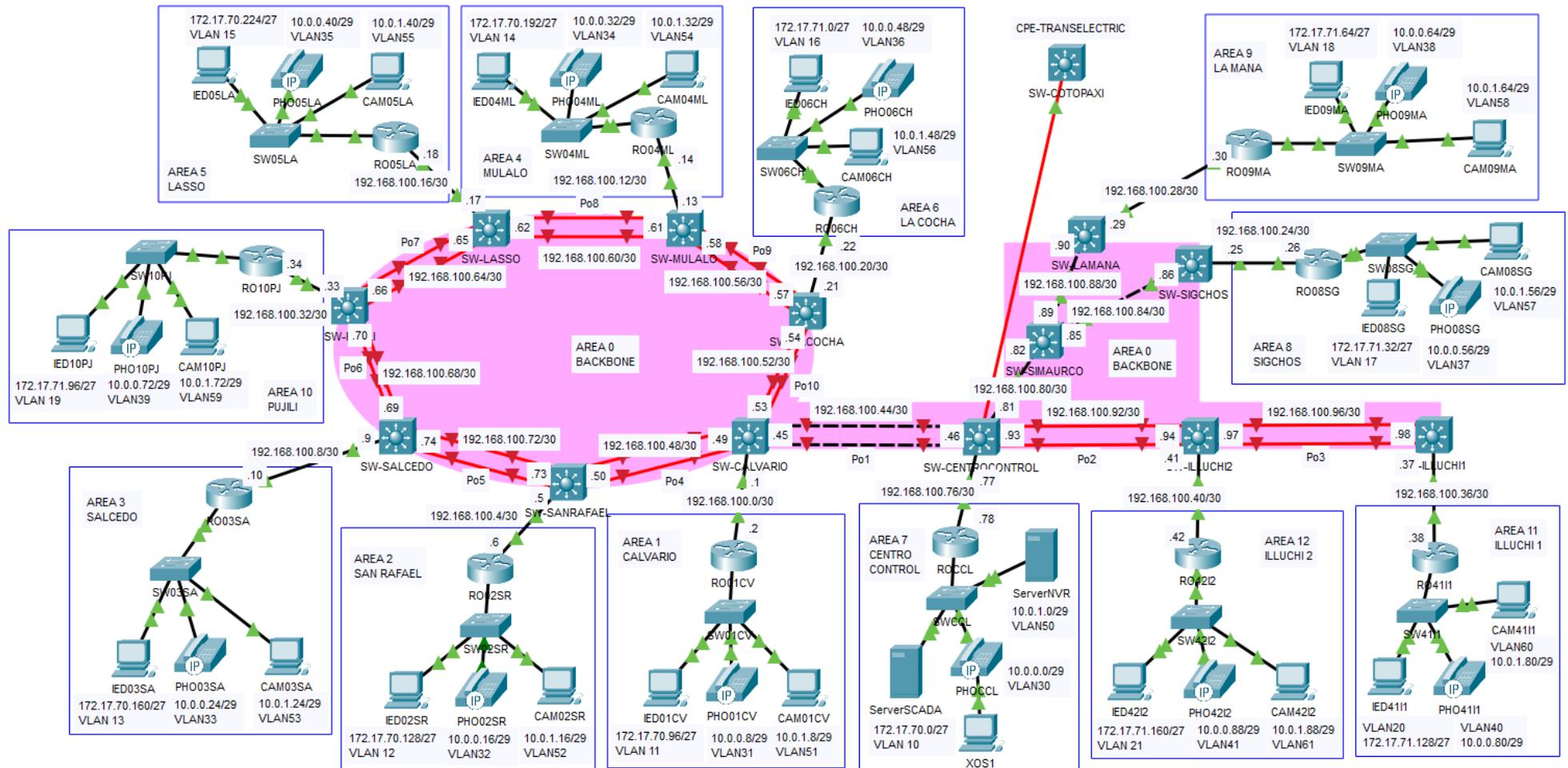


Figura 4.38: Topología lógica de red

4. Configuración de SWITCH DE ACCESO

En todos y cada uno de los switches de acceso se configuran tres VLANs (Virtual LAN Area Network), para los tres tipos de terminales (IEDs, teléfonos IP, cámaras IP).

Para tener claro la estructura de la red en cada nodo (sub estación), se presenta en la Figura 4.39 un esquema ampliado de la topología del nodo El Calvario.

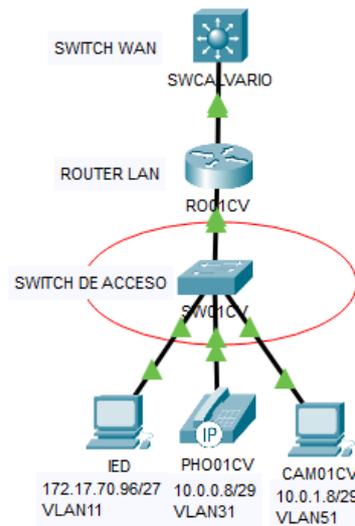


Figura 4.39: Topología lógica El Calvario

- **VLANs:** Permite crear redes lógicas independientes para agruparlos en un solo dominio de difusión. Cada VLAN creada tendrá una numeración que es de acuerdo a la Tabla 4.32, Tabla 4.33 y Tabla 4.34 (Direccionamiento IP). En la Figura 4.40 se visualizan las VLANs 11 (IEDs), 31 (PHO_IP) y 51 (CAM_IP).

```
SW01CV#  
Building configuration...  
[OK]  
SW01CV#  
SW01CV#  
SW01CV#sh vlan brief
```

VLAN Name	Status	Ports
1 default	active	Fa0/1, Fa0/2, Fa0/3, Fa0/4 Fa0/5, Fa0/6, Fa0/7, Fa0/8 Fa0/9, Fa0/10, Fa0/11, Fa0/12 Fa0/13, Fa0/14, Fa0/15, Fa0/16 Fa0/17, Fa0/18, Fa0/19, Fa0/20 Fa0/21, Fa0/22, Fa0/23, Fa0/24 Gig0/1, Gig0/2
11 IEDs	active	
31 PHO_IP	active	
51 CAM_IP	active	
1002 fddi-default	active	
1003 token-ring-default	active	
1004 fddinet-default	active	
1005 trnet-default	active	

```
SW01CV#
```

Figura 4.40: Resumen de VLANs creadas en el switch SW01CV de Calvario

- **Puertos de acceso:** Permite transportar tráfico solamente desde y hacia la VLAN específica asignada a este. Estos puertos se usan para conectar dispositivos terminales [76]. En la Figura 4.41 se puede observar los puertos de acceso asignados a las VLANs 11, 31 y 51.

```

SW01CV#show vlan

```

VLAN Name	Status	Ports
1 default	active	Fa0/16, Fa0/17, Fa0/21, Fa0/22 Fa0/23, Fa0/24, Gig0/1, Gig0/2
11 IEDs	active	Fa0/1, Fa0/2, Fa0/3, Fa0/4 Fa0/5, Fa0/6, Fa0/7, Fa0/8 Fa0/9, Fa0/10, Fa0/11, Fa0/12 Fa0/13, Fa0/14, Fa0/15
31 PHO_IP	active	Fa0/16, Fa0/17
51 CAM_IP	active	Fa0/18, Fa0/19, Fa0/20
1002 fddi-default	active	
1003 token-ring-default	active	
1004 fddinet-default	active	
1005 trnet-default	active	

VLAN	Type	SAID	MTU	Parent	RingNo	BridgeNo	Stp	BrdgMode	Trans1	Trans2
1	enet	100001	1500	-	-	-	-	-	0	0
11	enet	100011	1500	-	-	-	-	-	0	0
31	enet	100031	1500	-	-	-	-	-	0	0
51	enet	100051	1500	-	-	-	-	-	0	0

Figura 4.41: Puertos asignados a cada VLAN

- **Puerto troncal:** Permite el paso de tramas de datos de varias VLAN. Estas tramas de datos se diferencian por etiquetas 802.1Q. los puertos troncales se usan para conectar switch, routers, cortafuegos y puntos de acceso [76]. En la Figura 4.42 se muestra el puerto Gigabit Ethernet 0/2 habilitado en modo troncal.

```

Port Vlans allowed and active in management domain
Gig0/2 1,11,31,51

Port Vlans in spanning tree forwarding state and not pruned
Gig0/2 none

SW01CV#
SW01CV#
SW01CV#
SW01CV#
SW01CV#show interface trunk

```

Port	Mode	Encapsulation	Status	Native vlan
Gig0/2	on	802.1q	trunking	1

```

Port Vlans allowed on trunk
Gig0/2 1-1005

Port Vlans allowed and active in management domain
Gig0/2 1,11,31,51

Port Vlans in spanning tree forwarding state and not pruned
Gig0/2 1,11,31,51

SW01CV#

```

Figura 4.42: Puerto configurado en modo troncal

Los comandos de configuración emitidos en el CLI (Command Line Interface) del switch, se detallan en el anexo 11.

5. Configuración de ROUTER

En el ROUTER LAN que se muestra en la topología de la Figura 4.43, se configuran las sub interfaces para cada VLAN que se puedan enrutar, el protocolo DHCP para asignar direcciones a los teléfonos IP, el servicio de telefonía IP, la interface que conecta al switch WAN y el protocolo de enrutamiento OSPF.

Las direcciones IP y la numeración de las VLANs a utilizar en la configuración, son de acuerdo a la Tabla 4.32, Tabla 4.33, Tabla 4.34 y Tabla 4.35.

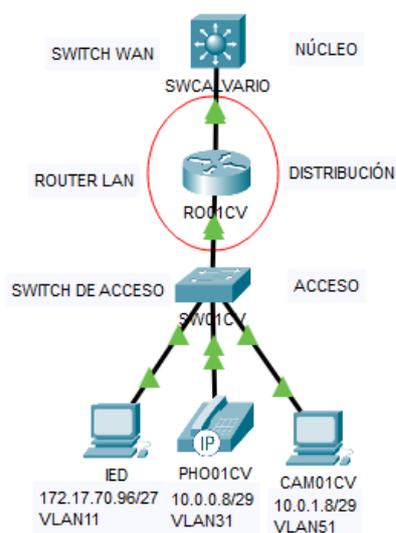


Figura 4.43: Topología lógica El Calvario

Los parámetros que se configuran a continuación, en general, es aplicable para los routers de todos los nodos que conforman la red, existiendo obviamente variaciones en las direcciones IP y la numeración de VLANs. Como ejemplo se realiza la configuración en el equipo de El Calvario.

- **Sub interfaces para VLANs:** Se utiliza el método de “router on a stick”, que consiste en utilizar una sola interfaz física de un router conectado al switch mediante un enlace troncal, para enrutar los paquetes de varias VLANs; para esto se debe configurar las IPs en varias interfaces virtuales (sub-interfaces) alojadas en la interfaz física [77]. En la Figura 4.44 se visualiza las sub interfaces para las VLANs 11 (IEDs), 31 (PHO_IP) y 51 (CAM_IP).

```
!
line con 0
!
line aux 0
!
line vty 0 4
  login
!
!
!
end

R001CV#sh run | se interface GigabitEthernet0/2.
interface GigabitEthernet0/2.11
  encapsulation dot1Q 11
  ip address 172.17.70.97 255.255.255.224
interface GigabitEthernet0/2.31
  encapsulation dot1Q 31
  ip address 10.0.0.9 255.255.255.248
interface GigabitEthernet0/2.51
  encapsulation dot1Q 51
  ip address 10.0.1.9 255.255.255.248
R001CV#
```

Figura 4.44: Configuración de sub-interfaces

- **Protocolo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol):** Es un protocolo cliente/servidor que proporciona automáticamente un host con su dirección IP y otra información relacionada, como máscara de subred y puerta de enlace [78]. El DHCP es usado solamente por los teléfonos IP para obtener una dirección IP, mientras que para los IEDs y cámaras IP la asignación de direcciones es de forma manual.

En la Figura 4.45 se puede observar que se ha creado un pool de direcciones utilizando la red 10.0.0.8/29, de donde se ha excluido la IP 10.0.0.9 que es la puerta de enlace, además, la instrucción “option 150 ip 10.0.0.9” permite a los teléfonos VoIP obtener la IP del servidor de telefonía donde van a registrarse.

```
!
ephone 1
  device-security-mode none
  mac-address 0001.42B3.508E
!
line con 0
!
line aux 0
!
line vty 0 4
  login
!
!
!
end

R001CV#sh run | se dhcp
ip dhcp excluded-address 10.0.0.9
ip dhcp pool VOIP_01CV
  network 10.0.0.8 255.255.255.248
  default-router 10.0.0.9
  option 150 ip 10.0.0.9
R001CV#
```

Figura 4.45: DHCP para la red de teléfonos IP de El Calvario

- **Servicio de telefonía**

El servicio de telefonía IP permite comunicar las distintas sub estaciones de ELEPCOSA con el centro de control, para el efecto, dicho servicio se puede configurar con la numeración de líneas que se propone en la Tabla 4.36.

Tabla 4.36: Directorio telefónico

Ubicación	Línea 1	Línea 2
Centro de control	7001	7002
Calvario	1001	1002
San Rafael	2001	2002
Salcedo	3001	3002
Mulaló	4001	4002
Lasso	5001	5002
La Cocha	6001	6002
Sigchos	8001	8002
La Maná	9001	9002
Pujilí	1501	1502
Illuchi 1	2501	2502
Illuchi 2	3501	3502

A continuación, se procede con la configuración de los siguientes parámetros:

Habilitar el servicio de telefonía: La Figura 4.46 muestra que el servicio ha sido habilitado para un número máximo de 2 teléfonos, y un máximo de dos directorios que son asignados a los equipos a través de la IP 10.0.0.9 puerto 2000. La asignación de las líneas es de forma automática en el rango de 1 a 2.

```

!
ephone 1
  device-security-mode none
  mac-address 0001.42B3.508E
!
line con 0
!
line aux 0
!
line vty 0 4
  login
!
!
!
end

RO01CV#sho run | se tele
telephony-service
max-ephones 2
max-dn 2
ip source-address 10.0.0.9 port 2000
auto assign 1 to 2
RO01CV#

```

Figura 4.46: Habilitar servicio de telefonía en el router RO01CV

Crear números de directorios: se asignan los respectivos números de línea a los directorios 1 y 2, según la información que consta en la Tabla 4.36. En la Figura 4.47 se puede observar lo números asignados a las dos líneas.

```
%IPPHONE-6-REGISTER: ephone-1 IP:10.0.0.10 Socket:2 DeviceType:Phone
has registered.

R001CV(config-ephone-dn)#
R001CV(config-ephone-dn)#do wr
Building configuration...
[OK]
R001CV(config-ephone-dn)#
R001CV(config-ephone-dn)#end
R001CV#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

R001CV#show run | se ephone
max-ephones 2
ephone-dn 1
  number 1001
ephone-dn 2
  number 1002
ephone 1
  device-security-mode none
  mac-address 0001.42B3.508E
  type 7960
  button 1:1
R001CV#
```

Figura 4.47: Asignación de números de líneas

Enrutamiento de líneas telefónicas: Para poder establecer una comunicación telefónica desde el centro de control con una sub estación, se debe realizar un enrutamiento a nivel de telefonía IP, utilizando un “dial-peer” de VoIP para identificar los puntos finales (endpoints) de origen y final de los segmentos de llamada, además de indicar el patrón de destino que en este caso son los dos primeros dígitos de la línea seguido de dos puntos, y por último se debe especificar una sesión objetivo con el Gateway destino indicando su IP [79]. La Figura 4.48 muestra esta configuración.

```
R001CV>
R001CV>en
R001CV#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R001CV(config)#dial
R001CV(config)#dial-peer voice 7 voip
R001CV(config-dial-peer)#dest
R001CV(config-dial-peer)#destination-pattern 70..
R001CV(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.78
R001CV(config-dial-peer)#do wr
Building configuration...
[OK]
R001CV(config-dial-peer)#
R001CV(config-dial-peer)#end
R001CV#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

R001CV#show run | se dial
dial-peer voice 7 voip
  destination-pattern 70..
  session target ipv4:192.168.100.78
R001CV#
```

Figura 4.48: Enrutamiento de línea telefónica

- **Protocolo de enrutamiento OSPF**

OSPF, Open Shortest Path First (Abrir el camino más corto primero) es un protocolo de enrutamiento de Gateway interior (IGP) del tipo de estado de enlace, que utiliza el algoritmo Dijkstra para el cálculo de rutas basado en la primera ruta más corta (SPF); donde el routing trabaja dentro de un sistema autónomo (AS), es decir bajo una administración común como una empresa. El AS se puede dividir en áreas, que permite disminuir el tráfico de enrutamiento y reducir el tamaño de la base de datos de estado de enlace para cada área. Los routers de la misma área tienen una base de datos de estado de enlace idéntica que describe la topología del área [80]. Las áreas a utilizar son: Área 0 (Backbone) y Área estándar.

Área 0: Definida en redes jerárquicas como núcleo, cuya función principal es la transmisión rápida y eficaz de los paquetes IP, y es el área al cual se conectan directamente todas las demás áreas [81].

Área estándar: Todos los routers de este tipo de área conocen los demás routers del área y tienen la misma base de datos topológica. El tráfico que se transfiere de un área estándar, debe atravesar el área de red troncal (área 0) para alcanzar otras áreas [81].

Para la configuración del protocolo OSPF en los routers LAN (capa de distribución), se han definido áreas estándar para cada nodo según la topología ilustrada en la Figura 4.38, y que se resume en la Tabla 4.37, en donde consta también la nomenclatura de los ROUTERS LAN, así como sus router id para ser usados en el proceso OSPF.

Tabla 4.37: Áreas estándar OSPF

Nodo (Ubicación)	Área	ROUTER LAN	ROUTER ID OSPF
Centro de control	7	ROCCL	20.20.20.20
Calvario	1	RO01CV	21.21.21.21
San Rafael	2	RO02SR	22.22.22.22
Salcedo	3	RO03SA	23.23.23.23
Mulaló	4	RO04ML	24.24.24.24
Lasso	5	RO05LA	25.25.25.25
La Cocha	6	RO06CH	26.26.26.26
Sigchos	8	RO08SG	27.27.27.27
La Maná	9	RO09MA	28.28.28.28
Pujilí	10	RO10PJ	29.29.29.29
Illuchi 1	11	RO41I1	30.30.30.30
Illuchi 2	12	RO42I2	31.31.31.31

A manera de ejemplo, se presenta la configuración del protocolo OSPF en el ROUTER LAN (RO01CV) de El Calvario, que es aplicado de la misma forma en los demás nodos de la red, utilizando el direccionamiento IP de la Tabla 4.32, Tabla 4.33, Tabla 4.34 y Tabla 4.35.

```
option 150 ip 10.0.0.9
!
!

RO01CV#sh run | se ospf
router ospf 1
router-id 21.21.21.21
log-adjacency-changes
passive-interface GigabitEthernet0/2
network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 1
network 172.17.70.96 0.0.0.31 area 1
network 10.0.0.8 0.0.0.7 area 1
network 10.0.1.8 0.0.0.7 area 1
RO01CV#sh run | se interface
interface GigabitEthernet0/0
no ip address
duplex auto
speed auto
shutdown
interface GigabitEthernet0/1
ip address 192.168.100.2 255.255.255.252
duplex auto
speed auto
interface GigabitEthernet0/2
```

Figura 4.49: Configuración de OSPF Área 1

En la Figura 4.49 se muestra la configuración realizada en base a la topología del nodo Calvario, donde se ha creado un ID de proceso que puede estar entre 1 y 65535, en este caso es 1, un router- id con IP 21.21.21.21 para participar en el domino OSPF, y se han declarado todas las redes que están dentro del área 1, que luego son distribuidas hacia las demás áreas. Previamente se ha asignado la IP 192.168.100.2 máscara 255.255.255.252 en la interfaz GigabitEthernet0/1 para establecer conexión con el SWITCH WAN.

6. Configuración de SWITCH DE CAPA TRES

El SWITCH WAN cumplen su función en la red trocal (backbone), enlazando las áreas estándar con el área 0 para permitir la comunicación de las redes LAN de cada uno de los nodos (sub estaciones) con la red LAN del centro de control. Para conseguir este fin se realiza la configuración del protocolo de enrutamiento OSPF en dicho switch; además, dada la importancia de mantener la disponibilidad de la red se ha considerado usar la tecnología “EtherChannel” de cisco (estándar IEEE 802.3ad para otras marcas) en la red WAN de fibra óptica, con la finalidad de tener redundancia de enlaces a nivel de puertos físicos.

En la Tabla 4.38 se detalla la información necesaria para los ajustes de los dispositivos de la red WAN, de acuerdo con la topología de la Figura 4.38 (Topología lógica de red).

Tabla 4.38: Direccionamiento para las interfaces de los SWITCHES WAN

SWITCH WAN	ROUTER ID OSPF	Interfaz	Port Channel	Área	IP
SWCalvario	1.1.1.1	Gig1/0/21-22	1	0	192.168.100.45/30
		Gig1/1/1-2	4	0	192.168.100.49/30
		Gig1/1/3-4	10	0	192.168.100.53/30
		Gig1/0/1	--	1	192.168.100.1/30
SWSanRafael	2.2.2.2	Gig1/1/1-2	4	0	192.168.100.50/30
		Gig1/1/3-4	5	0	192.168.100.73/30
		Gig1/0/1	--	2	192.168.100.5/30
SWSalcedo	3.3.3.3	Gig1/1/1-2	6	0	192.168.100.69/30
		Gig1/1/3-4	5	0	192.168.100.74/30
		Gig1/0/1	--	3	192.168.100.9/30
SWMulalo	4.4.4.4	Gig1/1/1-2	8	0	192.168.100.61/30
		Gig1/1/3-4	9	0	192.168.100.58/30
		Gig1/0/1	--	4	192.168.100.13/30
SWLasso	5.5.5.5	Gig1/1/1-2	8	0	192.168.100.62/30
		Gig1/1/3-4	7	0	192.168.100.65/30
		Gig1/0/1	--	5	192.168.100.17/30
SWLaCocha	6.6.6.6	Gig1/1/1-2	9	0	192.168.100.57/30
		Gig1/1/3-4	10	0	192.168.100.54/30
		Gig1/0/1	--	6	192.168.100.21/30
SWPujili	7.7.7.7	Gig1/1/1-2	6	0	192.168.100.70/30
		Gig1/1/3-4	7	0	192.168.100.66/30
		Gig1/0/1	--	10	192.168.100.33/30
SWCentroControl	8.8.8.8	Gig1/0/21-22	1	0	192.168.100.46/30
		Gig1/1/3-4	2	0	192.168.100.93/30
		Gig1/0/2	--	0	192.168.100.81/30
		Gig1/0/1	--	7	192.168.100.77/30
SWSimaurco	9.9.9.9	Se0/2/0	--	0	192.168.100.82/30
		Se0/0/1	--	0	192.168.100.85/30
		Se0/0/0	--	0	192.168.100.89/30
SWSigchos	10.10.10.10	Se0/0/0	--	0	192.168.100.90/30
		Gig1/0/1	--	8	192.168.100.25/30
SWLaMana	11.11.11.11	Se0/0/1	--	0	192.168.100.86/30
		Gig1/0/1	--	9	192.168.100.29/30
SWIlluchi1	12.12.12.12	Gig1/1/1-2	3	0	192.168.100.98/30
		Gig1/0/1	--	11	192.168.100.37/30
SWIlluchi2	13.13.13.13	Gig1/1/1-2	3	0	192.168.100.97/30
		Gig1/1/3-4	2	0	192.168.100.94/30
		Gig1/0/1	--	12	192.168.100.41/30

- **Agrupación de puertos en EtherChannel**

La tecnología EtherChannel se basa en el estándar IEEE 802.3ad, que permite agrupar de forma lógica, varios enlaces físicos Ethernet (entre 2 y 8) en un único enlace, ofreciendo de esta forma algunas ventajas y características tales como:

- Es compatible con enlaces full-dúplex punto a punto y se puede utilizar en cualquier parte de la red donde ocurre cuellos de botella.
- Proporciona redundancia, pues todo el enlace se considera como una única conexión lógica, lo que significa que si un enlace físico falla, el tráfico es direccionado rápidamente a los otros enlaces, con lo que no se genera ningún cambio en la topología.
- Como el canal se compone de varios enlaces Ethernet, se puede repartir la carga, obteniendo mejor rendimiento y caminos paralelos redundantes.
- Los enlaces EtherChannel pueden enlazar routers, switches, servidores y clientes, utilizando cable de par trenzado, fibra monomodo y fibra multimodo [82].

EtherChannel se puede configurar de forma manual o negociación. En negociación se utiliza PAgP (Port Aggregation Protocol) o LACP (Link Aggregation Protocol), como se indica a continuación:

PAgP: Es un protocolo de Cisco, para agrupar puertos con características similares. Tiene dos modos de negociación que son [82]:

- **Auto:** El puerto está en modo pasivo y no puede iniciar ninguna negociación, tan solo responderá a paquetes PAgP cuando los reciba.
- **Desirable:** El puerto está en modo activo para iniciar la negociación con otros puertos, cuando reciba paquetes PAgP.

LACP: Definido en el estándar IEEE 802.3ad, tiene un funcionamiento similar a PAgP. Los modos de este protocolo se configuran como [82]:

- **Activo:** Se habilita para iniciar negociaciones con otros puertos.
- **Pasivo:** Puede responder a negociaciones generadas por otros puertos, pero no puede iniciar una negociación.

En ambos protocolos, los dos extremos se deben configurar en el mismo modo; Desirable en el caso de PAgP y Activo en LACP.

En el diseño propuesto se configura EtherChannel para cada segmento WAN de la red de fibra óptica. Como ejemplo se realiza la configuración del enlace entre Centro de control y Calvario, la misma que será replicada en los demás enlaces, utilizando los datos de la Tabla 4.38.

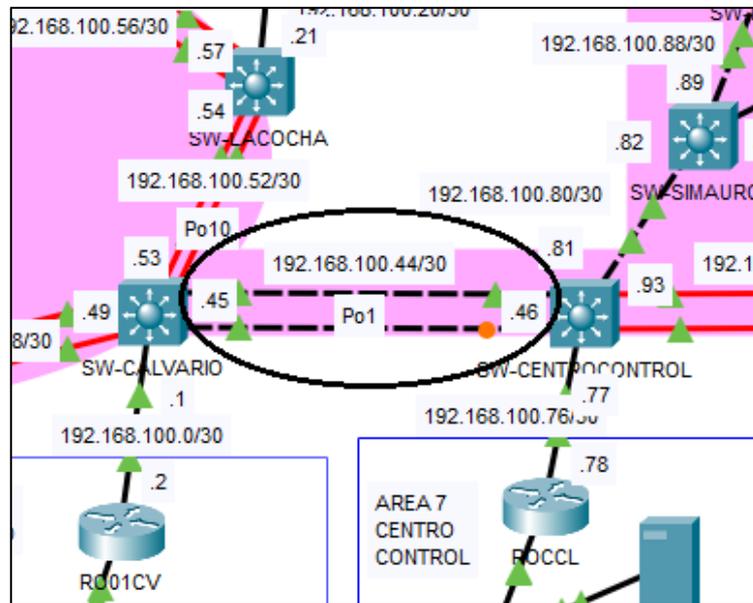


Figura 4.50: Esquema del enlace Centro de control - Calvario

En la Figura 4.50 se muestra el esquema sobre el cual se basa la configuración en ambos extremos.

```

SW-CENTROCONTROL#sh etherchannel sum
Flags: D - down          P - in port-channel
       I - stand-alone  s - suspended
       H - Hot-standby (LACP only)
       R - Layer3       S - Layer2
       U - in use       f - failed to allocate aggregator
       u - unsuitable for bundling
       w - waiting to be aggregated
       d - default port

Number of channel-groups in use: 2
Number of aggregators:          2

Group  Port-channel  Protocol    Ports
-----+-----+-----+-----
1      Po1(RU)        PAgP       Gig1/0/21(P) Gig1/0/22(P)
2      Po2(RD)        PAgP       Gig1/1/3(I)  Gig1/1/4(I)
SW-CENTROCONTROL#sh run | se channel
interface Port-channel1
no switchport
ip address 192.168.100.46 255.255.255.252
interface Port-channel2

```

Figura 4.51: Port-channel 1 del lado de centro de control

```

SW-CALVARIO#sh etherchannel sum
Flags: D - down          P - in port-channel
       I - stand-alone  s - suspended
       H - Hot-standby (LACP only)
       R - Layer3       S - Layer2
       U - in use       f - failed to allocate aggregator
       u - unsuitable for bundling
       w - waiting to be aggregated
       d - default port

Number of channel-groups in use: 3
Number of aggregators:          3

Group  Port-channel  Protocol    Ports
-----+-----+-----+-----
1      Po1(RU)         PAgP        Gig1/0/21(P) Gig1/0/22(P)
4      Po4(RD)         PAgP        Gig1/1/1(I)  Gig1/1/2(I)
10     Po10(RD)        PAgP        Gig1/1/3(I)  Gig1/1/4(I)
SW-CALVARIO#sh run | se chann
interface Port-channell
no switchport
ip address 192.168.100.45 255.255.255.252

```

Figura 4.52: Port-channel 1 del lado de Calvario

La Figura 4.51 y Figura 4.52 muestran Port-channel 1, creado mediante la agrupación de las interfaces Gig1/0/21 y Gig1/0/22 con protocolo PAgP en los dos switches; las siglas R y U indican que el puerto virtual creado es de capa 3 y está en uso. Las direcciones IP se asignan de acuerdo al esquema de la Figura 4.50 y Tabla 4.38.

- **Protocolo de enrutamiento OSPF**

Los pasos a desarrollar, son aplicables para todos los switches de la red WAN. Como ejemplo se presenta la configuración del switch El Calvario.

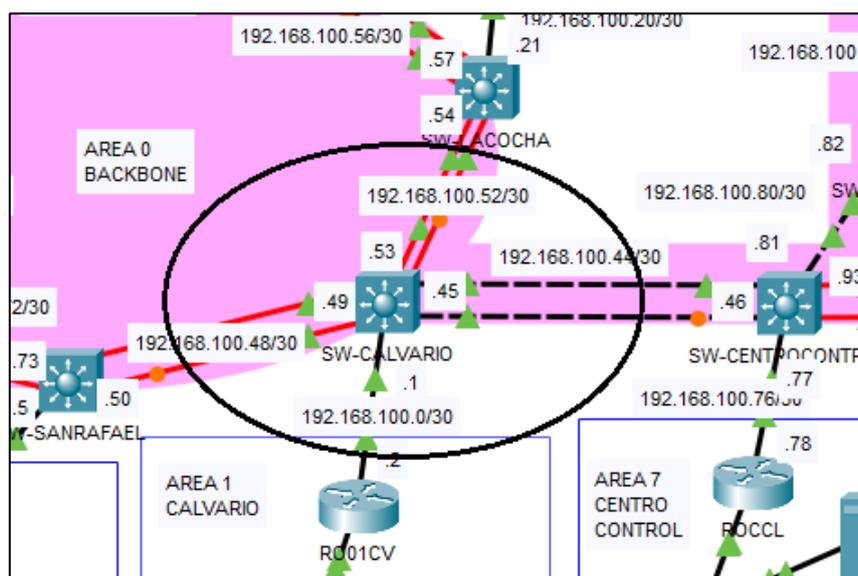


Figura 4.53: Enlaces con El Calvario

En la Figura 4.53 se puede observar los enlaces involucrados con el switch del nodo Calvario. Bajo este esquema se realizan los ajustes a continuación:

Asignación de IPs en las interfaces: la Figura 4.54 muestra las cuatro interfaces dadas de alta, tres de las cuales son interfaces virtuales (Port-channel), a todas las interfaces se han asignado sus respectivas direcciones IP según la Tabla 4.38.

```
SW-CALVARIO#sh run | se int
interface Port-channel1
no switchport
ip address 192.168.100.45 255.255.255.252
interface Port-channel4
no switchport
ip address 192.168.100.49 255.255.255.252
interface Port-channel10
no switchport
ip address 192.168.100.53 255.255.255.252
interface GigabitEthernet1/0/1
no switchport
ip address 192.168.100.1 255.255.255.252
duplex auto
speed auto
interface GigabitEthernet1/0/2
interface GigabitEthernet1/0/3
interface GigabitEthernet1/0/4
interface GigabitEthernet1/0/5|
interface GigabitEthernet1/0/6
interface GigabitEthernet1/0/7
interface GigabitEthernet1/0/8
interface GigabitEthernet1/0/9
```

Figura 4.54: Interfaces switch SWCalvario

Activar Protocolo OSPF: Se procede de forma similar que en la configuración del RUTER LAN; se crea el ID de proceso 1, que será el mismo en todos los routers; el router-id 1.1.1.1 para participar en el dominio OSPF, y se declaran las redes conectadas con el número de área a que pertenece, tal como se ve en la Figura 4.55.

```
ip address 192.168.100.53 255.255.255.252
interface GigabitEthernet1/0/1
no switchport
ip address 192.168.100.1 255.255.255.252
duplex auto
speed auto
interface GigabitEthernet1/0/2
interface GigabitEthernet1/0/3
interface GigabitEthernet1/0/4
interface GigabitEthernet1/0/5|
interface GigabitEthernet1/0/6
interface GigabitEthernet1/0/7
interface GigabitEthernet1/0/8
interface GigabitEthernet1/0/9

SW-CALVARIO#sh run | se ospf
router ospf 1
router-id 1.1.1.1
log-adjacency-changes
network 192.168.100.44 0.0.0.3 area 0
network 192.168.100.48 0.0.0.3 area 0
network 192.168.100.52 0.0.0.3 area 0
network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 1
SW-CALVARIO#
```

Figura 4.55: Activación del protocolo OSPF

4.5.5 Simulación de la red

Una vez realizado las configuraciones en todos los dispositivos de la red, se verifica su funcionamiento mediante las siguientes pruebas:

Pruebas de conectividad

Las pruebas se efectúan desde las redes LAN del centro de control hacia las redes LAN de las sub estaciones, utilizando los dispositivos y las direcciones IP de origen y destino que se han asignado, conforme se indica en la Tabla 4.39.

Tabla 4.39: Direccionamiento para dispositivos terminales

ORIGEN: Centro de control		
Nomenclatura	IP	Red
Server SCADA	172.17.70.3	Servidores SCADA
PHOCCL	10.0.0.2	Teléfonos IP
Server NVR	10.0.1.2	Grabador de video
DESTINO: Red de IEDs (SCADA)		
Nomenclatura	IP	Sub estación
IED01CV	172.17.70.98	Calvario
IED02SR	172.17.70.130	San Rafael
IED03SA	172.17.70.162	Salcedo
IED04ML	172.17.70.194	Mulaló
IED05LA	172.17.70.226	Lasso
IED06CH	172.17.71.2	La Cocha
IED08SG	172.17.71.34	Sigchos
IED09MA	172.17.71.66	La Maná
IED10PJ	172.17.71.98	Pujilí
IED41I1	172.17.71.130	Illuchi 1
IED41I2	172.17.71.162	Illuchi 2
DESTINO: Red de teléfonos IP		
Nomenclatura	IP	Sub estación
PHO01CV	10.0.0.10	Calvario
PHO02SR	10.0.0.18	San Rafael
PHO03SA	10.0.0.27	Salcedo
PHO04ML	10.0.0.34	Mulaló
PHO05LA	10.0.0.42	Lasso
PHO06CH	10.0.0.50	La Cocha
PHO08SG	10.0.0.59	Sigchos
PHO09MA	10.0.0.67	La Maná
PHO10PJ	10.0.0.75	Pujilí
PHO41I1	10.0.0.82	Illuchi 1
PHO41I2	10.0.0.90	Illuchi 2
DESTINO: Red de cámaras IP		
Nomenclatura	IP	Sub estación
CAM01CV	10.0.1.10	Calvario
CAM02SR	10.0.1.18	San Rafael
CAM03SA	10.0.1.26	Salcedo
CAM04ML	10.0.1.34	Mulaló
CAM05LA	10.0.1.42	Lasso
CAM06CH	10.0.1.50	La Cocha
CAM08SG	10.0.1.58	Sigchos
CAM09MA	10.0.1.66	La Maná
CAM10PJ	10.0.1.74	Pujilí
CAM41I1	10.0.1.82	Illuchi 1
CAM41I2	10.0.1.90	Illuchi 2

Antes de realizar las pruebas, se verifica que el ROUTER LAN (ROCCL) del centro de control disponga en su tabla de enrutamiento todas las rutas que permitan llegar hasta las redes LAN de las sub estaciones, de acuerdo con la topología de la Figura 4.38, las mismas que han sido aprendidas mediante el protocolo OSPF. En la Figura 4.56, Figura 4.57 y Figura 4.58 se puede observar dicha información.

```

O IA 10.0.1.24/29 [110/6] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.32/29 [110/6] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.40/29 [110/7] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.48/29 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.56/29 [110/131] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.64/29 [110/131] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.72/29 [110/7] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.80/29 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.88/29 [110/4] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
172.17.0.0/16 is variably subnetted, 13 subnets, 2 masks
C 172.17.70.0/27 is directly connected, GigabitEthernet0/2.10
L 172.17.70.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/2.10
O IA 172.17.70.96/27 [110/4] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 172.17.70.128/27 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 172.17.70.160/27 [110/6] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 172.17.70.192/27 [110/6] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 172.17.70.224/27 [110/7] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 172.17.71.0/27 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 172.17.71.32/27 [110/131] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 172.17.71.64/27 [110/131] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 172.17.71.96/27 [110/7] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 172.17.71.128/27 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 172.17.71.160/27 [110/4] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
192.168.100.0/24 is variably subnetted, 26 subnets, 2 masks

```

Figura 4.56: Tabla de enrutamiento para la red de IEDs(scada)

En la Figura 4.56, se muestran las rutas para alcanzar las redes LAN de los IEDs (equipos de medición/protección).

```

Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 26 subnets, 2 masks
C 10.0.0.0/29 is directly connected, GigabitEthernet0/2.30
L 10.0.0.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/2.30
O IA 10.0.0.8/29 [110/4] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.16/29 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.24/29 [110/6] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.32/29 [110/6] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.40/29 [110/7] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.48/29 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.56/29 [110/131] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.64/29 [110/131] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.72/29 [110/7] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.80/29 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.88/29 [110/4] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1

```

Figura 4.57: Tabla de enrutamiento para la red de teléfonos IP

En la Figura 4.57 se presenta las rutas para alcanzar las redes LAN de teléfonos IP.

```

O IA 10.0.0.16/29 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.24/29 [110/6] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.32/29 [110/6] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.40/29 [110/7] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.48/29 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.56/29 [110/131] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.64/29 [110/131] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.72/29 [110/7] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.80/29 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.0.88/29 [110/4] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
C 10.0.1.0/29 is directly connected, GigabitEthernet0/2.50
L 10.0.1.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/2.50
O IA 10.0.1.8/29 [110/4] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.16/29 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.24/29 [110/6] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.32/29 [110/6] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.40/29 [110/7] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.48/29 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.56/29 [110/131] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.64/29 [110/131] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.72/29 [110/7] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.80/29 [110/5] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
O IA 10.0.1.88/29 [110/4] via 192.168.100.77, 00:36:08, GigabitEthernet0/1
172.17.0.0/16 is variably subnetted, 13 subnets, 2 masks

```

Figura 4.58: Tabla de enrutamiento para la red de cámaras IP

En la Figura 4.58, se muestra las rutas para alcanzar las redes LAN de cámaras IP. Luego verificar las rutas, se ejecutan las pruebas de conectividad enviando un paquete PDU desde los servidores del centro de control hacia los dispositivos terminales de las sub estaciones; los resultados se presentan en la Figura 4.59, Figura 4.60 y Figura 4.61.

PDU List Window										
RED CÁMARAS IP										
Fire	Source	Destination	Last Status	Type	Color	Time(sec)	Period	Num	Edit	Delete
	ServerNVR	CAM01CV	Successful	ICMP		0.000	N	0	(edit)	(delete)
	ServerNVR	CAM02SR	Successful	ICMP		0.000	N	1	(edit)	(delete)
	ServerNVR	CAM03SA	Successful	ICMP		0.000	N	2	(edit)	(delete)
	ServerNVR	CAM04ML	Successful	ICMP		0.000	N	3	(edit)	(delete)
	ServerNVR	CAM05LA	Successful	ICMP		0.000	N	4	(edit)	(delete)
	ServerNVR	CAM06CH	Successful	ICMP		0.000	N	5	(edit)	(delete)
	ServerNVR	CAM08SG	Successful	ICMP		0.000	N	6	(edit)	(delete)
	ServerNVR	CAM09MA	Successful	ICMP		0.000	N	7	(edit)	(delete)
	ServerNVR	CAM10PJ	Successful	ICMP		0.000	N	8	(edit)	(delete)
	ServerNVR	CAM411I	Successful	ICMP		0.000	N	9	(edit)	(delete)
	ServerNVR	CAM42I2	Successful	ICMP		0.000	N	10	(edit)	(delete)

Figura 4.59: Pruebas de conectividad red de cámaras IP

PDU List Window										
RED SCADA										
Fire	Source	Destination	Last Status	Type	Color	Time(sec)	Period	Num	Edit	Delete
	ServerSCADA	IED01CV	Successful	ICMP		0.000	N	0	(edit)	(delete)
	ServerSCADA	IED02SR	Successful	ICMP		0.000	N	1	(edit)	(delete)
	ServerSCADA	IED03SA	Successful	ICMP		0.000	N	2	(edit)	(delete)
	ServerSCADA	IED04ML	Successful	ICMP		0.000	N	3	(edit)	(delete)
	ServerSCADA	IED05LA	Successful	ICMP		0.000	N	4	(edit)	(delete)
	ServerSCADA	IED06CH	Successful	ICMP		0.000	N	5	(edit)	(delete)
	ServerSCADA	IED08SG	Successful	ICMP		0.000	N	6	(edit)	(delete)
	ServerSCADA	IED09MA	Successful	ICMP		0.000	N	7	(edit)	(delete)
	ServerSCADA	IED10PJ	Successful	ICMP		0.000	N	8	(edit)	(delete)
	ServerSCADA	IED411I	Successful	ICMP		0.000	N	9	(edit)	(delete)
	ServerSCADA	IED42I2	Successful	ICMP		0.000	N	10	(edit)	(delete)

Figura 4.60: Pruebas de conectividad red SCADA

RED TELEFONÍA IP										
Fire	Source	Destination	Last Status	Type	Color	Time(sec)	Period	Num	Edit	Delete
	PHOCCL	PHO01CV	Successful	ICMP		0.000	N	0	(edit)	(delete)
	PHOCCL	PHO02SR	Successful	ICMP		0.000	N	1	(edit)	(delete)
	PHOCCL	PHO03SA	Successful	ICMP		0.000	N	2	(edit)	(delete)
	PHOCCL	PHO04ML	Successful	ICMP		0.000	N	3	(edit)	(delete)
	PHOCCL	PHO05LA	Successful	ICMP		0.000	N	4	(edit)	(delete)
	PHOCCL	PHO06CH	Successful	ICMP		0.000	N	5	(edit)	(delete)
	PHOCCL	PHO08SG	Successful	ICMP		0.000	N	6	(edit)	(delete)
	PHOCCL	PHO09MA	Successful	ICMP		0.000	N	7	(edit)	(delete)
	PHOCCL	PHO10PJ	Successful	ICMP		0.000	N	8	(edit)	(delete)
	PHOCCL	PHO411I	Successful	ICMP		0.000	N	9	(edit)	(delete)
	PHOCCL	PHO42I2	Successful	ICMP		0.000	N	10	(edit)	(delete)

Figura 4.61: Pruebas de conectividad red VoIP

Como se observa en la Figura 4.59, Figura 4.60 y Figura 4.61, los paquetes PDU (Protocol Data Unit) emitidos en el origen, llegan satisfactoriamente hasta su destino, en todos los casos; por lo tanto, se tiene conectividad entre el centro de control y las sub estaciones.

Prueba de redundancia de enlace

Consiste en eliminar uno de los dos enlaces físicos de EtherChannel, para comprobar que la red es capaz de seguir funcionando solo con un enlace. El esquema para esta prueba se presenta en la Figura 4.62.

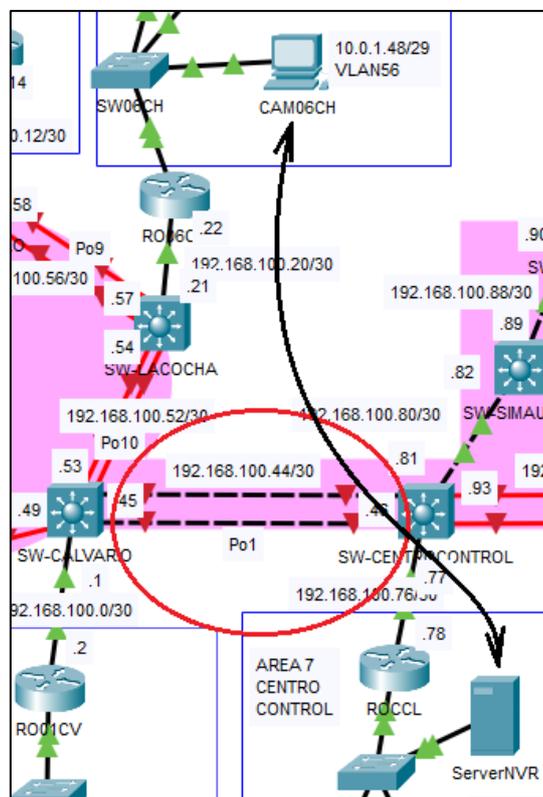


Figura 4.62: Esquema enlace EtherChannel Calvario-Centro de control

A continuación, se ejecuta un PING desde el Server NVR del centro de control hacia el terminal CAM06CH (IP: 10.0.1.50) de La Cocha, el dispositivo terminal responde con éxito, como se muestra en la Figura 4.63 mientras tanto, se procede a desconectar uno de los enlaces del segmento WAN “Calvario – Centro de control”

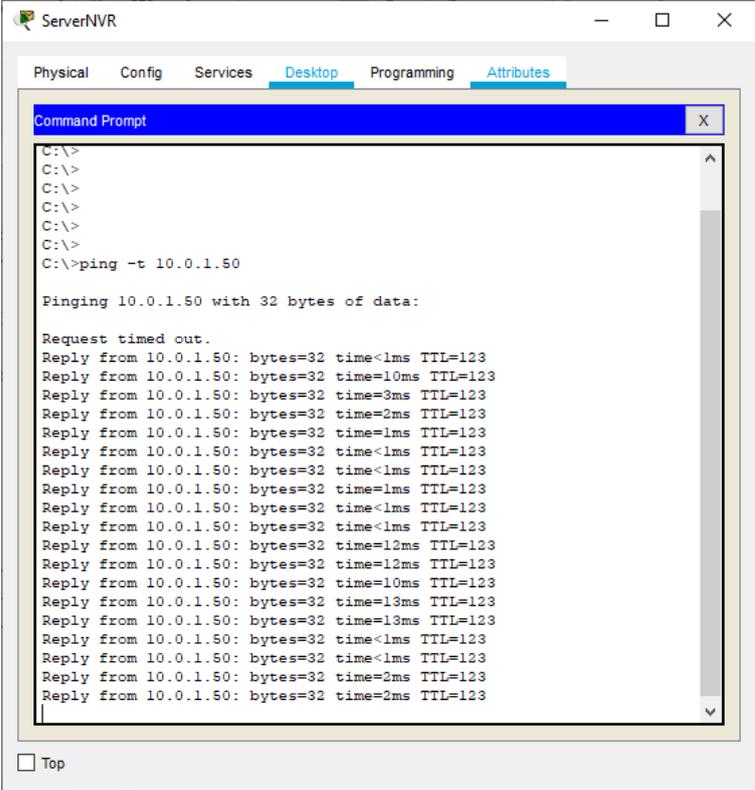


Figura 4.63: Respuesta desde el dispositivo CAM06CH de La Cocha

Se eliminar uno de los enlaces redundantes, Figura 4.64.

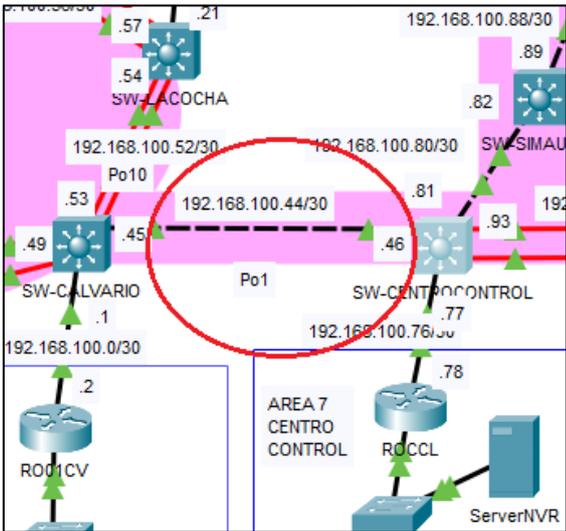


Figura 4.64: Esquema con desconexión de un enlace redundante

En el switch SWCentroControl se confirma que una de las interfaces de Port-channel 1 está en Down (D), mientras que la segunda permanece activa (P) en port-channel. La Figura 4.65 muestra el estado del enlace.

```
SW-CENTROCONTROL#
SW-CENTROCONTROL#
SW-CENTROCONTROL#sh etherchannel sum
Flags: D - down          P - in port-channel
       I - stand-alone  s - suspended
       H - Hot-standby (LACP only)
       R - Layer3       S - Layer2
       U - in use       f - failed to allocate aggregator
       u - unsuitable for bundling
       w - waiting to be aggregated
       d - default port

Number of channel-groups in use: 2
Number of aggregators:          2

Group  Port-channel  Protocol    Ports
-----+-----+-----+-----
1      Po1(RU)       PAgP        Gig1/0/21(D) Gig1/0/22(P)
2      Po2(RU)       PAgP        Gig1/1/3(P)  Gig1/1/4(P)
SW-CENTROCONTROL#
```

Figura 4.65: Estado del enlace Port-channel1

En estas condiciones, se comprueba que el dispositivo de La Cocha continúa respondiendo al Ping, ejecutado desde el ServerNVR, tal como se aprecia en la Figura 4.66. Por lo tanto, el enlace redundante cumple su función, según lo esperado

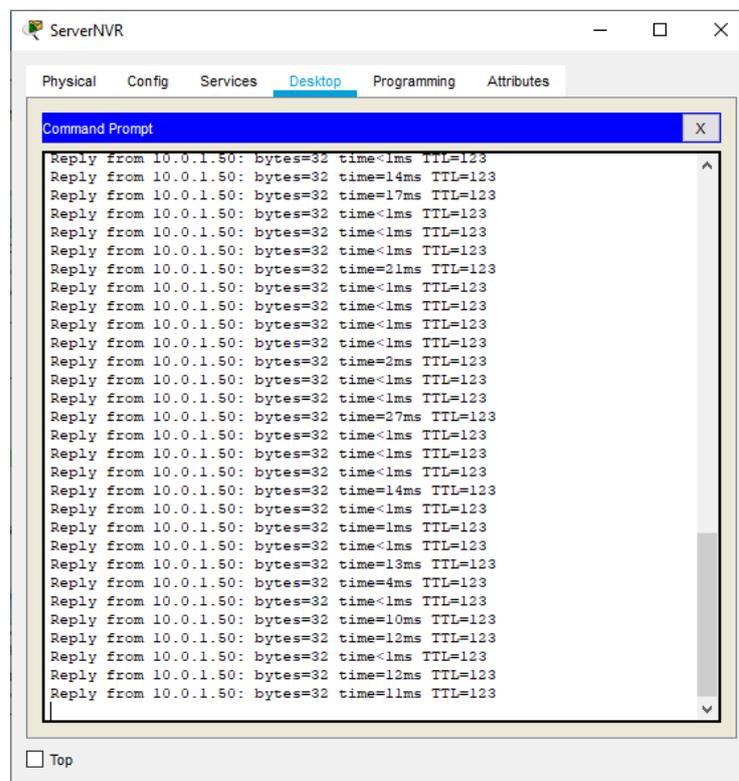


Figura 4.66: Respuesta del dispositivo CAM06CH de La Cocha

Prueba con desconexión de un segmento de la red en anillo

Otra prueba a efectuar, es que, ante una desconexión en algún tramo de la red en anillo, el protocolo OSPF permita recuperar conectividad, mediante el recálculo de nuevas rutas para generar una nueva topología. Para ello, se presentan dos escenarios.

Escenario 1: La red no presenta fallas, ver esquema de la Figura 4.67

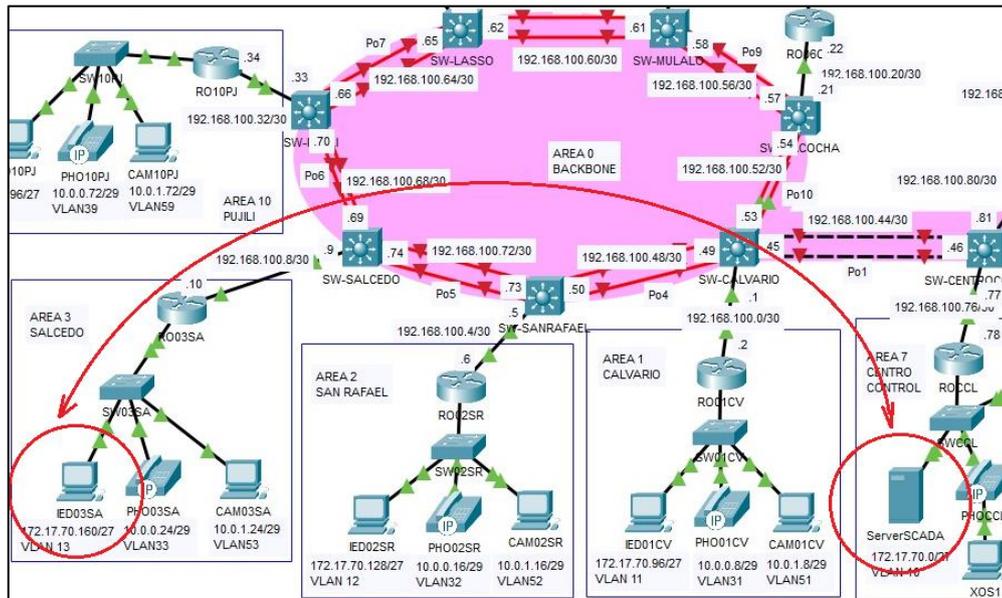


Figura 4.67: Esquema para prueba de conectividad Centro de control – Salcedo

En este escenario se realizan las pruebas de conectividad con los comandos ping y tracert desde el “ServerScada” hacia el IED de la sub estación Salcedo.

La Figura 4.68 muestra que se tiene respuesta del IED03SA (IP: 172.17.70.162) de Salcedo, a las pruebas de PING ejecutadas desde el “ServerSCADA”, con una traza que va en el siguiente orden:

1. 172.17.70.1 (ROCCL)
2. 192.168.100.77 (SW-CENTROCONTROL)
3. 192.168.100.45 (SW-CALVARIO)
4. 192.168.100.50 (SW-SANRAFAEL)
5. 192.168.100.74 (SW-SALCEDO)
6. 192.168.100.10 (RO03SA)
7. 172.17.70.162 (IED03SA)

Siendo este el primer camino más corto y de menor costo determinado por OSPF.

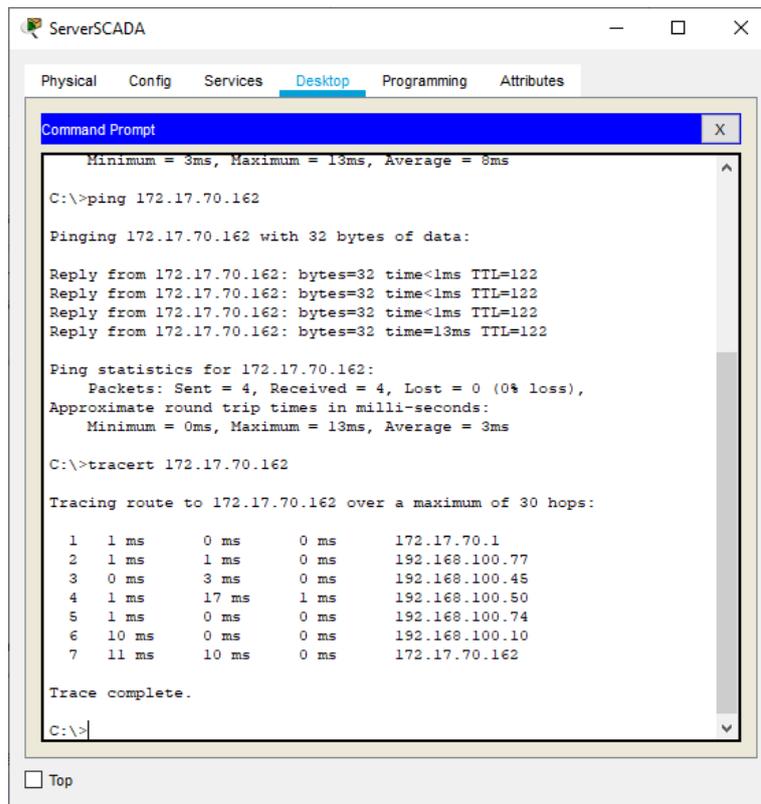


Figura 4.68: Prueba de conectividad Centro de control - Salcedo (Sin desconexión)

Escenario 2: La red experimenta una desconexión en el tramo entre los switches SW-SANRAFAEL y SW-SALCEDO, como se presenta en el esquema de la Figura 4.69.

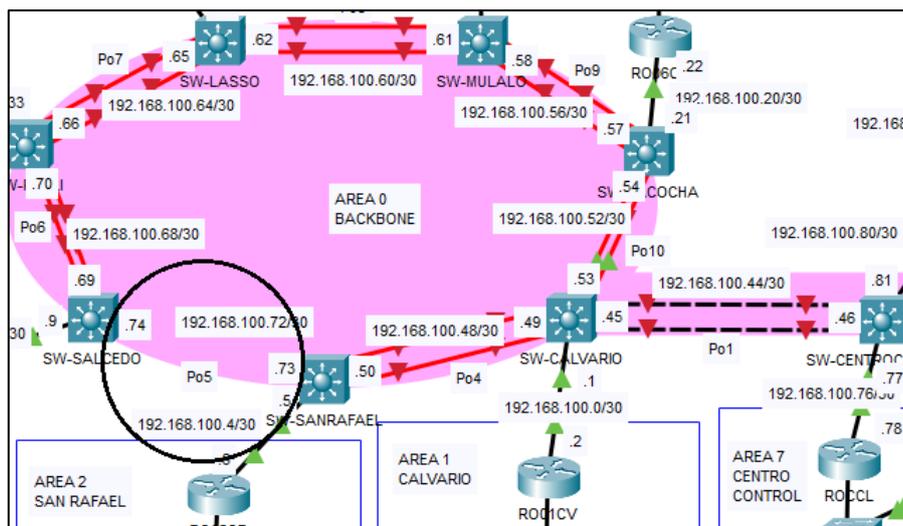


Figura 4.69: Esquema cuando se produce la desconexión

En este escenario, la comunicación con el IED de Salcedo se pierde, lo que se evidencia con la pérdida de paquetes de PING, como se observa en la Figura 4.70.

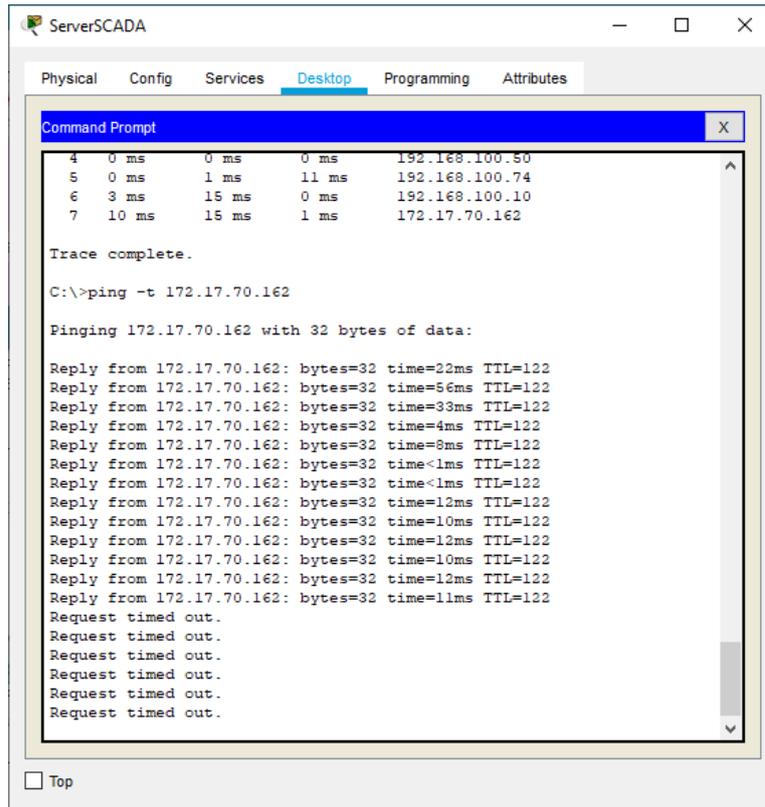


Figura 4.70: Pérdida de paquetes por desconexión

Bajo estas condiciones, empieza la cuenta regresiva de lo que se conoce como tiempo muerto o “Dead time”, que en OSPF es de 40 segundos (valor predeterminado), según como se muestra en la Figura 4.71. El “Dead Time”, es el tiempo máximo que un Switch o router debe esperar a un vecino con el cual ha formado adyacencia, para que responda a los mensajes HELLO, en caso de no hacerlo se considera que el equipo está caído.

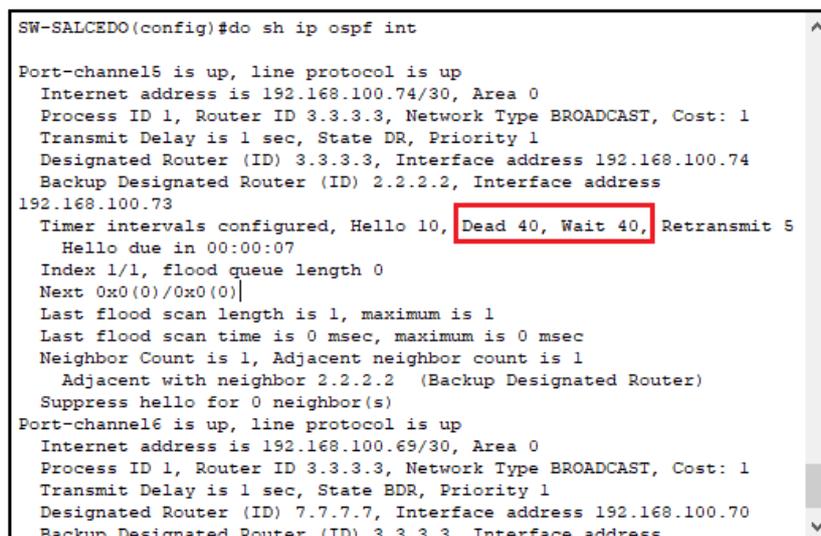


Figura 4.71: Dead Time OSPF

Una vez transcurrido el tiempo muerto, el proceso OSPF da de baja de su tabla de adyacencias al vecino que no responde los mensajes HELLO, como se observa en la Figura 4.72;

```
switchport      Set switching mode characteristics
tx-ring-limit  Configure PA level transmit ring limit
SW-SALCEDO(config-if)#
%LINK-3-UPDOWN: Interface GigabitEthernet1/1/3, changed state to down

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet1/1/3,
changed state to down

%LINK-3-UPDOWN: Interface GigabitEthernet1/1/4, changed state to down

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet1/1/4,
changed state to down

00:15:14: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on Port-channel5
from FULL to DOWN, Neighbor Down: Dead timer expired

00:15:14: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on Port-channel5
from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached

%LINK-3-UPDOWN: Interface Port-channel5, changed state to down

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Port-channel5,
changed state to down
```

Figura 4.72: Vecino 2.2.2.2 dado de baja del proceso OSPF

Para posteriormente hacer un recálculo de nuevas rutas para converger la red hacia la nueva topología; como consecuencia de esto, los paquetes se retransmiten por el otro camino disponible, recuperando de esta forma la comunicación con el dispositivo IED03SA de Salcedo, cuyo orden de saltos es el siguiente:

1. 172.17.70.1 (ROCCL)
2. 192.168.100.77 (SW-CENTROCONTROL)
3. 192.168.100.45 (SW-CALVARIO)
4. 192.168.100.54 (SW-LACOCKA)
5. 192.168.100.58 (RO-MULALO)
6. 192.168.100.62 (SW-LASSO)
7. 192.168.100.66 (SW-PUJILI)
8. 192.168.100.69 (SW-SALCEDO)
9. 192.168.100.10 (RO03SA)
10. 172.17.70.162 (IED03SA)

El proceso descrito se ve reflejado en la Figura 4.73 y Figura 4.74 a continuación:

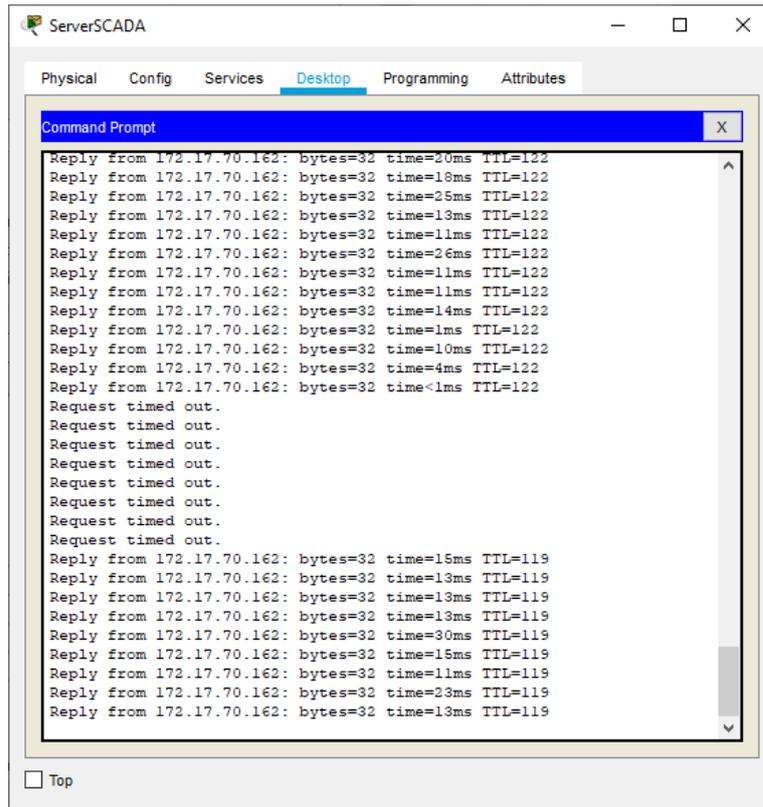


Figura 4.73: Restablecimiento de comunicación con el IED de Salcedo

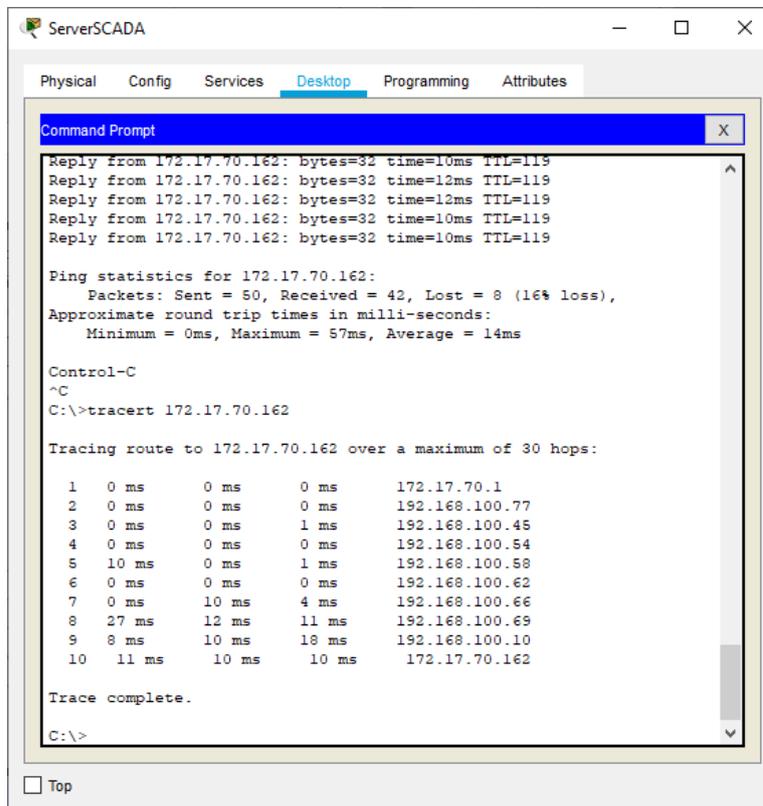


Figura 4.74: Traza ServerSCADA – IED03SA por el segundo camino disponible

La topología con el segundo camino disponible (ruta más larga), se mantendrá vigente hasta cuando se restablezca el tramo afectado, y el protocolo OSPF recalcula nuevamente las rutas, en ese caso el paquete volverá a tomar el primer camino hasta el destino, dado que es el camino más corto y de menor costo.

Protocolo BFD Bidirectional Forwarding Detection

De acuerdo con las pruebas efectuadas, el tiempo estimado de convergencia de la red tras una desconexión es de 40 segundos, dado que ese es el tiempo que el proceso OSPF debe esperar para dar de baja a un vecino que está caído e iniciar el recálculo de nuevas rutas.

Para mejorar los tiempos de convergencia, se recomienda utilizar el protocolo BFD, que es un método de corta duración que va desde los 50 hasta 999 milisegundos para detectar fallos en la ruta de reenvío entre dos routers o dos switches de capa tres adyacentes, independientemente de todos los tipos de medios, encapsulación, topologías y protocolos de enrutamiento. BFD es un protocolo que se habilita en los niveles de interfaz y protocolo de enrutamiento [83].

Una vez que BFD haya sido habilitado, se crea una sesión BFD, se negocian temporizadores y los pares BFD comenzarán el envío de paquetes de control entre sí, lo que permite que se envíen notificaciones de detección rápida de fallas a los protocolos de enrutamiento en el router local, para que inicie el proceso de recálculo de la tabla de enrutamiento. Contribuyendo de esta forma a reducir en gran medida el tiempo total de convergencia de la red [83].

En la Figura 4.75, se ilustra la secuencia para establecer una sesión BFD. En el paso (1), se descubren vecinos OSPF; en el paso (2), se envía una solicitud para iniciar una sesión de vecino BFD; y, en el paso (3) se establece la sesión de vecino BFD con el router vecino OSPF.

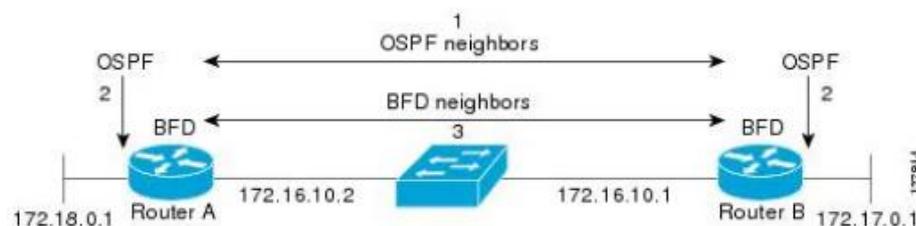


Figura 4.75: Secuencia para una sesión BFD [83]

Cabe mencionar, que el protocolo BFD no está disponible en Packet Tracer, por lo que no fue posible configurarlo y probarlo. Sin embargo, se dejan los comandos sugeridos por Cisco, que se deben ingresar en un dispositivo para la configuración de BFD en un enlace EtherChannel.

- **Configuración de la plantilla BFD [84]**

```
Device(config)# bfd-template single-hop testing
Device(config-bfd)# interval min-tx 50 min-rx 50 multiplier 3
Device(config-bfd)# end
```

Donde:

min-tx 50: Tiempo mínimo requerido en milisegundos para enviar paquetes HELLO de bfd hacia el dispositivo vecino.

min-rx 50: Tiempo mínimo requerido en milisegundos para recibir paquetes HELLO de bfd desde el dispositivo vecino.

multiplier 3: número mínimo de paquetes HELLO a recibir antes de notificar que el vecino perdió comunicación [84].

- **Aplicar plantilla a interface Port-Channel [84]**

```
Device(config)# interface port-channel 60
Device(config-if)# port-channel bfd destination ipv4 192.0.2.1 testing
Device(config-if)# ip address 192.0.2.2 255.255.255.0
Device(config-if)# no shutdown
```

Pruebas de telefonía IP

Las pruebas consisten en hacer una llamada desde el teléfono IP del centro de control hacia cualquiera de las líneas de las sub estaciones, enlistados en la Tabla 4.40:

Tabla 4.40: Líneas telefónicas habilitadas

ORIGEN	Línea
Centro de control	7002
DESTINO	Línea
Calvario	1001
San Rafael	2002
Salcedo	3001
Mulaló	4001
Lasso	5001
La Cocha	6001
Sigchos	8001
La Maná	9001
Pujilí	1501
Illuchi 1	2501
Illuchi 2	3501

Previamente se verifica el enrutamiento a nivel de telefonía IP que debe existir en el ROUTER LAN (ROCCL) del centro de control, para alcanzar las líneas telefónicas de las 11 sub estaciones; esta información se puede observar en la Figura 4.76.

```
ROCCL#sh run | se dial
dial-peer voice 1 voip
destination-pattern 10.. Línea destino Calvario
session target ipv4:192.168.100.2
dial-peer voice 2 voip
destination-pattern 20.. Línea destino San Rafael
session target ipv4:192.168.100.6
dial-peer voice 3 voip
destination-pattern 30.. Línea destino Salcedo
session target ipv4:192.168.100.10
dial-peer voice 4 voip
destination-pattern 40.. Línea destino Mulaló
session target ipv4:192.168.100.14
dial-peer voice 5 voip
destination-pattern 50.. Línea destino Lasso
session target ipv4:192.168.100.18
dial-peer voice 6 voip
destination-pattern 60.. Línea destino La Cocha
session target ipv4:192.168.100.22
dial-peer voice 8 voip
destination-pattern 80.. Línea destino Sigchos
session target ipv4:192.168.100.26
dial-peer voice 9 voip
destination-pattern 90.. Línea destino La Maná
session target ipv4:192.168.100.30
dial-peer voice 15 voip
destination-pattern 15.. Línea destino Pujilí
session target ipv4:192.168.100.34
dial-peer voice 25 voip
destination-pattern 25.. Línea destino Illuchi 1
session target ipv4:192.168.100.38
dial-peer voice 35 voip
destination-pattern 35.. Línea destino Illuchi 2
session target ipv4:192.168.100.42
ROCCL#
```

Figura 4.76:Enrutamiento de líneas telefónicas, router ROCCL (centro de control)

A modo de ejemplo se realizan llamadas a las líneas de Pujilí (1501) y Sigchos (8001), tal como se muestra en la Figura 4.77 y Figura 4.78.



Figura 4.77: Pruebas de telefonía IP Pujilí



Figura 4.78: Pruebas de telefonía IP Sigchos

En ambas pruebas, el teléfono del centro de control estableció conexión de forma satisfactoria con los teléfonos de Pujilí y Sigchos respectivamente, tal como se puede observar en cada una de sus pantallas, en donde se visualiza el mensaje “connected”. Por lo tanto, se comprueba que el servicio de telefonía IP funciona correctamente.

4.5.5.1 Análisis de las pruebas realizadas

Se determinó que la topología de red propuesta permite establecer comunicación desde el centro de control con las 11 sub estaciones utilizando OSPF como protocolo de enrutamiento, que ayuda a mantener las tablas de rutas actualizadas en los switch (L3) y router LAN sin la necesidad de una intervención manual.

Con la tecnología EtherChannel es posible disponer de enlaces redundantes paralelos en cada segmento de la red WAN de fibra óptica, esto ayuda a minimizar los fallos, puesto que se tiene redundancia de enlace a nivel de puertos físicos.

Así mismo, se pudo comprobar que ante una desconexión de un tramo de la red en anillo, OSPF hace un recálculo de nuevas rutas, para que la red vuelva a converger después de un tiempo estimado de 40 segundos, lo cual puede ser optimizado mediante el uso del protocolo BFD; esto es importante, pues permite aprovechar la topología en anillo para conseguir la disponibilidad de la red. En este sentido, para las sub estaciones, Illuchi 1, Illuchi 2, La Maná y Sigchos que no están dentro del anillo de fibra, es recomendable que ELEPCOSA mantenga el servicio de datos contratado con un ISP como respaldo.

Por otro lado, el servicio de telefonía IP activado en el router LAN de cada sub estación permite hacer llamadas desde el centro de control hacia las sub estaciones, de acuerdo con el enrutamiento realizado a nivel de telefonía IP; si se desea tener comunicación telefónica entre sub estaciones, previamente se deberá efectuar el enrutamiento telefónico entre estas. En todo caso, se aclara que la lógica es que la comunicación sea desde el centro de control hacia las sub estaciones y viceversa.

4.5.6 Requerimiento de dispositivos de red

Entre los dispositivos de red que conforman el sistema de telecomunicaciones están los switches capa 3 considerados en este diseño para redes industriales ethernet que permite la conectividad a velocidades de Gigabit Ethernet. El modelo escogido es el IE-5000-16S12P (especificaciones ver anexo 12) de Cisco, que ofrece facilidades para implementar protocolos como mecanismos de protección para redundancia de redes con topologías anillo.

Los routers Cisco modelo C8200-1N-4T (especificaciones ver anexo 14) proporcionan conectividad entre VLANs en la capa de red a través de las sub interfaces creadas para el efecto, y también permite la salida de tráfico hacia la red WAN; además que ofrece el servicio de telefonía IP en la red local para comunicación con el centro de control.

Los switches de acceso considerados en el diseño son el modelo IE-4010-4S24P (especificaciones ver anexo 13), que permiten la comunicación entre los dispositivos terminales de la red LAN Ethernet en cada sub estación a velocidades Gigabit Ethernet, ofreciendo servicios de seguridad, datos, video y voz en entornos industriales.

En resumen, los equipos de red necesarios para cumplir con las funciones en cada una de las tres capas de la jerarquía de red, son los que se listan en la Tabla 4.41, en donde se indica además la cantidad total de equipos requerida para toda la red de telecomunicaciones propuesto.

Tabla 4.41: Equipos de red para el diseño propuesto

ÍTEM	EQUIPO	CAPA	CANTIDAD
1	SWITCH ETHERNET INDUSTRIAL CISCO MODELO IE-5000-16S12P	Núcleo	13
2	ROUTER CISCO MODELO C8200-1N-4T	Distribución	12
3	SWITCH ETHERNET INDUSTRIAL CISCO MODELO IE-4010-4S24P	acceso	12

CAPÍTULO 5

5. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

El presente capítulo describe el estudio de factibilidad financiera del diseño de red propuesto en este trabajo de titulación, para lo cual se basa en un estudio de mercado de los dos grandes proveedores ISP que ofrecen servicios de transmisión de datos, voz y video en la provincia de Cotopaxi; el estudio técnico de los equipos considerados para el diseño de la red con costos de adquisición e instalación, el estudio legal de todas las normativas y procedimientos legales que la empresa ELEPCO S.A. debe de realizar para la implementación de la red privada, además del estudio organizacional, para finalmente culminar con el estudio económico donde se determina la rentabilidad del proyecto planteado.

5.1 Estudio de mercado

ELEPCOSA actualmente recibe los servicios de transmisión de datos de dos ISPs; el ISP 1 que es una empresa privada, presta sus servicios en las once sub estaciones, mientras que el ISP 2 que es una empresa pública lo hace solamente en una sub estación, tal como se indicó en el capítulo 3 “Estudio técnico de la red actual”. Los enlaces son canales dedicados con un nivel de compartición 1:1, según como se establece en el convenio vigente firmado entre las partes. Las tasas de datos de los enlaces actuales se presentan en la Tabla 5.1

Tabla 5.1: Tasas de datos del servicio actual

Sitios	Nombre	Datos (Mb/s)	Internet (Mb/s)
Sub estación	Calvario	5	3
	San Rafael	6	2
	Salcedo	6	2
	Mulaló	6	2
	Lasso	6	2
	La Cocha	4	-
	Pujilí	4	-
	Sigchos	4	-
	La Maná	4	4
Centrales	Illuchi 1	3	1
	Illuchi 2	3	1
Matriz	Latacunga (concentrador)	60	8

En el capítulo 4 “Diseño de la red de telecomunicaciones” se determinó que la tasa de datos mínima requerida para satisfacer la demanda inicial de los tres tipos tráfico, telemetría (scada), video vigilancia y telefonía IP es de 23.89 Mbps; en tal sentido, como se puede observar en la tabla 5.1, ninguno de los enlaces de la red actual se ajusta a esa demanda, por lo que, con la finalidad de hacer un análisis acorde a las necesidades actuales se solicitó una cotización al ISP 1 considerando una tasa de datos mínima de 25 Mbps en cada enlace; por lo tanto, los costos que involucraría contratar canales dedicados con ese ancho de banda, son los que se detallan en la Tabla 5.2:

Tabla 5.2: Cotización del servicio propuesto por el ISP 1 [85]

Sitios	Nombre	Ancho de banda por uso de infraestructura solicitado por ELEPCOSA (Mb/s)	Valor mensual (USD\$)
Sub estación	Calvario	25 Mb/s	\$ 1,000.00
	San Rafael	25 Mb/s	\$ 1,000.00
	Salcedo	25 Mb/s	\$ 1,000.00
	Mulaló	25 Mb/s	\$ 1,000.00
	Lasso	25 Mb/s	\$ 1,000.00
	La Cocha	25 Mb/s	\$ 1,000.00
	Pujilí	25 Mb/s	\$ 1,000.00
	Sigchos	25 Mb/s	\$ 1,000.00
	La Maná	25 Mb/s	\$ 1,000.00
Centrales	Illuchi 1	25 Mb/s	\$ 1,000.00
	Illuchi 2	25 Mb/s	\$ 1,000.00
COSTO TOTAL MENSUAL			\$ 11,000.00
COSTO TOTAL ANUAL			\$ 132,000.00

Una vez obtenido el valor referencial del servicio para una tasa de datos de 25 Mb/s en cada sitio; para realizar el estudio económico y determinar la factibilidad del proyecto se considerará el valor de USD\$ 132,000.00 como ingreso anual que ELEPCO S.A. recibiría por no desembolso de recursos, en caso de que se implemente la red de telecomunicaciones privada, propuesta como alternativa de solución a un servicio brindado por terceros.

5.2 Estudio técnico

En el capítulo 4 se demostró que, tanto la red de fibra óptica como la red microonda son técnicamente viables, por lo que en esta sección se analizan los costos de todos los componentes involucrados en la red de telecomunicaciones diseñada, incluyendo los aspectos legales de los derechos de concesión y uso de frecuencias para los enlaces microondas, con lo que se podrá determinar el presupuesto de la inversión inicial y los costos de operación del proyecto.

5.2.1 Costos de la red de fibra óptica

Siendo ELEPCO S.A. una empresa pública, para determinar los costos estimados que involucraría implementar la red de fibra óptica del diseño propuesto, se utilizó el módulo buscador de procedimientos de contratación pública del SERCOP; es así que, al no existir contratos ejecutados por la misma entidad de este tipo de proyectos, se realizó la búsqueda de procesos similares, obteniendo como resultado los siguientes procesos:

- “Provisión e Instalación de una red de fibra óptica para el Gobierno Provincial del Azuay” con un presupuesto referencial sin Iva de USD\$ 84,405.85, como se muestra en la Figura 5.1

The screenshot displays the 'Ejecución de Contrato' page for the process SIE-GPA-042-2022. The breadcrumb trail includes: Preguntas, Respuestas y Aclaraciones > Entrega de Propuesta > Convalidación de Errores > Calificación de Participantes > Oferta Inicial > Puja > Reprogramación Puja > Por Adjudicar > Adjudicado - Registro de Contratos > Ejecución de Contrato. The left sidebar shows navigation options for 'FASE PRECONTRACTUAL' and 'FASE CONTRACTUAL'. The main content area, titled 'Descripción del Proceso de Contratación', provides the following details:

- Entidad: Gobierno Provincial del Azuay
- Objeto de Proceso: PROVISIÓN E INSTALACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA PARA EL GOBIERNO PROVINCIAL DEL AZUAY.
- Código: SIE-GPA-042-2022
- Tipo Compra: Servicio
- Presupuesto Referencial Total (Sin Iva): USD 84,405.85
- Tipo de Contratación: Subasta Inversa Electrónica

Authorities (Autoridades):

Cédula / Núm. Identificación	Apellidos y Nombres	Cargo	Origen
0101952810	MENDEZ MORA CECILIA DEL CARMEN	Máxima Autoridad Institucional	NACIONAL
1103537005	MACAS CALDERON MARTHA DENISSE	Máxima Autoridad Responsable de la Gestión Administrativa - Financiera	NACIONAL
0101952810	MENDEZ MORA CECILIA DEL CARMEN	Autoridad Ordenadora de Gasto	NACIONAL

Technical Commission (Comisión Técnica): SI

Cédula / Núm. Identificación	Apellidos y Nombres	Función en la Comisión Técnica
------------------------------	---------------------	--------------------------------

Figura 5.1 Proceso SIE-GPA-042-2022 instalación de red de fibra óptica [86]

Debido a que este proceso es únicamente para 3 edificios que pertenecen al Gobierno Provincial del Azuay, se determina que el alcance no es semejante al diseño propuesto.

- “Suministro, instalación y pruebas del tendido de fibra óptica desde la nueva planta Fotovoltaica de San Cristóbal hasta el Data Center de la sub estación San Cristóbal” con un presupuesto referencial sin IVA de USD\$ 46,375.65, información que se detalla en la Figura 5.2

compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=2CEc-T4eK9kKotcABRIUX3yGaR6Hj4qLTNn1SAyStu8, Invitado (2) [Ingresar al Sistema]

Martes 4 de Julio del 2023 12:13

» Información Proceso Contratación

FLUJO DE PROCESO

Preguntas, Respuestas y Aclaraciones > Entrega de Propuesta > Convalidación de Errores > Calificación de Participantes > Oferta Inicial > Negociación > Por Adjudicar > Adjudicado - Registro de Contratos >

Ejecución de Contrato > **En Recepción**

FASE PRECONTRACTUAL

- Ver Preguntas y/o Aclaraciones
- Ver Invitaciones
- Ver Resultados de Negociación

FASE CONTRACTUAL

- Resumen de Contrato

Descripción | Fechas | Productos | Archivos

Descripción del Proceso de Contratación

Entidad: EMPRESA ELECTRICA PROVINCIAL GALAPAGOS S.A.

Objeto de Proceso : SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DEL TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA DESDE LA NUEVA PLANTA FOTOVOLTAICA DE SAN CRISTÓBAL HASTA EL DATA CENTER DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL

Código: SIE-EEPGSA-40-2020

Tipo Compra: Bien

Presupuesto Referencial Total (Sin Iva): USD 46,375.65

Tipo de Contratación: Subasta Inversa Electrónica

Cédula / Núm. Identificación	Apellidos y Nombres	Cargo	Origen
1704433042	LOPEZ BENALCAZAR JUAN CARLOS	Máxima Autoridad Institucional	NACIONAL
2000023354	CAÑIZARES GAVICA ALEXANDRA ELIZABETH	Máxima Autoridad Responsable de la Gestión Administrativa - Financiera	NACIONAL

Autoridades:

Figura 5.2 Proceso SIE-EEPGSA-40-2020 tendido de fibra óptica [87]

De acuerdo a la información obtenida del módulo de contratación pública, este proceso fue realizado por la empresa Eléctrica Provincial de Galápagos S.A., del cual se obtuvo una memoria técnica donde se indica que el proyecto requirió una longitud de cable de 3,300 metros, por lo tanto, no se asemeja al diseño propuesto.

Al no contar con procesos similares a lo requerido, el cálculo del presupuesto estimado para la implementación de la planta externa de la red troncal de fibra óptica se realizó en base a los precios referenciales que maneja un ISP público, de donde se obtuvo un costo total de USD\$ 214,866.80, que se detalla en la Tabla 5.3 y que incluye lo siguiente:

- Tendido de la fibra aérea
- Colocación de herrajes
- Colocación de mangas
- Suministro e instalación de ODFs
- Suministro e instalación de Transceivers
- Fusiones de fibra
- Colocación de patchcord
- Presupuesto óptico
- Suministro y colocación de subidas a poste

Tabla 5.3: Costos de suministro, tendido e instalación de elementos de la red de fibra óptica [88]

ÍTEM	UNIDAD DE PLANTA		CANT.	VALOR UNITARIO (USD\$)	VALOR TOTAL (USD\$)
1	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO ADSS DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE 48 HILOS G.652.D VANO 120 m	m	3987	\$ 1.53	\$ 6,100.11
2	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO ADSS DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE 24 HILOS G.652.D VANO 120 m	m	96972	\$ 1.17	\$ 11,3457.24
3	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MANGA AÉREA PARA FUSIÓN DE 48 FO, TIPO DOMO (APERTURA Y CIERRE)	u	1	\$ 55.21	\$ 55.21
4	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MANGA AÉREA PARA FUSIÓN DE 24 FO, TIPO DOMO (APERTURA Y CIERRE)	u	19	\$ 47.67	\$ 905.73
5	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE HERRAJE DE RETENCIÓN PARA FIBRA ADSS 1 EXTENSIÓN (VANO HASTA 200m)	u	17	\$ 8.14	\$ 138.38
6	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE HERRAJE DE RETENCIÓN PARA FIBRA ADSS 2 EXTENSIONES (VANO HASTA 200m)	u	1246	\$ 9.03	\$ 11,251.38
7	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE HERRAJE DE RETENCIÓN PARA FIBRA ADSS 3 EXTENSIONES (VANO HASTA 200m)	u	1	\$ 9.93	\$ 9.93
8	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE HERRAJE TIPO B (CÓNICO) PARA CABLE DE FIBRA OPTICA ADSS	u	365	\$ 10.94	\$ 3,993.1
9	PREFORMADO HELICOIDAL PARA VANO HASTA DE 200m PARA FIBRA ADSS 12,00-12,80mm	u	2512	\$ 6.53	\$ 16,403.36
10	FUSIÓN DE 1 HILO DE FIBRA ÓPTICA	u	888	\$ 4.51	\$ 4,004.88
11	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ODF DE 48 PUERTOS (INCLUYE PIG TAILS FC/UPC G.652D)	u	1	\$ 128.92	\$ 128.92
12	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ODF DE 24 PUERTOS (INCLUYE PIG TAILS FC/UPC G.652D)	u	18	\$ 84.41	\$ 1,519.38
13	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PATCH CORD DUPLEX FC/UPC-FC/UPC de 3 m G.652D	u	40	\$ 6.13	\$ 245.20
14	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE RACK DE PISO CERRADO 42UR	u	9	\$ 1,028.97	\$ 9,260.73
15	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE IDENTIFICADOR ACRILICO 12.50 cm X 6 cm	u	3258	\$ 3.44	\$ 11,207.52
16	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TRANSCEIVERS GLC-LH-SMD	u	8	\$ 180.00	\$ 1,440.00
17	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TRANSCEIVERS GLC-EX-SMD	u	32	\$ 620.00	\$ 19,840.00
18	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE UPS	u	9	\$ 1,500.00	\$ 13,500.00
				COSTO TOTAL (USD\$)	\$ 213,461.07

De la Tabla 5.3 los datos obtenidos evidencian que los mayores costos por el suministro y tendido de la fibra óptica corresponde a 96,972 metros de cable aéreo ADDS de 28 hilos por un valor de USD\$ 113,457.24 que representa el 53.15% del costo total requerido, mientras que los transceivers que permiten la comunicación de la red de fibra con la red WAN Gigabit Ethernet ocupan el segundo lugar cuyo costo de 32 unidades es USD\$ 19,840.00 correspondiente al 9.29% del costo total, ocupando el tercer lugar los preformados que son esenciales para las curvaturas del cable, donde por una cantidad de 2,512 unidades alcanzan un costo de USD\$ 16,403.36 que representa el 7.68%.

5.2.2 Costos de la red microonda

Consiste en determinar los costos que involucran proyectar la red microonda para dos sub estaciones de ELEPCO S.A., incluyendo, equipamiento, ingeniería para el diseño, títulos habilitantes, alquiler de infraestructura en nodos, etc., y todo lo relacionado que esté enmarcado dentro del proyecto.

Equipos de radioenlaces

En el diseño de la red microonda se definieron los equipos requeridos para los enlaces punto a punto, que permiten comunicar el centro de control con las sub estaciones de Sigchos y La Mana, que según el esquema de la Figura 4.19, en total se necesitan seis radioenlaces. Por tanto, con base en los precios que maneja la firma ADVICOM de este tipo de equipos, los costos estimados son los que se detallan en la Tabla 5.4

Tabla 5.4: Costos de equipos para radioenlaces [89]

ITEM	DESCRIPCION	CANT	PRECIO UNIT. (USD\$)	PRECIO TOTAL (USD\$)
1	Sistema de Enlace Microondas Compacta Digital Full Outdoor (FODU), 7 GHz, Marca: SAF Mod: INTEGRA GS, Radio IP. Configuración simple 1+0, 48 VDC/120 VAC. Incluye: <ul style="list-style-type: none"> • Integra-GS 07 GHz, GE RJ-45 PoE + 2SFP, 3.5 MHz-60MHz, 4QAM-2048QAM, 161 MHz, 01HA, 100 Mbps Basic Lic • Integra-GS 07 GHz, GE RJ-45 PoE + 2SFP, 3.5 MHz-60MHz, 4QAM-2048QAM, 161 MHz, 01LA, 100 Mbps Basic Lic • 2 x GbE PoE universal programmable injector • 2 x AC/DC Power supply 48VDC, 180W (EU) • 2 x Surge protector RJ45 10/100/1000 Base-T PoE Outdoor • 2 x SFP 1310n/m SM Transceiver 1000Base-LX 3.3V • 2 x Lote de Cable Ethernet FTP / CAT6 y Conectores (25m) 	6	\$ 16,500.00	\$ 99,000.00
2	Antena Parabólica 7 GHz, Commscope Mod: 0.6m (2 pies) Polarización simple (V o H), ValuLine. <ul style="list-style-type: none"> • Antenna, Andrew 7/8GHz 0.6m V/H solid parabolic, new ValuLine, base. 	10	\$ 850.00	\$ 8,500.00
3	Antena Parabólica 7 GHz, Commscope Mod: 1m (3 pies) Polarización simple (V o H), ValuLine. <ul style="list-style-type: none"> • Antenna, Andrew 7/8GHz 1m V/H solid parabolic, new ValuLine, base. 	2	\$ 1,680.00	\$ 3,360.00
4	Acoplo Radio – Antena Parabólica 7/8 GHz, SAF, para antenas ValuLine. <ul style="list-style-type: none"> • SAF2R Integration Kit for Andrew 7/8GHz WB ValuLine antennas 	12	\$ 160.00	\$ 1,920.00
5	Herrajes para montaje de antenas parabólicas a Torre	12	\$ 500.00	\$ 6,000.00
SUBTOTAL				\$ 118,780.00
6	Instalación y puesta en marcha enlaces microonda en sitio	6	\$ 1,670.00	\$ 10,020.00
TOTAL (USD\$)				\$ 128,800.00

Infraestructura

De acuerdo al diseño, los radioenlaces se componen de tres estaciones terminales y cuatro estaciones repetidoras, las mismas que disponen de infraestructura física previamente instalada como torres, caseta de comunicaciones, energía eléctrica y vías de acceso, lo que facilitará la instalación de los nuevos equipos de radioenlace, sin embargo, se deben considerar elementos de infraestructura adicionales que fueron definidos en el diseño de nodos, tales como: mástil, UPS de 1,5 KVA y RACK, cuyos costos estimados se consideraron los valores proporcionados por Tellwireless e Inselec que se detallan en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5: Infraestructura adicional en nodos [89] [90] [91]

Infraestructura adicional	CANT.	VALOR UNIT. (USD\$)	VALOR TOTAL (USD\$)
Mástil de 6 metros	1	\$ 279	\$ 279.00
UPS de 1.5 KVA	6	\$ 1,500.00	\$ 9,000.00
RACK 42UR	2	\$ 1,028.97	\$ 2,057.94
TOTAL (USD\$)			\$ 11,336.94

Así mismo, se debe considerar el pago de alquiler por el uso de espacio en la infraestructura física de las estaciones repetidoras, El Guango, Simaurco, Achayanchidi y Macuchi que son propiedad de la empresa CNT; para lo cual el ministerio de telecomunicaciones y de la sociedad de la información, mediante ACUERDO MINISTERIAL No. 006-2018, ha fijado LOS VALORES MAXIMOS que los proveedores de infraestructura física pueden recibir por concepto de arrendamiento de espacio físico en torres, que, dependiendo de la altura de la estructura, no podrán ser superiores a los siguientes montos, ver Tabla 5.6:

Tabla 5.6: Contraprestación para el caso de torres [92]

ESTRUCTURA TORRES	CONTRAPRESTACIÓN MÁXIMA (USD\$ mensual)
Torre ≤ 30m	\$ 1,327.47
Torre ≤ 60m	\$ 2,025.29
Torre > 60m	\$ 2,039.36

Además, en las “DISPOSICIONES GENERALES” del mencionado acuerdo se señala lo siguiente: “1. El canon de arrendamiento por ocupación de espacio físico en el predio, para la instalación de infraestructura de telecomunicaciones, deberá ser acordado entre

las partes, y estos valores no incumben a la norma” [92]. En tal virtud, los precios estimados que maneja un proveedor de infraestructura física por concepto de arrendamiento de espacio en torres, son los que se indican en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7: Precios estimados de un proveedor de infraestructura [93]

Costos Fijos	Altura torre (a)		
	0 > a ≥ 15 (m)	15 > a ≥ 30 (m)	30 > a ≥ 60 (m)
Inversión de la infraestructura	\$ 1,350.00	\$ 2,700.00	\$ 5,400.00
%Tasa de retorno de inversión	14%	14%	14%
(*) Fórmula	\$ 7.875	\$ 15.75	\$ 31.5
Gastos Fijos			
Arriendo (A)	\$ 300.00	\$ 300.00	\$ 300.00
A/2	\$ 150.00	\$ 150.00	\$ 150.00
Energía promedio (E)	\$ 200.00	\$ 200.00	\$ 200.00
Energía (30%)	\$ 60.00	\$ 60.00	\$ 60.00
Valor mensual	\$ 217.88	\$ 225.75	\$ 241.50

*Fórmula de cálculo: $(\text{Inversión inicial}/2) * (\% \text{Inversión de retorno}/12 \text{ meses}) = \text{Retorno mensual de la inversión.}$

Por lo tanto, el costo por el pago del arrendamiento de la infraestructura física en las estaciones repetidoras, tomando como referencia los valores de la Tabla 5.7 son los presentados en la Tabla 5.8:

Tabla 5.8: Costos por pago de arrendamiento de infraestructura física

Estación repetidora	Altura de la torre	Valor mensual (USD\$)
El Guango	30 m	\$ 225.75
Simaurco	30 m	\$ 225.75
Achayanchidi	35 m	\$ 241.50
Macuchi	30 m	\$ 225.75
Valor Total mensual		\$ 918.75
Valor Total anual (USD\$)		\$ 11,025.00

Derechos por otorgamiento de título habilitante

Dado que los radioenlaces microondas trabajan con frecuencias licenciadas en la banda de 7 GHz, el permiso para su utilización se debe solicitar a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, quienes luego de verificar el cumplimiento de los requisitos correspondientes para tal fin, procederán a otorgar un título habilitante de telecomunicaciones de Red privada y uso de frecuencias para

entidades públicas, que consiste en, un registro (autorización) de operación de red privada, y una autorización para uso o explotación de frecuencias del espectro radioeléctrico; dicho título tendrá una duración de 5 años renovables. [94].

La información obligatoria a proporcionar por el solicitante, según el “Reglamento para otorgar títulos habilitantes para servicios del régimen general de telecomunicaciones y frecuencias del espectro radioeléctrico”, son:

Información legal:

- Solicitud dirigida a la Dirección Ejecutiva de ARCOTEL
- En caso de personas jurídicas, datos de la escritura de constitución, debidamente inscrita y sus modificaciones de haberlas;
- Declaración de responsabilidad respecto de que los puntos donde se va a instalar la red privada son de su propiedad, arriendo a su favor, anticresis, comodato, etc.;
- Declaración de responsable, por la cual el peticionario manifiesta bajo su responsabilidad, que cumple con los requisitos exigidos por la normativa vigente, para la obtención del título habilitante y para la ejecución del mismo; así como también que la información y documentos que presenta; son verdaderos; y que además conoce que de verificarse por la ARCOTEL lo contrario, el trámite y resultado final podrán ser negados.
- Autorización conforme la Disposición General Decima Octava de la Reforma y Codificación al Reglamento para Otorgar Títulos Habilitantes para Servicio del Régimen General de Telecomunicaciones y Frecuencias del Espectro Radioeléctrico [94].

En el anexo 15 se tiene el formulario FO-CTDE-68 de solicitud general que se enviará a la ARCOTEL conjuntamente con los demás requisitos. El formulario se encuentra disponible en la página web de la ARCOTEL.

Información Técnica:

La información técnica de los enlaces radioeléctricos, deberán ser ingresadas en los siguientes formularios:

- ***Infraestructura inalámbrica:***
 - Formulario FO-DRE-01, información de la infraestructura del sistema de radiocomunicaciones. (anexo 16)

- Formulario FO-DRE-02, información de antenas. (anexo 17)
- Formulario FO-DRE-03, patrones de radiación de antenas. (anexo 18)
- Formulario FO-DRE-04, información de equipos. (anexo 19)
- Formulario FO-DRE-06, servicio fijo terrestre enlaces punto – punto. (anexo 20)
- Formulario FO-DRE-16, estudio técnico de emisiones RNI (Radiación No Ionizante). (anexo 21)
- Formulario FO-DRE-07, servicio fijo terrestre, perfil topográfico de los enlaces punto – punto. (anexo 22)

- **infraestructura física:**
 - Formulario FO-DRS-26, datos de información general para el otorgamiento del título habilitante de operación de red privada. (anexo 23)
 - Formulario FO-DRS-27, descripción técnica de área de cobertura y ubicación geográfica de las instalaciones a conectar. (anexo 24)
 - Formulario FO-DRS-28, descripción de enlaces. (anexo 25)

Los formatos técnicos citados deberán ser llenados y entregados a la ARCOTEL para solicitar el Otorgamiento de un Título Habilitante, los cuales se encuentran disponibles en la página web de ARCOTEL.

Para el llenado de todos y cada uno de los formatos de la información técnica se recomienda usar el “INSTRUCTIVO DE TRABAJO DE LOS FORMATOS TÉCNICOS PARA EL OTORGAMIENTO DE TÍTULOS HABILITANTES DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO”, que se puede encontrar en el sitio web de ARCOTEL.

Valores a pagar por derechos de otorgamiento de título habilitante:

Los derechos que se deben pagar, según el Reglamento de derechos por el otorgamiento de títulos habilitantes, son dos:

- **Derechos para la operación de redes privadas**
El valor a pagar por una sola vez será de 1.25 veces del SBU (Salario Básico Unificado) [43].
- **Derechos por uso del espectro radioeléctrico para operación de redes privadas**
Para enlaces punto – punto, el valor a pagar por una sola vez corresponde a: 0.006 veces del SBU por enlace, multiplicado por la distancia en km del enlace [43].

Por lo tanto, los valores a pagar por los derechos de otorgamiento de títulos habilitantes, se detallan en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9: Valor a pagar por derechos de otorgamiento de títulos habilitantes

Descripción		Valor (USD\$)
Derechos para la operación de redes privadas		\$ 562. 50
Derechos por uso del espectro radioeléctrico para operación de redes privadas		
ENLACE	DISTANCIA	Valor
CentroControl-EIGuango	12.95 km	\$ 34.97
EIGuango-Simaurco	41.19 km	\$ 111.21
Simaurco-Sigchos	6.71 km	\$ 18.12
Simaurco-Achayanchidi	26.09 km	\$ 70.44
Achayanchidi-Macuchi	15.71 km	\$ 42.42
Macuchi-LaManá	19.86 km	\$ 53.62
TOTAL (USD\$)		\$ 893.28

Tarifas por uso de frecuencias

De acuerdo con el reglamento de tarifas por uso y explotación del espectro radioeléctrico, “la tarifa mensual a pagar por el uso de frecuencias para el enlace punto-punto del servicio Fijo, se calcula para cada estación del enlace, de emisión y recepción, de acuerdo con la ecuación” siguiente:

$$T_{uj} = d_e * IVAP_{jk} * (1 - \beta_{3jk}) * \sum_{i=1}^f \alpha_{3i} * A_i \quad (5.1)$$

Donde:

T_{uj} : Tarifa mensual por Uso de espectro radioeléctrico para la estación j [US\$]

d_e : Distancia del enlace entre las estaciones fijas [km]

j : Estación j del enlace

k : Parroquia k

$IVAP_{jk}$: Índice de Valor Agregado Parroquial para la estación j ubicada en la parroquia k. Se aplicará el IVAP establecido en el reglamento de tarifas por uso y explotación del espectro radioeléctrico.

f : Número de frecuencias asignadas. En este caso, por cada estación fija se utiliza 1 sola frecuencia en cada dirección.

α_{3i} : Coeficiente de valoración del espectro radioeléctrico de la frecuencia i asignada. Para este caso es 0.2486, dado que el rango de frecuencias es $1 < f \leq 10$ GHz.

β_{3jk} : Coeficiente de Corrección para el Servicio Fijo (enlace punto-punto) para la estación j ubicada en la parroquia k . Para este caso es 0.8 para zonas priorizadas y 0 para zonas no priorizadas por el ente rector.

A_i : Ancho de banda asignado por la ARCOTEL para la frecuencia i [MHz]. El ancho de banda es de 28 MHz para cada enlace. [43]

Utilizando la ecuación 5.1 y reemplazando los parámetros establecidos en el reglamento de tarifas, los valores mensuales a pagar por el uso de frecuencias de cada enlace, se detallan en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10: Tarifa mensual por el uso de frecuencias

Enlaces	Estaciones	d	IVAP	f	α	β	A	T (USD\$)
CentroControl-ElGuango	Centro de control	12.95 km	0.7073	1	0.2486	0.0	28 MHz	\$ 63.76
	El Guango		0.7073	1	0.2486	0.0	28 MHz	\$ 63.76
ElGuango-Simaurco	El Guango	41.19 km	0.7073	1	0.2486	0.0	28 MHz	\$ 202.80
	Simaurco		0.258	1	0.2486	0.8	28 MHz	\$ 14.79
Simaurco-Sigchos	Simaurco	6.71 km	0.258	1	0.2486	0.8	28 MHz	\$ 2.41
	Sigchos		0.3354	1	0.2486	0.8	28 MHz	\$ 3.13
Smaurco-Achayanchidi	Simaurco	26.09 km	0.258	1	0.2486	0.8	28 MHz	\$ 9.37
	Achayanchidi		0.4194	1	0.2486	0.8	28 MHz	\$ 15.23
Achayanchidi-Macuchi	Achayanchidi	15.71 km	0.4194	1	0.2486	0.8	28 MHz	\$ 9.17
	Macuchi		0.3214	1	0.2486	0.8	28 MHz	\$ 7.03
Macuchi-LaManá	Macuchi	19.86 km	0.3214	1	0.2486	0.8	28 MHz	\$ 8.88
	La Maná		0.5653	1	0.2486	0.0	28 MHz	\$ 78.15
VALOR TOTAL MENSUAL								\$ 478.48
VALOR TOTAL ANUAL								\$ 5,741.76

5.2.3 Costos de ingeniería de la red privada

El costo de ingeniería tiene que ver con los honorarios del personal encargado del diseño, considerando que se realizaron actividades como: trabajo investigativo para determinar los alcances del diseño, visitas técnicas a los sitios para validar la infraestructura existente, definir el software para realizar las simulaciones, búsqueda del equipamiento necesario, estimación de costos, etc.

Costos de Diseño de la red de fibra óptica

El costo de ingeniería para el diseño de la red de fibra óptica consiste en la adquisición de la planimetría de la provincia de Cotopaxi y los honorarios del personal encargado del diseño de la red según las actividades realizadas que consistieron en: importación de

coordenadas de la postería y de cada uno de los nodos en el programa AutoCAD, determinación de la mejor ruta para el tendido aéreo de la red, investigación del equipamiento y elementos de la red, estimación de costos.

Bajo este contexto, se realiza la estimación de costos de ingeniería para la red de fibra considerando las horas destinadas para la elaboración del diseño de los nueve enlaces de fibra óptica, que se detalla en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11: Costo de ingeniería red de fibra óptica

Cantidad de horas empleadas en el diseño	Costo por horas de trabajo	Costo de ingeniería (USD\$)
100 horas	\$ 20	\$ 2,000.00
Costo adquisición planimetría		\$ 600.00
Costo de adquisición de software		\$ 45.00
Costo de ingeniería		\$ 2,645.00

Costos de Diseño de la red inalámbrica

La valoración de costos de ingeniería del diseño de la red inalámbrica se calcula de forma general, tomando en cuenta las horas empleadas en el diseño de todos los enlaces y asumiendo un costo por hora de trabajo de 20 dólares. Entonces, el costo estimado, se presenta en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12: Costos de ingeniería red inalámbrica

Cantidad de horas empleadas en el diseño	Costo por hora de trabajo	Costo de ingeniería
480 horas	\$ 20	\$ 9,600.00

5.2.4 Costos de los dispositivos de red (switches y routers)

De acuerdo al diseño lógico, los costos de los equipos requeridos para la red de telecomunicaciones son los que se detallan en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13: Costos de los dispositivos de red [95]

ÍTEM	EQUIPO	CANT.	VALOR UNITARIO (USD\$)	VALOR TOTAL (USD\$)
1	SWITCH ETHERNET INDUSTRIAL CISCO MODELO IE-5000-16S12P	13	\$ 7,494.00	\$ 97,422.00
2	ROUTER CISCO MODELO C8200-1N-4T	12	\$ 5,322.98	\$ 63,864.00
3	SWITCH ETHERNET INDUSTRIAL CISCO MODELO IE-4010-4S24P	12	\$ 4,906.00	\$ 58,872.00
TOTAL				\$ 220,158.00

5.3 Estudio económico

En esta sección se analiza la factibilidad económica del proyecto para un lapso de tiempo de 10 años, considerando la inversión inicial, los gastos de operación y los ingresos, para posteriormente evaluar la viabilidad financiera en base a los indicadores VAN y TIR.

5.3.1 Gastos de operación

Los gastos de operación son los egresos que ELEPCO S.A. deberá pagar anualmente para que la red se mantenga operando, entre estos se han considerado el pago de derechos de concesión, pago de tarifas por uso de frecuencias, pago de arrendamiento por uso de infraestructura física en las estaciones repetidoras. Además, se considera los egresos anuales por concepto de materiales para el mantenimiento preventivo y correctivo, para lo cual se asume un costo estimado de \$ 20,000.00 anuales que estarán contemplados en el Plan Anual de Contratación (PAC) de la empresa; y, se plantea la contratación de otros profesionales con base al respectivo análisis organizacional.

Análisis organizacional

En la estructura organizacional de ELEPCO S.A., actualmente se cuenta con la Dirección Administrativa y de Tecnologías, como se muestra en la Figura 5.3; dentro del cual consta la Jefatura de TICs que es la encargada de las tecnologías de la información y comunicaciones de la organización. Para brindar soporte a la red corporativa, en la actualidad se cuenta con un profesional y un analista, recurso humano que sería insuficiente para satisfacer las necesidades de gestión y mantenimiento del nuevo diseño de red de telecomunicaciones. Por lo que sería necesario contratar 3 nuevos profesionales para que cumplan los nuevos roles y responsabilidades.

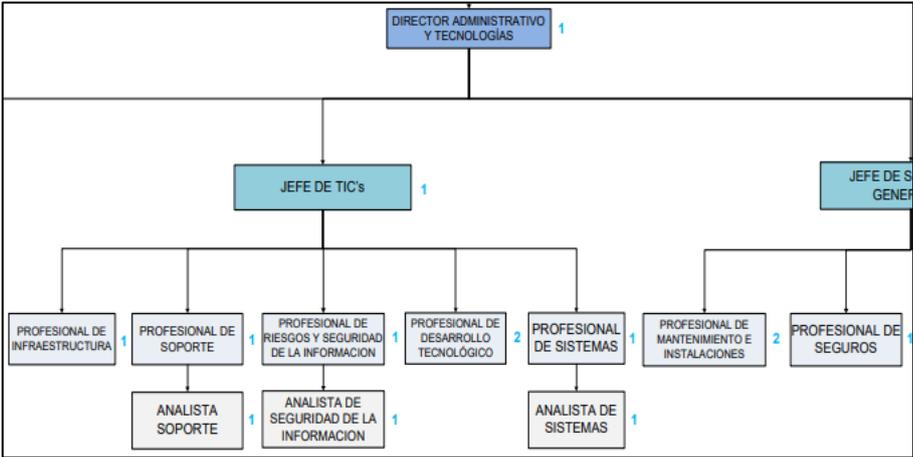


Figura 5.3 Organigrama Dirección Administrativa y de Tecnologías ELEPCO S.A. [96]

Los nuevos profesionales de acuerdo con el perfil requerido recibirán una remuneración conforme a la tabla salarial según la denominación de puestos que maneja ELEPCO S.A., dando cumplimiento que la remuneración a recibir este dentro del rango establecido en los salarios mínimos sectoriales para el año 2023 emitidos por el Ministerio de Trabajo, con lo cual se realizó el cálculo correspondiente de las aportaciones y beneficios de ley, como se detalla en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14: Costos por pagos de salarios [96]

Personal técnico por contratar	Salario	Décimo tercera remuneración	Décima Cuarta remuneración	Aportes IESS	Mensual	Annual
Supervisor general de telecomunicaciones	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00	\$ 450.00	\$ 137.25	\$ 1,637.25	\$ 21,597.00
Técnico de Transmisiones	\$ 600.00	\$ 600.00	\$ 450.00	\$ 54.90	\$ 654.90	\$ 8,908.80
Técnico de fibra óptica/ cobre / empalmador	\$ 600.00	\$ 600.00	\$ 450.00	\$ 54.90	\$ 654.90	\$ 8,908.80
Gasto sueldos						\$ 39,414.60

Herramientas

El mantenimiento de la red de fibra óptica es esencial para garantizar el óptimo funcionamiento de la infraestructura, por lo tanto, es indispensable que el personal designado para esta actividad cuente con todas las herramientas que le permitan desarrollar las diferentes actividades como monitorización, pruebas y limpieza de los elementos activos y pasivos, permitiendo la detección y solución de fallas de la red. Los precios estimados de las herramientas necesarias conforme el mercado nacional, son los que se describen en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15: Costos por herramientas para mantenimiento

Ítem	Cantidad	Producto	Descripción	Valor Unitario USD\$	Valor Total USD\$
1	1	Camioneta	Jac T8 Diesel 4X4	35,000.00	35,000.00
2	2	Escalera	T1A Telescópica 9.75MTF. Vidrio	830.07	1,660.14
3	1	Empalmadora de fibra óptica	DVP-740	1,000.00	1,000.00
4	1	Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo	Jonal Tools' Mini Pro OTDR-1000	1,495.95	1,495.95
5	1	Caja de herramientas	Stanley	129.00	129.00
TOTAL					39,285.09

5.3.2 Ingresos

Los ingresos se obtendrán de dos maneras, ingresos del no desembolso de recursos por el servicio de transmisión de datos, que de acuerdo al estudio de mercado es de 132,000.00 dólares anuales; y, por el arrendamiento de postes al ISP, que según los precios establecidos por el Ministerio de Telecomunicaciones, el valor de arrendamiento anual de cada poste no podrá ser superior a USD\$ 8.83; en ese sentido, si se considera que actualmente el ISP 1 utiliza 5,334 postes de propiedad de ELEPCOSA, los ingresos por este concepto será de USD\$ 47,099.22. Por lo tanto, los ingresos anuales se presentan en la Tabla 5.16 [97].

Tabla 5.16: Proyección de Ingresos

INGRESOS	VALOR ANUAL (USD\$)
Ahorro por servicio no pagado al ISP	\$ 132,000.00
Arrendamiento de postes al ISP	\$ 47,099.22
TOTAL, INGRESOS	\$ 179,099.22

5.3.3 Inversión inicial

Los costos de la inversión inicial son aquellos valores de los elementos que posibilitan poner en funcionamiento la red de telecomunicaciones. Del estudio técnico realizado, se consideran parte del presupuesto de inversión los costos por equipamiento, ingeniería, infraestructura e instalación, los mismos que se resumen en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17: Inversión inicial del proyecto

INVERSIÓN	VALOR (USD\$)
Costos de equipos para radioenlaces, incluye instalación y puesta en marcha	\$ 128,800.00
Infraestructura adicional en nodos	\$ 11,336.94
Costos de ingeniería	\$ 12,245.00
Costos de los dispositivos de red	\$ 220,158.00
Costos de la red de FO	\$ 213,461.07
Costo de herramientas	\$ 39,285.09
PRESUPUESTO DE INVERSIÓN INICIAL	\$ 625,286.10

De la Tabla 5.17 los datos obtenidos evidencian que los mayores costos por la inversión corresponde a los Costos de los dispositivos de red por \$ 220,158.00 que representan el 35.20% del costo total requerido, mientras que los Costos de la red de Fibra Óptica ocupan el segundo lugar cuyo valor es \$ 213,461.07 correspondiente al 34.14% del costo total de la inversión y ocupando el tercer lugar los Costos de equipos para radioenlaces que alcanzan un costo de \$ 128,800.00 que representa el 20.59%.

5.3.4 Evaluación financiera del proyecto

Para la evaluación financiera se elabora el flujo de caja proyectado (ver anexo 26) teniendo como insumos los valores de, la inversión inicial, gastos de operación y los ingresos. Con los resultados del flujo de caja se calculan los indicadores financieros VAN y TIR para determinar la viabilidad del proyecto.

Indicadores financieros

Los indicadores financieros son herramientas que dan la posibilidad de evaluar la rentabilidad de los proyectos de inversión; los que se utilizan en el presente proyecto se definen a continuación.

Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)

También llamada costo de capital o tasa de descuento, es la tasa mínima de rentabilidad requerida por el inversionista sobre una inversión propuesta. Para el cálculo se consideran dos factores, la inflación y el premio (o sobretasa) por arriesgar el dinero, lo que se puede expresar mediante la ecuación 5.2 [98]:

$$TMAR = i + f + if \quad (5.2)$$

Donde, i = premio al riesgo

f = inflación

Para el cálculo se considera una inflación anual, $f = 1.69\%$ a junio del 2023. [99]

En cuanto al riesgo, este puede ser bajo, medio o alto:

- **Riesgo bajo:** si la demanda del producto o servicio es estable y no existe competencia fuerte de otros productores, el riesgo está entre 3% y 6%.
- **Riesgo medio:** Proyectos con variación de la demanda y competencia considerable, se estima un riesgo entre el 6% al 10%.
- **Riesgo alto:** Negocios donde el precio del producto es muy variable por a la oferta y demanda, entonces el riesgo puede ser superior al 10% [98] [100].

Para el presente estudio se considera un riesgo bajo ($i = 6\%$), puesto que son pocos los ISPs locales que podrían ofrecer un servicio similar al propuesto en este proyecto, es decir, la competencia es baja.

Por lo tanto, la TMAR será de 7.79%. Este parámetro se utiliza para calcular el VAN de la inversión y así determinar si el proyecto es rentable o no.

Valor actual neto (VAN)

Es el valor de oportunidad en dinero actual de una alternativa de inversión, que consiste en actualizar a valor presente los flujos de caja futuros que va a generar el proyecto, descontando un tipo de interés (tasa de descuento), para compararlo con la inversión inicial [98].

Los criterios de decisión son:

- $VAN > 0$ proyecto es conveniente.
- $VAN < 0$ proyecto no es conveniente.
- $VAN = 0$ indiferente [98]

Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa de interés que se percibe por mantener los dineros invertidos en el proyecto, suponiendo que el dinero que se gana año con año se reinvierte en su totalidad en el interior de la empresa [98].

Los criterios de decisión son:

- $TIR >$ tasa de descuento, el proyecto es factible
- $TIR <$ tasa de descuento, el proyecto no es factible
- $TIR =$ tasa de descuento, indiferente [98]

Análisis de los indicadores VAN y TIR

El análisis se basa en los siguientes parámetros:

- Vida útil del proyecto: 10 años
- Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR): 7.79%

De acuerdo con el flujo de caja proyectado (ver anexo 26) los valores obtenidos de los índices financieros se presentan en la Tabla 5.18

Tabla 5.18: Indicadores VAN y TIR

Inversión inicial	USD\$ 625,286.10
TMAR	7.79%
VAN	USD\$ 70,492.19
TIR	10.21%

Según los resultados de la Tabla 5.18, se tiene que el VAN es mayor a 0, lo que significa que el proyecto generará beneficios y por tanto se estima una inversión segura. La TIR por su parte es del 10.21%, siendo mayor que la TMAR, en consecuencia, el proyecto se considera factible, pues se estima un rendimiento del 10.21% respecto de la inversión inicial.

Se debe mencionar, que el presupuesto de la inversión inicial del proyecto será financiado con recursos propios de ELEPCO S.A., de acuerdo con el PLAN GENERAL DE NEGOCIOS, EXPANSIÓN E INVERSIÓN que se ejecuta cada año, cuyas fuentes de financiamiento son: Costo de la Tarifa Eléctrica aplicado a la Generación, Servicio Público de Electricidad (SPEE) y Servicio de Alumbrado Público General (SAPG); así como también de aportes de accionistas (MUNICIPIOS). Los montos de inversión previamente deberán ser incluidos en el Estudio de Costos del respectivo año para la aprobación por parte del Ministerio de Energía y Minas (MEM) y de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No renovables (ARCERNNR) [101].

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Con base en los objetivos planteados y del desarrollo del proyecto se establecen las siguientes conclusiones:

- **Revisar el estado del arte de la red de telecomunicaciones para la transmisión de datos del sistema SCADA, voz y video.**

La revisión de documentación técnica disponible como libros, tesis de grados, sitios web de empresas tecnológicas, etc. permitió definir los elementos a considerar dentro del diseño de la red tales como, tipos de tráfico y la demanda mínima a satisfacer, topología de la red, tecnología a utilizar, componentes del sistema, y aspectos legales.

Con relación a la tecnología a usar, partimos de la situación actual, donde se demostró que la red del ISP no cumple con el nivel de servicio mínimo establecido en el 99%; las capacidades actuales que están entre 4 Mb/s y 8 Mb/s tampoco cubre las demandas requeridas para la transmisión de datos de telemetría, video y voz, que según el cálculo del diseño es de 23.89 Mb/s; por lo tanto se determinó que, para disponer una red de telecomunicaciones convergente para la transmisión de los tres tipos de tráfico, la tecnología más apropiada a emplear a nivel de capa de enlace de datos, es Gigabit Ethernet, utilizando como medio de transmisión la fibra óptica y enlaces microondas que también pueden ofrecer velocidades de hasta 1 Gb/s.

El uso de frecuencias licenciadas Transmisión/Recepción 7442 MHz/7596 MHz, en la banda de 7 GHz en los radioenlaces microondas se torna indispensable para garantizar la disponibilidad de la red, toda vez que no se tendrán sistemas cercanos trabajando en la misma frecuencia que puedan ocasionar interferencias a la red.

- **Evaluar el funcionamiento de la red actual en cada sub estación eléctrica para establecer un diagnóstico.**

En el estudio técnico de la red actual se comprobó que, la tasa de datos requerida para la transmisión de datos de telemetría (SCADA) en promedio no supera los 50 kb/s en todas y cada una de las sub estaciones, con un pico máximo de 1.7 Mb/s registrado en

la sub estación Salcedo, de acuerdo al análisis efectuado entre los meses de noviembre y diciembre del año 2022, por lo tanto, el consumo de ancho de banda de este tipo de tráfico es bajo en comparación con las capacidades asignadas por el ISP. Sin embargo, el estudio también evidenció que la red actual presenta problemas de desconexiones, ocasionando indisponibilidad frecuente del servicio durante todos los meses del año, según los datos históricos registrados en el periodo comprendido de junio a noviembre del 2022.

Es así como, los resultados obtenidos del estudio técnico de la red actual expuestos anteriormente, revelaron que la red del ISP presenta un nivel de servicio por debajo de lo mínimo establecido, que es del 99 %, incumpliendo de esta forma con lo dispuesto en el convenio vigente firmado entre las partes, afectando directamente a la operación de la red eléctrica mediante el sistema SCADA, puesto que los datos teledados se ven interrumpidos por estos eventos de desconexiones.

- **Diseñar la red convergente con base en los estándares internacionales de la ITU, TIA, EIA, IEEE y simulación de la red lógica (routers, switches, VLANs, basados en enlaces FastEthernet) para comprobar su funcionamiento.**

Se realizó el diseño de la red basado en la tecnología Gigabit Ethernet, que está definido en el estándar 802.3z del IEEE, cuya capacidad de transmisión es de 1 gigabit por segundo, lo que permite cubrir las necesidades de transmisión de datos actuales y futuras de ELEPCOSA.

Al diseñar la red troncal de fibra óptica basado en normativas y estándares internacionales y nacionales emitidas por entes en el área de las telecomunicaciones como ITU con recomendaciones como ITU-G652 que especifica Características de la fibras y cables ópticos monomodo y ITU-G671 que define Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos, además de las recomendaciones de la ARCOTEL que detallan Normas técnicas de despliegue y tendido de redes físicas de telecomunicaciones, garantizan que el diseño cumpla con parámetros (mecánicos y de transmisión) de los componentes de la red que le permitirán operar para solventar los requerimientos de la empresa ELEPCO S.A. todo enmarcado bajo la normativa legal vigente, garantizando la calidad y disponibilidad del servicio en la transmisión de datos.

Así mismo, para el diseño de los enlaces microondas se siguió las recomendaciones de la ITU, que da los lineamientos para el uso de frecuencias dentro de una determinada banda, dependiendo de cada aplicación; mientras que, para el tratamiento del cableado de telecomunicaciones, se siguió la norma EIA/TIA, que especifica ciertos requisitos mínimos a tomar en cuenta, tales como, límites de distancia, topología recomendada, conectores, etc.

Por otro lado, se implementó un diseño lógico que se soporta sobre una jerarquía de red de tres capas sugerido por cisco, que son: núcleo, distribución y acceso, lo que permite separar las funciones de los dispositivos de red en cada capa, para conseguir un mejor desempeño de la red.

Para la simulación se configuró varios parámetros en los dispositivos de red, entre los más relevantes se pueden citar los siguientes: VLANs y puerto troncal en el nivel de acceso; subinterfaces, DHCP y servicio de telefonía IP en el nivel de distribución; EtherChannel y protocolo de enrutamiento OSPF en el nivel núcleo. Finalmente se comprobó satisfactoriamente el funcionamiento de la red mediante pruebas de conectividad, pruebas de redundancia de enlace, prueba de desconexión y convergencia, y pruebas de telefonía IP.

- **Realizar el estudio de viabilidad técnica- económica del proyecto, para el análisis de factibilidad de implementación.**

Se realizó el estudio de viabilidad del proyecto con base en tres estudios; de mercado, para identificar los costos estimados que involucraría contratar el servicio con terceros, lo que a su vez representan los ingresos que ELEPCOSA recibiría como ahorro en el futuro; estudio técnico, para determinar el presupuesto estimado de la inversión, tomando en cuenta los costos de: equipos, infraestructura, ingeniería, derechos de concesión y tarifas por el uso de frecuencias; y, estudio económico, que mediante los cálculos de los parámetros $TIR = 10.21\%$ y $VAN = \$70,492.19$ se determinó que el proyecto es rentable financieramente, considerando un escenario de riesgo bajo del 6% para un tiempo de vida útil de 10 años.

En tal sentido, se concluye que el proyecto es factible técnica y económicamente para su implementación, en caso de que la empresa ELEPCOSA así lo decida.

6.2 Recomendaciones

- Para el desarrollo del diseño de la red de fibra óptica, se recomienda tener con anticipación la planimetría para garantizar la longitud exacta que tendrá el recorrido del cable, parámetro fundamental para la elección del tipo de fibra a utilizar, además de tener debidamente identificado el tipo de datos a transmitir para así poder hallar el ancho de banda apropiado.
- Se recomienda realizar el cálculo del presupuesto óptico para determinar la máxima atenuación que puede tener el diseño y así determinar si este cumple con los requisitos que se requiere en la red, además de la estimación de los costos del proyecto para determinar si este es factible.
- Para los radioenlaces usar frecuencias en las bandas licenciadas, con la finalidad de garantizar que no haya otro sistema cercano trabajando en la misma frecuencia, de esta forma se puede evitar tener interferencias que afecten a la disponibilidad de la red.
- Cuando se implemente la nueva red en ELEPCOSA, se recomienda mantener enlaces de backup, en las sub estaciones de La Maná, Sigchos, Illuchi 1 e Illuchi2, contratados con un ISP, puesto que, debido a sus ubicaciones geográficas no están dentro del anillo de fibra óptica que le permitan tener redundancia de enlace.
- Contemplar dentro de la planificación de la empresa un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para la nueva red, ya sea con personal propio o con un proveedor externo, para garantizar el soporte técnico 7x24x365.
- Gestionar con anticipación el otorgamiento del título habilitante ante la ARCOTEL para la operación de red privada y por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico, antes de implementar los radioenlaces, dado que este proceso puede demorar cierto tiempo de entre 30 y 60 días, desde el ingreso de la solicitud hasta su aprobación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi s.a. ELEPCOSA, «Reseña Histórica,» ELEPCOSA, 2023. [En línea]. Available: <https://elepcosa.com.ec/nosotros/resena-historica/>. [Último acceso: 05 Noviembre 2022].
- [2] Pérez López Esteban, «Los sistemas SCADA en la automatización industrial,» 2015. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5280242>. [Último acceso: 05 Noviembre 2022].
- [3] Villanueva Paredes Fredy, «Evaluación, diagnóstico y propuestas de mejora de la red de telecomunicaciones del sistema Scada de Sociedad Eléctrica del Sur Oeste,» 19 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/6450>. [Último acceso: 05 Noviembre 2022].
- [4] Avilés Vílchez José, «Automatización de equipos de protección y reconexión mediante un sistema SCADA usando comunicación GPRS para la gestión remota de la red de distribución eléctrica de Hidrandina S.A,» 2020. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3549>. [Último acceso: 05 Noviembre 2022].
- [5] Klinger Landázuri Aníbal y Cepeda Vásquez Ricardo, «Diseño e implementación del sistema SCADA en el módulo de comunicación IEC 61850 para monitoreo de los IED de los módulos de protección de sistemas de generación, líneas de transmisión y redes de distribución,» 2020. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19097>. [Último acceso: 05 Noviembre 2022].
- [6] SCHNEIDER ELECTRIC, Empresa Eléctrica Quito EEQ, *Suministro e Implantación del Sistema SCADA/OMS - MWM/DMS, para las Empresas Eléctricas de Distribución del País*, Quito: Empresa Eléctrica Quito EEQ, 2013.
- [7] MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS, *Especificaciones técnicas SCADA/OMS-MWM/DMS*, Quito: Proyecto SIGDE MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS ECUADOR, 2012.
- [8] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovable ARCERNNR, «REGULACIÓN Nro. ARCERNNR 002/20 (Codificada),» Marzo 2023. [En línea]. Available: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/Anexo-003-2023-Codificacion-Regulacion-002-20_rev-DE-signed.pdf. [Último acceso: 06 Junio 2023].
- [9] Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. ELEPCOSA, *CONVENIO PARA LA UTILIZACIÓN DE POSTES DE PROPIEDAD DE LA ELEPCOSA Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE INTERNET Y TRANSMISIÓN DE DATOS SUSCRITO ENTRE ELEPCOSA Y LA EMPRESA TELCONET*, Latacunga: ELEPCOSA, 2015.
- [10] Córdoba Martha Nelly y Monsalve Carolina, «STUDYLIB Informe TIPOS DE INVESTIGACIÓN: Predictiva,» [En línea]. Available: <https://studylib.es/doc/5446312/informe-tipos-de-investigaci%C3%B3n--predictiva>. [Último acceso: 05 Noviembre 2022].
- [11] MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS, «APRENDERLY, Especificaciones técnicas SCADA/OMS-MWM/DMS,» Julio 2012. [En línea]. Available: <https://aprenderly.com/doc/3481304/2.-arquitectura-del-sistema-scada-oms-mwm-dms>. [Último acceso: 30 Agosto 2023].

- [12] Castro Chevarría Alvaro, «Sistema de Supervisión en tiempo real de subestaciones en empresas eléctricas,» 2008. [En línea]. Available: <https://silo.tips/download/sistema-de-supervision-en-tiempo-real-de-subestaciones-en-empresas-electricas>. [Último acceso: 01 01 2023].
- [13] Villajulca José Carlos, «Instrumentación y Control.net ¿Que es realmente un sistema SCADA en tiempo real?,» Instrumentación y Control.net, 06 Diciembre 2009. [En línea]. Available: <https://instrumentacionycontrol.net/que-es-realmente-un-sistema-scada-en-tiempo-real/>. [Último acceso: 07 Junio 2023].
- [14] Villajulca José Carlos, «Instrumentación y Control.net, Determinando el Intervalo del Scan en sistemas SCADA,» Instrumentación y Control.net, 12 Diciembre 2009. [En línea]. Available: <https://instrumentacionycontrol.net/determinando-el-intervalo-del-scan-en-sistemas-scada/>. [Último acceso: 07 Junio 2023].
- [15] Gobierno de Colombia, «Redes de Telecomunicaciones,» MInisterio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2021. [En línea]. Available: <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Atencion-y-Servicio-a-la-Ciudadania/Preguntas-frecuentes/5235:Redes-de-Telecomunicaciones>. [Último acceso: 08 Diciembre 2022].
- [16] Vera Cárdenas Daylin y Acaro Chacón Ximena, «Estudio técnica para la implementación de una red móvil 5G en la ciudad de Guayaquil,» 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33979>. [Último acceso: 08 Diciembre 2022].
- [17] ACADEMIA, «Introducción a Redes Conmutadas,» [En línea]. Available: https://www.academia.edu/37223117/Cap%C3%ADtulo_01_Introducci%C3%B3n_a_las_redes_conmutadas_Principios_B%C3%A1sicos_de_Routing_and_Switching. [Último acceso: 19 09 2023].
- [18] Tech Riders, «Redes Conmutadas,» [En línea]. Available: <https://techriders.tajamar.es/redes-conmutadas/>. [Último acceso: 19 09 2023].
- [19] Villamar Villao Anthony y Trujillo Borja Ximena, «Prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real de riesgos potenciales para hogares usando tecnología de transmisión de datos inalámbrica,» 22 Abril 2022. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/59643>. [Último acceso: 08 Diciembre 2022].
- [20] CISCO, «Redes empresariales,» 2019. [En línea]. Available: https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/small-business/pdfs/smb-redes-mx.pdf. [Último acceso: 8 12 2022].
- [21] REVISTA ELECTRO INDUSTRIA, «Las 10 recomendaciones más importantes para las implementaciones EtherNet/IP en toda la Planta,» REVISTA ELECTRO INDUSTRIA, Mayo 2011. [En línea]. Available: <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1594&ni=las-10-recomendaciones-mas-importantes-para-las-implementaciones-ethernet/ip-en-toda-la-planta>. [Último acceso: 06 Julio 2023].
- [22] Aleaga Albán Erik, «Análisis de vulnerabilidad sobre protocolos VPN,» 2021. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/56482>. [Último acceso: 05 Febrero 2023].
- [23] Caballero Gonzáles Carlos y Matamala Peinado mauricio, «Libros, Instalación y configuración de los nodos a una red de área local,» Ediciones Paraninfo, S.A., 2016, 2016. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books/about/Instalaci%C3%B3n_y_configuraci%C3%B3n_de_los_nodos.html?id=5R7dDQAAQBAJ&redir_esc=y. [Último acceso: 8 12 2022].
- [24] Lederkremer Miguel, «Libros, Redes Informáticas / Topología de red,» RedUsers, 2019. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books/about/Redes_Inform%C3%A1ticas.html?id=7frADwAAQBAJ&redir_esc=y. [Último acceso: 15 Febrero 2023].

- [25] CISCO, «Cisco Networking Academy, Capítulo 6: Redes6.5.1.1 Topologías lógicas y físicas,» Cisco Networking Academy, [En línea]. Available: <https://www.aulainnova.com.ar/IT%20Essentials%205.0/course/module6/#6.0.1.1>. [Último acceso: 10 Febrero 2023].
- [26] Rosero Topón Jonnathan y Mendoza Yaguachi William, «Estudio y diseño de los medio de comunicación industrial sobre sistemas de protección con IEDs en subestaciones de distribución,» Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5164>. [Último acceso: 10 Febrero 2023].
- [27] Velasco Burbano Javier, «Diseño de una red de respaldo de fibra óptica al sistema de monitoreo SCADA para las subestaciones eléctricas de CNEL EP en la ciudad de Babahoyo,» 16 Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7697>. [Último acceso: 25 Febrero 2023].
- [28] A. Alegría, «El Estándar Ethernet,» [En línea]. Available: <https://elprofealegría.com/redes/el-estandar-ethernet/>. [Último acceso: 25 Febreo 2023].
- [29] WIKIPEDIA, «IEEE 802,» WIKIPEDIA, 14 Octubre 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802. [Último acceso: 05 Marzo 2023].
- [30] IONOS, «¿Qué es Ethernet (IEEE 802.3)?,» 08 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.ionos.mx/digitalguide/servidores/know-how/ethernet-ieee-8023/>. [Último acceso: 05 Marzo 2023].
- [31] Joskowicz José, «CABLEADO ESTRUCTURADO,» Septiembre 2006. [En línea]. Available: <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=25803>. [Último acceso: 05 Marzo 2023].
- [32] Asociación de Fibra Óptica (FOA), «Sistemas de transmisión por Fibra Óptica y sus componentes,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm#:~:text=La%20luz%20del%20transmisor%20se,utiliza%20en%20el%20equipo%20receptor..> [Último acceso: 20 Septiembre 2023].
- [33] Sánchez Jiménez Julio y Suarez Zambrano Marbin, «Análisis, diseño e implementación de laboratorios de computación con servicios de control de ancho de banda y seguridad interna para la escuela de educación básica Fiscal “José Mendoza Cucalón”,» 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48850>. [Último acceso: 10 Diciembre 2022].
- [34] Ibrahín Alonso Vargas, «SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA,» [En línea]. Available: <https://vdocuments.net/sistemas-de-fibraoptica-ibrahin-alonso-vargaspdf.html>. [Último acceso: 20 Septiembre 2023].
- [35] Hangzhou DAYTAI Network Technologies Co., Ltd., «Cable ADSS autoportante dieléctrico,» [En línea]. Available: https://www.daytaifiber optic.com/fiber-optic-cable/adss-optical-cable/all-dielectric-self-supporting-adss-cable.html?gclid=EAIaIQobChMIn_DmqbW6gQMv54NaBR0V9wJjEAAYASAAEgJ1kFD_BwE. [Último acceso: 20 Septiembre 2023].
- [36] Hernando Rábanos José, TRANSMISIÓN POR RADIO, Madrid: CENTRO DE ESTUDIOS RAMÓN ARECES, S.A..
- [37] Romero Velasco Mónica, «UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI, Sistema de Detección Perimetral por fibra óptica y radiofrecuencia,» Septiembre 2005. [En línea]. Available: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/786pub.pdf>. [Último acceso: 31 Agosto 2023].

- [38] Paucar Rojas Franklin y Jiménez Jiménez Marlon, «Diseño de una red digital para el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional,» Octubre 2008. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/910>. [Último acceso: 26 Abril 2023].
- [39] SIMON R. SAUNDERS y ARAGÓN ZAVALA ALEJANDRO, ANTENNAS AND PROPAGATION FOR WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM, Chichester- West Sussex England, : John Wiley & Sons Ltd, 2007.
- [40] Rodríguez Díaz Mayaurima, «UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO, Propuesta para el respaldo del transporte de las señales de audio de radio nacional de Venezuela entre las redes de RNV - VOLCÁN - VTV,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAT5307.pdf>. [Último acceso: 31 Agosto 2023].
- [41] Lozada Velastegui Diego y Vega Viracucha Marcia, «Diseño de una red de alta capacidad para el enlace QUITO - LAGO AGRIO utilizando radios SDH para el transporte de datos,» Diciembre 2010. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2674>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [42] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL , «PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS ECUADOR-2021,» Junio 2021. [En línea]. Available: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/PNF-V.6.0_14-07-21_v.1.pdf. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [43] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, «RESOLUCIÓN 06-08-ARCOTEL-2022 Reglamento de Derechos por el otorgamiento de Títulos Habilitantes y Tarifas por uso y explotación del espectro radioeléctrico,» Octubre 2022. [En línea]. Available: http://esacc.corteconstitucional.gob.ec/storage/api/v1/10_DWL_FL/eyJjYXJwZXRhIjoicm8iLCJ1dWkljoiZTU1NzA1YzgtZjUwMi00OTBiLTkxZTktYmQ4MjMjYTkzNzY1LnBkZiJ9. [Último acceso: 24 Abril 2023].
- [44] Gob.ec Portal único de trámites ciudadanos, «Ley Orgánica de Telecomunicaciones,» Asamblea Nacional del Ecuador, 18 Febrero 2015. [En línea]. Available: <https://www.gob.ec/regulaciones/ley-organica-telecomunicaciones>. [Último acceso: 10 Diciembre 2022].
- [45] Gob.ec Portal único de trámites ciudadanos, «ARCOTEL-2017-0584 NORMA TECNICA PARA EL ORDENAMIENTO, DESPLIEGUE Y TENDIDO DE REDES FÍSICAS AÉREAS DE SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y REDES PRIVADAS,» Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, MINTEL, 2021. [En línea]. Available: <https://www.gob.ec/regulaciones/arcotel-2017-0584-norma-tecnica-ordenamiento-despliegue-tendido-redes-fisicas-aereas-servicios-regimen-general-telecomunicaciones-redes-privadas>. [Último acceso: 09 Diciembre 2022].
- [46] Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL, *Multimedia sobre IP, Maestría en Telecomunicaciones COHORTE 8*, Guayaquil: ESPOL, 2022.
- [47] PACKETIZER, «VoIP Bandwith Calculator,» Packetizer, 2023. [En línea]. Available: <https://www.bandcalc.com/>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [48] Cortes Hernandez Germán, «Cálculo del ancho de banda (nominal vs efectivo),» TECNOseguro, 05 Abril 2014. [En línea]. Available: <https://www.tecnoseguro.com/tutoriales/cctv/calculo-del-ancho-de-banda-nominal-vs-efectivo>. [Último acceso: 25 Abril 2023].

- [49] Tecnología de la seguridad, «Ancho de banda y almacenamiento,» 30 Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://serviciostc.com/ancho-de-banda-y-almacenamiento/>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [50] OPTICOM, «Calculadora de ancho de banda,» 2020. [En línea]. Available: <https://opticomtech.com/es/calculadora-de-ancho-de-banda/>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [51] ITU-T TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU, «G.652 : Characteristics of a single-mode optical fibre and cable,» Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I/en>. [Último acceso: 14 Agosto 2023].
- [52] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, «RESOLUCIÓN ARCOTEL 2017 Norma Técnica para el Ordemamiento, Despliegue y Tendido de redes físicas Aéreas de servicios del Régimen General de las Telecomunicaciones y Redes Privadas,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/08/Resolucion-0584-ARCOTEL-2017.pdf>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [53] Telnet Redes Inteligentes, «Cable aéreo ADSS,» [En línea]. Available: <https://www.telnet-ri.es/productos/cable-de-fibra-optica-y-componentes-pasivos/cable-aereo-adss/>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [54] OptyTech Equipos y accesorios de telecomunicaciones, «MANGA DOMO M8 24, 48, 96, 144H,» [En línea]. Available: <https://www.optytech.com.ec/materiales-de-fibra-optica/4-manga-tipo-domo-24-48-96-144h.html>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [55] ZC Mayorista, «Herrajes fibra óptica cablix,» [En línea]. Available: <https://zcmayoristas.com/zcwebstore/product-category/cablix/herrajes-fibra-optica-cablix/page/2/>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [56] Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT, «Normativa de Diseño y Construcción de redes de Telecomunicaciones con Fibra Óptica,» 2012.
- [57] SUNTELECOM.CN Fiber Optic Total Solutions, «SUN-ADSS-TC Series Tension Clamp Model: SUN-ADSS-TC,» [En línea]. Available: <https://en.suntelecom.cn/adss-tension-clamp.html>. [Último acceso: 05 Junio 2023].
- [58] FibreMex, «3 razones para almacenar la reserva de cable en raquetas,» 8 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://fibremex.com/fibra-optica/views/Blog/detalle.php?id=6>. [Último acceso: 05 Junio 2023].
- [59] FS COMMUNITY, «¿Qué es transceiver fibra óptic sfp (mini-gbig) y cómo funciona?,» 07 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://community.fs.com/es/blog/sfp-module-what-is-it-and-how-to-choose-it.html>. [Último acceso: 08 Agosto 2023].
- [60] CISCO, «Cisco SFP Modules for Gigabit Ethernet Applications Data Sheet,» 01 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/gigabit-ethernet-gbic-sfp-modules/datasheet-c78-366584.html>. [Último acceso: 08 Agosto 2023].
- [61] TECNOSINERGIA, «Elementos que conforman un enlace de fibra óptica,» 2023. [En línea]. Available: <https://tecnosinergia.zendesk.com/hc/es/articles/4406171484827-Elementos-que-conforman-un-enlace-fibra-%C3%B3ptica-BELDEN-Video->. [Último acceso: 08 Agosto 2023].
- [62] SAF-Tehnika, «SAF Itegra-GS carrier-grade microwave radio, delivering up to 1Gbps Full Duplex,» 2023. [En línea]. Available: [http://saftehnika.co/assets/integrags_leaflet-\(14\).pdf](http://saftehnika.co/assets/integrags_leaflet-(14).pdf). [Último acceso: 25 Abril 2023].

- [63] SAF-Tehnika, «SAF Downloads Manual,» 2023. [En línea]. Available: https://saftehnika.com/files/downloads/428ea809-bdad-e311-b599-0050569aa6cf/Integra_Integra-S_Integra-G_Integra-GS_FODU_UM_V%202%2036.pdf. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [64] SAF-Tehnika, «SAF-TEHNIKA Latinoamérica, Ecuador canalizaciones microondas,» 2023. [En línea]. Available: <http://saftehnika.co/herramientas.html>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [65] COMMSCOPE, «Poit-to-Point Microwave Antennas, Especificaciones,» 29 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.commscope.com/product-type/antennas/microwave-antennas-accessories/point-to-point-ptp-microwave-antennas/?pageSize=12%2C12&sortExp=Number&showBaseProduct=true&Facets=7%3A%3A%3AProduct+Brand%3A%3A%3AValuLine%2%AE%3A%3A%3A3%3A%3A%3AValuLine%2%>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [66] García Castellón Salvador, «Manual para RadioMobile para Windows,» Diciembre 2007. [En línea]. Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6990/Manual_Radiomobile2008.pdf?sequence=9&isAllowed=y. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [67] Campanioni Morfi Silvia y Rivera López Mario, «ResearchGate, RADIO MOBILE: DESCRIPCIÓN Y BREVES INSTRUCCIONES PARA SU EMPLEO,» Enero 2021. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/348416866_RADIO_MOBILE_DESCRIPCION_Y_BREVES_INSTRUCCIONES_PARA_SU_EMPLEO. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [68] SAF-Tehnika, «SAF-Tehnika Latinoamérica, Especificacione técnicas radio Integra-GS,» Agosto 2018. [En línea]. Available: <http://saftehnika.co/assets/integra-series-ds-v1.50.pdf>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [69] Batipalla Juan D, «Potencia Isotrópica Radiada Equivamente PIRE,» 2022. [En línea]. Available: <https://sistecom.webcindario.com/pire.pdf>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [70] WIKIPEDIA, «Packet Tracer, WIKIPEDIA,» 02 Marzo 2023. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Packet_Tracer. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [71] Cabarcas Martínez Arleidi y Marrugo Castro Adriana, «Diseño y arquitectura de Redes WAN, Universidad Tecnológica de Bolívar,» 31 Julio 2008. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12585/1361>. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [72] Admon-redes, «Dispositivos finales, ADMON REDES,» 2023. [En línea]. Available: https://www.administracionderedes.com/redes-informaticas/dispositivos-finales/#%C2%BFQue_son_los_dispositivos_finales. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [73] RU83NC4, «Modelo de tres capas de Cisco, RU83NC4,» 15 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://ru83nc4.wordpress.com/2016/01/15/modelo-de-tres-capas-de-cisco/>. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [74] Academy, Networking, «Alumni-CCNAv7: Enterprise Networking Security and Automation,» 09 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://lms.netacad.com/mod/lti/view.php?id=14493928>. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [75] Risoul, «Beneficios del modelo jerárquico de tres capas en redes industriales, RISOUL,» 02 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.risoul.com.mx/blog/beneficios-del-modelo-jerarquico-de-3-capas-en-redes-industriales>. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [76] HUAWEI, «Puerto de acceso vs puerto troncal vs puerto híbrido, HUAWEI,» HUAWEI, 28 Septiembre 22. [En línea]. Available: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/puerto-de-acceso->

- vs-puerto-troncal-vs-puerto-h%C3%ADbrido/thread/1012555-100237. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [77] Pérez Eugenio, «Como configurar Router on a stick, Estudia Redes.,» ESTUDIA REDES, 06 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://estudiaredes.com/cisco/como-configurar-router-on-a-stick/>. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [78] Microsoft, «Dynamic Host Configuration Protocol, Microsoft,» 29 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-server/networking/technologies/dhcp/dhcp-top>. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [79] Moya Benítez María Cristina, «CCNA Voice Conectar un sistema de VoIP a la red del proveedor de servicios,» DOCPLAYER, 2016. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/1431756-Ccna-voice-conectar-un-sistema-de-voip-a-la-red-del-proveedor-de-servicios.html>. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [80] IBM, «OSPF (Open Shortest Path First),» 14 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/docs/es/i/7.2?topic=routing-open-shortest-path-first>. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [81] CISCO, «Understand Open Shortest Path First (OSPF) - Design Guide, CISCO,» 03 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/open-shortest-path-first-ospf/7039-1.html>. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [82] WIKIPEDIA, «EtherChannel,» 29 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/EtherChannel>. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [83] CISCO, «Bidirectional Forwarding Detection (BFD), CISCO,» 18 Enero 2006. [En línea]. Available: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_0s/feature/guide/fs_bfd.html. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [84] CISCO, «Bidirectional Forwarding Detection on Link Aggregation Group Bundle, CISCO,» [En línea]. Available: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/iproute_bfd/configuration/xe-16-8/irb-xe-16-8-book/irb-xe-16-8-book_chapter_01010.pdf. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [85] TELCONET S.A., *PROPUESTA COMERCIAL INTERNET DEDICADO*, Quito: TELCONET S.A., 2023.
- [86] Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP), «SIE-GPA-042-2022, PROVISIÓN E INSTALACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA PARA EL GOBIERNO PROVINCIAL DEL AZUAY.,» Sistema Oficial de Contratación Pública, 22 11 2022. [En línea]. Available: https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=5WrvmJBmgqgHUS5wKMupBo09csneGbKEJ_eoxAjfa3U,. [Último acceso: 08 08 2023].
- [87] Sistema Nacional de Contratación Pública (SERCOP), «SIE-EEPGSA-40-2020, SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DEL TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA DESDE LA NUEVA PLANTA FOTOVOLTAICA DE SAN CRISTÓBAL HASTA EL DATA CENTER DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL,» Sistema Oficial de Contratación Pública, 24 09 2020. [En línea]. Available: <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=2CEc-T4eK9kKotcABRIUX3yGaR6Hj4qLTNn1SAyStu8>. [Último acceso: 08 08 2023].
- [88] Corporación nacional de Telecomunicaciones (CNT), «Plantilla de Volumen de Obra,» Quito.
- [89] ADVICOM CÍA. Ltda., *OFERTA ECONÓMICA ENLACES MICROONDA PTP 7GHz / INTEGRA GS - SAF*, Quito: ADVICOM, 2023.

- [90] Tell, «Torres/Mástiles/Herrajes Torre Arriostrada,» [En línea]. Available: <https://tellwireless.com/categoria-producto/torres/>. [Último acceso: 24 Abril 2023].
- [91] INSELEC, «RACK CERRADO PISO 20060100/V (Ref: I-1261-N),» INSELEC, [En línea]. Available: <https://inselec.com.ec/store/inicio/2845-rack-cerrado-piso-20060100-v-ref-i-1261-n-.html>. [Último acceso: 24 Abril 2023].
- [92] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), «ACUERDO MINISTERIAL No. 006-2018 NORMA TÉCNICA NACIONAL PARA LA FIJACIÓN DE CONTRAPRESTACIONES A SER RECIBIDAS POR LOS PROVEEDORES DE INFRAESTRUCTURA FÍSICA, POR EL USO DE TORRES, TORRETAS, MÁSTLES PARA LA INSTALACIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES,» 12 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2020/06/ACUERDO-006-NORMA-T%C3%89CNICA-TORRES-TORRETAS-ETC.pdf>. [Último acceso: 08 08 2023].
- [93] TELCONET S.A., «ACUERDO PARA EL USO COMPARTIDO DE INFRAESTRUCTURA FÍSICA,» [En línea]. Available: https://www.telconet.net/images/tn/docs/Telconet_Latam_modelo_contrato.pdf. [Último acceso: 24 Abril 2023].
- [94] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, «Resolución 15-16-ARCOTEL-2019 REFORMA Y CODIFICACIÓN AL REGLAMENTO PARA OTORGAR TÍTULOS HABILITANTES PARA SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO,» 19 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-01/Documento-Registro-Oficial-REFORMA-CODIFICACI%C3%93N-REGLAMENTO-PARA-OTORGAR-T%C3%8DTULOS-HABILITANTES-PARA-SERVICIOS-R%C3%89GIMEN-GENERAL-TELECOMUNICACIONES.pdf>. [Último acceso: 08 08 2023].
- [95] ItPrice, «CISCO GPL 2023 Herramienta de lista de precios global de Cisco,» 2023. [En línea]. Available: <https://itprice.com/es/cisco-gpl>. [Último acceso: 08 08 2023].
- [96] Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCOSA, «Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública LOTAIP - 2022,» 2022. [En línea]. Available: <https://elepcosa.com.ec/transparencia/lotaip-2017/transparencia-2022/>. [Último acceso: 25 Junio 2023].
- [97] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), «ACUERDO MINISTERIAL No. 017-2017 NORMA TÉCNICA PARA LA FIJACIÓN DE CONTRAPRESTACIONES A SER PAGADAS POR LOS PRESTADORES DE SERVICIOS DEL RÉGIMEN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES, POR EL USO DE POSTES Y DUCTOS,» 01 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/Acuerdo-017-2017.compressed.pdf>. [Último acceso: 24 Junio 2023].
- [98] POSTGRADOS ESPOL MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES, *EVALUACIÓN DE PROYECTOS*, Guayaquil: ESPOL, 2022.
- [99] INEC, «Boletín Técnico No. 06-2023-IPC,» Junio 2023. [En línea]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Inflacion/2023/Junio/Boletin_tecnico_06-2023-IPC.pdf. [Último acceso: 28 Julio 2023].
- [100] Micordia Romero Eliana y Buitrago Navarro Jorge, «Journal Boliviano de Ciencias, Proyecto de pre-factibilidad para la implementación de una planta productora de queso mozzarella y cheddar en la ciudad de Cochabamba,» Journal Boliviano de Ciencias, 2021. [En línea]. Available:

- <https://revistas.univalle.edu/index.php/ciencias/article/view/23>. [Último acceso: 01 Septiembre 2023].
- [101] Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi s.a. (ELEPCOSA), «Planificación estratégica - Plan de negocios,» 2023. [En línea]. Available: <https://elepcosa.com.ec/inicio/planificacionestrategica/>. [Último acceso: 22 Agosto 2023].
- [102] MICROWAVE, MARKI, «Return Loss to VSWR Conversion Table,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.markimicrowave.com/blog/wp-content/uploads/2016/11/return-loss-to-vswr.pdf>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [103] CISCO, «Cisco Catalyst 8200 Series Edge Platforms Data Sheet,» 25 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/catalyst-8200-series-edge-platforms/nb-06-cat8200-series-edge-plat-ds-cte-en.html?oid=dstetr024667>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [104] A. M.-C. Arleidi Cabarcas-Martínez, «DISEÑO Y ARQUITECTURA DE REDES WAN, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR,» 31 Julio 2008. [En línea]. Available: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0045024.pdf>. [Último acceso: 08 Junio 2023].
- [105] Molina Ochoa Eduardo y Flores Cediél Oscar, «Aplicación del Estándar IEC 61850 en los Sistemas de Protecciones Eléctricas para Subestaciones de Alta Tensión,» 12 Diciembre 2009. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/326943356_Aplicacion_del_Estandar_IEC_61850_en_los_Sistemas_de_Protecciones_Electricas_para_Subestaciones_de_Alta_Tension. [Último acceso: 10 12 2022].
- [106] Bustamante Pacheco Jhon y Guzmán Tapia Robinson, «Diseño y prototipo de una red para voz, video y datos para el área de bachillerato Internacional en la Unidad Educativa Bilingüe Sagrados Corazones,» 2022. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/59770>. [Último acceso: 10 Diciembre 2022].
- [107] Jiménez Erazo Jonathan y Torres Sánchez Stefania, «Análisis e implementación de redes MESH para mejorar el desempeño de la red inalámbrica y monitoreo de los equipo de misión crítica con software open source de la Empresa Furoiani Obras y Proyectos S.A,» 2022. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/64108>. [Último acceso: 10 Diciembre 2022].
- [108] UIT, Asamblea de Radiocomunicaciones, «Disposición de radiocanales para sistemas inalámbricos fijos que funcionan en la banda 7110-7900 MHz,» Marzo 2012. [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.385-10-201203-I!!PDF-S.pdf. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [109] Andrew, «Terrestrial Microwave Antenna System Products (página128),» 2022. [En línea]. Available: <https://educ.jmu.edu/~fawcetwd/archive/AndrewCatalog38.pdf>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [110] CISCO, «Cisco Catalyst 8200 Series Edge Platforms Data Sheet,» 19 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/catalyst-8200-series-edge-platforms/nb-06-cat8200-series-edge-plat-ds-cte-en.html?oid=dstetr024667>. [Último acceso: 21 Junio 2023].
- [111] CISCO, «Cisco Industrial Ethernet 4010 Series Switches Data Sheet,» 03 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/industrial-ethernet-4010-series-switches/datasheet-c78-737279.html>. [Último acceso: 21 Junio 2023].

- [112] CISCO, «Cisco Industrial Ethernet 5000 Series Switches Data Sheet,» 02 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/industrial-ethernet-5000-series-switches/datasheet-c78-734967.html>. [Último acceso: 21 Junio 2023].
- [113] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, «INSTRUCTIVO PARA LA ENTREGA DE LA INFORMACIÓN GEO REFERENCIADA DE TELECOMUNICACIONES Y REDES PRIVADAS,» [En línea]. Available: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/01/Instructivo_georeferenciacion.pdf. [Último acceso: 22 Noviembre 2022].
- [114] CISCO, «Introducción a las fibras ópticas, dB, atenuación y mediciones,» 20 Abril 2005. [En línea]. Available: https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/optical/synchronous-digital-hierarchy-sdh/29000-db-29000.html. [Último acceso: 30 11 2022].
- [115] UNIR La Universidad en internet, «Topología de red: qué es y cuáles son los tipos más habituales,» 4 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/topologia-red/>. [Último acceso: 30 Noviembre 2022].
- [116] Aguirre Reyes Bryan y Delgado Rizo Diego, «Analizar el rendimiento y la viabilidad de diseñar e implementar redes Mesh en escenarios corporativos de alta densidad para redes Wireless 802.11bgn.,» 2021. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/60699>. [Último acceso: 10 Noviembre 2022].
- [117] APC, «Smart-UPS X de APC, línea interactiva, 1000 VA, rack/torre,» APC, 2023. [En línea]. Available: <https://www.apc.com/mx/es/product/SMX1000C/smartups-x-de-apc-l%C3%ADnea-interactiva-1000-va-rack-torre-convertible-2u-120-v-8x-515r-nema-puerto-smartconnect-tiempo-de-ejecuci%C3%B3n-extendido/>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [118] Meza Badillo Salvador, «Apuntes Sistemas de Telecomunicaciones,» [En línea]. Available: <http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/98/6/telecomunicaciones.pdf>. [Último acceso: 30 11 2022].
- [119] Otavalo Chacho Bryan y Vásquez Ruiz Rooswell, «Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Diseño e implementación de tres radioenlaces punto a punto para el laboratorio de telecomunicaciones,» Enero 2022. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21697>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [120] Calero Cuadra Johnny, «Norma Estructural para Antenas y Estructuras que Soportan Antenas, ANSI/TIA-222-G,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.udocz.com/apuntes/222738/ansl-tia-eia-222-g-espanol>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [121] SAF-Tehnika, «SAF-Tehnika Latinoamérica, Accesorios, especificaciones,» Julio 2018. [En línea]. Available: <https://saftehnika.co/productos.html>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [122] Saltos Maza Bryan y Díaz Vera Janeth, «Rediseño e implementación de una red alámbrica e inalámbrica con políticas de seguridad y un sistema de monitoreo IP en la fundación nueva esperanza en la Ciudad de Babahoyo 2021,» 2022. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/59806>. [Último acceso: 12 Noviembre 2022].
- [123] Soledispa Peña Hugo, «Implementación de un laboratorio virtual para realizar simulaciones de sistemas de comunicaciones digitales ASK y FSK,» 22 Abril 2022. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/59632>. [Último acceso: 15 Enero 2023].
- [124] WIKIPEDIA, «Conector RJ-45,» WIKIPEDIA, 28 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/RJ-45>. [Último acceso: 25 Abril 2023].

- [125] Forero Saboya Néstor, «Normas de comunicación en serie RS-232, RS422 y RS-485,» 20 Junio 2012. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/2707497-Normas-de-comunicacion-en-serie-rs-232-rs-422-y-rs-485.html>. [Último acceso: 10 12 2022].
- [126] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, «ISSUU, PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS 2017,» [En línea]. Available: https://issuu.com/arcotelecuador/docs/pnf-final_1_. [Último acceso: 31 Agosto 2023].

ANEXOS

ANEXO 1

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE RADIO SAF INTEGRA GS



6-11GHz version

Integra-GS is an unbelievably light, energy efficient carrier-grade system that exemplifies an outstanding return on smart engineering - the synergy of high competence in radio electronics and materials science. Slip-fit design allows integration with existing high performance antenna systems or integration with 2+0 aggregation setups for up to 982Mbps Full Duplex capacity without header compression. Gigabit Power over Ethernet (PoE) port defines simple installation, while dual SFP slots enable fibre optic installation – giving the user ultimate flexibility in cable design.

Capacity	up to 1Gbps with Header compression
Frequency bands	6GHz, 7GHz, 8GHz, 11GHz, 13GHz, 15GHz, 17GHz UL, 18GHz, 23GHz, 24GHz UL, 25GHz, 26GHz, 28GHz, 38GHz, and more*
Modulation	4QAM / 16QAM / 32QAM / 64QAM / 128QAM / 256QAM / 512QAM / 1024QAM / 2048QAM with Hitless ACM
Configurations	1+0, 2+0 link bonding, 1+1*
Channel bandwidth	
ETSI	from 3.5MHz up to 56MHz, up to 472 Mbps
FCC	from 5MHz up to 60MHz, up to 491 Mbps
Gigabit Ethernet	
1x RJ-45	Electrical with built-in PoE splitter and surge arrestor
2x SFP	Fibre Optics
Service ports	
3.5mm	Audible alignment and RSSI
USB B-Type	Terminal Access
LED	Power On, Link Synchronization, RSL, Polarization accuracy
Managed Gigabit Switch functionality	802.1Q VLANs with QoS/CoS incl. WRED*, shaping, DWRR and on MPLS-TP exp bit; Spanning Tree Protocol, Jumbo frames and more*
Management	In-band MNG over same ETH port; SNMP v1/2c/3, SSH, Telnet, HTTPS, Serial, RADIUS, Network Time Protocol
Carrier Ethernet functionality	Provider Bridging, MEF9&14, High Efficiency Header Compression, OAM*
Performance monitoring	Performance graphs, constellation diagram, alarms, detailed counters
Antenna type	External, Slip-fit
Form factor	235 x 250 x 72 mm / 9.26" x 9.85" x 2.84", 2.9 kg / 6.4 lbs (15-42GHz) 280 x 437 x 100 mm / 11.02" x 17.2" x 3.9", 6.5 kg / 14.3 lbs (6-11GHz)
Temperature range	-33 ... +55 °C / -28 ... +130 °F

ANEXO 2

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ANTENA ANDREW VALULINE

VHLP2-7W/D



0.6m | 2 ft ValuLine® High Performance Antenna, single polarized, 7.100 – 8.500 GHz

Product Classification

Product Type	Microwave antenna
Product Brand	ValuLine®

General Specifications

Antenna Type	VHLP - ValuLine® High Performance Low Profile Antenna, single-polarized
Polarization	Single
Side Struts, Included	0
Side Struts, Optional	0

Dimensions

Diameter, nominal	0.6 m 2 ft
--------------------------	--------------

Electrical Specifications

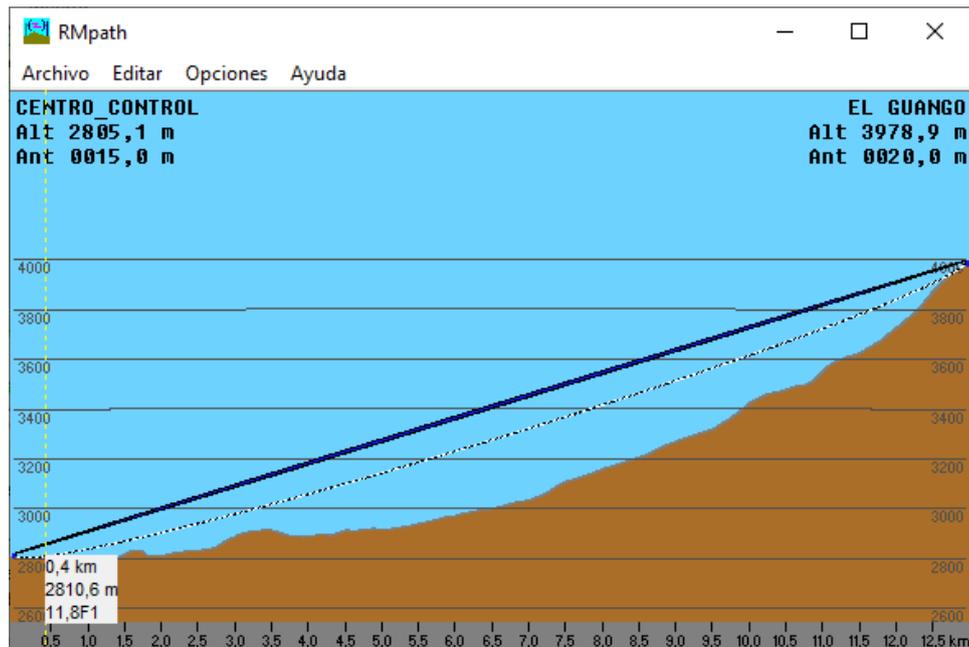
Operating Frequency Band	7.100 – 8.500 GHz
Gain, Low Band	29.6 dBi
Gain, Mid Band	31.1 dBi
Gain, Top Band	32.2 dBi
Boresite Cross Polarization Discrimination (XPD)	32 dB
Front-to-Back Ratio	57 dB
Beamwidth, Horizontal	4.7°
Beamwidth, Vertical	4.7°
Return Loss	17.7 dB
VSWR	1.3
Radiation Pattern Envelope Reference (RPE)	7199D
Electrical Compliance	ACMA FX03_7p5b Brazil Anatel Class 3 ETSI 302 217 Class 3

ANEXO 3

CÁLCULOS TEÓRICOS DEL ENLACE CENTRO DE CONTROL - ESTACIÓN EL GUANGO

Los cálculos se efectúan con los datos de la tabla 4.11

- Perfil topográfico:



- Distancia Centro de control – Estación El Guango

$$D = \sqrt{(\Delta Long * 111.32)^2 + (\Delta Lat * 111.32)^2 + (\Delta h)^2} \quad (4.2)$$

Donde:

D: Distancia entre centro de control y estación el guango

$\Delta Long$: Diferencia entre las longitudes de ambas coordenadas en grados.

ΔLat : Diferencia entre las latitudes de ambas coordenadas en grados.

Δh : Diferencia entre las altitudes de los dos sitios en Km. [41]

111.32: Factor para transformar a Km (1 grado equivale a 111.32 Km) [38]

Entonces:

$\Delta Long = Long(\text{centro de control}) - Long(\text{estación el guango})$

$\Delta Long = 78^{\circ}36'42.40'' - 78^{\circ}30'2.95''$

$\Delta Long = -78.611777^{\circ} - (-78.500819^{\circ})$

$\Delta Long = -0.110958^{\circ}$

$\Delta Lat = Lat(\text{centro de control}) - Lat(\text{estación el guango})$

$$\Delta\text{Lat} = 0^\circ 55' 52.82'' - 0^\circ 53' 43.98''$$

$$\Delta\text{Lat} = -0.931338^\circ - (-0.895550^\circ)$$

$$\Delta\text{Lat} = -0.035788^\circ$$

$$\Delta h = h(\text{centro de control}) - h(\text{estación el guango})$$

$$\Delta h = 2805,1 \text{ m} - 3978,9 \text{ m}$$

$$\Delta h = -1173,8 \text{ m}$$

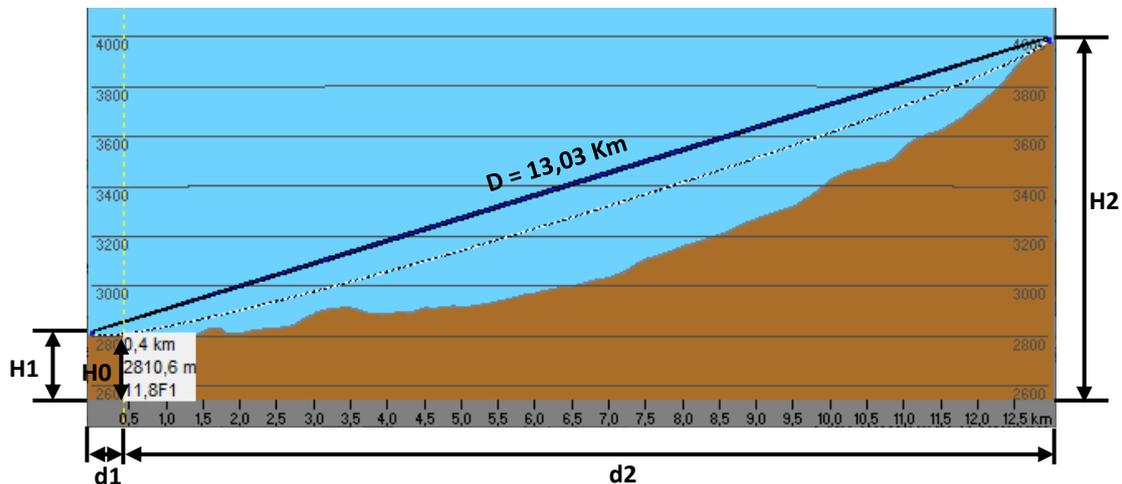
$$\Delta h = -1,1738 \text{ Km}$$

$$D = \sqrt{(-0.110958^\circ * 111)^2 + (-0.035788^\circ * 111)^2 + (-1.1738)^2}$$

$$D = 13,03 \text{ Km.}$$

- **Radio de la primera zona de Fresnel y altura de despeje**

Perfil para el cálculo del radio de la primera zona de Fresnel y altura de despeje



Las fórmulas a aplicar son las siguientes:

Radio del n-ésima zona [38]:

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d}}$$

Si

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Entonces se tiene que

$$r_n = 547,72 \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}} \quad (4.3)$$

Donde:

r_n = Radio del enésimo círculo [m]

c = Velocidad de la luz 3×10^8 [m/s]

n = Cualquier número entero 1,2,3...

d_1 = Distancia del transmisor al obstáculo más alto [Km]

d_2 = Distancia del receptor al obstáculo más alto [Km]
 D = Distancia del transmisor al receptor [Km]
 f = Frecuencia en [MHz] [38]

Radio de la primera zona de Fresnel: Para calcular el radio de la primera zona de Fresnel (RF1), primero se debe escoger un par de frecuencias de la tabla 4.13 Dúplex de frecuencias Transmisión/Recepción (vista anteriormente) para la canalización del radioenlace centro de control – estación el guango y calcular la frecuencia central, de la siguiente forma [38]:

Fn(min) [MHz]	Fn(max) [MHz]
7442	7596

$$f_{(MHz)} = \frac{fn(min) + fn(max)}{2}$$

$$f_{(MHz)} = \frac{7442 + 7596}{2}$$

$$f_{(MHz)} = 7519$$

Siendo: $d_1 = 0,42 \text{ Km}$

$d_2 = 12,61 \text{ Km}$

Y utilizando la ecuación 4.3 se tiene:

$$R_{F1} = 547,72 \sqrt{\frac{1. (0,42 \text{ Km}). (12,61 \text{ Km})}{7519 \text{ MHz}. (13,03 \text{ Km})}}$$

$$R_{F1} = 4,027 \text{ m}$$

Altura de despeje: De la Figura anterior se tiene la fórmula de la altura de despeje, que es la distancia entre la línea de vista y el perfil del terreno a lo largo de un vano (obstáculo más alto) [38]

$$H_{des} = \frac{H_1 \cdot d_2 + H_2 \cdot d_1}{D} - H_0 - \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot k \cdot R_0} \quad (4.4)$$

Donde: d_1 = distancia desde el punto de transmisión al punto más alto [Km]

d_2 = distancia desde el punto de recepción al punto más alto [Km]

D = distancia entre transmisor y receptor [Km]

H_0 = altura sobre el nivel del mar del obstáculo [Km]

H_1 = altura sobre el nivel del mar del punto de transmisión [Km]

H_2 = altura sobre el nivel del mar del punto de recepción [Km]

R_0 = 6370 Km radio de la tierra

K = 4/3 coeficiente de corrección del radio de la tierra [38]

Siendo:

$$H_1 = 2805,1 \text{ m} + 15 \text{ m} = \mathbf{2,8201 \text{ Km}}$$

$$H_2 = 3978,9 \text{ m} + 20 \text{ m} = \mathbf{3,9989 \text{ Km}}$$

$$H_0 = 2810,6 \text{ m}$$

$$D = 13,03$$

$$d_1 = 0,42 \text{ Km}$$

$$d_2 = 12,61 \text{ Km}$$

Reemplazando en la ecuación 4.4, se tiene:

$$H_{des} = \frac{2,8201 \text{ Km} \times 12,61 \text{ Km} + 3,9989 \text{ Km} \times 0,42 \text{ Km}}{13,03 \text{ Km}} - 2,8106 \text{ Km} - \frac{0,42 \text{ Km} \times 12,61 \text{ Km}}{2 \times \frac{4}{3} \times 6370 \text{ Km}}$$

$$H_{des} = 0.04718 \text{ Km}$$

$$\mathbf{H_{des} = 47,18 \text{ m}}$$

Peor Fresnel [38]:

$$\frac{H_{des}}{R_{F1}} = \frac{47,18 \text{ m}}{4,027 \text{ m}} = \mathbf{11,71}$$

Margen de despeje [38]:

$$M = H_{des} - R_{F1} \quad (4.5)$$

$$M = 47,18 \text{ m} - 4,027 \text{ m}$$

$$\mathbf{M = 43,15 \text{ m}}$$

- **Pérdidas de propagación**

Pérdidas en espacio libre (Pathloss):

$$L_P = \left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi Df}{c}\right)^2 \quad (4.6)$$

Donde:

L_p = pérdida de trayectoria por el espacio libre [adimensional]

D = distancia entre el transmisor y receptor [Km]

f = frecuencia de la portadora [Hz]

λ = longitud de onda en [m]

c = velocidad de la luz en el espacio libre [3×10^8 m/s]

La ecuación 4.6 expresada en decibeles es [38]:

$$L_p = 20 \log \frac{4\pi Df}{c} = 20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log f + 20 \log D$$

Con la frecuencia expresada en MHz y la distancia en Km, resulta la siguiente ecuación:

$$L_{p(dB)} = 20 \log \frac{4\pi(10)^6(10)^3}{3 \times 10^8} + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(Km)}$$

$$L_{p(dB)} = 32.4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(Km)} \quad (4.7)$$

Entonces aplicando la fórmula 4.7 se tiene:

$$L_{p(dB)} = 32,4 + 20 \log (7519) + 20 \log (13,03)$$

$$L_{p(dB)} = 132, 22 \text{ dB}$$

Pérdidas por desacople:

Partiendo de la fórmula siguiente [39]:

$$VSWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|}$$

Y considerando las especificaciones técnicas de la antena a utilizar en el enlace se tiene que:

VSWR = 1.3 (tabla 4.17)

Return Loss = 17.7 dB (tabla 4.17)

Reemplazando el VSWR en la fórmula anterior se puede obtener el coeficiente de reflexión (ρ) que es la relación de la potencia reflejada a la potencia incidente.

$$|\rho| = \sqrt{\frac{P_r}{P_i}}$$

$$\rho = 0.13$$

Tabla de Conversión Return Loss a VSWR [102]

Return Loss to VSWR Conversion Table					
Return Loss (dB)	VSWR	Reflection Coefficient, Γ	Mismatch Loss (dB)	Reflected Power (%)	Through Power (%)
1	17.39	0.891	6.868	79.43	20.57
2	8.72	0.794	4.329	63.10	36.90
3	5.85	0.708	3.021	50.12	49.88
4	4.42	0.631	2.205	39.81	60.19
5	3.57	0.562	1.651	31.62	68.38
6	3.01	0.501	1.256	25.12	74.88
7	2.61	0.447	0.967	19.95	80.05
8	2.32	0.398	0.749	15.85	84.15
9	2.10	0.355	0.584	12.59	87.41
10	1.92	0.316	0.458	10.00	90.00
11	1.78	0.282	0.359	7.94	92.06
12	1.67	0.251	0.283	6.31	93.69
13	1.58	0.224	0.223	5.01	94.99
14	1.50	0.200	0.176	3.98	96.02
15	1.43	0.178	0.140	3.16	96.84
16	1.38	0.158	0.110	2.51	97.49
17	1.33	0.141	0.088	2.00	98.00
18	1.29	0.126	0.069	1.58	98.42
19	1.25	0.112	0.055	1.26	98.74

Con los datos anteriores y de acuerdo a la tabla de conversión, la pérdida por desacople (Mismatch Loss) es:

$L_{Desacople} = 0.088 \text{ dB}$ aproximadamente.

- **Potencia de recepción**

$$Pr = Tx - Lt + At - Lp + Ar - Lr \quad (4.8)$$

Donde: Pr (dBm) = Potencia de recepción

Tx (dBm) = Potencia de transmisión

Lt (dB) = Pérdida de línea de transmisión

At (dBi) = Ganancia de la antena de transmisión respecto a una isotrópica

Lp (dB) = Pérdida en espacio libre

Ar (dBi) = Ganancia de la antena de recepción respecto a una isotrópica

Lr (dB) = Pérdida de línea en el receptor [41]

Teniendo como datos que:

Tx = 28 dBm (tabla 4.17)

At = Ar = 31,1 dBi (tabla 4.17)

$L_{P(dB)} = 132,22 \text{ dB}$

$L_{Desacople} = 0.088 \text{ dB}$

La potencia de recepción es:

$Pr = 28 \text{ dBm} - 0,088 \text{ dB} + 31,1 \text{ dBi} - 132,22 \text{ dB} + 31,1 \text{ dBi} - 0.088 \text{ dB}$

Pr = -42,196 dBm

- **Margen de umbral Mu y margen de desvanecimiento**

Margen de Umbral (Mu): Asumiendo que el Umbral de recepción (Threshold) del receptor es de -89 dBm (Tabla 4.17), el margen de umbral se calcula usando la fórmula 4.9 [38].

$$Mu = Pr - Ur \quad (4.9)$$

Donde: Mu (dB) = Margen de Umbral

Pr (dBm) = Potencia de recepción

Ur (dBm) = Umbral de recepción o sensibilidad del equipo receptor

Entonces: $Mu = -42,196 \text{ dBm} - (-89 \text{ dBm})$

Mu = 33,804 dB

El margen de desvanecimiento (F_M): La fórmula para el cálculo es el siguiente [38]:

$$F_M = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad (4.10)$$

Donde: F_M = margen de desvanecimiento [dB]

D = distancia entre transmisor y receptor [Km]

f = frecuencia de la portadora [GHz]

(1 - R) = objetivo de confiabilidad para una ruta de 400 Km en un sentido

A = factor de rugosidad

B = Factor para convertir la peor probabilidad mensual en anual [38]

Asumiendo que [38]:

A = 0,25 sobre un terreno áspero y montañoso

B = 0,25 para áreas continentales promedio [41]

El factor (1 – R) para una distancia distinta de 400 Km está dada por [38]:

$$(1-R) = \frac{0,0001 * D}{400}$$

Reemplazando en la ecuación 4.10, se tiene:

$$F_M = 30 \log(13,03) + 10 \log(6 * 0,25 * 0,25 * 7,519) - 10 \log\left(\frac{0,0001 * 13,03}{400}\right) - 70$$
$$F_M = 22,82 \text{ dBm}$$

- **Indisponibilidad y confiabilidad del radioenlace**

La confiabilidad y la indisponibilidad del sistema se puede obtener de la siguiente manera [38]:

$$P = 6 * 10^{-7} * C * f * D^3 * 10^{-F_M/10} \quad (4.11)$$

$$R = (1 - P) * 100 \quad (4.12)$$

Donde: P = Indisponibilidad del sistema

R = confiabilidad del sistema en %

f = frecuencia de a portadora [GHz]

D = distancia entre transmisor y receptor [Km]

F_M = margen de desvanecimiento [dB]

C = factor dependiente del terreno (A*B) [adimensional] [41]

Reemplazando en la ecuación 4.11, se tiene que la Indisponibilidad es:

$$P = 6 * 10^{-7} * (0,25 * 0,25) * 7,519 * 13,03^3 * 10^{-22,82 \text{ dBm}/10}$$

$$P = 0,0000032585$$

Por lo tanto, la confiabilidad será:

$$R = (1 - P) * 100$$

$$R = (1 - 0,0000032585) * 100$$

$$R = 99,9996\%$$

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en la recomendación G.801 define que para una conexión ficticia de referencia HRX (Hypothetical Reference Connection), la

indisponibilidad total del radioenlace será de 0,3 % repartido de forma proporcional a la longitud del enlace, hasta una distancia mínima de 280 Km, por debajo del cual el porcentaje se mantiene constante [36] [38].

Por consiguiente, si L es la longitud del enlace, el objetivo de indisponibilidad total según recomendación de la ITU es [36]:

$$P_T = \frac{0.3 * 280}{2500} \% = 0,0336\% \quad \text{para } L < 280 \text{ km}$$

La confiabilidad de acuerdo a la ITU es [36] [41]:

$$R_T = 1 - P$$

$$R_T = 99,9664\%, \quad \text{para } L < 280 \text{ Km}$$

- **PIRE**

Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación [69]:

$$PIRE = T_{X(dBm)} + A_T(dBi) - L_T(dB) \quad (4.13)$$

Donde: Tx (dBm) = Potencia de transmisión

At (dBi) = Ganancia de la antena de transmisión respecto a una isotrópica

Lt (dB) = Pérdida de línea de transmisión [41]

Por tanto,

$$PIRE = 28 \text{ dBm} + 31,1 \text{ dBi} - 0,088 \text{ dB}$$

$$PIRE = 59,012 \text{ dBm}$$

$$PIRE_{mW} = 10^{59,012/10}$$

$$PIRE_{mW} = 796526,0797 \text{ mW}$$

$$PIRE_{KW} = 796,526 \text{ W}$$

- **Intensidad de campo eléctrico**

La intensidad de campo eléctrico viene dada por la siguiente ecuación [38]:

$$E_{dB(\mu V/m)} = PIRE_{(dBW)} - 20 * \log d_{(Km)} + 74,8$$

Expresando la ecuación anterior en decibelios, se tiene:

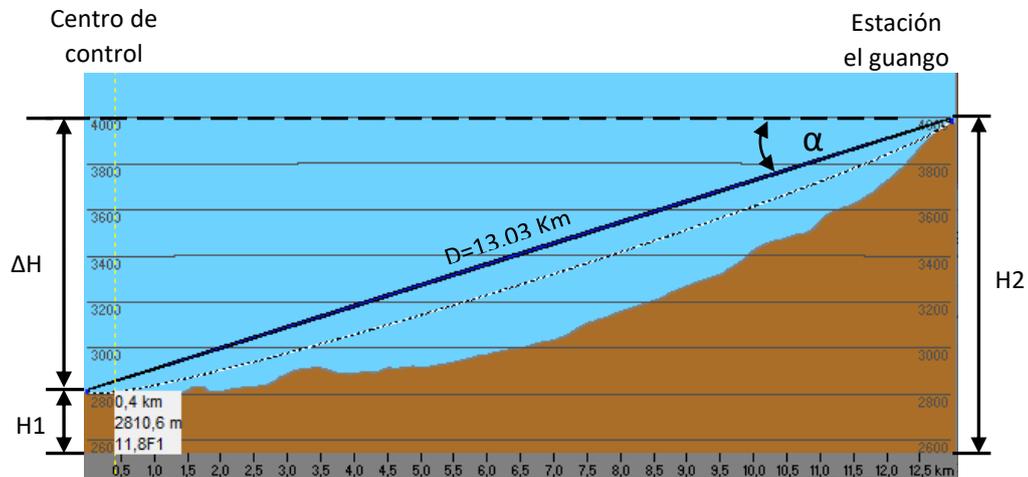
$$E_{dB(\mu V/m)} = 10 * \log(PIRE_{(W)}) - 20 * \log d_{(Km)} + 74,8 \quad (4.14)$$

$$E_{dB(\mu V/m)} = 10 * \log(796,526) - 20 * \log(13,03) + 74,8$$

$$E_{dB(\mu V/m)} = 81,51 \text{ dB}\mu V/m$$

- **Alineación de antenas de transmisión y recepción**

Ángulo de elevación:



Ángulo de elevación centro de control - el guango [38]

De la Figura se puede determinar el ángulo de elevación, de la siguiente forma:

$$H1 = 2805,1 + 15 = 2820,1 \text{ m}$$

$$H2 = 3978,9 + 20 = 3998,9 \text{ m}$$

$$\Delta H = 3998,9 \text{ m} - 2820,1 \text{ m}$$

$$\Delta h = 1178,8 \text{ m}$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta H}{D} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{1,1788}{13,03} \right)$$

$$\alpha = 5,1866^\circ$$

Ángulo de apuntamiento:

$$\theta = \arctan \left(\frac{\Delta \text{latitud}}{\Delta \text{longitud}} \right)$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{-0,035788}{-0,110958} \right)$$

$$\theta = 17,876^\circ$$

Azimut:

$$Az_{\text{centro de control}} = 90^\circ - |\theta|$$

$$Az_{\text{centro de control}} = 90^\circ - 17,876^\circ$$

$$Az_{\text{centro de control}} = 72,124^\circ$$

$$Az_{el\ guango} = 90^{\circ} - |\theta|$$

$$Az_{el\ guango} = 270^{\circ} - 17,876^{\circ}$$

$$\mathbf{Az_{el\ guango} = 252, 124^{\circ}}$$

ANEXO 4

SIMULACIÓN DE RADIOENLACES EN RADIOMOBILE

- Configuración de parámetros de RadioMobile

Propiedades de las unidades/Coordenadas de los sitios:

A continuación, se muestra las coordenadas ingresadas en grados minutos y segundos del centro de control y estación el guango respectivamente.

The screenshot shows the 'Propiedades de las unidades' window with a list of units on the left. 'CENTRO_CONTROL' is selected. The main panel shows the following configuration:

- Nombre: CENTRO_CONTROL
- Altitud (m): 2805,1
- Posición: 00°55'52,8"S 078°36'42,4"O
- QRA: FI09QB

A 'Coordenadas' dialog box is open, showing the input fields for the coordinates:

- Latitud: 00° 55' 52,8" S
- Longitud: 078° 36' 42,4" O
- Latitud: -0,931335
- Longitud: -78,61177
- QRA: FI09QB

Coordenadas centro de control

The screenshot shows the 'Propiedades de las unidades' window with 'EL GUANGO' selected. The main panel shows the following configuration:

- Nombre: EL GUANGO
- Altitud (m): 3979,5
- Posición: 00°53'44,0"S 078°30'03,0"O
- QRA: FI09RC

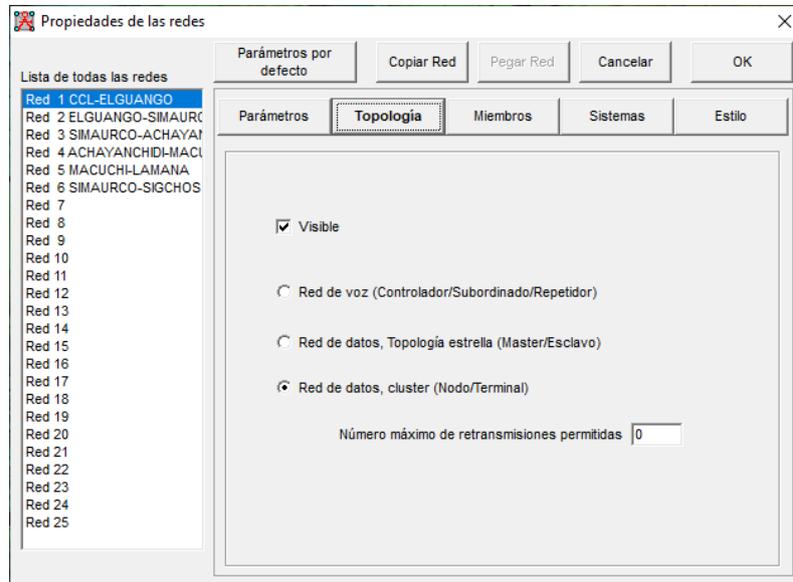
A 'Coordenadas' dialog box is open, showing the input fields for the coordinates:

- Latitud: 00° 53' 44,0" S
- Longitud: 078° 30' 03,0" O
- Latitud: -0,89555
- Longitud: -78,50082
- QRA: FI09RC

Coordenadas estación el guango

Propiedades de las redes/Topología:

Se selecciona la opción “Red de datos, clúster (Nodo/Terminal)”, como se muestra en la siguiente Figura.



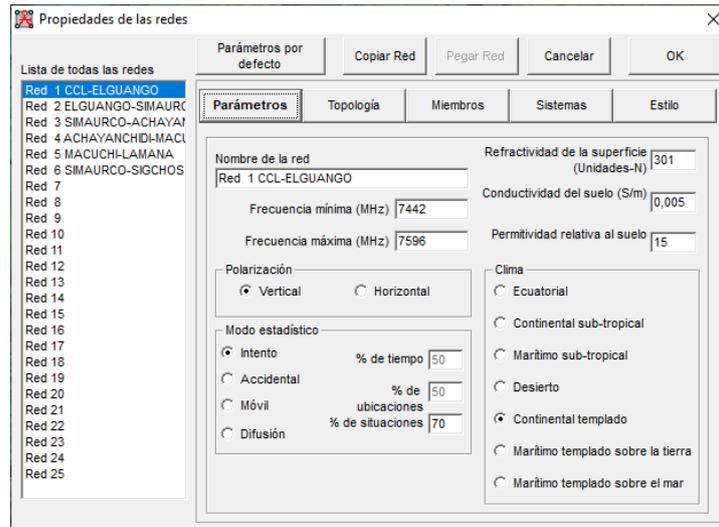
Propiedades de las redes/Topología

Propiedades de las redes/Parámetros de la red:

En esta configuración los datos a ingresar son:

- Nombre de la red
- Frecuencia mínima y frecuencia máxima de acuerdo a la Tabla 4.15
- Polarización vertical, según las especificaciones de la antena.
- Datos del entorno según la recomendación del modelo Longley – Rice, tales como: Refractividad de la superficie (Unidades-N), conductividad del suelo (Siemens/metro), permitividad relativa del suelo y clima (Continental templado).

La Figura siguiente muestra la configuración indicada.



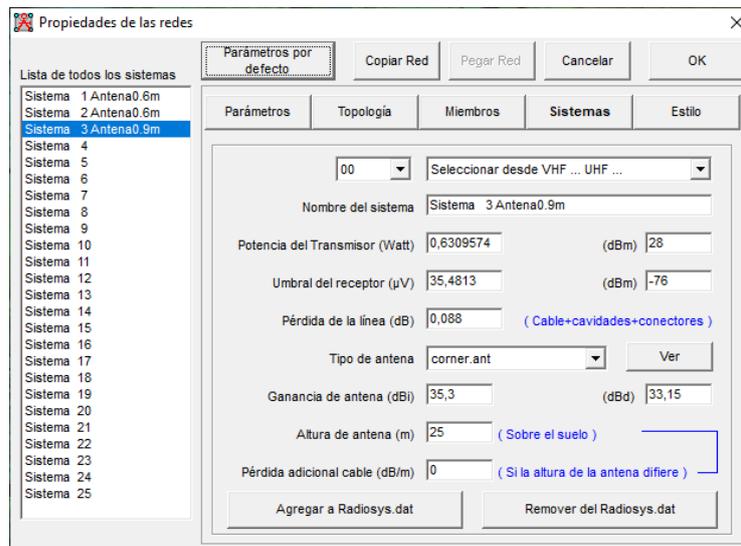
Parámetros de la red centro de control - el guango

Propiedades de las redes/Parámetros del sistema:

En la opción sistemas los datos a ingresar son:

- Nombre del sistema
- Potencia del transmisor en dBm de acuerdo a la Tabla 4.19
- Umbral del receptor en dBm, de acuerdo a la Tabla 4.19
- Pérdida de línea, para este caso se ingresa la pérdida por acople según la Tabla de Conversión Return Loss a VSWR [102]
- Tipo de antena, se selecciona una antena directiva.
- Ganancia de la antena, en dBi de acuerdo a la Tabla 4.19
- Altura de la antena en metros desde el piso, ver Tabla 4.19

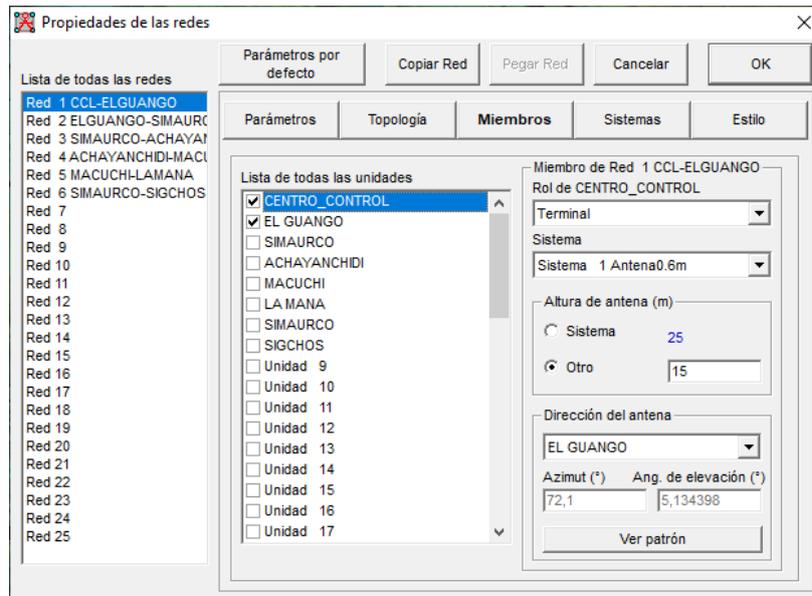
La Figura a continuación muestra la configuración con los datos indicados.



Parámetros del sistema enlace centro de control – el guango

Propiedades de las redes/Miembros de la red:

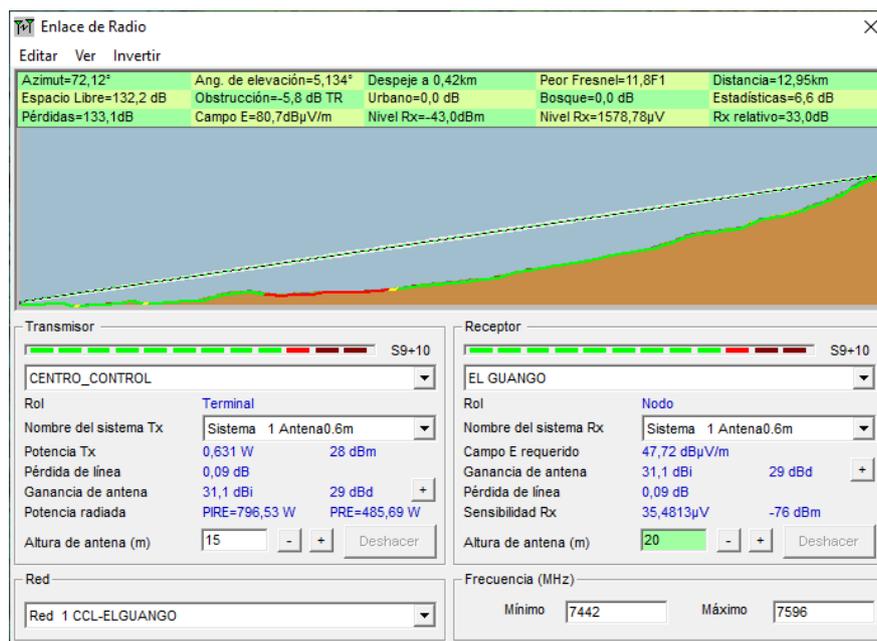
En esta opción se selecciona los dos miembros del radio enlace y se especifica el rol que cumplen cada uno de ellos, ya sea terminal o nodo. En esta red, el centro de control es terminal y la estación el guango es nodo. Además, se debe colocar la altura de la antena y la dirección de misma para cada miembro. La Figura siguiente muestra los ajustes realizados.



Miembros de la red

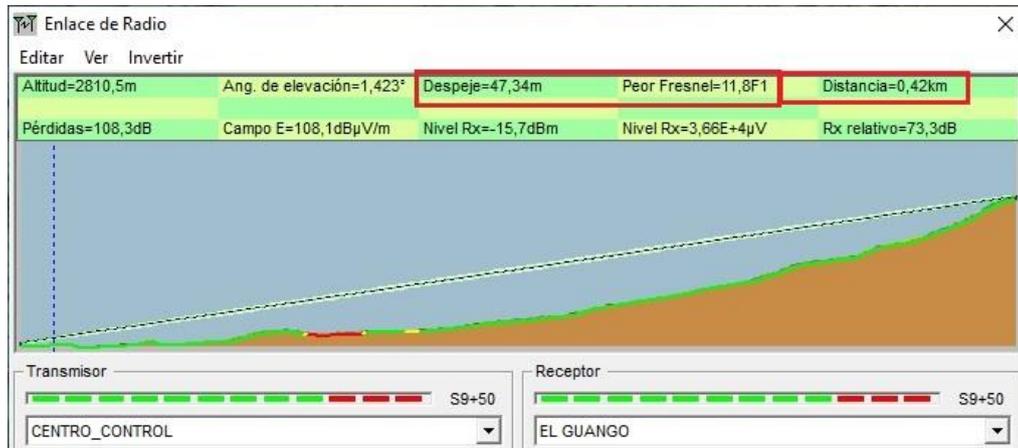
- **Simulación del enlace Centro de control – estación El Guango**

En la Figura a continuación se presentan los resultados de la simulación del enlace centro de control – estación el guango.



Resultados enlace centro de control - estación el guango

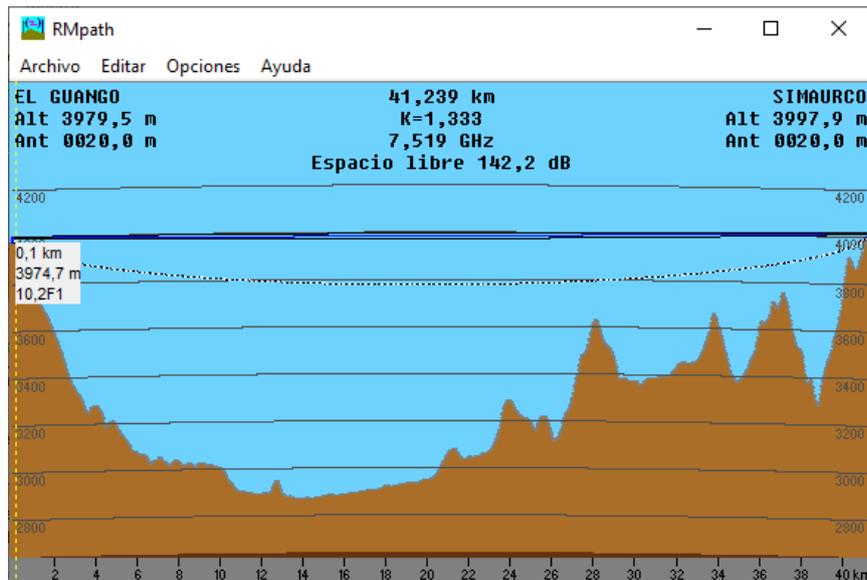
En la Figura siguiente se puede ver la altura de despeje y el peor Fresnel a una distancia de 0.42 Km desde el transmisor (centro de control).



Altura de despeje y peor Fresnel

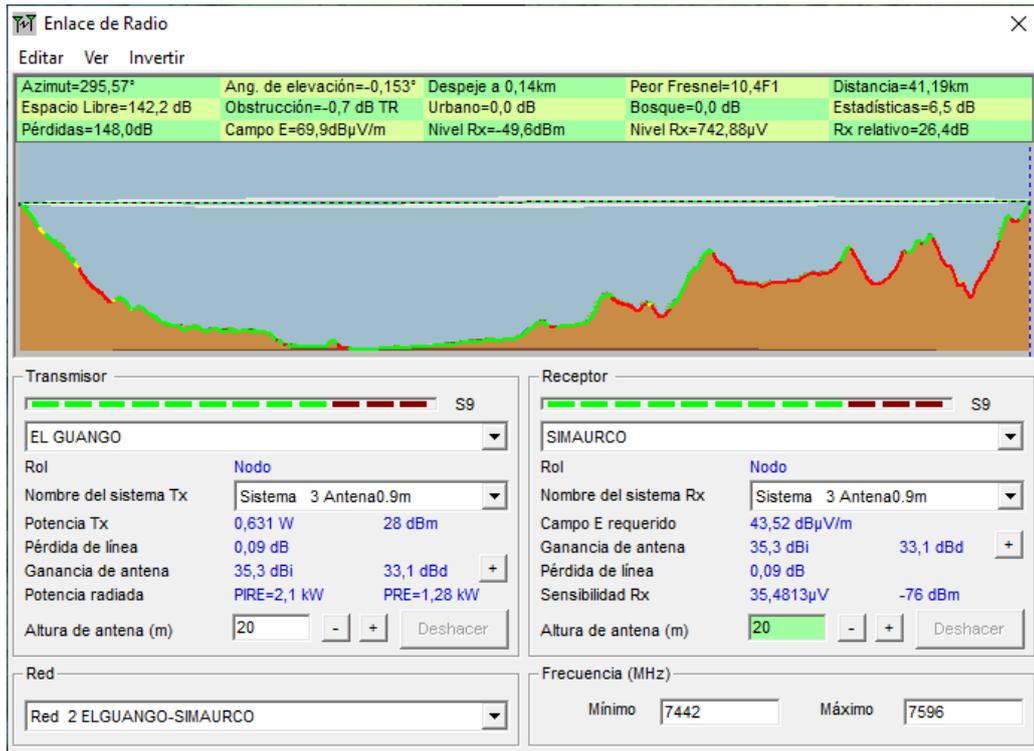
- **Simulación del radioenlace estación El Guango – Estación Simaurco**

Perfil topográfico: Con los datos de las coordenadas ingresadas en RadioMobile se puede obtener el perfil topográfico del enlace con las altitudes de cada sitio en metros.

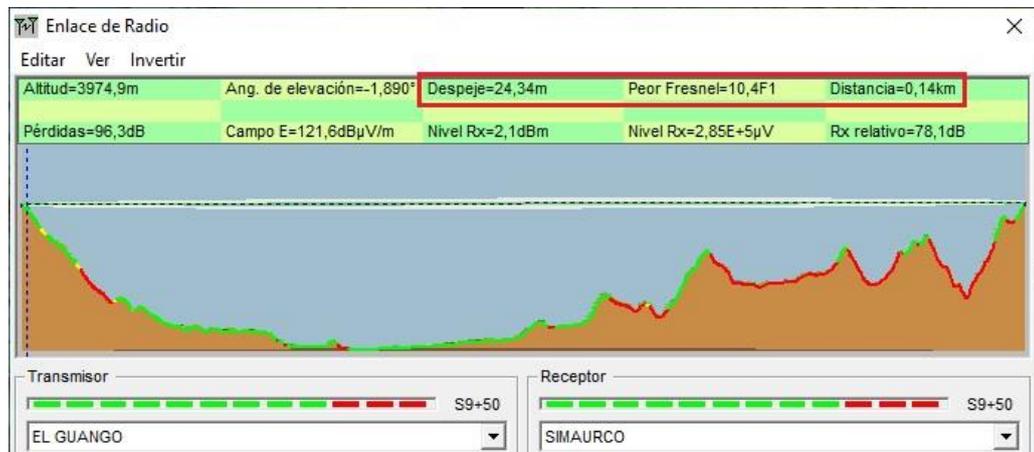


Perfil topográfico el guango – simaurco

En las Figuras a continuación se presentan los valores de la simulación del enlace Estación El Guango – Estación Simaurco



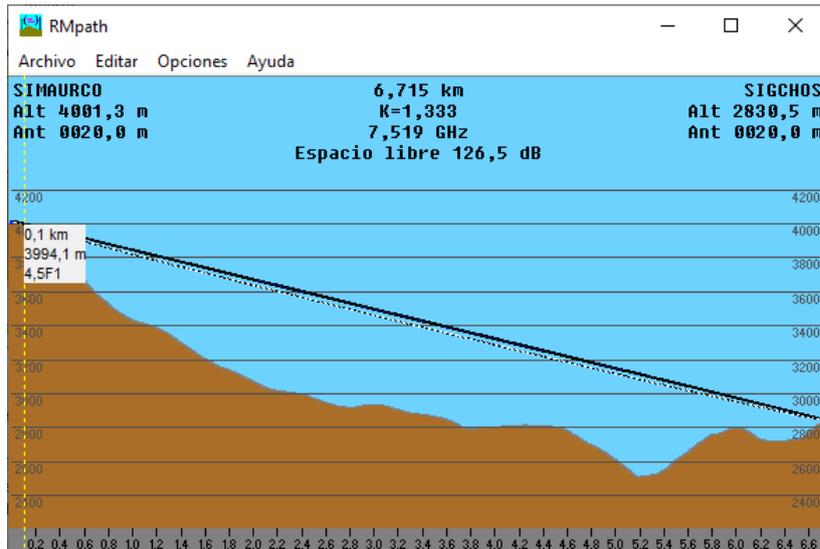
Resultados de la simulación enlace El Guango - Simaurco



Altura de despeje y peor Fresnel enlace el guango – simaurco

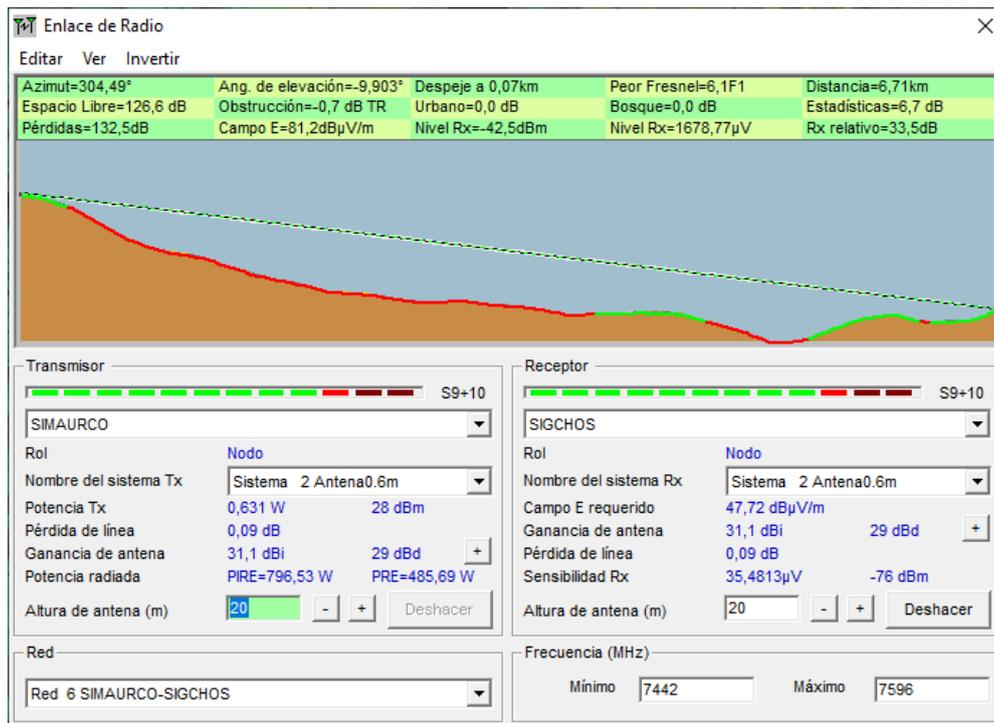
- **Simulación del radioenlace estación Simaurco – Sigchos**

Perfil topográfico: Con las coordenadas de ambos puntos se puede obtener el perfil topográfico del trayecto del enlace con sus altitudes.



Perfil topográfico enlace Simaurco - Sigchos

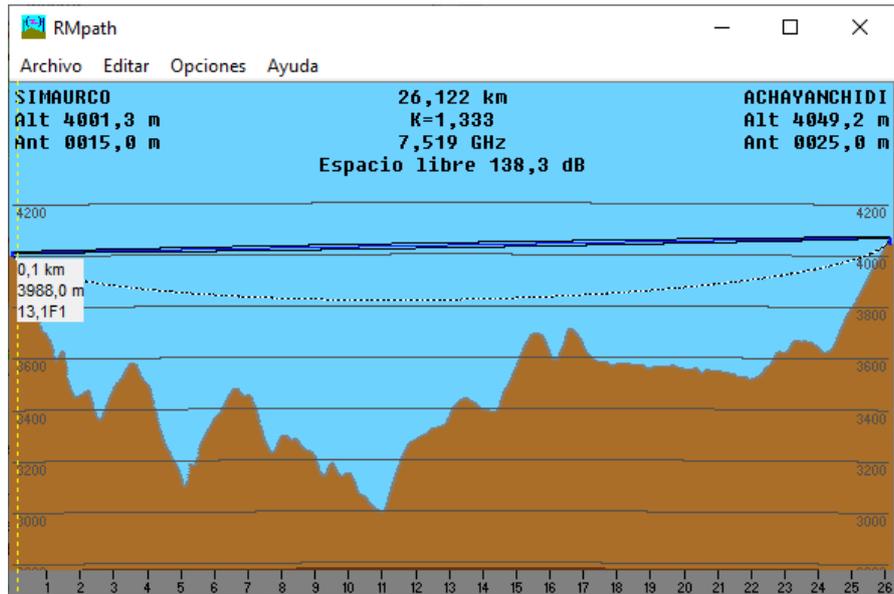
En la Figura siguiente se aprecia los resultados de la simulación del enlace Simaurco – Sigchos.



Resultados de la simulación enlace Simaurco - Sigchos

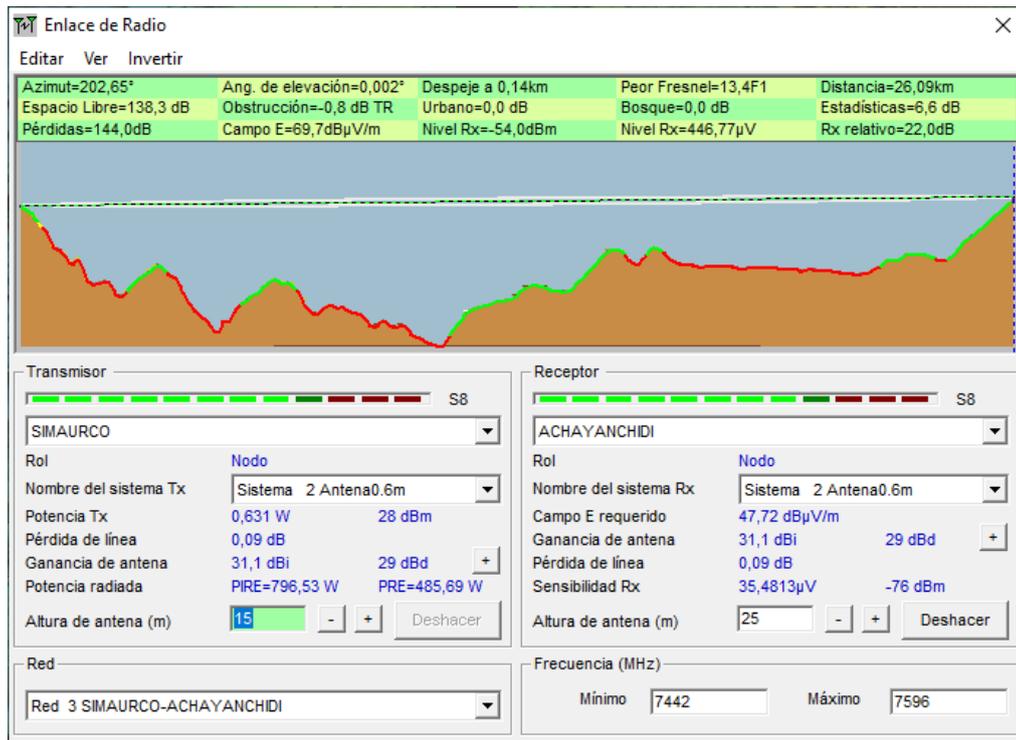
- **Simulación del radioenlace Estación Simaurco – Estación Achayanchidi**

Perfil topográfico: Con las coordenadas de ambos puntos se puede obtener el perfil topográfico del trayecto del enlace con sus altitudes.



Perfil topográfico enlace Simaurco - Achayanchidi

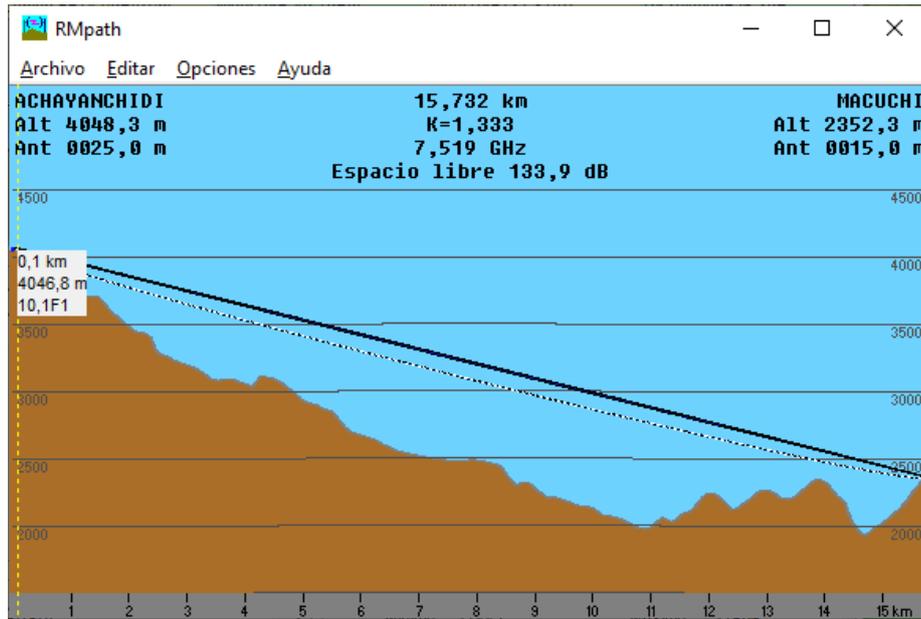
En la Figura siguiente se aprecia los resultados de la simulación del enlace Simaurco – Achayanchidi.



Resultados de la simulación del enlace Simaurco - Achayanchidi

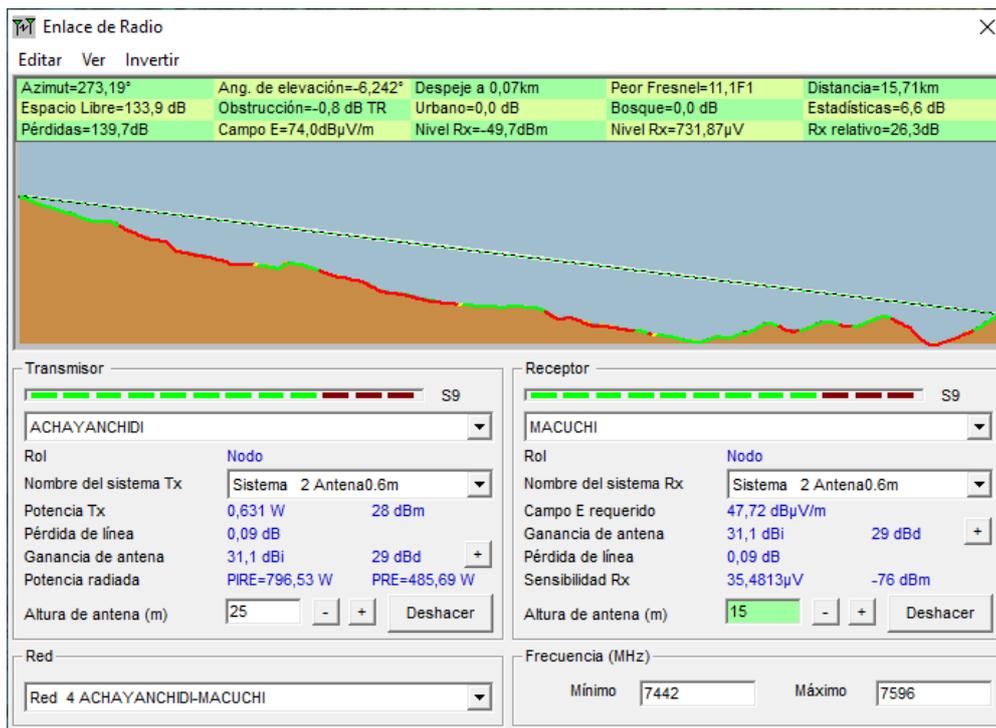
- **Simulación del radioenlace Estación Achayanchidi – Estación Macuchi**

Perfil topográfico: Con las coordenadas de ambos puntos se puede obtener el perfil topográfico del trayecto del enlace con sus altitudes.



Perfil topográfico enlace Achayanchidi – Macuchi

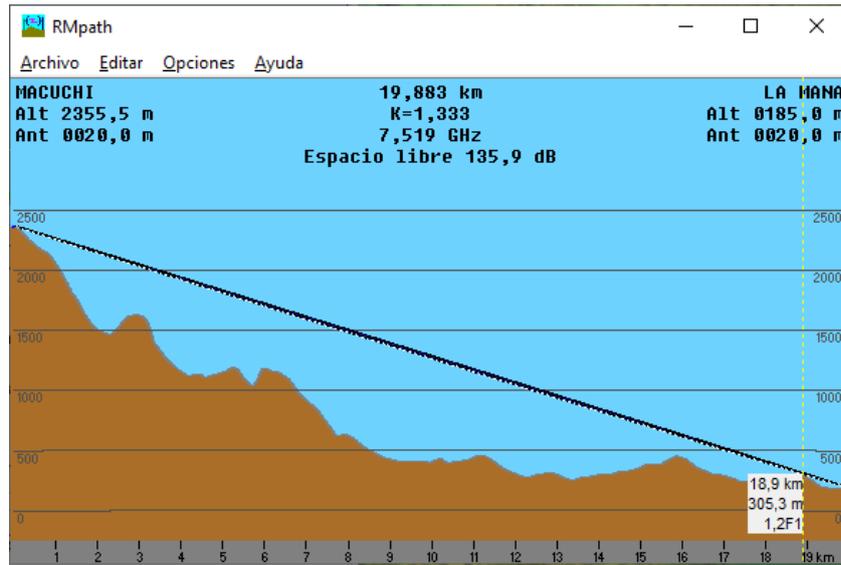
En la Figura siguiente se aprecia los resultados de la simulación del enlace Achayanchidi – Macuchi.



Resultados de la simulación del enlace Achayanchidi - Macuchi

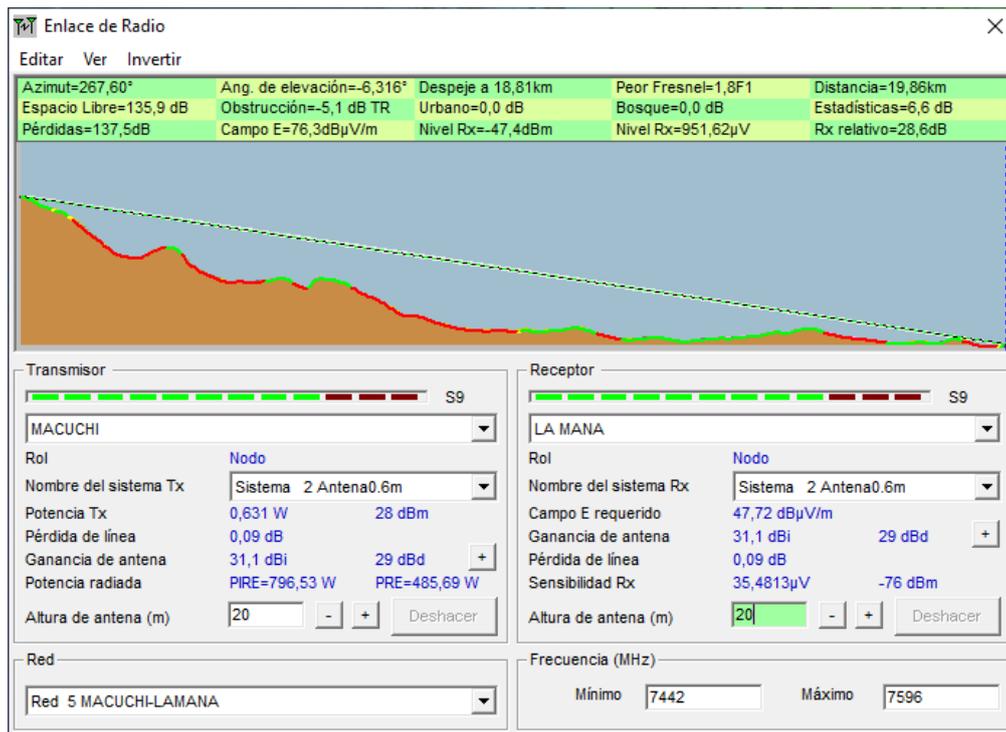
- **Simulación del radioenlace Estación Macuchi – La Maná**

Perfil topográfico: Con las coordenadas de ambos puntos se puede obtener el perfil topográfico del trayecto del enlace con sus altitudes.



Perfil topográfico enlace Macuchi – La Maná

En la Figura siguiente se aprecia los resultados de la simulación del enlace Macuchi – La Maná.



Resultados de la simulación del enlace Macuchi – La Maná

ANEXO 5

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE POE INJECTOR



ACCESSORIES

Gigabit Ethernet universal programmable PoE injector

Electrical Specifications

Data rate	Up to 1000 Mb/s
DC/DC Mode	Always active
Input Voltage	20 – 65 V
Output Voltage	54 V
Max Output Current in Auto PoE++ mode	1.2 A (U_{IN} 22...36V DC) 1.6 A (U_{IN} 36...60V DC)
Switchable Current limits in PoE Manual modes	0.75, 1.0, 1.25 and 1.7A
Current limit in Forced mode (not recommended)	2.0 A
Power Connector	2ESDV-02P with screw locks
Ethernet Connectors	Shielded RJ45 jacks
Data Lines	Pins (1, 2), (3, 6), (4, 5) and (7, 8)
Power Lines	+ (1, 2) and (4, 5); - (3, 6) and (7, 8)
Power Clamping Voltage	+/- 70 V
Max data cable length	100 m

Mechanical Specifications

Ports	RJ45 - Data RJ45 - Data + Power DC - 2ESDV-02P socket with screw locks* Grounding screw
Dimensions (W/H/D):	82 mm/41 mm/154 mm
Weight	0.4 kg
Enclosure	Steel
Operating Temperature	-10°C to +50°C
Mounting	With bracket (included) 19" rack mounting shelf (p/n I0KTPI11.003) DIN-rail clip (p/n I0STPI11.01)

* - 2ESDV-02P plug with screw locks included.

ANEXO 6

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE FUENTE DE PODER



Item: 80W AC/DC power adapter



* - IQAB4809 shown

Compatibility List			
P/N	Version	Radio compatibility	Connector supplied
IQAB4808	ETSI, EU plug	Lumina	Terminal block
IQAB4809	FCC, USA plug		
IQAB4810	ETSI, EU plug	Lumina	-
		Phoenix	
		Phoenix C	
		Integra, Integra-S	
IQAB4811	FCC, USA plug	Lumina	-
		Phoenix	
		Phoenix C	
		Integra, Integra-S	
IQAB4818	AUS plug	Lumina	-
		Phoenix	
		Phoenix C	
		Integra, Integra-S	
IQAB4823	AUS plug	Lumina	Terminal block
IQAB4825	UK plug	Lumina Phoenix Phoenix C Integra, Integra-S	-

Description

AC/DC switching mode power supplies provide 80 Watts of continuous output power. All supplies are UL 94V-1 min compliant; include IEC-320-C14 input for worldwide applications. All models meet FCC Part-15 class B and CISPR-22 class B emission Limits and are designed to comply with UL/c-UL (UL 60950-1:2nd Edition), TUV/GS (EN 60950-1:2nd Edition) and new CE requirements. All units are 100% burned in and tested.

Features:

- Wide Input Voltage 90 to 264 VAC, 47 to 63 Hz
- IEC-320-C14 Input Inlet
- Single Output
- Input Surge Current, Over Voltage and Over Load protection
- Active Power Factor correction
- Output Voltage Protection (Crowbar Design)
- Class I
- Energy Star 2.0, Efficiency level V

Output voltage and current rating

Output voltage	40 ~ 48 VDC
Output current	2 ~ 1.66 A
Total regulation	5%
Max output power	80W

ANEXO 7

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE KIT DE CONDUCTO Y CABLE OPTICO SM CON 2 TRANSCEIVERS SFP



Item: Fiber conduit and SM optical cable kit with 2x SFP transceivers for 2+0 Integra

Compatibility: Integra

P/N: D0ACBS02



Description

The Fiber Conduit and SM optical cable kit for 2+0 Integra is designed to interconnect two Integra radios with 1m optical cable and to protect installed optical cable. The Fiber Conduit is made from robust, abrasion proof and oil resistant polyurethane with inner structure consisting of plastic coated spring steel wire. It is UV resistant and highly flexible even in low temperatures.

The Fiber Conduit Kit is supplied with two SFP Transceivers and with an Optical patch cable, LC-LC SingleMode, duplex, 1 m.

Specifications

Body materials	
Conduit:	Polyurethane with plastic coated spring steel wire
Cable gland:	Polyamide
Conduit length	1 m
Inner diameter	16 mm
Cable length	1 m
Waterproof rating	IP68
Temperature range	
Fixed:	Fixed: -40° C to +90° C
Dynamic:	Dynamic: -20° C to +90° C
	UV resistant
Weight	0.2 kg
Supplied transceivers, 2 pcs	
P/N	I0AOM001
Type	SFP 1310nm SM Transceiver 1000 Base-LX3.3V
Supplied optical cable	
P/N	I0ACPS13
Type	Optical patch cable LC-LC SingleMode, duplex, 1 m

ANEXO 8

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CABLE DE RED STP Y CONECTORES RJ-45

Cable STP: Cable de par trenzado blindado mezcla las técnicas del blindado, cancelación y trenzado del cable. Reduce el ruido electrónico, como interferencias electromagnéticas (EMI) y las interferencias de radio frecuencia (RFI) presentes en el exterior del cable. Los componentes metálicos utilizados en STP como el blindaje, deben ser aterrizados a tierra en los dos extremos [41].



Conectores RJ45 (Registered Jack): comúnmente se utiliza en cableado estructurado (categorías 5, 5e, 6, 6A, y 8.1). tiene ocho pines para el conexionado eléctrico, colocados en los extremos de cables.

Al momento de hacer las conexiones, se deben seguir un estándar, que se indica con código de colores para la utilización de los conectores, para que los cables funcionen en cualquier red [41]:

NORMA T-568 A	NORMA T-568 B
Blanco/verde	Blanco/Naranja
Verde	Naranja
Blanco/Naranja	Blanco/Verde
Azul	Azul
Blanco/Azul	Blanco/Azul
Naranja	Verde
Blanco/Marrón	Blanco/Marrón
Marrón	Marrón

ANEXO 9

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SMART-UPS DE APC DE 1500 VA Y 120 V

Ficha técnica del producto

Especificaciones



Unidad Smart-UPS SRT de APC de 1500 VA y 120 V

SRT1500XLA

Descripción General

Tiempo de Entrega Suele haber existencias en inventario

Principal

Main Input Voltage	120 V
Main Output Voltage	120 V
Potencia nominal en W	1350 W
Potencia nominal en VA	1500 VA
Input Connection Type	NEMA 5-15P
Output connection type	6 NEMA 5-15R
Longitud de cable	1,83 m
Número de cables	1
Tipo de batería	Batería sellada de plomo
Equipo suministrado	DC con software Cable de comunicaciones CD de documentación Guía de instalación Pies desmontables Cable USB Tarjeta de garantía

Baterías y autonomía

Baterías pre-instaladas	1
Ranuras libres para baterías	0
Tiempo típico de recarga	3 H
Cantidad de cartuchos de batería de recambio	1
Voltaje de batería	48V
Potencia de carga de la batería (vatios)	91 W nominal
Battery power in VAH	273 VAh modo de ejecución (inactivo)
Vida de la batería	3...5 yr
Batería de repuesto	APCRBC155
Battery option	SRT48BP 1 819 VAh SRT48BP 2 1365 VAh SRT48BP 3 1910 VAh

SRT48BP 4 2456 VAh
SRT48BP 5 3002 VAh
SRT48BP 6 3548 VAh
SRT48BP 8 4640 VAh
SRT48BP 10 5731 VAh

Duración prolongable	0
----------------------	---

General

Product web sub-family	High density
------------------------	--------------

Number of power module free slots	0
-----------------------------------	---

Number of power module filled slots	0
-------------------------------------	---

Redundant	No
-----------	----

Físico

Color	Negro
-------	-------

Dimensiones de altura máxima	43,2 cm
------------------------------	---------

Anchura	8,5 cm
---------	--------

Dimensiones de profundidad máxima	50,8 cm
-----------------------------------	---------

Peso del producto	22 kg
-------------------	-------

Mounting preference	No preference
---------------------	---------------

Tipo de montaje	Carril
-----------------	--------

Two post mountable	0
--------------------	---

USB compatible	Yes
----------------	-----

Posición de montaje	Vertical
---------------------	----------

Entrada

Frecuencia asignada de empleo	40-70 Hz auto-sensing (**)
-------------------------------	----------------------------

Barras de separación	108...150 V 50...150 V 40% de carga
----------------------	--

Salida

Máxima potencia configurable (vatios)	1350 W
---------------------------------------	--------

Distorsión armónica	Menos que 2%
---------------------	--------------

Frecuencia de salida (sincronizada a red eléctrica principal)	50/60 Hz +/- 3 Hz sincronizada a red eléctrica principal
---	--

Crest factor (**)	3:1
-------------------	-----

Topología	Doble conversión en línea
-----------	---------------------------

Tipo de forma de onda	Onda senoidal
-----------------------	---------------

Bypass type	Desviación incorporada
-------------	------------------------

Maximum configurable power in VA	1500 VA
----------------------------------	---------

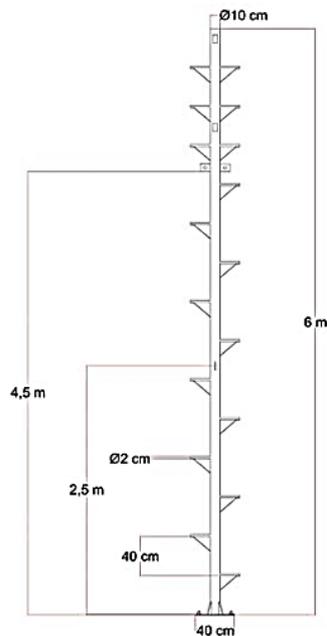
Conformidad

Certificaciones de producto	ENERGY STAR V2.0 (EE. UU.)
-----------------------------	----------------------------

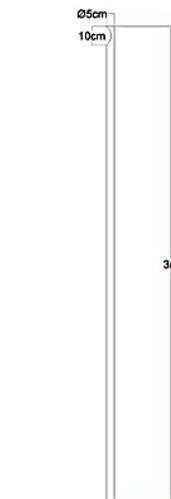
ANEXO 10

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MÁSTIL DE 6 METROS

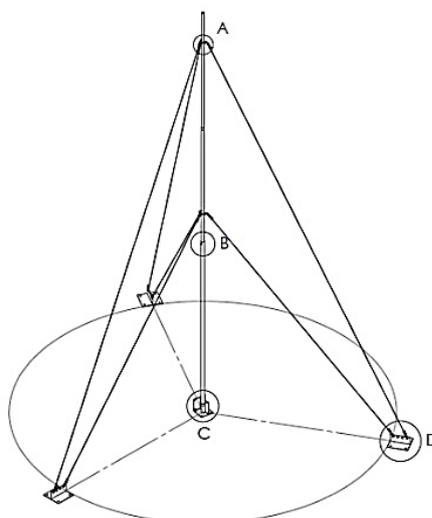
- Altura de 6 metros desde la azotea hasta su punta, tener en cuenta que el mástil debe incorporar un segundo mástil de menor longitud y diámetro para la instalación de un pararrayo.
- Tipo arriostrado, es decir, que su estabilidad, además de estar sujeto a su base, depende de tensores que estarán colocados a 2,5 y 4,5 metros, dando un total de 6 tensores.
- La estructura del mástil se compone de un tubo galvanizado de 10 centímetros de diámetro, mientras que el mástil para pararrayo es de 5 cm de diámetro.
- Los peldaños para personal de la red están sujetos al mástil con una separación entre peldaños de 40 cm.
- Normativa ANSI/TIA-222G. Referencia:



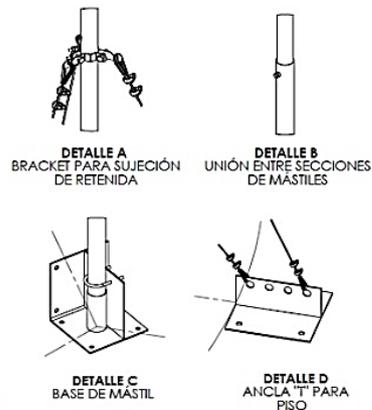
(a) Mástil para antena



(b) Mástil para pararrayo



DETALLE DE COMPONENTES



ANEXO 11

CONFIGURACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE RED

COMANDOS PARA LA CONFIGURACIÓN DE SWITCH DE ACCESO

Switch SWCCL de Centro de control

Creación de VLANs

```
SWCCL(config)#vlan 10
SWCCL(config-vlan)#name SCADA
SWCCL(config-vlan)#vlan 30
SWCCL(config-vlan)#name VOZ_IP
SWCCL(config-vlan)#vlan 50
SWCCL(config-vlan)#name CAM_IP
```

Asignación de interfaces de acceso a las VLANs

```
SWCCL(config)#interface range fa0/1-10
SWCCL(config-if-range)#switchport mode access
SWCCL(config-if-range)#switchport access vlan 10
SWCCL(config)#interface range fa0/11-15
SWCCL(config-if-range)#switchport mode access
SWCCL(config-if-range)#switchport access vlan 50
SWCCL(config)#interface range fa0/2-3
SWCCL(config-if-range)#switchport voice vlan 30
```

Creación de Puerto troncal

```
SWCCL(config)#interface g0/2
SWCCL(config-if)#switchport mode trunk
```

Switch SW01CV de El Calvario

Creación de VLANs

```
SW01CV(config)#vlan 11
SW01CV(config-vlan)#name IEDs
SW01CV(config-vlan)#vlan 31
SW01CV(config-vlan)#name VOZ_IP
SW01CV(config-vlan)#vlan 51
SW01CV(config-vlan)#name CAM_IP
```

Asignación de interfaces de acceso a las VLANs

```
SW01CV(config)#interface range fa0/1-15
SW01CV(config-if-range)#switchport mode access
SW01CV(config-if-range)#switchport access vlan 11
SW01CV(config)#interface range fa0/16-17
SW01CV(config-if-range)#switchport mode access
SW01CV(config-if-range)#switchport voice vlan 31
SW01CV(config)#interface range fa0/18-20
SW01CV(config-if-range)#switchport mode access
SW01CV(config-if-range)#switchport access vlan 51
```

Creación de Puerto troncal

```
SW01CV(config-if-range)#interface g0/2
SW01CV(config-if)#switchport mode trunk
```

Switch SW02SR de San Rafael

Creación de VLANs

```
SW02SR(config)#vlan 12
SW02SR(config-vlan)#name IEDs
SW02SR(config-vlan)#vlan 32
```

```
SW02SR(config-vlan)#name VOZ_IP
SW02SR(config-vlan)#vlan 52
SW02SR(config-vlan)#name CAM_IP
```

Asignación de interfaces de acceso a las VLANs

```
SW02SR(config)#interface range fa0/1-15
SW02SR(config-if-range)#switchport mode access
SW02SR(config-if-range)#switchport access vlan 12
SW02SR(config-if-range)#interface range fa0/16-17
SW02SR(config-if-range)#switchport mode access
SW02SR(config-if-range)#switchport voice vlan 32
SW02SR(config-if-range)#interface range fa0/18-24
SW02SR(config-if-range)#switchport mode access
SW02SR(config-if-range)#switchport access vlan 52
```

Creación de Puerto troncal

```
SW02SR(config-if-range)#interface g0/2
SW02SR(config-if)#switchport mode trunk
```

Switch SW03SA Salcedo

Creación de VLANs

```
SW03SA(config)#vlan 13
SW03SA(config-vlan)#name IEDs
SW03SA(config-vlan)#vlan 33
SW03SA(config-vlan)#name VOZ_IP
SW03SA(config-vlan)#vlan 53
SW03SA(config-vlan)#name CAM_IP
```

Asignación de interfaces de acceso a las VLANs

```
SW03SA(config)#interface range fa0/1-15
SW03SA(config-if-range)#switchport mode access
SW03SA(config-if-range)#switchport access vlan 13
SW03SA(config-if-range)#interface range fa0/16-17
SW03SA(config-if-range)#switchport mode access
SW03SA(config-if-range)#switchport voice vlan 33
SW03SA(config-if-range)#interface range fa0/18-24
SW03SA(config-if-range)#switchport mode access
SW03SA(config-if-range)#switchport access vlan 53
```

Creación de Puerto troncal

```
SW03SA(config-if-range)#interface g0/2
SW03SA(config-if)#switchport mode trunk
```

Switch SW04ML Mulaló

Creación de VLANs

```
SW04ML(config)#vlan 14
SW04ML(config-vlan)#name IEDs
SW04ML(config-vlan)#vlan 34
SW04ML(config-vlan)#name VOZ_IP
SW04ML(config-vlan)#vlan 54
SW04ML(config-vlan)#name CAM_IP
```

Asignación de interfaces de acceso a las VLANs

```
SW04ML(config)#interface range fa0/1-15
SW04ML(config-if-range)#switchport mode access
SW04ML(config-if-range)#switchport access vlan 14
SW04ML(config-if-range)#interface range fa0/16-17
SW04ML(config-if-range)#switchport mode access
SW04ML(config-if-range)#switchport voice vlan 34
SW04ML(config-if-range)#interface range fa0/18-24
```

```
SW04ML(config-if-range)#switchport mode access
SW04ML(config-if-range)#switchport access vlan 54
```

Creación de Puerto troncal

```
SW04ML(config-if-range)#interface g0/2
SW04ML(config-if)#switchport mode trunk
```

Switch SW05LA Lasso

Creación de VLANs

```
SW05LA(config)#vlan 15
SW05LA(config-vlan)#name IEDs
SW05LA(config-vlan)#vlan 35
SW05LA(config-vlan)#name VOZ_IP
SW05LA(config-vlan)#vlan 55
SW05LA(config-vlan)#name CAM_IP
```

Asignación de interfaces de acceso a las VLANs

```
SW05LA(config)#interface range fa0/1-15
SW05LA(config-if-range)#switchport mode access
SW05LA(config-if-range)#switchport access vlan 15
SW05LA(config-if-range)#interface range fa0/16-17
SW05LA(config-if-range)#switchport mode access
SW05LA(config-if-range)#switchport voice vlan 35
SW05LA(config-if-range)#interface range fa0/18-24
SW05LA(config-if-range)#switchport mode access
SW05LA(config-if-range)#switchport access vlan 55
```

Creación de Puerto troncal

```
SW05LA(config-if-range)#interface g0/2
SW05LA(config-if)#switchport mode trunk
```

Switch SW06CH La Cocha

Creación de VLANs

```
SW06CH(config)#vlan 16
SW06CH(config-vlan)#name IEDs
SW06CH(config-vlan)#vlan 36
SW06CH(config-vlan)#name VOZ_IP
SW06CH(config-vlan)#vlan 56
SW06CH(config-vlan)#name CAM_IP
```

Asignación de interfaces de acceso a las VLANs

```
SW06CH(config-vlan)#interface range fa0/1-15
SW06CH(config-if-range)#switchport mode access
SW06CH(config-if-range)#switchport access vlan 16
SW06CH(config-if-range)#interface range fa0/16-17
SW06CH(config-if-range)#switchport mode access
SW06CH(config-if-range)#switchport voice vlan 36
SW06CH(config-if-range)#interface range fa0/18-24
SW06CH(config-if-range)#switchport mode access
SW06CH(config-if-range)#switchport access vlan 56
```

Creación de Puerto troncal

```
SW06CH(config-if-range)#interface g0/2
SW06CH(config-if)#switchport mode trunk
```

Switch SW08SG Sigchos

Creación de VLANs

```
SW08SG(config)#vlan 17
SW08SG(config-vlan)#name IEDs
```

```
SW08SG(config-vlan)#vlan 37
SW08SG(config-vlan)#name VOZ_IP
SW08SG(config-vlan)#vlan 57
SW08SG(config-vlan)#name CAM_IP
```

Asignación de interfaces de acceso a las VLANs

```
SW08SG(config-vlan)#interface range fa0/1-15
SW08SG(config-if-range)#switchport mode access
SW08SG(config-if-range)#switchport access vlan 17
SW08SG(config-if-range)#interface range fa0/16-17
SW08SG(config-if-range)#switchport mode access
SW08SG(config-if-range)#switchport voice vlan 37
SW08SG(config-if-range)#interface range fa0/18-24
SW08SG(config-if-range)#switchport mode access
SW08SG(config-if-range)#switchport access vlan 57
```

Creación de Puerto troncal

```
SW08SG(config-if-range)#interface g0/2
SW08SG(config-if)#switchport mode trunk
```

Switch SW09MA La Maná

Creación de VLANs

```
SW09MA(config)#vlan 18
SW09MA(config-vlan)#name IEDs
SW09MA(config-vlan)#vlan 38
SW09MA(config-vlan)#name VOZ_IP
SW09MA(config-vlan)#vlan 58
SW09MA(config-vlan)#name CAM_IP
```

Asignación de interfaces de acceso a las VLANs

```
SW09MA(config-vlan)#interface range fa0/1-15
SW09MA(config-if-range)#switchport mode access
SW09MA(config-if-range)#switchport access vlan 18
SW09MA(config-if-range)#interface range fa0/16-17
SW09MA(config-if-range)#switchport mode access
SW09MA(config-if-range)#switchport voice vlan 38
SW09MA(config-if-range)#interface range fa0/18-24
SW09MA(config-if-range)#switchport mode access
SW09MA(config-if-range)#switchport access vlan 58
```

Creación de Puerto troncal

```
SW09MA(config-if-range)#interface g0/2
SW09MA(config-if)#switchport mode trunk
```

Switch SW10PJ Pujilí

Creación de VLANs

```
SW10PJ(config)#vlan 19
SW10PJ(config-vlan)#name IEDs
SW10PJ(config-vlan)#vlan 39
SW10PJ(config-vlan)#name VOZ_IP
SW10PJ(config-vlan)#vlan 59
SW10PJ(config-vlan)#name CAM_IP
```

Asignación de interfaces de acceso a las VLANs

```
SW10PJ(config)#interface range fa0/1-15
SW10PJ(config-if-range)#switchport mode access
SW10PJ(config-if-range)#switchport access vlan 19
SW10PJ(config-if-range)#interface range fa0/16-17
SW10PJ(config-if-range)#switchport mode access
SW10PJ(config-if-range)#switchport voice vlan 39
```

```
SW10PJ(config-if-range)#interface range fa0/18-24
SW10PJ(config-if-range)#switchport mode access
SW10PJ(config-if-range)#switchport access vlan 59
```

Creación de Puerto troncal

```
SW10PJ(config-if-range)#interface g0/2
SW10PJ(config-if)#switchport mode trunk
```

Switch SW41I1 Illuchi 1

Creación de VLANs

```
SW41I1(config)#vlan 20
SW41I1(config-vlan)#name IEDs
SW41I1(config-vlan)#vlan 40
SW41I1(config-vlan)#name VOZ_IP
SW41I1(config-vlan)#vlan 60
SW41I1(config-vlan)#name CAM_IP
```

Asignación de interfaces de acceso a las VLANs

```
SW41I1(config-vlan)#interface range fa0/1-15
SW41I1(config-if-range)#switchport mode access
SW41I1(config-if-range)#switchport access vlan 20
SW41I1(config-if-range)#interface range fa0/16-17
SW41I1(config-if-range)#switchport mode access
SW41I1(config-if-range)#switchport voice vlan 40
SW41I1(config-if-range)#interface range fa0/18-24
SW41I1(config-if-range)#switchport mode access
SW41I1(config-if-range)#switchport access vlan 60
```

Creación de Puerto troncal

```
SW41I1(config-if-range)#interface g0/2
SW41I1(config-if)#switchport mode trunk
```

Switch SW42I2 Illuchi 2

Creación de VLANs

```
SW42I2(config)#vlan 21
SW42I2(config-vlan)#name IEDs
SW42I2(config-vlan)#vlan 41
SW42I2(config-vlan)#name VOZ_IP
SW42I2(config-vlan)#vlan 61
SW42I2(config-vlan)#name CAM_IP
```

Asignación de interfaces de acceso a las VLANs

```
SW42I2(config-vlan)#interface range fa0/1-15
SW42I2(config-if-range)#switchport mode access
SW42I2(config-if-range)#switchport access vlan 21
SW42I2(config-if-range)#interface range fa0/16-17
SW42I2(config-if-range)#switchport mode access
SW42I2(config-if-range)#switchport voice vlan 41
SW42I2(config-if-range)#interface range fa0/18-24
SW42I2(config-if-range)#switchport mode access
SW42I2(config-if-range)#switchport access vlan 61
```

Creación de Puerto troncal

```
SW42I2(config-if-range)#interface g0/2
SW42I2(config-if)#switchport mode trunk
```

COMANDOS PARA CONFIGURACIÓN DE ROUTER LAN NIVEL DE DISTRIBUCIÓN

Router ROCCL de Centro de control

Configuración de interface y sub-interfaces

```
ROCCL(config)#interface g0/1
ROCCL(config-if)#ip address 192.168.100.78 255.255.255.252
ROCCL(config-if)#no shut
ROCCL(config)#interface g0/2
ROCCL(config-if)#no shut
ROCCL(config-if)#interface g0/2.10
ROCCL(config-subif)#encapsulation dot1q 10
ROCCL(config-subif)#ip address 172.17.70.1 255.255.255.224
ROCCL(config-subif)#interface g0/2.30
ROCCL(config-subif)#encapsulation dot1q 30
ROCCL(config-subif)#ip address 10.0.0.1 255.255.255.248
ROCCL(config-subif)#interface g0/2.50
ROCCL(config-subif)#encapsulation dot1q 50
ROCCL(config-subif)#ip address 10.0.1.1 255.255.255.248
```

Configuración de DHCP para asignación de IPs a los teléfonos

```
ROCCL(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.0.1
ROCCL(config)#ip dhcp pool VOIP
ROCCL(dhcp-config)#network 10.0.0.0 255.255.255.248
ROCCL(dhcp-config)#default-router 10.0.0.1
ROCCL(dhcp-config)#option 150 ip 10.0.0.1
```

Configuración de telefonía IP

```
ROCCL(config)#telephony-service
ROCCL(config-telephony)#max-ephones 2
ROCCL(config-telephony)#max-dn 2
ROCCL(config-telephony)#ip source-address 10.0.0.1 port 2000
ROCCL(config-telephony)#auto assign 1 to 2
```

Asignación de líneas a los teléfonos

```
ROCCL(config)#ephone-dn 1
ROCCL(config-ephone-dn)#number 7001
ROCCL(config-ephone-dn)#ephone-dn 2
ROCCL(config-ephone-dn)#number 7002
```

Enrutamiento de línea telefónica hacia el centro de control

```
ROCCL(config)#dial-peer voice 1 voip (A Calvario)
ROCCL(config-dial-peer)#destination-pattern 10..
ROCCL(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.2
ROCCL(config-dial-peer)#exit
ROCCL(config)#dial-peer voice 2 voip (A San Rafael)
ROCCL(config-dial-peer)#destination-pattern 20..
ROCCL(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.6
ROCCL(config-dial-peer)#exit
ROCCL(config)#dial-peer voice 3 voip (A Salcedo)
ROCCL(config-dial-peer)#destination-pattern 30..
ROCCL(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.10
ROCCL(config-dial-peer)#exit
ROCCL(config)#dial-peer voice 15 voip (A Pujili)
ROCCL(config-dial-peer)#destination-pattern 15..
ROCCL(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.34
ROCCL(config-dial-peer)#exit
ROCCL(config)#dial-peer voice 5 voip (A Lasso)
ROCCL(config-dial-peer)#destination-pattern 50..
ROCCL(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.18
```

```

ROCCL(config-dial-peer)#exit
ROCCL(config)#dial-peer voice 4 voip (A Mulaló)
ROCCL(config-dial-peer)#destination-pattern 40..
ROCCL(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.14
ROCCL(config-dial-peer)#exit
ROCCL(config)#dial-peer voice 6 voip (A La Cocha)
ROCCL(config-dial-peer)#destination-pattern 60..
ROCCL(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.22
ROCCL(config-dial-peer)#exit
ROCCL(config)#dial-peer voice 8 voip (A Sigchos)
ROCCL(config-dial-peer)#destination-pattern 80..
ROCCL(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.26
ROCCL(config-dial-peer)#exit
ROCCL(config)#dial-peer voice 9 voip (A La Maná)
ROCCL(config-dial-peer)#destination-pattern 90..
ROCCL(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.30
ROCCL(config-dial-peer)#exit
ROCCL(config)#dial-peer voice 25 voip (A Illuchi 1)
ROCCL(config-dial-peer)#destination-pattern 25..
ROCCL(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.38
ROCCL(config-dial-peer)#exit
ROCCL(config)#dial-peer voice 35 voip (A Illuchi 2)
ROCCL(config-dial-peer)#destination-pattern 35..
ROCCL(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.42

```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```

ROCCL(config)#router ospf 1
ROCCL(config-router)#router-id 20.20.20.20
ROCCL(config-router)#network 192.168.100.76 0.0.0.3 area 8
ROCCL(config-router)#network 172.17.70.0 0.0.0.31 area 8
ROCCL(config-router)#network 10.0.0.0 0.0.0.7 area 8
ROCCL(config-router)#network 10.0.1.0 0.0.0.7 area 8
ROCCL(config-router)#passive-interface g0/2

```

Router R001CV de El Calvario

Configuración de interface y sub-interfaces

```

R01CV(config)#interface g0/1
R01CV(config-if)#no shut
R01CV(config-if)#ip address 192.168.100.2 255.255.255.252
R01CV(config-if)#exit
R01CV(config)#interface g0/2
R01CV(config-if)#no shut
R01CV(config-if)#interface g0/2.11
R01CV(config-subif)#encapsulation dot1q 11
R01CV(config-subif)#ip address 172.17.70.97 255.255.255.224
R01CV(config-subif)#interface g0/2.31
R01CV(config-subif)#encapsulation dot1q 31
R01CV(config-subif)#ip address 10.0.0.9 255.255.255.248
R01CV(config-subif)#interface g0/2.51
R01CV(config-subif)#encapsulation dot1q 51
R01CV(config-subif)#ip address 10.0.1.9 255.255.255.248

```

Configuración de DHCP para asignación de IPs a los teléfonos

```

R01CV(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.0.9
R01CV(config)#ip dhcp pool VOIP_CV
R01CV(dhcp-config)#network 10.0.0.8 255.255.255.248
R01CV(dhcp-config)#default-router 10.0.0.9
R01CV(dhcp-config)#option 150 ip 10.0.0.9

```

Configuración de telefonía IP

```
RO01CV(config)#telephony-service
RO01CV(config-telephony)#max-ephones 2
RO01CV(config-telephony)#max-dn 2
RO01CV(config-telephony)#ip source-address 10.0.0.9 port 2000
RO01CV(config-telephony)#auto assign 1 to 2
```

Asignación de líneas a los teléfonos

```
RO01CV(config)#ephone-dn 1
RO01CV(config-ephone-dn)#number 1001
RO01CV(config-ephone-dn)#ephone-dn 2
RO01CV(config-ephone-dn)#number 1002
```

Enrutamiento de línea telefónica hacia el centro de control

```
RO01CV(config)#dial-peer voice 7 voip (A Centro de Control)
RO01CV(config-dial-peer)#destination-pattern 70..
RO01CV(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.78
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
RO01CV#conf t
RO01CV(config)#router ospf 1
RO01CV(config-router)#router-id 21.21.21.21
RO01CV(config-router)#network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 1
RO01CV(config-router)#network 172.17.70.96 0.0.0.31 area 1
RO01CV(config-router)#network 10.0.0.8 0.0.0.7 area 1
RO01CV(config-router)#network 10.0.1.8 0.0.0.7 area 1
RO01CV(config-router)#passive-interface g0/2
```

Router RO02SR de San Rafael

Configuración de interface y sub-interfaces

```
RO02SR(config-subif)#interface g0/1
RO02SR(config-if)#no shut
RO02SR(config-if)#ip address 192.168.100.6 255.255.255.252
RO02SR(config)#interface g0/2
RO02SR(config-if)#no shut
RO02SR(config-if)#interface g0/2.12
RO02SR(config-subif)#encapsulation dot1q 12
RO02SR(config-subif)#ip address 172.17.70.129 255.255.255.224
RO02SR(config-subif)#interface g0/2.32
RO02SR(config-subif)#encapsulation dot1q 32
RO02SR(config-subif)#ip address 10.0.0.17 255.255.255.248
RO02SR(config-subif)#interface g0/2.52
RO02SR(config-subif)#encapsulation dot1q 52
RO02SR(config-subif)#ip address 10.0.1.17 255.255.255.248
```

Configuración de DHCP para asignación de IPs a los teléfonos

```
RO02SR(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.0.17
RO02SR(config)#ip dhcp pool VOIP_SR
RO02SR(dhcp-config)#network 10.0.0.16 255.255.255.248
RO02SR(dhcp-config)#default-router 10.0.0.17
RO02SR(dhcp-config)#option 150 ip 10.0.0.17
```

Configuración de telefonía IP

```
RO02SR(config)#telephony-service
RO02SR(config-telephony)#max-ephones 2
RO02SR(config-telephony)#max-dn 2
RO02SR(config-telephony)#ip source-address 10.0.0.17 port 2000
RO02SR(config-telephony)#auto assign 1 to 2
RO02SR(config-telephony)#exit
```

Asignación de líneas a los teléfonos

```
RO02SR(config)#ephone-dn 1
```

```
RO02SR(config-ephone-dn)#number 2001
RO02SR(config-ephone-dn)#ephone-dn 2
RO02SR(config-ephone-dn)#number 2002
```

Enrutamiento de línea telefónica hacia el centro de control

```
RO02SR(config)#dial-peer voice 7 voip (A Centro de Control)
RO02SR(config-dial-peer)#destination-pattern 70..
RO02SR(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.78
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
RO02SR#conf t
RO02SR(config)#router ospf 1
RO02SR(config-router)#router-id 22.22.22.22
RO02SR(config-router)#network 192.168.100.4 0.0.0.3 area 2
RO02SR(config-router)#network 172.17.70.128 0.0.0.31 area 2
RO02SR(config-router)#network 10.0.0.16 0.0.0.7 area 2
RO02SR(config-router)#network 10.0.1.16 0.0.0.7 area 2
RO02SR(config-router)#passive-interface g0/2
```

Router RO03SA de Salcedo

Configuración de interface y sub-interfaces

```
RO03SA(config-subif)#interface g0/1
RO03SA(config-if)#no shut
RO03SA(config-if)#ip address 192.168.100.10 255.255.255.252
RO03SA(config)#interface g0/2
RO03SA(config-if)#no shut
RO03SA(config-if)#interface g0/2.13
RO03SA(config-subif)#encapsulation dot1q 13
RO03SA(config-subif)#ip address 172.17.70.161 255.255.255.224
RO03SA(config-subif)#interface g0/2.33
RO03SA(config-subif)#encapsulation dot1q 33
RO03SA(config-subif)#ip address 10.0.0.25 255.255.255.248
RO03SA(config-subif)#interface g0/2.53
RO03SA(config-subif)#encapsulation dot1q 53
RO03SA(config-subif)#ip address 10.0.1.25 255.255.255.248
```

Configuración de DHCP para asignación de IPs a los teléfonos

```
RO03SA(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.0.25
RO03SA(config)#ip dhcp pool VOIP_SA
RO03SA(dhcp-config)#network 10.0.0.24 255.255.255.248
RO03SA(dhcp-config)#default-router 10.0.0.25
RO03SA(dhcp-config)#option 150 ip 10.0.0.25
```

Configuración de telefonía IP

```
RO03SA(config)#telephony-service
RO03SA(config-telephony)#max-ephones 2
RO03SA(config-telephony)#max-dn 2
RO03SA(config-telephony)#ip source-address 10.0.0.25 port 2000
RO03SA(config-telephony)#auto assign 1 to 2
```

Asignación de líneas a los teléfonos

```
RO03SA(config)#ephone-dn 1
RO03SA(config-ephone-dn)#number 3001
RO03SA(config-ephone-dn)#ephone-dn 2
RO03SA(config-ephone-dn)#number 3002
```

Enrutamiento de línea telefónica hacia el centro de control

```
RO03SA(config)#dial-peer voice 7 voip (A Centro de Control)
RO03SA(config-dial-peer)#destination-pattern 70..
RO03SA(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.78
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
RO03SA(config)#router ospf 1
RO03SA(config-router)#router-id 23.23.23.23
RO03SA(config-router)#network 192.168.100.8 0.0.0.3 area 3
RO03SA(config-router)#network 172.17.70.160 0.0.0.31 area 3
RO03SA(config-router)#network 10.0.0.24 0.0.0.7 area 3
RO03SA(config-router)#network 10.0.1.24 0.0.0.7 area 3
RO03SA(config-router)#passive-interface g0/2
```

Router RO04ML Mulaló

Configuración de interface y sub-interfaces

```
RO04ML(config-subif)#interface g0/1
RO04ML(config-if)#no shut
RO04ML(config-if)#ip address 192.168.100.14 255.255.255.252
RO04ML(config)#interface g0/2
RO04ML(config-if)#no shut
RO04ML(config-if)#interface g0/2.14
RO04ML(config-subif)#encapsulation dot1q 14
RO04ML(config-subif)#ip address 172.17.70.193 255.255.255.224
RO04ML(config-subif)#interface g0/2.34
RO04ML(config-subif)#encapsulation dot1q 34
RO04ML(config-subif)#ip address 10.0.0.33 255.255.255.248
RO04ML(config-subif)#interface g0/2.54
RO04ML(config-subif)#encapsulation dot1q 54
RO04ML(config-subif)#ip address 10.0.1.33 255.255.255.248
```

Configuración de DHCP para asignación de IPs a los teléfonos

```
RO04ML(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.0.33
RO04ML(config)#ip dhcp pool VOIP_ML
RO04ML(dhcp-config)#network 10.0.0.32 255.255.255.248
RO04ML(dhcp-config)#default-router 10.0.0.33
RO04ML(dhcp-config)#option 150 ip 10.0.0.33
```

Configuración de telefonía IP

```
RO04ML(config)#telephony-service
RO04ML(config-telephony)#max-ephones 2
RO04ML(config-telephony)#max-dn 2
RO04ML(config-telephony)#ip source-address 10.0.0.33 port 2000
RO04ML(config-telephony)#auto assign 1 to 2
```

Asignación de líneas a los teléfonos

```
RO04ML(config)#ephone-dn 1
RO04ML(config-ephone-dn)#number 4001
RO04ML(config-ephone-dn)#ephone-dn 2
RO04ML(config-ephone-dn)#number 4002
```

Enrutamiento de línea telefónica hacia el centro de control

```
RO04ML(config)#dial-peer voice 7 voip (A Centro de Control)
RO04ML(config-dial-peer)#destination-pattern 70..
RO04ML(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.78
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
RO04ML(config)#router ospf 1
RO04ML(config-router)#router-id 24.24.24.24
RO04ML(config-router)#network 192.168.100.12 0.0.0.3 area 4
RO04ML(config-router)#network 172.17.70.192 0.0.0.31 area 4
RO04ML(config-router)#network 10.0.0.32 0.0.0.7 area 4
RO04ML(config-router)#network 10.0.1.32 0.0.0.7 area 4
RO04ML(config-router)#passive-interface g0/2
```

Router RO05LA de Lasso

Configuración de interface y sub-interfaces

```
RO05LA(config-subif)#interface g0/1
RO05LA(config-if)#no shut
RO05LA(config-if)#ip address 192.168.100.18 255.255.255.252
RO05LA(config)#interface g0/2
RO05LA(config-if)#no shut
RO05LA(config-if)#interface g0/2.15
RO05LA(config-subif)#encapsulation dot1q 15
RO05LA(config-subif)#ip address 172.17.70.225 255.255.255.224
RO05LA(config-subif)#interface g0/2.35
RO05LA(config-subif)#encapsulation dot1q 35
RO05LA(config-subif)#ip address 10.0.0.41 255.255.255.248
RO05LA(config-subif)#interface g0/2.55
RO05LA(config-subif)#encapsulation dot1q 55
RO05LA(config-subif)#ip address 10.0.1.41 255.255.255.248
```

Configuración de DHCP para asignación de IPs a los teléfonos

```
RO05LA(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.0.41
RO05LA(config)#ip dhcp pool VOIP_LA
RO05LA(dhcp-config)#network 10.0.0.40 255.255.255.248
RO05LA(dhcp-config)#default-router 10.0.0.41
RO05LA(dhcp-config)#option 150 ip 10.0.0.41
```

Configuración de telefonía IP

```
RO05LA(config)#telephony-service
RO05LA(config-telephony)#max-ephones 2
RO05LA(config-telephony)#max-dn 2
RO05LA(config-telephony)#ip source-address 10.0.0.41 port 2000
RO05LA(config-telephony)#auto assign 1 to 2
```

Asignación de líneas a los teléfonos

```
RO05LA(config)#ephone-dn 1
RO05LA(config-ephone-dn)#number 5001
RO05LA(config-ephone-dn)#ephone-dn 2
RO05LA(config-ephone-dn)#number 5002
```

Enrutamiento de línea telefónica hacia el centro de control

```
RO05LA(config)#dial-peer voice 7 voip (A Centro de Control)
RO05LA(config-dial-peer)#destination-pattern 70..
RO05LA(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.78
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
RO05LA(config)#router ospf 1
RO05LA(config-router)#router-id 25.25.25.25
RO05LA(config-router)#network 192.168.100.16 0.0.0.3 area 5
RO05LA(config-router)#network 172.17.70.224 0.0.0.31 area 5
RO05LA(config-router)#network 10.0.0.40 0.0.0.7 area 5
RO05LA(config-router)#network 10.0.1.40 0.0.0.7 area 5
RO05LA(config-router)#passive-interface g0/2
```

Router RO06CH La Cocha

Configuración de interface y sub-interfaces

```
RO06CH(config-subif)#interface g0/1
RO06CH(config-if)#no shut
RO06CH(config-if)#ip address 192.168.100.22 255.255.255.252
RO06CH(config)#interface g0/2
RO06CH(config-if)#no shut
RO06CH(config-if)#interface g0/2.16
RO06CH(config-subif)#encapsulation dot1q 16
RO06CH(config-subif)#ip address 172.17.71.1 255.255.255.224
```

```
RO06CH(config-subif)#interface g0/2.36
RO06CH(config-subif)#encapsulation dot1q 36
RO06CH(config-subif)#ip address 10.0.0.49 255.255.255.248
RO06CH(config-subif)#interface g0/2.56
RO06CH(config-subif)#encapsulation dot1q 56
RO06CH(config-subif)#ip address 10.0.1.49 255.255.255.248
```

Configuración de DHCP para asignación de IPs a los teléfonos

```
RO06CH(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.0.49
RO06CH(config)#ip dhcp pool VOIP_CH
RO06CH(dhcp-config)#network 10.0.0.48 255.255.255.248
RO06CH(dhcp-config)#default-router 10.0.0.49
RO06CH(dhcp-config)#option 150 ip 10.0.0.49
```

Configuración de telefonía IP

```
RO06CH(config)#telephony-service
RO06CH(config-telephony)#max-ephones 2
RO06CH(config-telephony)#max-dn 2
RO06CH(config-telephony)#ip source-address 10.0.0.49 port 2000
RO06CH(config-telephony)#auto assign 1 to 2
```

Asignación de líneas a los teléfonos

```
RO06CH(config)#ephone-dn 1
RO06CH(config-ephone-dn)#number 6001
RO06CH(config-ephone-dn)#ephone-dn 2
RO06CH(config-ephone-dn)#number 6002
```

Enrutamiento de línea telefónica hacia el centro de control

```
RO06CH(config)#dial-peer voice 7 voip (A Centro de Control)
RO06CH(config-dial-peer)#destination-pattern 70..
RO06CH(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.78
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
RO06CH(config)#router ospf 1
RO06CH(config-router)#router-id 26.26.26.26
RO06CH(config-router)#network 192.168.100.20 0.0.0.3 area 6
RO06CH(config-router)#network 172.17.71.0 0.0.0.31 area 6
RO06CH(config-router)#network 10.0.0.48 0.0.0.7 area 6
RO06CH(config-router)#network 10.0.1.48 0.0.0.7 area 6
RO06CH(config-router)#passive-interface g0/2
```

Router RO08SG de Sigchos

Configuración de interface y sub-interfaces

```
RO08SG(config-subif)#interface g0/1
RO08SG(config-if)#no shut
RO08SG(config-if)#ip address 192.168.100.26 255.255.255.252
RO08SG(config)#interface g0/2
RO08SG(config-if)#no shut
RO08SG(config-if)#interface g0/2.17
RO08SG(config-subif)#encapsulation dot1q 17
RO08SG(config-subif)#ip address 172.17.71.33 255.255.255.224
RO08SG(config-subif)#interface g0/2.37
RO08SG(config-subif)#encapsulation dot1q 37
RO08SG(config-subif)#ip address 10.0.0.57 255.255.255.248
RO08SG(config-subif)#interface g0/2.57
RO08SG(config-subif)#encapsulation dot1q 57
RO08SG(config-subif)#ip address 10.0.1.57 255.255.255.248
```

Configuración de DHCP para asignación de IPs a los teléfonos

```
RO08SG(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.0.57
RO08SG(config)#ip dhcp pool VOIP_SG
```

```
RO08SG(dhcp-config)#network 10.0.0.56 255.255.255.248
RO08SG(dhcp-config)#default-router 10.0.0.57
RO08SG(dhcp-config)#option 150 ip 10.0.0.57
```

Configuración de telefonía IP

```
RO08SG(config)#telephony-service
RO08SG(config-telephony)#max-ephones 2
RO08SG(config-telephony)#max-dn 2
RO08SG(config-telephony)#ip source-address 10.0.0.57 port 2000
RO08SG(config-telephony)#auto assign 1 to 2
```

Asignación de líneas a los teléfonos

```
RO08SG(config)#ephone-dn 1
RO08SG(config-ephone-dn)#number 8001
RO08SG(config-ephone-dn)#ephone-dn 2
RO08SG(config-ephone-dn)#number 8002
```

Enrutamiento de línea telefónica hacia el centro de control

```
RO08SG(config)#dial-peer voice 7 voip (A Centro de Control)
RO08SG(config-dial-peer)#destination-pattern 70..
RO08SG(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.78
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
RO08SG(config)#router ospf 1
RO08SG(config-router)#router-id 27.27.27.27
RO08SG(config-router)#network 192.168.100.24 0.0.0.3 area 8
RO08SG(config-router)#network 172.17.71.32 0.0.0.31 area 8
RO08SG(config-router)#network 10.0.0.56 0.0.0.7 area 8
RO08SG(config-router)#network 10.0.1.56 0.0.0.7 area 8
RO08SG (config-router)#passive-interface g0/2
```

Router RO09MA de La Maná

Configuración de interface y sub-interfaces

```
RO09MA(config-subif)#interface g0/1
RO09MA(config-if)#no shut
RO09MA(config-if)#ip address 192.168.100.30 255.255.255.252
RO09MA(config)#interface g0/2
RO09MA(config-if)#no shut
RO09MA(config-if)#interface g0/2.18
RO09MA(config-subif)#encapsulation dot1q 18
RO09MA(config-subif)#ip address 172.17.71.65 255.255.255.224
RO09MA(config-subif)#interface g0/2.38
RO09MA(config-subif)#encapsulation dot1q 38
RO09MA(config-subif)#ip address 10.0.0.65 255.255.255.248
RO09MA(config-subif)#interface g0/2.58
RO09MA(config-subif)#encapsulation dot1q 58
RO09MA(config-subif)#ip address 10.0.01.65 255.255.255.248
```

Configuración de DHCP para asignación de IPs a los teléfonos

```
RO09MA(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.0.65
RO09MA(config)#ip dhcp pool VOIP_MA
RO09MA(dhcp-config)#network 10.0.0.64 255.255.255.248
RO09MA(dhcp-config)#default-router 10.0.0.65
RO09MA(dhcp-config)#option 150 ip 10.0.0.65
```

Configuración de telefonía IP

```
RO09MA(config)#telephony-service
RO09MA(config-telephony)#max-ephones 2
RO09MA(config-telephony)#max-dn 2
RO09MA(config-telephony)#ip source-address 10.0.0.65 port 2000
RO09MA(config-telephony)#auto assign 1 to 2
```

Asignación de líneas a los teléfonos

```
RO09MA(config)#ephone-dn 1
RO09MA(config-ephone-dn)#number 9001
RO09MA(config-ephone-dn)#ephone-dn 2
RO09MA(config-ephone-dn)#number 9002
```

Enrutamiento de línea telefónica hacia el centro de control

```
RO09MA(config)#dial-peer voice 7 voip (A Centro de Control)
RO09MA(config-dial-peer)#destination-pattern 70..
RO09MA(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.78
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
RO09MA(config)#router ospf 1
RO09MA(config-router)#router-id 28.28.28.28
RO09MA(config-router)#network 192.168.100.28 0.0.0.3 area 9
RO09MA(config-router)#network 172.17.71.64 0.0.0.31 area 9
RO09MA(config-router)#network 10.0.0.64 0.0.0.7 area 9
RO09MA(config-router)#network 10.0.1.64 0.0.0.7 area 9
RO09MA(config-router)#passive-interface g0/2
```

Router RO10PJ de Pujili

Configuración de interface y sub-interfaces

```
RO10PJ(config-subif)#interface g0/1
RO10PJ(config-if)#no shut
RO10PJ(config-if)#ip address 192.168.100.34 255.255.255.252
RO10PJ(config)#interface g0/2
RO10PJ(config-if)#no shut
RO10PJ(config-if)#interface g0/2.19
RO10PJ(config-subif)#encapsulation dot1q 19
RO10PJ(config-subif)#ip address 172.17.71.97 255.255.255.224
RO10PJ(config-subif)#interface g0/2.39
RO10PJ(config-subif)#encapsulation dot1q 39
RO10PJ(config-subif)#ip address 10.0.0.73 255.255.255.248
RO10PJ(config-subif)#interface g0/2.59
RO10PJ(config-subif)#encapsulation dot1q 59
RO10PJ(config-subif)#ip address 10.0.1.73 255.255.255.248
```

Configuración de DHCP para asignación de IPs a los teléfonos

```
RO10PJ(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.0.73
RO10PJ(config)#ip dhcp pool VOIP_PJ
RO10PJ(dhcp-config)#network 10.0.0.72 255.255.255.248
RO10PJ(dhcp-config)#default-router 10.0.0.73
RO10PJ(dhcp-config)#option 150 ip 10.0.0.73
```

Configuración de telefonía IP

```
RO10PJ(config)#telephony-service
RO10PJ(config-telephony)#max-ephones 2
RO10PJ(config-telephony)#max-dn 2
RO10PJ(config-telephony)#ip source-address 10.0.0.73 port 2000
RO10PJ(config-telephony)#auto assign 1 to 2
```

Asignación de líneas a los teléfonos

```
RO10PJ(config)#ephone-dn 1
RO10PJ(config-ephone-dn)#number 1501
RO10PJ(config-ephone-dn)#ephone-dn 2
RO10PJ(config-ephone-dn)#number 1502
```

Enrutamiento de línea telefónica hacia el centro de control

```
RO10PJ(config)#dial-peer voice 7 voip
RO10PJ(config-dial-peer)#destination-pattern 70..
```

```
RO10PJ(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.78
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
RO10PJ(config)#router ospf 1
RO10PJ(config-router)#router-id 29.29.29.29
RO10PJ(config-router)#network 192.168.100.32 0.0.0.3 area 10
RO10PJ(config-router)#network 172.17.71.96 0.0.0.31 area 10
RO10PJ(config-router)#network 10.0.0.72 0.0.0.7 area 10
RO10PJ(config-router)#network 10.0.1.72 0.0.0.7 area 10
RO10PJ(config-router)#passive-interface g0/2
```

Router RO41I1 de Illuchi 1

Configuración de interface y sub-interfaces

```
RO41I1(config-subif)#interface g0/1
RO41I1(config-if)#no shut
RO41I1(config-if)#ip address 192.168.100.38 255.255.255.252
RO41I1(config)#interface g0/2
RO41I1(config-if)#no shut
RO41I1(config-if)#interface g0/2.20
RO41I1(config-subif)#encapsulation dot1q 20
RO41I1(config-subif)#ip address 172.17.71.129 255.255.255.224
RO41I1(config-subif)#interface g0/2.40
RO41I1(config-subif)#encapsulation dot1q 40
RO41I1(config-subif)#ip address 10.0.0.81 255.255.255.248
RO41I1(config-subif)#interface g0/2.60
RO41I1(config-subif)#encapsulation dot1q 60
RO41I1(config-subif)#ip address 10.0.1.81 255.255.255.248
```

Configuración de DHCP para asignación de IPs a los teléfonos

```
RO41I1(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.0.81
RO41I1(config)#ip dhcp pool VOIP_ILL1
RO41I1(dhcp-config)#network 10.0.0.80 255.255.255.248
RO41I1(dhcp-config)#default-router 10.0.0.81
RO41I1(dhcp-config)#option 150 ip 10.0.0.81
```

Configuración de telefonía IP

```
RO41I1(config)#telephony-service
RO41I1(config-telephony)#max-ephones 2
RO41I1(config-telephony)#max-dn 2
RO41I1(config-telephony)#ip source-address 10.0.0.81 port 2000
RO41I1(config-telephony)#auto assign 1 to 2
```

Asignación de líneas a los teléfonos

```
RO41I1(config)#ephone-dn 1
RO41I1(config-ephone-dn)#number 2501
RO41I1(config-ephone-dn)#ephone-dn 2
RO41I1(config-ephone-dn)#number 2502
```

Enrutamiento de línea telefónica hacia el centro de control

```
RO41I1(config)#dial-peer voice 7 voip (A Centro de control)
RO41I1(config-dial-peer)#destination-pattern 70..
RO41I1(config-dial-peer)#session target ipv4:192.168.100.78
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
RO41I1(config)#router ospf 1
RO41I1(config-router)#router-id 30.30.30.30
RO41I1(config-router)#network 192.168.100.36 0.0.0.3 area 11
RO41I1(config-router)#network 172.17.71.128 0.0.0.31 area 11
RO41I1(config-router)#network 10.0.0.80 0.0.0.7 area 11
RO41I1(config-router)#network 10.0.1.80 0.0.0.7 area 11
```

```
RO41I1 (config-router) #passive-interface g0/2
```

Router RO42I2 de Illuchi 2

Configuración de interface y sub-interfaces

```
RO42I2 (config-if) #interface g0/1
RO42I2 (config-if) #no shut
RO42I2 (config-if) #ip address 192.168.100.42 255.255.255.252
RO42I2 (config) #interface g0/2
RO42I2 (config-if) #no shut
RO42I2 (config-if) #interface g0/2.21
RO42I2 (config-subif) #encapsulation dot1q 21
RO42I2 (config-subif) #ip address 172.17.71.161 255.255.255.224
RO42I2 (config-subif) #interface g0/2.41
RO42I2 (config-subif) #encapsulation dot1q 41
RO42I2 (config-subif) #ip address 10.0.0.89 255.255.255.248
RO42I2 (config-subif) #interface g0/2.61
RO42I2 (config-subif) #encapsulation dot1q 61
RO42I2 (config-subif) #ip address 10.0.1.89 255.255.255.248
```

Configuración de DHCP para asignación de IPs a los teléfonos

```
RO42I2 (config) #ip dhcp excluded-address 10.0.0.89
RO42I2 (config) #ip dhcp pool VOIP_ILL2
RO42I2 (dhcp-config) #network 10.0.0.88 255.255.255.248
RO42I2 (dhcp-config) #default-router 10.0.0.89
RO42I2 (dhcp-config) #option 150 ip 10.0.0.89
```

Configuración de telefonía IP

```
RO42I2 (config) #telephony-service
RO42I2 (config-telephony) #max-ephones 2
RO42I2 (config-telephony) #max-dn 2
RO42I2 (config-telephony) #ip source-address 10.0.0.89 port 2000
RO42I2 (config-telephony) #auto assign 1 to 2
```

Asignación de líneas a los teléfonos

```
RO42I2 (config) #ephone-dn 1
RO42I2 (config-ephone-dn) #number 3501
RO42I2 (config-ephone-dn) #ephone-dn 2
RO42I2 (config-ephone-dn) #number 3502
```

Enrutamiento de línea telefónica hacia el centro de control

```
RO42I2 (config) #dial-peer voice 7 voip (A Centro de Control)
RO42I2 (config-dial-peer) #destination-pattern 70..
RO42I2 (config-dial-peer) #session target ipv4:192.168.100.78
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
RO42I2 (config) #router ospf 1
RO42I2 (config-router) #router-id 31.31.31.31
RO42I2 (config-router) #network 192.168.100.40 0.0.0.3 area 12
RO42I2 (config-router) #network 172.17.71.160 0.0.0.31 area 12
RO42I2 (config-router) #network 10.0.0.88 0.0.0.7 area 12
RO42I2 (config-router) #network 10.0.1.88 0.0.0.7 area 12
RO42I2 (config-router) #passive-interface g0/2
```

COMANDOS PARA CONFIGURACIÓN DE SWITCH DE CAPA TRES WAN NIVEL DE NÚCLEO

Switch SWCentroControl

Configuración de EtherChannel

```
SW-CENTROCONTROL (config) #interface range g1/0/21-22
```

```
SW-CENTROCONTROL(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-CENTROCONTROL(config-if-range)#channel-group 1 mode desirable
SW-CENTROCONTROL(config-if-range)#exit
SW-CENTROCONTROL(config)#interface range g1/1/3-4
SW-CENTROCONTROL(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-CENTROCONTROL(config-if-range)#channel-group 2 mode desirable
SW-CENTROCONTROL(config-if-range)#exit
```

Asignación de IP a las interfaces

```
SW-CENTROCONTROL(config)#interface port-channel 1
SW-CENTROCONTROL(config-if)#no switchport
SW-CENTROCONTROL(config-if)#ip address 192.168.100.46 255.255.255.252
SW-CENTROCONTROL(config-if)#no shut
SW-CENTROCONTROL(config-if)#exit
SW-CENTROCONTROL(config)#interface port-channel 2
SW-CENTROCONTROL(config-if)#no switchport
SW-CENTROCONTROL(config-if)#ip address 192.168.100.93 255.255.255.252
SW-CENTROCONTROL(config-if)#no shut
```

```
SW-CENTROCONTROL(config-if)#int g1/0/1
SW-CENTROCONTROL(config-if)#no switchport
SW-CENTROCONTROL(config-if)#ip address 192.168.100.77 255.255.255.252
SW-CENTROCONTROL(config-if)#no shut
SW-CENTROCONTROL(config-if)#int g1/0/2
SW-CENTROCONTROL(config-if)#no switchport
SW-CENTROCONTROL(config-if)#ip address 192.168.100.81 255.255.255.252
SW-CENTROCONTROL(config-if)#no shut
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
SW-CENTROCONTROL(config)#ip routing
SW-CENTROCONTROL(config)#router ospf 1
SW-CENTROCONTROL(config-router)# router-id 8.8.8.8
SW-CENTROCONTROL(config-router)#network 192.168.100.44 0.0.0.3 area 0
SW-CENTROCONTROL(config-router)# network 192.168.100.80 0.0.0.3 area 0
SW-CENTROCONTROL(config-router)# network 192.168.100.92 0.0.0.3 area 0
SW-CENTROCONTROL(config-router)# network 192.168.100.76 0.0.0.3 area 7
```

Switch SWCalvario

Configuración de EtherChannel

```
SW-CALVARIO(config)#interface range 1/0/21-22
SW-CALVARIO(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-CALVARIO(config-if-range)#channel-group 1 mode desirable
SW-CALVARIO(config-if-range)#exit
SW-CALVARIO(config)#interface range g1/1/1-2
SW-CALVARIO(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-CALVARIO(config-if-range)#channel-group 4 mode desirable
SW-CALVARIO(config-if-range)#exit
SW-CALVARIO(config)#interface range g1/1/3-4
SW-CALVARIO(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-CALVARIO(config-if-range)#channel-group 10 mode desirable
SW-CALVARIO(config-if-range)#exit
```

Asignación de IP a las interfaces

```
SW-CALVARIO(config)#interface port-channel 1
SW-CALVARIO(config-if)#no switchport
SW-CALVARIO(config-if)#ip address 192.168.100.45 255.255.255.252
SW-CALVARIO(config-if)#no shut
SW-CALVARIO(config-if)#exit
SW-CALVARIO(config)#interface port-channel 4
SW-CALVARIO(config-if)#no switchport
SW-CALVARIO(config-if)#ip address 192.168.100.49 255.255.255.252
```

```

SW-CALVARIO(config-if)#no shut
SW-CALVARIO(config-if)#exit
SW-CALVARIO(config)#interface port-channel 10
SW-CALVARIO(config-if)#no switchport
SW-CALVARIO(config-if)#ip address 192.168.100.53 255.255.255.252
SW-CALVARIO(config-if)#no shut
SW-CALVARIO(config-if)#exit
SW-CALVARIO(config)#interface g1/0/1
SW-CALVARIO(config-if)#no switchport
SW-CALVARIO(config-if)#ip address 192.168.100.1 255.255.255.252
SW-CALVARIO(config-if)#no shut

```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```

SW-CALVARIO(config)#ip routing
SW-CALVARIO(config)#router ospf 1
SW-CALVARIO(config-router)# router-id 1.1.1.1
SW-CALVARIO(config-router)#network 192.168.100.44 0.0.0.3 area 0
SW-CALVARIO(config-router)# network 192.168.100.48 0.0.0.3 area 0
SW-CALVARIO(config-router)# network 192.168.100.52 0.0.0.3 area 0
SW-CALVARIO(config-router)# network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 1

```

Switch SWSanRafael

Configuración de EtherChannel

```

SW-SANRAFAEL(config)#int range g1/1/1-2
SW-SANRAFAEL(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-SANRAFAEL(config-if-range)#channel-group 4 mode desirable
SW-SANRAFAEL(config-if-range)#exit
SW-SANRAFAEL(config)#int range g1/1/3-4
SW-SANRAFAEL(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-SANRAFAEL(config-if-range)#channel-group 5 mode desirable
SW-SANRAFAEL(config-if-range)#exit

```

Asignación de IP a las interfaces

```

SW-SANRAFAEL(config)#interface port-channel 4
SW-SANRAFAEL(config-if)#no switchport
SW-SANRAFAEL(config-if)#ip address 192.168.100.50 255.255.255.252
SW-SANRAFAEL(config-if)#no shut
SW-SANRAFAEL(config-if)#exit
SW-SANRAFAEL(config)#interface port-channel 5
SW-SANRAFAEL(config-if)#no switchport
SW-SANRAFAEL(config-if)#ip address 192.168.100.73 255.255.255.252
SW-SANRAFAEL(config-if)#no shut
SW-SANRAFAEL(config-if)#exit
SW-SANRAFAEL(config)#interface g1/0/1
SW-SANRAFAEL(config-if)#no switchport
SW-SANRAFAEL(config-if)#ip address 192.168.100.5 255.255.255.252
SW-SANRAFAEL(config-if)#no shut

```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```

SW-SANRAFAEL(config)#ip routing
SW-SANRAFAEL(config)#router ospf 1
SW-SANRAFAEL(config-router)# router-id 2.2.2.2
SW-SANRAFAEL(config-router)#network 192.168.100.48 0.0.0.3 area 0
SW-SANRAFAEL(config-router)# network 192.168.100.72 0.0.0.3 area 0
SW-SANRAFAEL(config-router)# network 192.168.100.4 0.0.0.3 area 2

```

Switch SWSalcedo

Configuración de EtherChannel

```

SW-SALCEDO(config)#int range g1/1/3-4

```

```
SW-SALCEDO(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-SALCEDO(config-if-range)#channel-group 5 mode desirable
SW-SALCEDO(config-if-range)#exit
SW-SALCEDO(config)#int range g1/1/1-2
SW-SALCEDO(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-SALCEDO(config-if-range)#channel-group 6 mode desirable
SW-SALCEDO(config-if-range)#exit
```

Asignación de IP a las interfaces

```
SW-SALCEDO(config)#interface port-channel 5
SW-SALCEDO(config-if)#no switchport
SW-SALCEDO(config-if)#ip address 192.168.100.74 255.255.255.252
SW-SALCEDO(config-if)#no shut
SW-SALCEDO(config-if)#exit
SW-SALCEDO(config)#interface port-channel 6
SW-SALCEDO(config-if)#no switchport
SW-SALCEDO(config-if)#ip address 192.168.100.69 255.255.255.252
SW-SALCEDO(config-if)#no shut
SW-SALCEDO(config-if)#exit
SW-SALCEDO(config)#int g1/0/1
SW-SALCEDO(config-if)#no switchport
SW-SALCEDO(config-if)#ip address 192.168.100.9 255.255.255.252
SW-SALCEDO(config-if)#no shut
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
SW-SALCEDO(config)#ip routing
SW-SALCEDO(config)#router ospf 1
SW-SALCEDO(config-router)# router-id 3.3.3.3
SW-SALCEDO(config-router)# network 192.168.100.68 0.0.0.3 area 0
SW-SALCEDO(config-router)# network 192.168.100.72 0.0.0.3 area 0
SW-SALCEDO(config-router)# network 192.168.100.8 0.0.0.3 area 3
```

Switch SWMulaló

Configuración de EtherChannel

```
SW-MULALO(config)#int range g1/1/1-2
SW-MULALO(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-MULALO(config-if-range)#channel-group 8 mode desirable
SW-MULALO(config-if-range)#exit
SW-MULALO(config)#int range g1/1/3-4
SW-MULALO(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-MULALO(config-if-range)#channel-group 9 mode desirable
SW-MULALO(config-if-range)#exit
```

Asignación de IP a las interfaces

```
SW-MULALO(config)#interface port-channel 8
SW-MULALO(config-if)#no switchport
SW-MULALO(config-if)#ip address 192.168.100.61 255.255.255.252
SW-MULALO(config-if)#no shut
SW-MULALO(config-if)#exit
SW-MULALO(config)#interface port-channel 9
SW-MULALO(config-if)#no switchport
SW-MULALO(config-if)#ip address 192.168.100.58 255.255.255.252
SW-MULALO(config-if)#no shut
SW-MULALO(config-if)#exit
SW-MULALO(config)#interface g1/0/1
SW-MULALO(config-if)#no switchport
SW-MULALO(config-if)#ip address 192.168.100.13 255.255.255.252
SW-MULALO(config-if)#no shut
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
SWMulalo(config)#ip routing
```

```
SWMulalo(config)#router ospf 1
SWMulalo(config-router)#router-id 4.4.4.4
SWMulalo(config-router)#network 192.168.100.56 0.0.0.3 area 0
SWMulalo(config-router)#network 192.168.100.60 0.0.0.3 area 0
SWMulalo(config-router)#network 192.168.100.12 0.0.0.3 area 4
```

Switch SWLasso

Configuración de EtherChannel

```
SW-LASSO(config)#int range g1/1/3-4
SW-LASSO(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-LASSO(config-if-range)#channel-group 7 mode desirable
SW-LASSO(config-if-range)#exit
SW-LASSO(config)#int range g1/1/1-2
SW-LASSO(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-LASSO(config-if-range)#channel-group 8 mode desirable
SW-LASSO(config-if-range)#exit
```

Asignación de IP a las interfaces

```
SW-LASSO(config)#interface port-channel 7
SW-LASSO(config-if)#no switchport
SW-LASSO(config-if)#ip address 192.168.100.65 255.255.255.252
SW-LASSO(config-if)#no shut
SW-LASSO(config-if)#exit
SW-LASSO(config)#interface port-channel 8
SW-LASSO(config-if)#no switchport
SW-LASSO(config-if)#ip address 192.168.100.62 255.255.255.252
SW-LASSO(config-if)#no shut
SW-LASSO(config-if)#exit
SW-LASSO(config)#interface g1/0/1
SW-LASSO(config-if)#no switchport
SW-LASSO(config-if)#ip address 192.168.100.17 255.255.255.252
SW-LASSO(config-if)#no shut
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
SWLasso(config)#ip routing
SWLasso(config)#router ospf 1
SWLasso(config-router)#router-id 5.5.5.5
SWLasso(config-router)#network 192.168.100.60 0.0.0.3 area 0
SWLasso(config-router)#network 192.168.100.64 0.0.0.3 area 0
SWLasso(config-router)#network 192.168.100.16 0.0.0.3 area 5
```

Switch SWLaCocha

Configuración de EtherChannel

```
SW-LACOCHA(config)#int range g1/1/1-2
SW-LACOCHA(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-LACOCHA(config-if-range)#channel-group 9 mode desirable
SW-LACOCHA(config-if-range)#exit
SW-LACOCHA(config)#int range g1/1/3-4
SW-LACOCHA(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-LACOCHA(config-if-range)#channel-group 10 mode desirable
SW-LACOCHA(config-if-range)#exit
```

Asignación de IP a las interfaces

```
SW-LACOCHA(config)#interface port-channel 9
SW-LACOCHA(config-if)#no switchport
SW-LACOCHA(config-if)#ip address 192.168.100.57 255.255.255.252
SW-LACOCHA(config-if)#no shut
SW-LACOCHA(config-if)#exit
SW-LACOCHA(config)#interface port-channel 10
SW-LACOCHA(config-if)#no switchport
```

```
SW-LACOCHA(config-if)#ip address 192.168.100.54 255.255.255.252
SW-LACOCHA(config-if)#no shut
SW-LACOCHA(config-if)#exit
SW-LACOCHA(config)#int g1/0/1
SW-LACOCHA(config-if)#no switchport
SW-LACOCHA(config-if)#ip address 192.168.100.21 255.255.255.252
SW-LACOCHA(config-if)#no shut
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
SWLaCocha(config)#ip routing
SWLaCocha(config)#router ospf 1
SWLaCocha(config-router)#router-id 6.6.6.6
SWLaCocha(config-router)#network 192.168.100.52 0.0.0.3 area 0
SWLaCocha(config-router)#network 192.168.100.56 0.0.0.3 area 0
SWLaCocha(config-router)#network 192.168.100.20 0.0.0.3 area 6
```

Switch SWSimaurco

Asignación de IP a las interfaces

```
SWSimaurco(config)#interface g1/0/2
SWSimaurco(config-if)#no switchport
SWSimaurco(config-if)#ip address 192.168.100.82 255.255.255.252
SWSimaurco(config-if)#no shut
SWSimaurco(config-if)#interface g1/0/3
SWSimaurco(config-if)#no switchport
SWSimaurco(config-if)#ip address 192.168.100.85 255.255.255.252
SWSimaurco(config-if)#no shut
SWSimaurco(config-if)#interface g1/0/4
SWSimaurco(config-if)#no switchport
SWSimaurco(config-if)#ip address 192.168.100.89 255.255.255.252
SWSimaurco(config-if)#no shut
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
SWSimaurco(config)#ip routing
SWSimaurco(config)#router ospf 1
SWSimaurco(config-router)#router-id 9.9.9.9
SWSimaurco(config-router)#network 192.168.100.80 0.0.0.3 area 0
SWSimaurco(config-router)#network 192.168.100.84 0.0.0.3 area 0
SWSimaurco(config-router)#network 192.168.100.88 0.0.0.3 area 0
```

Switch SWSigchos

Asignación de IP a las interfaces

```
SWSigchos(config)#interface g1/0/3
SWSigchos(config-if)#no switchport
SWSigchos(config-if)#ip address 192.168.100.86 255.255.255.252
SWSigchos(config-if)#no shut
SWSigchos(config-if)#exit
SWSigchos(config-if)#interface g1/0/1
SWSigchos(config-if)#no switchport
SWSigchos(config-if)#ip address 192.168.100.25 255.255.255.252
SWSigchos(config-if)#no shut
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
SWSigchos(config)#ip routing
SWSigchos(config)#router ospf 1
SWSigchos(config-router)#router-id 10.10.10.10
SWSigchos(config-router)#network 192.168.100.84 0.0.0.3 area 0
SWSigchos(config-router)#network 192.168.100.24 0.0.0.3 area 8
```

Switch SWLaMana

Asignación de IP a las interfaces

```
SWLaMana(config)#interface g1/0/1
SWLaMana(config-if)#no switchport
SWLaMana(config-if)#ip address 192.168.100.29 255.255.255.252
SWLaMana(config-if)#no shut
SWLaMana(config-if)#interface g1/0/4
SWLaMana(config-if)#no switchport
SWLaMana(config-if)#ip address 192.168.100.90 255.255.255.252
SWLaMana(config-if)#no shut
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
SWLaMana(config)#ip routing
SWLaMana(config)#router ospf 1
SWLaMana(config-router)#router-id 11.11.11.11
SWLaMana(config-router)#network 192.168.100.88 0.0.0.3 area 0
SWLaMana(config-router)#network 192.168.100.28 0.0.0.3 area 9
```

Switch SWIlluchi1

Configuración de EtherChannel

```
SW-ILLUCHI1(config)#interface range g1/1/1-2
SW-ILLUCHI1(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-ILLUCHI1(config-if-range)#channel-group 3 mode desirable
SW-ILLUCHI1(config-if-range)#exit
```

Asignación de IP a las interfaces

```
SW-ILLUCHI1(config)#interface port-channel 3
SW-ILLUCHI1(config-if)#no switchport
SW-ILLUCHI1(config-if)#ip address 192.168.100.98 255.255.255.252
SW-ILLUCHI1(config-if)#no shut
SW-ILLUCHI1(config-if)#exit
SW-ILLUCHI1(config)#interface g1/0/1
SW-ILLUCHI1(config-if)#no switchport
SW-ILLUCHI1(config-if)#ip address 192.168.100.37 255.255.255.252
SW-ILLUCHI1(config-if)#no shut
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
SW-ILLUCHI1(config)#ip routing
SW-ILLUCHI1(config)#router ospf 1
SW-ILLUCHI1(config-router)# router-id 12.12.12.12
SW-ILLUCHI1(config-router)# network 192.168.100.36 0.0.0.3 area 11
SW-ILLUCHI1(config-router)# network 192.168.100.96 0.0.0.3 area 0
```

Switch SWIlluchi2

Configuración de EtherChannel

```
SW-ILLUCHI2(config)#interface range g1/1/3-4
SW-ILLUCHI2(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-ILLUCHI2(config-if-range)#channel-group 2 mode desirable
SW-ILLUCHI2(config-if-range)#exit
SW-ILLUCHI2(config)#interface range g1/1/1-2
SW-ILLUCHI2(config-if-range)#channel-protocol pagp
SW-ILLUCHI2(config-if-range)#channel-group 3 mode desirable
SW-ILLUCHI2(config-if-range)#exit
```

Asignación de IP a las interfaces

```
SW-ILLUCHI2(config)#interface port-channel 2
SW-ILLUCHI2(config-if)#no switchport
SW-ILLUCHI2(config-if)#ip address 192.168.100.94 255.255.255.252
SW-ILLUCHI2(config-if)#exit
SW-ILLUCHI2(config)#interface port-channel 3
SW-ILLUCHI2(config-if)#no switchport
```

```
SW-ILLUCHI2(config-if)#ip address 192.168.100.97 255.255.255.252
SW-ILLUCHI2(config-if)#exit
SW-ILLUCHI2(config)#interface g1/0/1
SW-ILLUCHI2(config-if)#no switchport
SW-ILLUCHI2(config-if)#ip address 192.168.100.41 255.255.255.252
SW-ILLUCHI2(config-if)#no shut
SW-ILLUCHI2(config-if)#exit
```

Protocolo de enrutamiento OSPF

```
SW-ILLUCHI2(config)#ip routing
SW-ILLUCHI2(config)#router ospf 1
SW-ILLUCHI2(config-router)# router-id 13.13.13.13
SW-ILLUCHI2(config-router)#network 192.168.100.40 0.0.0.3 area 12
SW-ILLUCHI2(config-router)# network 192.168.100.92 0.0.0.3 area 0
SW-ILLUCHI2(config-router)# network 192.168.100.96 0.0.0.3 area 0
```

ANEXO 12

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SWITCH ETHERNET INDUSTRIAL CISCO MODELO IE-5000-16S12P



- Un total de 28 puertos Gigabit Ethernet; 12 RJ45 y 16 puertos de fibra SFP.
- Cumple con las especificaciones de múltiples industrias para entornos de automatización industrial, ITS y subestaciones eléctricas.
- Protocolo de tiempo de precisión (PTP) IEEE 1588v2: Se admiten tanto el perfil de energía como el perfil predeterminado.
- Soporte para hasta 12 puertos PoE o PoE+. Potencia de hasta 165 W para PoE o PoE+ con una fuente de alimentación y hasta 360 W con dos fuentes de alimentación.
- Permite dispositivos PoE listos para usar, como cámaras IP de alta definición (HD), puntos de acceso inalámbricos y teléfonos IP.
- Permite conectividad de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA).
- Ofrece múltiples anillos y topología de anillo redundante para nuevas configuraciones de red.
- Hardware: 1 GB DRAM; 256 MB de memoria flash integrada; tarjeta de memoria flash SD extraíble de 1GB (incluida); Mini-USB y conector de consola RJ-45 tradicional; Interfaz de antena GPS-Entrada de antena GPS.
- Conmutación de capa 2: IEEE 802.1, 802.3, 802.3at, estándar 802.3af, VTPv2, NTP, UDLD, CDP, LLDP, Filtro Unicast Mac, Flexlink, VTPv3, EtherChannel, VLAN de voz, túnel QinQ.
- Seguridad: SCP, SSH, SNMPv3, TACACS+, Servidor/Cliente RADIUS, Notificación de dirección MAC, Protección BPDU, Seguridad de puertos, VLAN privada, Espionaje DHCP, Inspección ARP dinámica, Protección de origen IP, 802.1x, VLAN invitada, Derivación de autenticación MAC, Control de tormentas.
- Industrial Ethernet: CIP Ethernet/IP, PROFINET v2, IEEE 1588 PTP v2 Modbus TCP, Perfil predeterminado, CIP Time Sync, Traducción de NTP to PTP, estampado de tiempo de tráfico SPAN.
- Calidad de Servicio (QoS): Ingress Policing, Rate-Limit, Egress Queuing/Shaping, AutoQoS, QOS, PROFINET QoS.
- Enrutamiento de capa 3: Enrutamiento estático IPv4.
- Utilidad: IEEE 1588v2 PTP Power Profile 2011 y 2017, GOOSE messaging, clasificación de protocolo SCADA, mapas de memoria MODBUS TCP/IP, macro SmartPort de utilidad, BFD, Ethernet OAM, PTP over Port Channel (TC mode).
- Redundancia: Protocolo Ethernet resistente (REP), Protocolo de redundancia paralela (PRP), anillo de protocolo de redundancia de medios (MRP), Redundancia sin fisuras de alta disponibilidad (HSR), PTP sobre HSR, PTP sobre PRP, Administrador automático de MRP, REP negociado, descubrimiento automático de ID de segmento REP.
- Protocolos de enrutamiento de unidifusión IP: OSPF, EIGRP, BGPv4, IS-IS, RIPv2, Enrutamiento basado en políticas (PBR), HSRP.
- Enrutamiento IPv6: RIPng, OSPFv6, y soporta EIGRPv6.
- Virtualización: VRF-lite
- Dimensiones: 4,45 x 44,5 x 38,56 cm. (1RU) con PWR-RGD-AC-DC-250
- Voltaje de entrada: 100 a 240 VAC, frecuencia: 50-60 Hz; 100-250 VDC
- Consumo de potencia: Máximo de 90 W sin incluir el consumo de PoE
- Temperatura de operación: -40 a +75°C

ANEXO 13

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SWITCH ETHERNET INDUSTRIAL CISCO MODELO IE-4010-4S24P



- Un total de 28 puertos Gigabit Ethernet; 24 RJ45 y 4 SFP.
- Admite hasta 24 puertos PoE/PoE+ en total con un presupuesto de alimentación de hasta 385 W disponible con dos fuentes de alimentación.
- Permite dispositivos PoE listos para usar, como cámaras IP de alta definición (HD), puntos de acceso inalámbricos y teléfonos IP.
- Permite conectividad de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) basado en IP.
- Hardware: 1 GB DRAM; 128 MB de memoria flash integrada; tarjeta de memoria flash SD extraíble de 1GB (incluida); Mini-USB y conector de consola RJ-45 tradicional.
- Conmutación de capa 2: IEEE 802.1, 802.3, 802.3at, estándar 802.3af, VTPv2, NTP, UDLD, CDP, LLDP, Filtro Unicast Mac, Flexlink, VTPv3, EtherChannel, VLAN de voz, túnel QinQ.
- Seguridad: SCP, SSH, SNMPv3, TACACS+, Servidor/Cliente RADIUS, Notificación de dirección MAC, Protección BPDU, Seguridad de puertos, VLAN privada, Espionaje DHCP, Inspección ARP dinámica, Protección de origen IP, 802.1x, VLAN invitada, Derivación de autenticación MAC, Control de tormentas.
- Multidifusión de capa 2: IGMPv1, v2, v3 Snooping, filtrado IGMP, IGMP Querier.
- Industrial Ethernet: CIP Ethernet/IP, Profinet v2, IEEE 1588 PTP v2 Perfil predeterminado.
- Calidad de Servicio (QoS): Ingress Policing, Rate-Limit, Egress Queue/Shaping, AutoQoS, Modular QoS CLI (MQC), PROFINET QoS.
- Enrutamiento de capa 3: Enrutamiento estático IPv4.
- Utilidad: IEEE 1588v2 PTP Power Profile 2011 y 2017, GOOSE messaging, clasificación de protocolo SCADA, mapas de memoria MODBUS TCP/IP, macro SmartPort de utilidad, BFD, Ethernet OAM, PTP over Port Channel (TC mode).
- Redundancia: Redundancia Ethernet Protocol ring (REP), REP negociado, REP Segment-ID Auto-Discovery; Protocolo de redundancia paralela (PRP), PTP sobre PRP; Redundancia sin fisuras (HSR) de alta disponibilidad, PTP sobre HSR; Anillo de protocolo de redundancia de medios (MRP), administrador automático de MRP (MAM)
- Dimensiones: 4,45 x 44,5 x 38,56 cm. (1RU) con PWR-RGD-AC-DC-250
- Voltaje de entrada: 100 a 240 VAC, frecuencia: 50-60 Hz; 100-250 VDC
- Consumo de potencia: Máximo de 70 W sin incluir el consumo de PoE
- Temperatura de operación: -40 a +75°C

ANEXO 14

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ROUTER CISCO MODELO C8200-1N-4T



- Servicios acelerados con Cisco software-Defined WAN: Conjunto de servicios de software que permite conectar usuarios, dispositivos y sucursales de forma fiable y segura a través de enlaces de transporte WAN. Con Cisco SD-WAN se obtiene un control estricto sobre las aplicaciones, el uso de ancho de banda, la privacidad de los datos y la disponibilidad de los enlaces WAN.
- Comunicaciones unificadas: Ofrece servicios de voz enriquecido tanto en SD-WAN como en pilas de funciones de software cisco IOS XE tradicionales que soporta voz sobre IP.
- Puertos Gigabit Ethernet de capa 2 (switched) y capa 3 (routed): Los módulos de capa 2 proporcionan conmutación de 4 y 8 puertos con capacidad PoE y los módulos de capa 3 proporcionan cuatro puertos de capa 3 integrados (2 SFP / 2 RJ45).
- Admite módulo NIM-ES2-8: Con 8 puertos Gigabit Ethernet de capa 2 (switched).
- Procesador multinúcleo: C8200-1N-4T utiliza una CPU Intel x86 con 8 GB de memoria DRAM predeterminada.
- Almacenamiento: Con 16 GB de almacenamiento predeterminado y se puede actualizar a 32 GB.
- Fuente de alimentación: Interna fija de corriente alterna CA. y a través de PoE (opcional).
- Requisitos de software: Cisco Catalyst 8200 Series Edge Platform (Product ID: C8200-1N-4T). Requisitos mínimos de software: Cisco IOS XE, software release 17.4.1.
- Protocolos: los principales protocolos son: IPv4, IPv6, static routes, Routing Information Protocol versiones 1 y 2 (RIP y RIP2), Open Shortest Path First (OSPF), Cisco IOS IP Service-Level Agreements (IPSLA), Access Control Lists (ACLs), Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP), Hot Standby Router Protocol (HSRP), Authentication, Authorization and Accounting (AAA), Multiprotocol Label Switching (MPLS), VPN de capa 2 y capa 3, etc.
- Encapsulaciones: Generic Routing Encapsulation (GRE), Ethernet, 802.1q VLAN, Point-to-Point Protocol (PPP), Multilink Point-to-Point Protocol (MLPPP), etc.
- Dimensiones: 4,39 x 43,81 x 29,97 cm. (1RU)
- Voltaje de entrada: 90 a 264 VAC
- Consumo de potencia: 100 W
- Temperatura de operación: 0 a 40°C

ANEXO 15

SOLICITUD GENERAL PARA EL OTORGAMIENTO / RENOVACIÓN DE REDES PRIVADAS

Código: FO-CTDE-88	DIRECCIÓN TÉCNICA DE TÍTULOS HABILITANTES DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES
Versión: 1.0	SOLICITUD PARA EL OTORGAMIENTO / RENOVACIÓN DE REDES PRIVADAS	

Fecha: 14 de julio de 2023

No. Oficio:

Señor(a)
DIRECTOR(A) EJECUTIVO(A)
ARCOTEL
Presente.-

De mi consideración:

Por medio del presente, conforme a los requisitos establecidos en el Reglamento para Otorgar Títulos Habilitantes para Servicios del Régimen General de Telecomunicaciones y Frecuencias del Espectro Radioeléctrico me permito solicitarle:

1. DATOS GENERALES:		
TIPO DE SOLICITANTE:	(-Escoja Solicitante-)	
2. SOLICITUD DE RED PRIVADA:		
TIPO DE SOLICITUD:	(-Escoja tipo de solicitud-)	<input type="checkbox"/> Requerimientos Técnicos
SISTEMAS REQUERIDO:		
3. INFORMACIÓN PARA NOTIFICACIONES:		
PROVINCIA:		
CANTÓN:		
PARROQUIA RURAL O CABECERA CANTONAL:		
CALLE PRINCIPAL:		
CALLE SECUNDARIA:		
N° TELÉFONO FIJO:		
N°. TELÉFONO MÓVIL:		
CORREO ELECTRÓNICO:		
4. DATOS DEL PERSONAL TÉCNICO RESPONSABLE DEL PROYECTO:		
NOMBRES Y APELLIDOS:		
CÉDULA DE CUIDADANÍA:		
N° REGISTRO PROFESIONAL:		
N°. TELÉFONO MÓVIL:		
N° TELÉFONO FIJO:		
CORREO ELECTRÓNICO:		
5. ACEPTACIÓN:		
<input type="checkbox"/> Declaro que la información proporcionada es correcta. Entiendo que la ARCOTEL no se responsabiliza por envíos de respuestas a direcciones incorrectas		
<input type="checkbox"/> Acepto y ratifico que estoy de acuerdo en recibir cualquier comunicación que me notifique la ARCOTEL, a través del correo electrónico que dejo señalado en el presente documento, ó de ser el caso, en la dirección física que también consigno.		

<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> FIRMA DEL PETICIONARIO(A) O REPRESENTANTE LEGAL
--

ANEXO 16

FORMULARIO FO-DRE-01 PARA INFORMACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES

Código: FO-DRE-01 Versión: 01		FORMULARIO PARA INFORMACION DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES										 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones																	
1	CÓDIGO ESTRUCTURA	2	NOMBRE DEL SITIO	3	PROVINCIA	4	CANTON	5	CIUDAD/LOCALIDAD	6	PARROQUIA (RURAL/CABECERA CANTONAL)	7	DIRECCIÓN (Calle y No.), LOCALIDAD	8		9		10	TIPO DE ESTRUCTURA	11	FUENTE DE ENERGIA	12	ESTRUCTURA NUEVA / EXISTENTE	13	PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA				
	SI		NUEVA ESPERANZA		ORELLANA		ORELLANA		NUEVA ESPERANZA		TARAJOA (CAB EN NUEVA ESPERANZA Y UCA)		NUEVA ESPERANZA		00°29'11.83"S		79°46'20.85"W		252				12		TORRE NO AUTOSOMBRINADA		EXISTENTE		USUARIO

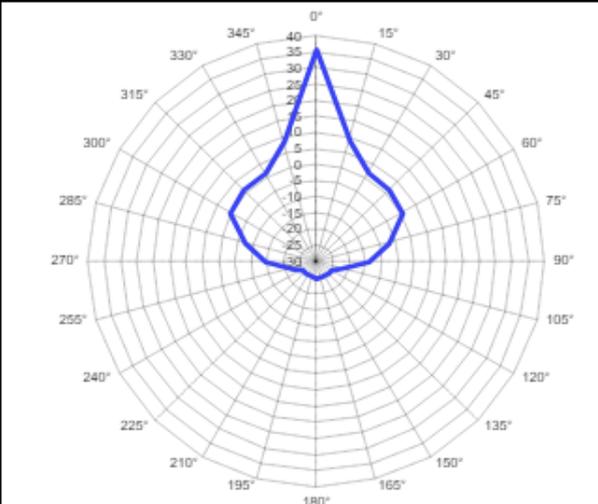
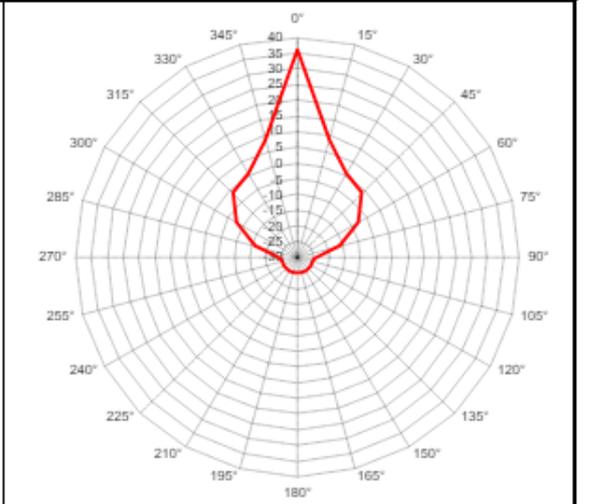
ANEXO 17

FORMULARIO FO-DRE-02 PARA INFORMACIÓN DE ATENAS

Código: FO-DRE-02 Versión: 01		<u>FORMULARIO PARA INFORMACION DE ANTENAS</u>				 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones		
1	2	3	4		5	6	7	8
CODIGO DE ANTENA	MARCA	MODELO	RANGO DE OPERACIÓN [MHz]		TIPO	IMPEDANCIA [Ω]	GANANCIA [dBi]	DIAMETRO [m]
			FREC. INICIAL	FREC. FINAL				
A1	HUawei	ADU451819	1710.00	2200.00	PANEL	50	18	

ANEXO 18

FORMULARIO FO-DRE-03 PARA PATRONES DE RADIACIÓN DE ATENAS

Código: FO-DRE-03 Versión: 01	FORMULARIO PARA PATRONES DE RADIACION DE ATENAS																									
1)																										
PATRONES DE RADIACION DE ANTENA																										
MARCA:		MODELO:																								
		TIPO:																								
Ingrese los valores de ganancia (dBd) para cada radial.																										
RADIAL																										
PLANO	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°		
HORIZONTAL	36	8,5	1,5	1,5	0,5	-7	-14	-22	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-22	-14	-7	0,5	1,5	1,5	8,5	
VERTICAL	36	8,5	0,5	-1	-8	-16	-24	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-24	-16	-8	-1	0,5	8,5	
PATRON DE RADIACION HORIZONTAL													PATRON DE RADIACION VERTICAL													
																										

ANEXO 19

FORMULARIO FO-DRE-04 PARA INFORMACIÓN DE EQUIPOS

Código: FO-DRE-04 Versión: 01		<u>FORMULARIO PARA INFORMACION DE EQUIPOS</u>					 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones			
1	2	3	4	5	6	7		8	9	10
CODIGO DEL EQUIPO	TIPO DE ESTACION	MARCA	MODELO	SEPARACION ENTRE TX Y RX [MHz]	POTENCIA MAXIMA DE SALIDA [W/dBm]	RANGO DE FRECUENCIAS [MHz]		TIPO DE MODULACION	SENSIBILIDAD [dBm]	MAXIMA DESVIACION DE FRECUENCIA [kHz]
E1	FUA	NOKIA	FLEXIHOOPER	420	20	FREC. INICIAL	FREC. FINAL	64QAM	±150	±150

ANEXO 20

FORMULARIO FO-DRE-06 PARA INFORMACIÓN DEL SERVICIO FIJO TERRESTRE

Código: FO-DRE-06 Versión: 01		FORMULARIO PARA EL SERVICIO FIJO TERRESTRE (ENLACES PUNTO - PUNTO)																											
1	2	3	4	5	6	7						8						9	10	11	12								
FRECUENCIAS O RANGO		ANCHO DE BANDA [MHz]	POLARIZACION	CONFIGURACION	SEPARACION ENTRE Tx y Rx [MHz]	ESTACION FIJA DE TX			ESTACION FIJA DE RX			MODO DE OPERACION	SERVICIO A SER PRESTADO O SISTEMA	TIPO DE MODULACION	CLASE DE EMISION														
FTX o F-Fixed [MHz]	FRX o F-Fixed [MHz]					ANTENA			EQUIPO							ANTENA			EQUIPO										
ET1	7338	7177	14	H	18100	SI	NUEVA ESPERANZA	15	A1	HUAMANI	NOU4SR181	T	E1	FLA	NOVA	43	SI	NUEVA ESPERANZA	15	A1	HUAMANI	NOU4SR1	23	E1	FLA	NOVA	43	FILE	BPSK

ANEXO 21

FORMULARIO FO-DRE-16 PARA ESTUDIO TÉCNICO DE EMISIONES DE RNI

Código: FO-DRE-16 Versión: 01		FORMULARIO PARA ESTUDIO TÉCNICO DE EMISIONES DE RNI (ENLACES PUNTO - PUNTO)														
No	SOBREPASA LÍMITES POBLACIONAL				SOBREPASA LÍMITES OCUPACIONAL				ESTACION FUENTE TX				ESTACION FUENTE RX			
	Estación de Tx	Estación de Rx	Estación de Tx	Estación de Rx	Estación de Tx	Estación de Rx	Estación de Tx	Estación de Rx	Estación de Tx	Estación de Rx	Estación de Tx	Estación de Rx	Estación de Tx	Estación de Rx		
ET1	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO		
0	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO		
0	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO		

Slm A CONSIDERAR	ESTACION FUENTE TX					ESTACION FUENTE RX									
	CALCULO DE P					CALCULO DEL PIRE									
Slm A CONSIDERAR	2	5	10	20	50	Prmax (W)	Genex	PIRE (W)	2	5	10	20	50		
Slm OCUACIONAL (Wm2)	5000	10000	13.65	14.40	16.80	24.13	51.79	19.95	50.12	1000.00	1.71	1.54	1.13	0.58	0.12
Slm POBLACIONAL (Wm2)	5000	10000	13.65	14.40	16.80	24.13	51.79	19.95	50.12	1000.00	1.71	1.54	1.13	0.58	0.12

ANEXO 22

FORMULARIO FO-DRE-07 PARA PERFIL TOPOGRÁFICO DE LOS ENLACES PUNTO – PUNTO

Código: FO-DRE-07 Versión: 01	FORMULARIO PARA EL SERVICIO FIJO TERRESTRE (PERFIL TOPOGRAFICO DE LOS ENLACES PUNTO-PUNTO)					 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones		
1) CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ENLACE								
NOMBRE DEL SITIO TX				NOMBRE DEL SITIO RX				
No.	AZIMUT Tx (°):	AZIMUT Rx (°):	ANGULO ELEV. Tx (°):	ANGULO ELEV. Rx (°):	DISTANCIA. (km):	SENSIBILIDAD. (dbm):	MARGEN DE DESV. (db):	CONFIABILIDAD (%):
2) GRAFICO DEL PERFIL TOPOGRAFICO:								
1) CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ENLACE								
NOMBRE DEL SITIO TX				NOMBRE DEL SITIO RX				
No.	AZIMUT Tx (°):	AZIMUT Rx (°):	ANGULO ELEV. Tx (°):	ANGULO ELEV. Rx (°):	DISTANCIA. (km):	SENSIBILIDAD. (dbm):	MARGEN DE DESV. (db):	CONFIABILIDAD (%):
2) GRAFICO DEL PERFIL TOPOGRAFICO:								

ANEXO 23

FORMULARIO FO-DRS-26 PARA DATOS DE INFORMACIÓN GENERAL PARA EL OTORGAMIENTO DEL TÍTULO HABILITANTE DE OPERACIÓN DE RED PRIVADA

DATOS DE INFORMACIÓN GENERAL PARA EL OTORGAMIENTO DEL TÍTULO HABILITANTE DE OPERACIÓN DE RED PRIVADA



1. DATOS GENERALES DEL SOLICITANTE

TIPO DE PERSONA JURÍDICA

1.1. DATOS GENERALES PERSONA NATURAL O JURÍDICA DE DERECHO PRIVADO

PERSONA NATURAL	
NOMBRES Y APELLIDOS	
CEDULA DE CIUDADANÍA	
R.U.C.	

PERSONA JURÍDICA DE DERECHO PRIVADO	
NOMBRE DE LA PERSONA JURÍDICA	
R.U.C.	
NOMBRE DEL REPRESENTANTE LEGAL	
CEDULA DE CIUDADANÍA	

1.2. DATOS GENERALES PERSONA JURÍDICA (EMPRESA PÚBLICA O INSTITUCIÓN DEL SECTOR PÚBLICO)

PERSONA JURÍDICA (EMPRESA PÚBLICA O INSTITUCIÓN DEL SECTOR PÚBLICO)	
NOMBRE DE LA PERSONA JURÍDICA	
R.U.C.	
NOMBRE DEL REPRESENTANTE LEGAL	
CEDULA DE CIUDADANÍA	

Nota: El Proyecto Técnico deberá elaborar un ingeniero en Electrónica y/o Telecomunicaciones

ANEXO 24

FORMULARIO FO-DRS-27 PARA DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE ÁREAS DE COBERTURA Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS INSTALACIONES A CONECTAR

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE ÁREA DE COBERTURA Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS INSTALACIONES A CONECTAR.

1. ÁREA DE COBERTURA

PRONIVIA DONDE SE INSTALA LA RED PRONIVIA			
#	Provincia / Ciudad	SI	
1	Bolívar		
2	Caucho		
3	Cotacachi		
4	Chimborazo		
5	Esmiraldas		
6	Imbabura		
7	Napo		
8	Pastaza		
9	Pichincha		
10	Tungurahua		
11	Sucumbios		
12	Orellana		

#	Provincia / Ciudad	SI	
13	Santo Domingo		
14	Guayas		
15	Manabí		
16	Los Ríos		
17	El Oro		
18	Gallegos		
19	Santa Elena		
20	Azuay		
21	Cañar		
22	Lója		
23	Morona Santiago		
24	Zamora Chinchipe		

2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS INSTALACIONES (NODOS) A CONECTAR

ITEM	NOMBRE DEL NODO	REPETIDOR ESTACION (E)	UBICACIÓN GEOGRÁFICA				LATITUD			LONGITUD			ESTADO	OBSERVACIONES	TIPO DE NODO	OBSERVACIONES	
			PROVINCIA	CANTÓN/CU DAD	PARROQUIA	DIRECCIÓN	9	m	s	N/S	9	m					s

ANEXO 25

FORMULARIO FO-DRS-28 PARA DESCRIPCIÓN DE ENLACES

DESCRIPCIÓN DE ENLACES



1. ENLACES ENTRE INSTALACIONES Y/O REPETIDORES

Enlaces físicos			
Inicialmente si requiere		Inicialmente no requiere	
Propios		Provisos por una empresa portadora legalmente autorizada	
Nombre de empresa Portadora:			

Enlaces inalámbricos			
Inicialmente si requiere		Inicialmente no requiere	
Propios		Provisos por una empresa legalmente autorizada	
Nombre de empresa Legalmente Autorizada:			

Nota: Adjuntar Carta de compromiso actualizada con la empresa Portadora legalmente autorizada que proveera los Enlaces.

Nota: En caso de requerir enlaces inalámbricos, se deberá adjuntar los formularios correspondientes

2. DESCRIPCIÓN DE ENLACES:

ITEM	MEDIO DE TRANSMISIÓN	NODO ORIGEN	NODO DESTINO	VELOCIDAD DEL ENLACE(Mbps)	LONGITUD DEL ENLACE (Km)	PROVEEDOR	ESTADO	OBSERVACIONES

<p>Nota:</p> <p>Item: Enumeración de los enlaces de la Red</p> <p>Medio de Transmisión: Medio físico de transmisión: cobre, par trenzado, fibra óptica, coaxial, ot</p> <p>NODO ORIGEN: Indicar el nombre del nodo origen del enlace, de acuerdo a la denominación declarada en el formulario FO-DRS-27.</p> <p>NODO DESTINO: Indicar el nombre del nodo destino del enlace, de acuerdo a la denominación declarada en el formulario FO-DRS-27.</p> <p>VELOCIDAD DEL ENLACE: Ancho de banda mínimo que se transmite por el enlace en Mbps</p> <p>Distancia (Km): Distancia del enlace en Km</p> <p>Proveedor: Indicar por cada enlace si el mismo es "Propio" o caso contrario indicar el Nombre del Proveedor. Se debe adjuntar las cartas de provisión de los enlaces con el portador autorizado en caso de no tener infraestructura propia</p>

3. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA RED:

Descripción	Debe incluir un diagrama esquemático de la red que indique claramente cada uno de los nodos, enlaces físicos y/o inalámbricos de la red declarados en los formatos técnicos, así como ubicaciones de cada una de las estaciones y/o repetidores y velocidad de los enlaces.
--------------------	---

ANEXO 26

FLUJO DE CAJA PROYECTADO

Flujo Proyectado		INVERSIÓN INICIAL (0)	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INGRESOS	No pago del servicio a Telconet		\$132.000,00	\$132.000,00	\$132.000,00	\$132.000,00	\$132.000,00	\$132.000,00	\$132.000,00	\$132.000,00	\$132.000,00	\$132.000,00
	Arriendo Postes a TELCONET		\$47.099,22	\$47.099,22	\$47.099,22	\$47.099,22	\$47.099,22	\$47.099,22	\$47.099,22	\$47.099,22	\$47.099,22	\$47.099,22
	Total, de Ingresos		\$179.099,22									
GASTOS	Pago Arrendamiento de Infraestructura Física		\$11.025,00	\$11.025,00	\$11.025,00	\$11.025,00	\$11.025,00	\$11.025,00	\$11.025,00	\$11.025,00	\$11.025,00	\$11.025,00
	Pago de título habitante ARCOTEL		\$893,28	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$893,28	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
	Pago de uso de frecuencias		\$5.741,76	\$5.741,76	\$5.741,76	\$5.741,76	\$5.741,76	\$5.741,76	\$5.741,76	\$5.741,76	\$5.741,76	\$5.741,76
	Mantenimiento de RED		\$20.000,00	\$20.000,00	\$20.000,00	\$20.000,00	\$20.000,00	\$20.000,00	\$20.000,00	\$20.000,00	\$20.000,00	\$20.000,00
	Sueldos, Aportaciones y demás remuneraciones de (personal técnico y de supervisión)		\$39.414,60	\$39.414,60	\$39.414,60	\$39.414,60	\$39.414,60	\$39.414,60	\$39.414,60	\$39.414,60	\$39.414,60	\$39.414,60

	Total, de Gastos	\$ -	\$77.074,64	\$76.181,36	\$76.181,36	\$76.181,36	\$76.181,36	\$77.074,64	\$76.181,36	\$76.181,36	\$76.181,36	\$76.181,36
INVERSIÓN	Costos red microondas	\$128.800,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
	Costos red de fibra óptica	\$213.461,07	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
	Costos de infraestructura de red inalámbrica	\$11.336,94	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
	Costos de ingeniería red privada	\$12.245,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
	Costos de equipos networkig	\$220.158,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
	Costo de herramientas	\$39.285,09	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
	Total, de Inversión	\$625.286,10	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
INGRESOS MENOS GASTOS	\$-625.286,10	\$102.024,58	\$102.917,86	\$102.917,86	\$102.917,86	\$102.917,86	\$102.917,86	\$102.024,58	\$102.917,86	\$102.917,86	\$102.917,86	\$102.917,86
Tasa de descuento	7,79%											
VAN Benf neto	\$70.492,19											
TIR	10,21%											

ANEXO 28

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TRANSCEPTOR CISCO SFP 1000BASE-EX (40 KM)



- El convertidor de interfaz Gigabit de Factor de forma Pequeño (SFP) es un estándar de la industria para enlazar switches y routers a la red.
- Dispositivo de entrada/salida intercambiable en caliente que se conecta a un puerto o ranura Gigabit Ethernet.
- Soporta capacidad de monitoreo óptico digital (DOM)
- Opera en tramos de enlace de fibra óptica monomodo estándar de hasta 40 km
- Conector dual LC/PC
- Soportan conexiones con patch cords con conectores PC o UPC
- Distancia mínima del cable: 2 m
- Longitud de onda: 1310 nm
- Fibra monomodo
- Potencia de transmisión: +3 a -1 dBm
- Potencia de recepción: +1 a -22 dBm
- Pérdida de inserción: 18 dB (G.652 fibra monomodo)
- Rango de longitud de onda de transmisión y recepción: 1290 a 1335 nm
- Dimensiones (HxWxD): 8.5 x 13.4 x 56.5 mm
- Peso: 75 gramos o menos
- Rango de temperatura extendida (EXT): -5°C a 85°C
- Temperatura de almacenamiento: -40°C a 85°C
- Consumo típico de potencia: Hasta 1 W por puerto SFP
- Garantía estándar: 5 años
- Cumplimiento de estándares: IEEE 802.3z, IEEE 802.3ah

ANEXO 29

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ODF HENGHUI MODELO ODF-2077



- Material: metálico y plástico
- Tamaño (mm): 24 puertos 430x300x70 (2UR)
- Tipos de conectores: FC/UPC, FC/APC, SC/UPC, SC/APC, LC/UPC Y LC/APC
- Estándar: G.652D y G655
- Máxima capacidad por bandeja: 12 fusiones
- Instalación para rack

ANEXO 30

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PATCH CORD DÚPLEX MONOMODO LC – LC



- Estructura: 2 hilos de fibra unidos (Dúplex)
- Fabricado con fibra óptica monomodo de 9/125
- Diámetro nominal de la chaqueta: Estándar de 2,0 mm (± 0.15 mm)
- Estándar Fibra Óptica: G.652.D
- Diámetro de Clading (Revestimiento): $125 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$
- Diámetro Coating (Recubrimiento): $250 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$
- Atenuación en 1310 nm: 0.36 dB/km
- Tipo de chaqueta: PVC (General Rated)
- Color Chaqueta: amarillo en fibra G.652D
- Longitud de onda: 1310 nm, 1550 nm

- Radio mínimo de curvatura: 40 mm
- Longitud del cable: 5 metros
- Pérdida de inserción: $\leq 0.50\text{dB}$
- Pérdida de retorno: $\geq 50\text{dB}$
- Temperatura de operación: $-20 \sim 70^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de almacenamiento: $-40 \sim 80^{\circ}\text{C}$
- Conectores LC – LC
- Tipo de pulido: PC
- Material de conectores: Férula de circonio (cilindro cerámico)
- Protectores: Tapa en PVC para proteger el hilo de fibra óptica y el acceso de polvo al conector.
- Material de refuerzo: Hilos de Aramida
- Certificado de prueba para cumplir los estándares: TIA/EIA – 568B.3, IEEE 802.3u/802.3x/802.3z/802.3j