

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN DE EMELNORTE UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA Y TECNOLOGÍA INALÁMBRICA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

ROBERTO XAVIER ROMÁN VÁSQUEZ
robman_ec@hotmail.com

DIRECTOR: ING. PABLO HIDALGO
pablo.hidalgo@epn.edu.ec

Quito, Febrero 2010

DECLARACIÓN

Yo, Roberto Xavier Román Vásquez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Roberto Xavier Román Vásquez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Roberto Xavier Román Vásquez, bajo mi supervisión.

Ing. Pablo Hidalgo

DIRECTOR DEL PROYECTO

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN **xvii**

PRESENTACIÓN **xix**

CAPÍTULO I

**DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO DE
LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICOS E INALÁMBRICOS Y DE LA
SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE EMELNORTE**

1.1	SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ÓPTICOS	1
1.1.1	PRINCIPIOS FÍSICOS	1
1.1.1.1	Componentes de la fibra óptica	1
1.1.1.2	El espectro óptico	2
1.1.1.3	Reflexión y refracción en señales ópticas	3
1.1.1.3.1	<i>Reflexión</i>	3
1.1.1.3.2	<i>Refracción</i>	4
1.1.1.3.3	<i>Refracción interna total y ángulo crítico</i>	5
1.1.1.3.4	<i>Ángulo de aceptación</i>	6
1.1.1.4	Apertura numérica	7
1.1.2	TIPOS DE FIBRA ÓPTICA	8
1.1.2.1	Perfil del índice de refracción	8
1.1.2.1.1	<i>Perfil Escalonado</i>	8
1.1.2.1.2	<i>Perfil gradual</i>	9
1.1.2.2	<i>Fibras ópticas multimodo</i>	9
1.1.2.2.1	<i>Fibra óptica multimodo de índice escalonado</i>	10
1.1.2.2.2	<i>Fibra óptica multimodo de índice gradual</i>	11
1.1.2.3	Fibras ópticas monomodo	12
1.1.2.3.1	<i>Fibra óptica monomodo de índice escalonado</i>	13

1.1.2.4	Normas para identificar el tipo de fibra óptica	14
1.1.3	ATENUACIÓN EN LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICOS	15
1.1.3.1	Pérdidas intrínsecas a la fibra	15
	1.1.3.1.1 <i>Pérdidas por Absorción</i>	15
	1.1.3.1.2 <i>Pérdidas por Dispersión de Rayleigh y Mie</i>	17
1.1.3.2	Pérdidas extrínsecas a la fibra	18
	1.1.3.2.1 <i>Pérdidas por curvatura</i>	18
	1.1.3.2.2 <i>Pérdidas por microcurvaturas</i>	19
	1.1.3.2.3 <i>Pérdidas por tendido, ambiente y envejecimiento</i>	20
	1.1.3.2.4 <i>Pérdidas por empalme y conectorización</i>	20
1.1.3.3	Ventanas de transmisión para la fibra óptica	20
1.1.4	DISPERSIÓN EN LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICOS	21
1.1.4.1	Dispersión modal	22
1.1.4.2	Dispersión cromática de material o espectral	22
1.1.4.3	Dispersión cromática de guía de onda	23
1.1.4.4	Dispersión de modo de polarización	24
1.1.5	ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN ÓPTICO	25
1.1.5.1	Transmisores ópticos	25
	1.1.5.1.1 <i>Fuentes de luz</i>	26
1.1.5.2	Receptores ópticos	27
1.1.5.3	Amplificadores ópticos	27
	1.1.5.3.1 <i>Amplificadores electro – ópticos</i>	28
	1.1.5.3.2 <i>Amplificadores ópticos</i>	28
1.1.5.4	Empalmes de fibra óptica	29
1.1.5.5	Conectores de fibra óptica	29
	1.1.5.5.1 <i>Pérdidas en los conectores</i>	30
1.1.6	VENTAJAS DEL USO DE FIBRA ÓPTICA EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN	31
1.1.7	DESVENTAJAS DEL USO DE FIBRA ÓPTICA EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN	32
1.2	PROPAGACIÓN EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICOS	32

1.2.1	EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	33
1.2.2	PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	33
1.2.2.1	Polarización electromagnética	34
1.2.2.2	Radiación electromagnética	35
	1.2.2.2.1 <i>Densidad de potencia</i>	35
	1.2.2.2.2 <i>Impedancia característica del espacio libre</i>	35
	1.2.2.2.3 <i>Frente de onda esférico</i>	36
1.2.2.3	Propiedades ópticas de las ondas de radio	36
	1.2.2.3.1 <i>Difracción</i>	37
	1.2.2.3.2 <i>Interferencia</i>	37
1.2.2.4	Propagación de las ondas electromagnéticas	38
	1.2.2.4.1 <i>Propagación de ondas terrestres</i>	38
	1.2.2.4.2 <i>Propagación de las ondas espaciales</i>	39
	1.2.2.4.3 <i>Propagación por ondas celestes</i>	39
1.2.3	CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ANTENAS	40
1.2.3.1	Terminología y definiciones para antenas	41
	1.2.3.1.1 <i>Diagrama de radiación</i>	41
	1.2.3.1.2 <i>Resistencia de radiación</i>	41
	1.2.3.1.3 <i>Ganancia directiva y ganancia de potencia</i>	42
	1.2.3.1.4 <i>Potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE)</i>	44
1.2.4	RADIOCOMUNICACIONES POR MICROONDA	44
1.2.4.1	Antenas microondas	44
1.2.4.2	Diversidad	45
1.2.4.3	Características de la trayectoria	45
1.2.4.4	Ganancia del sistema	47
	1.2.4.4.1 <i>Margen de desvanecimiento</i>	47
	1.2.4.4.2 <i>Pérdidas en la trayectoria por espacio libre</i>	49
	1.2.4.4.3 <i>Umbral del receptor</i>	50
	1.2.4.4.4 <i>Cálculo de la ganancia del sistema</i>	51
1.3	DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE TRÁFICO A TRANSPORTAR A TRAVÉS DE LOS ENLACES DE COMUNICACIÓN A DISEÑAR	53
1.3.1	<i>SISTEMA SCADA</i>	53
1.3.1.1	Introducción	53
1.3.1.2	Características generales del sistema SCADA	53

	1.3.1.2.1 <i>Requisitos de un sistema SCADA</i>	53
	1.3.1.2.2 <i>Componentes y flujo de información con el cual trabaja un sistema SCADA</i>	54
	1.3.1.2.3 <i>Funciones principales de un sistema SCADA</i>	55
	1.3.1.3 Protocolo de comunicación DNP 3.0	56
1.3.2	REDES IP	57
	1.3.2.1 Introducción	57
	1.3.2.2 Protocolo IP	58
	1.3.2.3 Características fundamentales del protocolo TCP	58
1.3.3	VOZ SOBRE REDES IP	59
	1.3.3.1 Protocolos UDP y RTP	60
	1.3.3.2 Tipos de codificadores para voz	60
	1.3.3.2.1 <i>Codificadores de formas de onda</i>	61
	1.3.3.2.2 <i>Codificadores de modelo de voz</i>	61
	1.3.3.2.3 <i>Codificadores Híbridos</i>	62
	1.3.3.3 Recomendaciones de mayor uso para codificadores de voz	62
	1.3.3.3.1 <i>Recomendación G.711</i>	62
	1.3.3.3.2 <i>Recomendación G.726</i>	62
	1.3.3.3.3 <i>Recomendación G.729</i>	63
	1.3.3.4 Calidad de servicio (QoS)	63
1.3.4	VIDEO SOBRE REDES IP	64
	1.3.4.1 Técnicas de compresión de video	65
	1.3.4.1.1 <i>Compresión JPEG y Motion – JPEG</i>	65
	1.3.4.1.2 <i>Compresión de video MPEG</i>	65
	1.3.4.2 Aplicaciones de video – vigilancia sobre IP	66
1.4	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE EMELNORTE	67
	1.4.1 INTRODUCCIÓN	67
	1.4.1.1 Misión y Visión	68
	1.4.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED ACTUAL DE COMUNICACIONES DE EMELNORTE	68
	1.4.2.1 Red WAN de EMELNORTE	69
	1.4.2.1.1 <i>Configuración General para las agencias</i>	69

	<i>1.4.2.1.2 Descripción de los equipos de la Red WAN</i>	73
1.4.2.2	Configuración de comunicaciones para la interconexión de la ciudad de Ibarra	79
	<i>1.4.2.2.1 Descripción de los equipos utilizados para la red que interconecta la ciudad de Ibarra</i>	81
1.4.2.3	Configuración para la comunicación con las centrales de generación vía Internet	82
	<i>1.4.2.3.1 Descripción de los equipos de la Red que interconectan las centrales de generación a través del Internet</i>	83
1.4.3	DESCRIPCIÓN DEL TRÁFICO ACTUAL DE DATOS	85
1.4.3.1	Descripción de las aplicaciones que utilizan las agencias de EMELNORTE	85
	<i>1.4.3.1.1 Correo electrónico</i>	85
	<i>1.4.3.1.2 Administración de la Red</i>	87
	<i>1.4.3.1.3 Sistemas manejados internamente</i>	87
	<i>1.4.3.1.4 Aplicaciones Web</i>	88
	<i>1.4.3.1.5 Aplicaciones en modo carácter</i>	89
1.4.3.2	Descripción del tráfico actual de datos en las agencias de EMELNORTE	89
	<i>1.4.3.2.1 Medición del tráfico que cursa sobre los enlaces de comunicación entre las agencias y la matriz de EMELNORTE</i>	90

CAPÍTULO II

DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN CON FIBRA ÓPTICA Y TECNOLOGÍA INALÁMBRICA

2.1	INTRODUCCIÓN	92
2.2	ESTABLECIMIENTO DE LOS ENLACES REQUERIDOS	92
2.3	ANÁLISIS DEL TRÁFICO A TRANSPORTAR A TRAVÉS DE LOS ENLACES DE COMUNICACIÓN	97
2.3.1	SEÑALES A MANEJAR POR EL SISTEMA SCADA EN LAS SUBESTACIONES DE EMELNORTE	97
	2.3.1.1 Descripción del sistema de automatización de subestaciones	97

2.3.1.1.1	<i>Red de comunicaciones para la subestación San Agustín</i>	100
2.3.1.2	Señales a manejar por el sistema SCADA en la subestación San Agustín	100
2.3.1.2.1	<i>Señales de monitoreo y supervisión</i>	100
2.3.1.2.2	<i>Señales de control</i>	101
2.3.1.3	Requerimiento de ancho de banda para transmitir los datos del sistema SCADA en la subestación San Agustín	102
2.3.2	SEÑALES A MANEJAR POR EL SISTEMA SCADA EN LAS CENTRALES DE GENERACIÓN DE EMELNORTE	106
2.3.2.1	Descripción del sistema de automatización implementado en la central El Ambi	106
2.3.2.1.1	<i>Red interna del sistema de automatización en la central El Ambi</i>	107
2.3.2.2	Señales a manejar por el sistema SCADA en la central El Ambi	109
2.3.2.2.1	<i>Señales de monitoreo y supervisión</i>	110
2.3.2.2.2	<i>Señales de control</i>	110
2.3.2.3	Requerimiento de ancho de banda para transmitir los datos SCADA en la central El Ambi	110
2.3.3	ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO FUTURO A SER MANEJADO POR LAS SUBESTACIONES Y CENTRALES DE GENERACIÓN DE EMELNORTE	112
2.3.3.1	Estimación del requerimiento de ancho de banda para sistemas de voz sobre redes IP a soportar por cada enlace punto – punto de comunicación a futuro	113
2.3.3.2	Estimación del tráfico manejado por sistemas de transmisión de video sobre IP para los enlaces de comunicación a futuro	116
2.4	DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA RED USANDO ENLACES DE FIBRA ÓPTICA	119
2.4.1	CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE ENLACES DE COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA	119
2.4.1.1	Parámetros básicos	119
2.4.2	DISEÑO DEL ENLACE CENTRAL EL AMBI – SUBESTACIÓN ALPACHACA – DESPACHO DE CARGA	120
2.4.2.1	Ubicación geográfica	120
2.4.2.2	Selección de la ruta y análisis del tipo de cable de	121

	fibra a utilizar	
	2.4.2.2.1 <i>Comparación entre el cable aéreo OPGW, ADSS y Figura en 8</i>	125
	2.4.2.3 Requerimientos para el enlace de fibra óptica	128
	2.4.2.4 Determinación de los parámetros técnicos de los equipos	133
	2.4.2.4.1 <i>Cálculos generales para los enlaces de fibra óptica</i>	134
	2.4.2.4.2 <i>Enlace Central El Ambi – Subestación Alpachaca</i>	138
	2.4.2.4.3 <i>Enlace Subestación Alpachaca – Despacho de Carga</i>	138
	2.4.2.5 Diagrama general de interconexión	139
	2.4.2.6 Características técnicas de los equipos de red para la puesta en marcha del sistema de interconexión	139
	2.4.3 DISEÑO DE LOS ENLACES RESTANTES	142
2.5	DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA RED USANDO ENLACES INALÁMBRICOS	147
	2.5.1 RADIO MOBILE	147
	2.5.1.1 Características de software de Radio Mobile	147
	2.5.1.2 Modelo de propagación	147
	2.5.1.3 Modelos digitales de terreno	149
	2.5.1.3.1 <i>Modelo GTOPO30</i>	149
	2.5.1.3.2 <i>Modelo SRTM</i>	150
	2.5.1.3.3 <i>Modelo DTED</i>	150
	2.5.2 DISEÑO Y ESTUDIO DE LOS ENLACES DE COMUNICACIÓN CON TECNOLOGÍA INALÁMBRICA PARA INTERCONECTAR LAS SUBESTACIONES Y LA BODEGA UBICADAS EN LA CIUDAD DE TULCÁN, CON LA AGENCIA TULCÁN	150
	2.5.2.1 Enlace Bodega Tulcán – Agencia Tulcán	154
	2.5.2.1.1 <i>Análisis geográfico y características del terreno de los puntos a enlazar</i>	154
	2.5.2.1.2 <i>Cálculos de propagación y simulación del enlace en Radio Mobile</i>	156
	2.5.2.2 Enlace Subestación El Rosal – Agencia Tulcán	158
	2.5.2.2.1 <i>Análisis geográfico y características del</i>	158

	<i>terreno de los puntos a enlazar</i>	
	2.5.2.2.2 <i>Cálculos de propagación y simulación del enlace en Radio Mobile</i>	158
2.5.2.3	Enlace Subestación Tulcán – Repetidor Tulcán – Agencia Tulcán	160
	2.5.2.3.1 <i>Análisis geográfico y características del terreno de los puntos a enlazar</i>	160
	2.5.2.3.2 <i>Cálculos de propagación y simulación del enlace en Radio Mobile</i>	162
2.5.2.4	Características técnicas de los equipos para la puesta en marcha del sistema de interconexión	164
2.5.3	DISEÑO DE LOS ENLACES INALÁMBRICOS PARA EL RESTO DE SUBESTACIONES DE EMELNORTE	165

CAPÍTULO III

PRESUPUESTO DE LOS COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO

3.1	INTRODUCCIÓN	169
3.2	COSTOS DEL PROYECTO	169
3.2.1	COSTOS DE INVERSIÓN	169
3.2.1.1	Estimación de los costos para la implementación de los enlaces de fibra óptica	169
	3.2.1.1.1 <i>Presupuesto referencial para el enlace Central El Ambi – Subestación Alpachaca – Despacho de Carga</i>	169
	3.2.1.1.2 <i>Presupuesto referencial para el resto de enlaces de fibra óptica</i>	173
3.2.1.2	Estimación de los costos para la implementación de los enlaces inalámbricos	176
	3.2.1.2.1 <i>Presupuesto referencial para los enlaces inalámbricos a establecer en la ciudad de Tulcán</i>	176
3.2.1.3	Costo de los equipos de red para la interconexión de los enlaces en fibra óptica y con tecnología inalámbrica	181
3.2.2	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	182
3.3	BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN	184
3.3.1	PROYECTOS EN EMPRESAS PÚBLICAS	184

3.3.2	BENEFICIOS PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS DESDE SUBESTACIONES Y CENTRALES DE GENERACIÓN	185
-------	---	-----

3.3.3	BENEFICIOS DEL ESTABLECIMIENTO DEL CANAL DE COMUNICACIÓN PARA LA INCLUSIÓN DEL SERVICIO DE VOZ Y VIDEO – VIGILANCIA A FUTURO	185
-------	--	-----

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	CONCLUSIONES	187
4.2	RECOMENDACIONES	190

	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	192
--	-----------------------------------	-----

ANEXOS

A	MEDICIONES DE TRÁFICO PARA LOS ENLACES ACTUALES DE COMUNICACIÓN ENTRE LAS AGENCIAS Y LA MATRIZ A TRAVÉS DE LA RED METROPOLITANA DE LA CNT	
B	DETALLE DE LAS SEÑALES A SER MONITOREADAS POR EL SISTEMA SCADA EN LA SUBESTACIÓN SAN AGUSTÍN Y EN LA CENTRAL EL AMBI	
C	DETALLE TÉCNICO DE LAS RUTAS Y ESTUDIO DE ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL TENDIDO DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA PARA CADA ENLACE REQUERIDO	
D	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS AGENCIAS A ENLAZAR	
E	SIMULACIÓN DE LOS ENLACES INALÁMBRICOS REQUERIDOS CON LA UTILIZACIÓN DEL PAQUETE RADIO MOBILE	
F	DETALLE DEL PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA LOS ENLACES DE FIBRA ÓPTICA	
G	DETALLE DEL PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA LOS ENLACES INALÁMBRICOS PROPUESTOS	

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.1: Ordenamiento de los hilos de fibra óptica según la norma ANSI/EIA/TIA 598 A	14
Tabla 1.2: Color de la cobertura exterior del cable de fibra según la norma ANSI/EIA/TIA 598 A	14
Tabla 1.3: Pérdidas por absorción y por efecto Rayleigh	18
Tabla 1.4: Cuadro comparativo de las fuentes LED y láser	26
Tabla 1.5: Comparación entre los amplificadores ópticos	28
Tabla 1.6: Designaciones de las bandas del espectro electromagnético	34
Tabla 1.7: Relación entre la disponibilidad y el tiempo que se interrumpirá un enlace	46
Tabla 1.8: Valores para el factor de rugosidad	49
Tabla 1.9: Factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual	48
Tabla 1.10: Pérdidas en el alimentador de guía de onda y pérdidas por ramificación.	52
Tabla 1.11: Ganancia en las antenas según su longitud y frecuencia de operación	52
Tabla 1.12: Tasa binaria de salida y retardo producido por los codificadores de voz	63
Tabla 1.13: Equipos de comunicación para las agencias de EMELNORTE	74
Tabla 1.14: Equipos de comunicación para la red de comunicación metropolitana para la ciudad de Ibarra	81
Tabla 1.15: Equipos de comunicación en las centrales de generación de EMELNORTE	83
Tabla 1.16: Aplicaciones usadas por las agencias EMELNORTE	85
Tabla 1.17: Comportamiento del tráfico cursado por los enlaces WAN desde las agencias a la matriz a través de la Red Metropolitana de Andinadatos	91

CAPÍTULO II

Tabla 2.1: Enlaces de fibra óptica requeridos para la ampliación de la red	93
--	----

de EMELNORTE

Tabla 2.2: Enlaces inalámbricos requeridos para la ampliación de la red de EMELNORTE	94
Tabla 2.3: Características técnicas de los equipos de medición, protección y control utilizados en las bahías de la subestación San Agustín	99
Tabla 2.4: Resumen de la cantidad de variables eléctricas a ser manejadas por el sistema SCADA a implementarse en la subestación San Agustín	102
Tabla 2.5: Resumen de la cantidad de variables no eléctricas a ser manejadas por el PLC en la subestación San Agustín	104
Tabla 2.6: Resumen del requerimiento de capacidad de canal para la subestación San Agustín	106
Tabla 2.7: Resumen de las variables no eléctricas a ser manejadas por los PLC's en la central El Ambi	111
Tabla 2.8: Resumen del requerimiento de capacidad de canal para la central El Ambi	112
Tabla 2.9: Niveles de resolución y compresión de imagen de la cámara Axis 2110	117
Tabla 2.10: Comparación entre cables ADSS, OPGW y Figura en 8	126
Tabla 2.11: Requerimiento de capacidad de canal para el enlace Central El Ambi – Subestación Alpachaca – Despacho de Carga	128
Tabla 2.12: Características de la fibra óptica monomodo (Recomendación UIT – T G.652D)	132
Tabla 2.13: Especificaciones técnicas del interfaz óptico P1S1 – 1D1 de la recomendación UIT – T G.959.1	134
Tabla 2.14: Elementos requeridos para el tendido de fibra entre la central El Ambi y el Despacho de Carga a través de la subestación Alpachaca	140
Tabla 2.15: Resumen de cálculos de potencia y ancho de banda para los enlaces de fibra óptica restantes	143
Tabla 2.16: Parámetros de permitividad y conductividad para la simulación de los enlaces inalámbricos con el modelo Longley - Rice	149
Tabla 2.17: Requerimiento de capacidad de canal para los enlaces inalámbricos requeridos en la ciudad de Tulcán	152
Tabla 2.18: Análisis de factibilidad de la transmisión de los datos generados por el sistema SCADA en las subestaciones y centrales a través de las líneas ADSL alquiladas a la Red Metropolitana de Andinadatos	153
Tabla 2.19: Enlace Bodega Tulcán(San Francisco) – Agencia Tulcán	157

Tabla 2.20: Enlace Subestación El Rosal – Agencia Tulcán	159
Tabla 2.21: Enlace Subestación – Estación Repetidora – Agencia Tulcán	163
Tabla 2.22: Resumen de los parámetros principales en el diseño y simulación de los enlaces inalámbricos restantes	168

CAPÍTULO III

Tabla 3.1: Presupuesto referencial para el enlace Central El Ambi – Subestación Alpachaca – Despacho de Carga en base a los costos presentados por Andean Trade Group	170
Tabla 3.2: Presupuesto referencial para el enlace Central El Ambi – Subestación Alpachaca – Despacho de Carga en base a los costos referenciales presentados por F.O.S. Ecuador Cía. Ltda.	171
Tabla 3.3: Especificación del número de empalmes, número de postes instalados, números de postes nuevos y número de herrajes requeridos por cada enlace de fibra óptica	174
Tabla 3.4: Resumen de los costos de implementación para cada enlace de fibra óptica	175
Tabla 3.5: Costos referenciales para los equipos e instalación de los enlaces inalámbricos	177
Tabla 3.6: Costo referencial para los enlaces inalámbricos a implementar en la ciudad de Tulcán	178
Tabla 3.7: Valor a cancelar mensualmente por el uso de frecuencia para un sistema punto – punto con modulación digital de banda ancha	181
Tabla 3.8: Costos de inversión para la implementación de los enlaces de comunicación diseñados en el capítulo dos	183

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FIGURA 1.1: Fibra óptica	1
FIGURA 1.2: Componentes de la fibra óptica	2
FIGURA 1.3: Reflexión de señales ópticas	3
FIGURA 1.4: Refracción de señales ópticas	4

FIGURA 1.5: Reflexión interna total	5
FIGURA 1.6: Ángulo de aceptación	7
FIGURA 1.7: Índice de refracción con perfil escalonado	8
FIGURA 1.8: Índice de refracción con perfil gradual	9
FIGURA 1.9: Fibra óptica multimodo	9
FIGURA 1.10: Fibra óptica monomodo	12
FIGURA 1.11: Atenuación (dB/Km) vs Longitud de onda (nm)	16
FIGURA 1.12: Curvaturas en una fibra óptica	18
FIGURA 1.13: Microcurvaturas en una fibra óptica	19
FIGURA 1.14: Ventanas de transmisión para la fibra óptica	21
FIGURA 1.15: Tipos de dispersión presentes en la fibra óptica	22
FIGURA 1.16: Interferencia intersímbolo	22
FIGURA 1.17: Sistema de transmisión óptico	25
FIGURA 1.18: Conector ST	29
FIGURA 1.19: Conector SC	30
FIGURA 1.20: Conector FC	30
FIGURA 1.21: Conector LC	30
FIGURA 1.22: El espectro electromagnético	33
FIGURA 1.23: Fenómeno de difracción	37
FIGURA 1.24: Interferencia de las ondas electromagnéticas	38
FIGURA 1.25: Propagación de ondas terrestres	38
FIGURA 1.26: Transmisión de ondas electromagnéticas por línea de vista	39
FIGURA 1.27: Propagación por ondas celestes	39
FIGURA 1.28: Antena de microonda	40
FIGURA 1.29: Diagrama de radiación por una antena	41
FIGURA 1.30: Antena isotrópica	42
FIGURA 1.31: Señales generadas en una transmisión por microonda	46

FIGURA 1.32: Flujo de información en un sistema SCADA	55
FIGURA 1.33: Modelo de referencia TCP/IP	57
FIGURA 1.34: Comunicación entre dos equipos a través de una Red IP	58
FIGURA 1.35: Esquema general de transmisión de voz a través de redes IP	59
FIGURA 1.36: Cabeceras incluidas en las tramas de VoIP	59
FIGURA 1.37: Esquema general de un sistema de video sobre IP	64
FIGURA 1.38: Encapsulamiento en el modelo referencial TCP/IP para video – vigilancia	67
FIGURA 1.39: Ubicaciones referenciales de las subestaciones y centrales de generación de EMELNORTE	70
FIGURA 1.40: Diagrama lógico de la configuración de comunicación para las agencias	71
FIGURA 1.41: Diagrama lógico de comunicación para la agencia Sur	72
FIGURA 1.42: Diagrama lógico de comunicación para la agencia Otavalo	72
FIGURA 1.43: Diagrama lógico de comunicación para la agencia Cayambe	73
FIGURA 1.44: <i>Router</i> Cisco Serie 2800	76
FIGURA 1.45: <i>Router</i> Cisco Serie 800	76
FIGURA 1.46: <i>Switch</i> 3COM 4900	77
FIGURA 1.47: <i>Switch</i> 3COM 8	77
FIGURA 1.48: <i>Switch</i> 3COM 3226	78
FIGURA 1.49: <i>Router</i> 3COM Office Connect Managed	78
FIGURA 1.50: <i>Switch</i> 3COM 2226 Plus Baseline	79
FIGURA 1.51: Diagrama lógico de la red de comunicaciones para la ciudad de Ibarra	80
FIGURA 1.52: Medidor ION Enterprise 8500 ubicado en la subestación San Agustín	82
FIGURA 1.53: Configuración de las comunicaciones en las centrales de generación (San Francisco, San Miguel de Car y La Playa)	83
FIGURA 1.54: Módem Satelital Nera 1000 ubicado en la central San Miguel de Car	84
FIGURA 1.55: Medidor ION Enterprise 7650 ubicado en la central San	85

Francisco

FIGURA 1.56: Anchos de banda utilizados en la transmisión de datos de las agencias hasta la matriz a través de la Red Metropolitana de Andinadatos	90
--	----

CAPÍTULO II

FIGURA 2.1: Esquema gráfico de la ampliación de la red de EMELNORTE utilizando fibra óptica	95
FIGURA 2.2: Esquema gráfico de la ampliación de la red de EMELNORTE utilizando enlaces inalámbricos	96
FIGURA 2.3: Niveles para el control jerárquico de la subestación San Agustín	98
FIGURA 2.4: Esquema general de la red interna de la subestación San Agustín	101
FIGURA 2.5: Interfaz hombre – máquina que indica el estado de las variables automatizadas del grupo generador 2 de la central El Ambi	108
FIGURA 2.6: Configuración de los límites de alarmas del interfaz hombre – máquina para el grupo generador 1 de la central El Ambi	108
FIGURA 2.7: Red interna de datos que soporta las funciones de automatización en la central El Ambi	109
FIGURA 2.8: Estructura interna del cable de fibra óptica tipo OPGW	123
FIGURA 2.9: Cable de fibra óptica tipo ADSS	124
FIGURA 2.10: Cable de estructura en 8	125
FIGURA 2.11: Herrajes de suspensión para el tendido de cable ADSS de vanos de hasta 200 metros.	127
FIGURA 2.12: Herrajes de retención para el tendido de cable ADSS de vanos de hasta 200 metros.	128
FIGURA 2.13: Diagrama general de interconexión entre la central El Ambi y el Despacho de Carga a través de la subestación Alpachaca	141
FIGURA 2.14: Diagrama general de interconexión entre las subestaciones y la matriz	145
FIGURA 2.15: Diagrama de interconexión para el enlace Central La Playa – Bodega – Agencia Tulcán – Matriz Ibarra	146
FIGURA 2.16: Red inalámbrica a diseñar en la ciudad de Tulcán	151
FIGURA 2.17: Perfil de terreno entre la Bodega Tulcán y la agencia Tulcán	155

FIGURA 2.18: Perfil de terreno entre la Subestación El Rosal y la Agencia Tulcán	160
FIGURA 2.19: Perfil de terreno entre la Subestación Tulcán y la estación repetidora	161
FIGURA 2.20: Perfil de terreno entre la estación repetidora y la Agencia Tulcán	162
FIGURA 2.21: Diagrama de red para la interconexión de las dependencias de EMELNORTE para la ciudad de Tulcán	166
FIGURA 2.22: Diagrama de red para la interconexión para los enlaces inalámbricos restantes	167

RESUMEN

Este proyecto de titulación presenta el diseño de la ampliación de la red de comunicaciones de la Empresa Eléctrica Regional Norte (EMELNORTE) utilizando fibra óptica y tecnología inalámbrica.

En el primer capítulo se describen las características y principios fundamentales que rigen la transmisión de datos utilizando fibra óptica y tecnología inalámbrica. Se presentan también los distintos dispositivos activos y pasivos que se incluyen en los sistemas de transmisión ópticos e inalámbricos, así como también las posibles causas de degradación de los enlaces ópticos e inalámbricos, y la metodología con la cual se calculan los mismos.

Además se expone la situación actual de la red de comunicaciones de la empresa. Se presenta al detalle las características de los equipos de red utilizados y la metodología de interconexión para las dependencias enlazadas.

En el segundo capítulo se muestra al detalle el análisis del volumen de tráfico a manejar por los enlaces a diseñar, en base a las aplicaciones que se transmitirán por las mismas (datos SCADA en la actualidad, aplicaciones de voz y video sobre

IP a futuro), con lo cual se determina el ancho de banda necesario para el dimensionamiento de la red.

Luego se realiza el diseño de los enlaces de comunicación requeridos, en donde se presentan las características y los parámetros técnicos requeridos para el establecimiento de los mismos utilizando fibra óptica y tecnología inalámbrica. Para la simulación de los enlaces inalámbricos se utiliza el programa Radio Mobile, el cual, con la ayuda de un modelo digital de terreno presenta las características de propagación para cada enlace.

Finalmente en el capítulo dos se establecen los esquemas lógicos de interconexión con la red actual para cada uno de los enlaces diseñados.

En el capítulo tres, tanto para los enlaces en fibra óptica como para los inalámbricos se realiza una estimación de los costos referenciales que reportará su implementación y puesta en marcha. Además, se establece el costo de operación y mantenimiento de los mismos.

Para los enlaces inalámbricos se estima también el costo que se tiene por el alquiler y asignación de frecuencias, en base al marco regulatorio vigente.

Finalmente en el capítulo tres se analizan los beneficios que la implementación de los diseños propuestos brinda a la empresa. Tomando en cuenta factores económicos y tecnológicos.

En el capítulo cuatro se presentan las conclusiones y las recomendaciones del proyecto de titulación. Se citan los aspectos fundamentales que se tomaron en cuenta a la hora de la realización de los diseños requeridos, así como también algunas recomendaciones que desde el punto de vista del diseño realizado convendrán al momento de la implementación del mismo.

Finalmente en los anexos se muestran de manera detallada el diseño de los enlaces de comunicación restantes utilizando fibra óptica y enlaces inalámbricos. Además se presenta el desglose del costo referencial estimado para cada uno de ellos.

PRESENTACIÓN

Con el desarrollo de las funciones de automatización y control dentro de los procesos industriales, las redes de telecomunicaciones se han convertido en el soporte fundamental para la integración de los procesos industriales.

Las aplicaciones actuales de las redes industriales a través de la implementación de los sistemas SCADA requieren de un sólido sistema de comunicación con capacidades altas de procesamiento y almacenamiento. Es por ello que las redes de comunicaciones deben suplir las crecientes necesidades de interactividad, movilidad y seguridad. Además deben contar con servicio de rutas redundantes para suplir eventuales fallas en el canal de comunicación y así garantizar disponibilidad de los datos generados remotamente.

Debido al vertiginoso desarrollo de la transmisión de datos de aplicaciones en tiempo real tales como voz y video sobre IP, los diseños de los enlaces de comunicación propuestos en el presente trabajo brindan el soporte para la transmisión de las aplicaciones antes mencionadas que serán implementadas a futuro.

El presente proyecto de titulación, se ha desarrollado con la finalidad de brindar las mejores alternativas para el diseño de los enlaces de comunicación requeridos por EMELNORTE para la integración de sus estaciones remotas (subestaciones y centrales de generación) con la red de comunicación existente en la actualidad, y así modernizar el sistema actual de monitoreo, control y supervisión de los procesos efectuados en estas dependencias.

DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICOS E INALÁMBRICOS Y DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE EMELNORTE

En el presente capítulo se describe los fundamentos básicos en los que se basa la transmisión de datos usando tecnología inalámbrica y fibra óptica. Se detalla además la situación actual de la red de comunicación de datos que utiliza la empresa EMELNORTE.

1.1 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ÓPTICOS

1.1.1 PRINCIPIOS FÍSICOS ^{[1] [2] [12]}

La fibra óptica es un medio de transmisión guiado que permite la transmisión de pulsos de luz a través de un filamento de plástico o de Dióxido de Silicio (SiO_2), (Ver FIG 1.1).

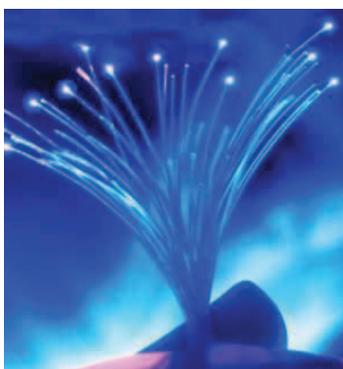


FIG 1.1 Fibra óptica.¹

Los hilos de fibra son resguardados por una serie de elementos que los protegen de las tracciones y esfuerzos.

1.1.1.1 Componentes de la fibra óptica

La fibra óptica se encuentra constituida por el núcleo (*core*), el manto (*cladding*) y un revestimiento externo de protección, generalmente de

¹ <http://www.somospc.com/wp-content/uploads/2008/06/fibra-optica-3.jpg>

kevlar, que brinda una consistente protección mecánica a las fibras, (Ver FIG 1.2).

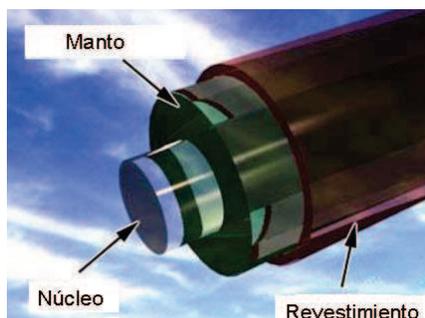


FIG 1.2 Componentes de la fibra óptica.¹

1.1.1.2 El espectro óptico

El espectro óptico es una subdivisión del espectro electromagnético. Se encuentra formado por luz visible², luz infrarroja³ y luz ultravioleta⁴.

La longitud de onda se define como la distancia que ocupa en el espacio un ciclo de onda electromagnética. Se calcula a partir de la frecuencia y la velocidad de la luz. Se relaciona matemáticamente según la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

(1.1)

Donde:

λ = Longitud de onda (metros)

c = Velocidad de la luz en el vacío (3×10^8 metros/segundo)

f = Frecuencia (hertzios)

Para las transmisiones en fibra óptica se utilizan longitudes de onda (λ) ubicadas en el infrarrojo cercano, para lo cual se utilizan cinco ventanas en este rango de longitudes de onda que son:

¹ <http://www.prensalatina.com.mx/media/Fibra%20optica/Imagenes/fibra-optica.jpg>

² Luz visible: contiene las longitudes de onda comprendidas entre los 770 nm hasta los 390 nm. (1 nm = 10^{-9} m)

³ Luz infrarroja: contiene longitudes de onda que son demasiado grandes para el ojo humano.

⁴ Luz ultravioleta: contiene longitudes de onda que son demasiado cortas para ser vistas por el ojo humano.

- Primera Ventana: $\lambda = 850 \text{ nm}$
- Segunda Ventana: $\lambda = 1310 \text{ nm}$
- Tercera Ventana: $\lambda = 1550 \text{ nm}$
- Cuarta Ventana: $\lambda = 1625 \text{ nm}$
- Quinta Ventana: $\lambda = 1470 \text{ nm}$

La quinta ventana de transmisión ha surgido a partir del desarrollo de fibras *Zero Water Peak (ZWP) – ITU G652.C*, en las cuales se ha logrado disminuir las pérdidas causadas por los picos de atenuación por iones hidroxilo, en base a procesos especializados de fabricación de las fibras.

1.1.1.3 Reflexión y refracción en señales ópticas

Cuando se tiene la incidencia de un rayo de luz sobre un plano que limita a dos medios con distinto índice de refracción, se originan básicamente dos tipos de fenómenos: reflexión y refracción.

1.1.1.3.1 Reflexión

La reflexión se experimenta cuando una parte del haz incidente regresa al medio de donde procedió. El rayo producido se denomina haz reflejado, (Ver FIG 1.3).

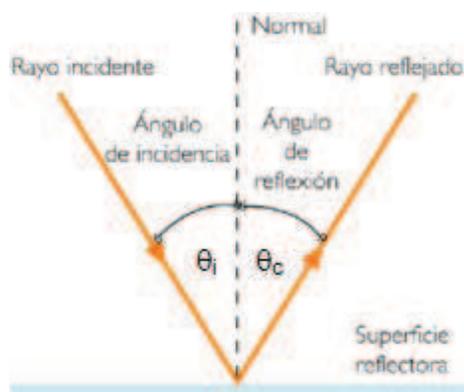


FIG 1.3 Reflexión de señales ópticas.¹

¹ <http://cl.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnaturales/media/200709/24/fisicayquimica>

La Ley de Reflexión rige este fenómeno y determina que: “Los ángulos que forman el rayo incidente y el reflejado con la normal a la superficie de separación de los dos medios son iguales”

$$\theta_i = \theta_r \quad (1.2)$$

Donde:

θ_i = Ángulo incidente

θ_r = Ángulo reflejado

1.1.1.3.2 Refracción

La refracción se produce cuando el haz incidente se encuentra con el plano de separación de los medios y presenta una variación con respecto a la trayectoria original del haz, (Ver FIG 1.4). Dicho haz se propaga a través del nuevo medio siguiendo una nueva trayectoria. El rayo resultante se denomina haz refractado.

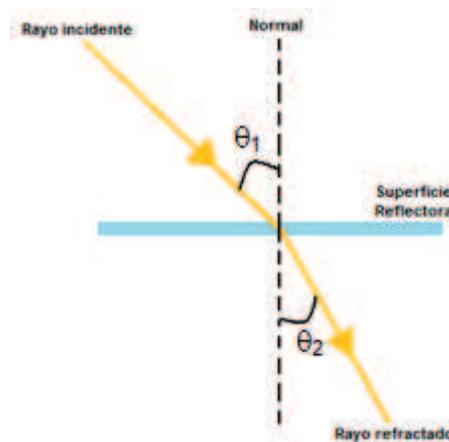


FIG 1.4 Refracción de señales ópticas.

La refracción se rige a través de la Ley de Snell que dice: “Los índices de refracción de los medios están en razón inversa de los senos de los ángulos que forman la normal a la superficie de separación con los respectivos rayos de luz”.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{sen}(\theta_2)}{\text{sen}(\theta_1)} \quad (1.3)$$

Donde:

n_1 = Índice de refracción del medio 1.

n_2 = Índice de refracción del medio 2.

θ_1 = Ángulo de incidencia.

θ_2 = Ángulo de refracción.

1.1.1.3.3 Reflexión interna total y ángulo crítico

La reflexión interna total, (Ver FIG 1.5) es el fenómeno que hace posible que los haces de luz viajen a través de la fibra.

Se basa en reflexiones internas múltiples que ocurren dentro de la fibra cuando se cumplen dos condiciones:

- El índice de refracción del núcleo (n_1) debe ser mayor al índice de refracción del manto (n_2). Esto se cumple en todas las fibras ópticas.
- El ángulo de incidencia debe ser mayor al ángulo límite o también llamado crítico¹. Cuando se incide con un ángulo igual al crítico, el rayo se propaga a través del plano de separación entre el núcleo y el manto.



FIG 1.5 Reflexión interna total.²

El ángulo crítico se obtiene cuando el rayo refractado se propaga a través de la fibra siguiendo el plano de separación entre el núcleo y el manto; es decir, cuando el ángulo del ángulo refractado es de 90° con respecto a la normal del plano de separación. Por la Ley de Snell se tiene:

¹ Ángulo Crítico (θ_c): es el ángulo mínimo de incidencia para los rayos de luz, en el cual se produce la reflexión interna total.

² <http://www.timbercon.com/Fiber-Optic-Glossary/images/Total-Internal-Reflection-3.gif>

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$$

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

θ_c = Ángulo crítico

n_1 = índice de refracción del núcleo

n_2 = índice de refracción del manto

1.1.1.3.4 *Ángulo de aceptación*

Para que los rayos de luz ingresen a la fibra óptica debe ocurrir un efecto de refracción. La luz se propagará de un medio menos denso (n_{aire}) hacia uno de densidad mayor (n_2), por lo que de acuerdo a la Ley de Snell, los rayos de luz se refractarán hacia el eje de la fibra, posibilitando así su ingreso.

Por la Ley de Snell se tiene:

$$n_{\text{aire}} \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_R \quad (1.4)$$

Donde:

θ_0 = Ángulo de entrada de la luz desde el aire al núcleo.

θ_R = Ángulo que forma el rayo refractado con el eje de la fibra.

El ángulo de aceptación (θ_{oa}) es aquel ángulo máximo que determina que todo rayo de luz incidente con un ángulo menor o igual al mismo, sea refractado hacia el núcleo, (Ver FIG 1.6). Caso contrario los rayos no son capturados, y regresan al aire a través del manto. El ángulo total de aceptación es el doble del ángulo de aceptación.

$$\theta_{\text{total aceptación}} = 2 \cdot \theta_{oa} \quad (1.5)$$

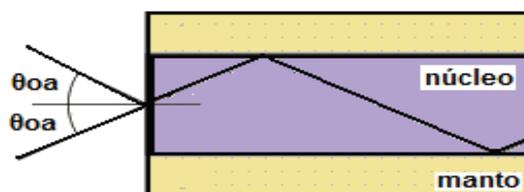


FIG 1.6 **Ángulo de aceptación.****1.1.1.4 Apertura numérica**

La apertura numérica es un parámetro que indica la cantidad de luz que puede aceptar una fibra. En otras palabras la energía total que es capaz de transportar.

Se define como el seno del ángulo de aceptación, y se demuestra que depende únicamente de los índices de refracción del manto y del núcleo de la fibra.

Por definición: $AN = \sin \theta_{ac}$

Además, por la Ley de Snell:

$$n_{\text{aire}} \sin \theta_{ac} = n_1 \sin \theta_R, \text{ como: } n_{\text{aire}} = 1, \text{ queda:}$$

$$\sin \theta_{ac} = n_1 \sin \theta_R$$

Por ángulos complementarios se tiene: $\sin \theta_R = \cos \theta_c$

$$\text{Queda: } AN = n_1 (\cos \theta_c)$$

$$\text{Por trigonometría: } AN = n_1 \sqrt{1 - (\sin \theta_c)^2} = n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}}$$

Por lo tanto:

$$AN = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (1.6)$$

Donde:

θ_{ac} = Ángulo de aceptación

θ_R = Ángulo refractado

N = Apertura numérica

n_1 = Índice de refracción del núcleo

n_2 = Índice de refracción del manto

Valores típicos de apertura numérica varían de 0.1 hasta 0.5.

Cuanto más parecidos sean los índices de refracción del núcleo y el manto, la apertura numérica será menor y por ende también su cono de aceptación. Mientras menor sea la apertura numérica se necesita una fuente de luz con menor ancho espectral.

1.1.2 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA ^{[2] [5] [6]}

La fibra óptica puede distinguirse de acuerdo al número de modos que se propagan a través de la misma (monomodo o multimodo), así como también por la forma del perfil del índice de refracción (escalonado o gradual).

1.1.2.1 Perfil del índice de refracción

Se determina por la variación del índice de refracción (n) en función del radio (r). Se obtiene dicha variación conforme el índice de refracción avanza desde el eje axial del núcleo hacia la cubierta.

1.1.2.1.1 Perfil escalonado

En este tipo de fibra, el índice de refracción del núcleo y del manto son constantes, pero diferentes entre sí, existiendo un cambio abrupto entre los índices de refracción del núcleo y del manto, (Ver FIG 1.7).



FIG 1.7 Índice de refracción con perfil escalonado.¹

1.1.2.1.2 Perfil gradual

¹ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2f/Fibra_optica.svg/550px-Fibra_optica.svg.png

El valor del índice de refracción del núcleo es variable, mientras que el del manto se mantiene constante. El índice de refracción del núcleo disminuye progresivamente desde un valor n_1 máximo en el centro del núcleo, hasta un valor n_2 , en la cubierta, (Ver FIG 1.8).

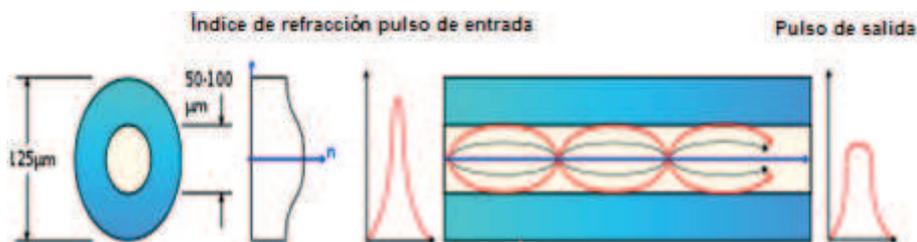


FIG 1.8 Índice de refracción con perfil gradual.¹

Existen además fibras con índice gradual triangular o parabólico, siendo la de índice parabólico la más utilizada.

1.1.2.2 Fibras Ópticas Multimodo

Se transmiten múltiples rayos, diferenciándose en el modo de propagación de cada uno de ellos. El número de modos dentro de la fibra depende de varios factores, entre ellos: diámetro del núcleo, índices de refracción del núcleo y manto, longitud de onda, entre otros (Ver FIG. 1.9).

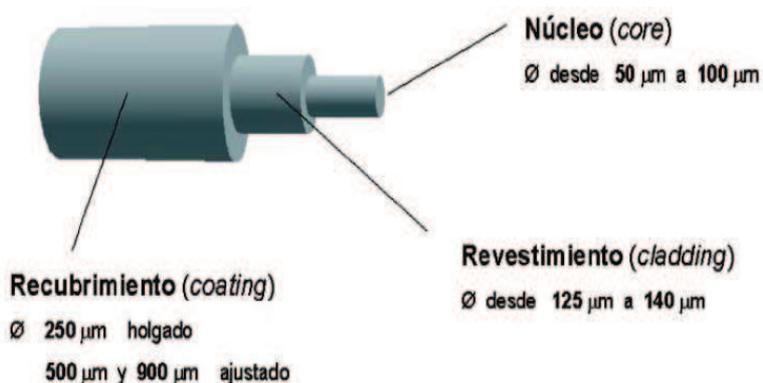


FIG 1.9 Fibra óptica multimodo.¹

Este tipo de fibra se utiliza en comunicaciones de corta distancia, por ejemplo entre edificios comerciales, bancos, dependencias en general, cuya distancia de cableado sea menor a los dos kilómetros.

¹ www.conelectronica.com/curso_formacion_fibra_optica.

El diámetro del núcleo de la fibra varía generalmente entre los 50 y los 200 micrones, para el manto se tienen diámetros de 125 a 240 micrones.

1.1.2.2.1 *Fibra óptica multimodo de índice escalonado*

Como el índice de refracción del núcleo es constante, se tiene que los rayos de luz se propagarán a la misma velocidad, pero por la naturaleza de cada modo, cada uno de ellos recorrerá distintas trayectorias y por ende diferentes distancias.

Cada modo llegará al final de la fibra en instantes distintos, lo que ocasionará que el pulso de luz llegue disperso, degradando así, la calidad de la transmisión. Dicha dispersión originada en recepción se la conoce como dispersión modal.

El número máximo de modos (M) en este tipo de fibras se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$M = 0.5 \left(\frac{\pi d_N AN}{\lambda} \right)^2 \quad (1.7)$$

Donde:

d_N = Diámetro del núcleo.

AN = Apertura numérica.

λ = Longitud de onda

De acuerdo a la expresión se puede concluir que conforme aumenta la longitud de onda (λ), se tendrá un menor número de modos (M) en la fibra.

En este tipo de fibra se presentan típicamente relaciones núcleo/manto de 100/140 y 200/240 micrómetros.

Como aspectos positivos de este tipo de fibras se tienen que son relativamente baratas, fáciles de fabricar y cuentan con un valor alto de apertura numérica, lo cual facilita el acoplamiento con la fuente de luz.

Como aspectos negativos se tienen que maneja menores anchos de banda y por ende menores velocidades de transmisión con respecto a las fibras monomodo y multimodo de índice gradual debido a que presenta una alta dispersión modal.

1.1.2.2.2 *Fibra óptica multimodo de índice gradual*

En este tipo de fibras al tener un valor variable de índice de refracción en el núcleo, los rayos de luz se propagarán a distintas velocidades a través del núcleo de la fibra.

Mientras más alejado del núcleo de la fibra se encuentre un haz de luz, éste viajará a mayor velocidad lo que permite que a pesar de tener que recorrer una mayor distancia con respecto a los otros haces, todos llegarán aproximadamente al mismo tiempo al otro extremo de la fibra lo cual disminuye significativamente la dispersión modal.

Los rayos de luz en este tipo de fibra se propagan debido a las múltiples refracciones originadas en las capas del núcleo con distintos índices de refracción.

El número máximo de modos (M) en las fibras multimodo de índice gradual es la mitad en relación al número máximo de modos permitidos en las fibras con índice escalonado obteniéndose de la siguiente expresión:

$$M = 0.25 \left(\frac{\pi d_N AN}{\lambda} \right)^2 \quad (1.8)$$

Se tienen fibras multimodo de índice gradual típicas con relaciones núcleo/manto de 50/125, 62.5/125 y 85/125 micrómetros.

Su apertura numérica es siempre menor a las de índice escalonado y tiene valores típicos de 0.15 a 0.2, por lo que su acoplamiento a la fuente de luz es más complicado en relación a las fibras con índice escalonado.

La disminución de la dispersión modal conlleva a un aumento del ancho de banda manejable, y por ende, un aumento en la velocidad de transmisión.

Debido a que su fabricación es compleja, el costo de este tipo de fibras es alto con respecto a las fibras de índice escalonado. Permite alcances mayores con respecto a las fibras de índice escalonado, pero menores que las monomodo.

1.1.2.3 Fibras ópticas monomodo

En las fibras monomodo se presenta la propagación de un solo haz de luz actuando así la fibra como una guía de onda sin producirse rebotes al interior de la misma.

El diámetro del núcleo en este tipo de fibras está entre los 4 y los 10 micrómetros, (Ver FIG 1.10), limitando así la entrada de haces de luz a solo uno.

La dispersión modal es nula, lo que conlleva a transmisiones con mayor ancho de banda y a mayores distancias sin repetidores en relación a las fibras multimodo.

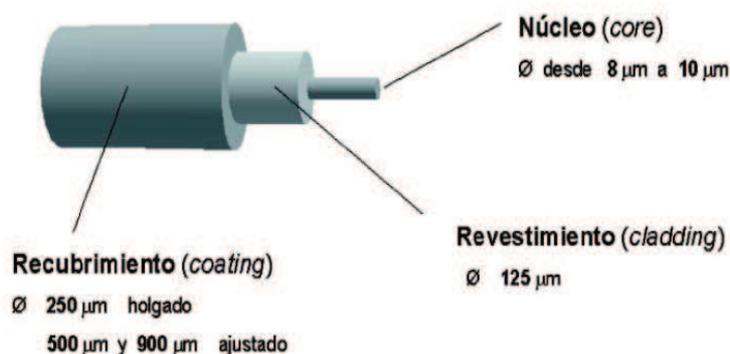


FIG 1.10 Fibra óptica monomodo.¹

Al presentar mejores características de transmisión en relación a las fibras multimodo su costo es mayor.

¹ www.conelectronica.com/curso_formacion_fibra_optica

1.1.2.3.1 Fibra óptica monomodo de índice escalonado

Se la conoce también como fibra monomodo estándar. Posibilita la transmisión de un solo haz de luz siempre que se cumpla con la condición del diámetro máximo del núcleo que se obtiene de la relación siguiente:

$$d_N \leq \frac{2.4\lambda}{\pi\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} \quad (1.9)$$

Donde:

d_N = Diámetro del núcleo.

λ = Longitud de onda

n_1 = Índice de refracción del núcleo.

n_2 = Índice de refracción del manto.

Si el diámetro del núcleo llega a ser mayor que el máximo permitido, a través de la fibra se transportarán más de un modo y perdería su condición de fibra monomodo.

Se define también la longitud de onda de corte (λ_c), que es la menor longitud de onda para la cual la fibra transmite un solo modo; por consiguiente para longitudes de onda menores, la fibra transmite más de un modo. Se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\lambda_c = \frac{\pi d_N \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{2.4} \quad (1.10)$$

Donde:

d_N = Diámetro del núcleo.

λ_c = Longitud de onda de corte.

n_1 = Índice de refracción del núcleo.

n_2 = Índice de refracción del manto.

La apertura numérica (AN) de esta fibra está en el orden de 0.1 a 0.15, por lo que se vuelve complicado el acoplamiento entre la fuente de luz y la fibra. Para el acoplamiento se utiliza diodos láser como fuentes de luz debido a que su haz presenta una mayor directividad con respecto a los diodos LED¹.

1.1.2.4 Normas para identificar el tipo de fibra óptica

Las normas internacionales para la correcta identificación de los hilos de fibra han determinado los colores de los mismos. La norma ANSI/EIA/TIA 598 A, determina que el ordenamiento de los hilos de fibra se debe regir según la TABLA 1.1.

1	Azul	7	Rojo
2	Naranja	8	Negro
3	Verde	9	Amarillo
4	Marrón	10	Violeta
5	Gris	11	Rosa
6	Blanco	12	Agua

Tabla 1.1 Ordenamiento de los hilos de fibra óptica según la norma ANSI/EIA/TIA 598A.

Para distinguir el tipo de fibra óptica según su cobertura exterior, la norma sigue la convención indicada en la TABLA 1.2.

Monomodo	Amarillo
Multimodo (50 μm /125 μm)	Naranja
Multimodo (62.5 μm /125 μm)	Gris
Multimodo (85 μm /125 μm)	Azul
Multimodo (100 μm /140 μm)	Verde

Tabla 1.2 Color de la cobertura exterior del cable de fibra según la norma ANSI/EIA/TIA 598A.

1.1.3 ATENUACIÓN EN LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICOS ^{[2] [6]}

La luz que viaja a través de la fibra pierde potencia conforme recorre una distancia determinada; dichas pérdidas causan degradación en la

¹ LED (*Light Emitted Diode*): Diodo emisor de luz. Usado como fuente de luz en transmisiones por fibra óptica.

comunicación, por lo cual es imperativo mantenerlas en los niveles más bajos posibles.

La atenuación (α) se define en función de las potencias lumínicas de entrada y de salida de la fibra, y es expresada en decibelios (dB). La atenuación es calculada para una determinada longitud de onda (λ) y se obtiene a partir de la siguiente relación:

$$\alpha(\lambda)_{dB} = 10 \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \quad (1.11)$$

Donde:

α = Atenuación

λ = Longitud de onda

P_{out} = Potencia lumínica de salida.

P_{in} = Potencia lumínica de entrada.

Es común también expresar la atenuación presentada por la fibra en relación a una determinada unidad de longitud L como lo indica la siguiente ecuación:

$$\alpha(\lambda)_{dB/Km} = \frac{10 \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right)}{L}$$

(1.12)

Las pérdidas ocasionan una disminución en el ancho de banda de la transmisión, de la velocidad de transmisión, y por ende, de la eficiencia y de la capacidad total del sistema de comunicación óptico.

1.1.3.1 Pérdidas intrínsecas a la fibra

1.1.3.1.1 Pérdidas por Absorción

Son aquellas que se deben a las impurezas presentes en el vidrio, y a la absorción de la luz a nivel molecular. La absorción depende del material y es función de la longitud de onda (Ver, FIG 1.11).

Para la fabricación de la fibra se usa vidrio con niveles de pureza que llegan hasta el 99.9999%; a pesar de ello se filtran pequeñas

impurezas que introducen pérdidas en la fibra que pueden estar en el orden de algunos dB/Km.

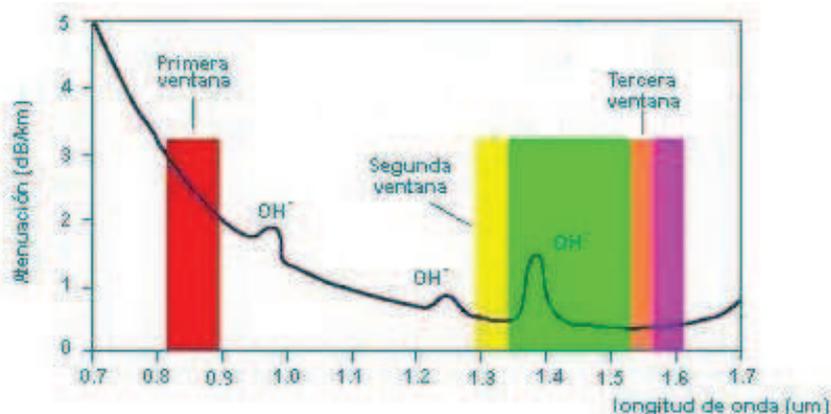


FIG 1.11 Atenuación (dB/Km) vs Longitud de onda (nm).¹

Básicamente, las pérdidas por absorción se originan por los rayos ultravioletas, rayos infrarrojos y por la presencia de iones hidroxilo OH^{-1} .

Los iones hidroxilo se originan debido al vapor de agua que queda atrapado en la fibra al momento de la fabricación, siendo este tipo de pérdidas significativas en longitudes de onda cercanas a los 1400 nanómetros. En la actualidad se ha logrado mitigar los efectos de la presencia de los iones hidroxilo con la utilización de fibras ópticas ZWP².

Las pérdidas por absorción de rayos ultravioletas e infrarrojos se originan debido a la interacción entre los fotones que se propagan por la fibra, y las moléculas que constituyen el núcleo. La absorción ultravioleta decrece exponencialmente con λ y puede despreciarse a partir de los 1000 nanómetros; en cambio la absorción infrarroja crece exponencialmente con la longitud de onda y recién se la puede distinguir a partir de los 1400 nanómetros.

1.1.3.1.2 Pérdidas por Dispersión de Rayleigh y Mie

¹ http://nemesiis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema1/imagenes_tema1_3/image24.JPG

² ZWP (Zero Water Peak): tipo de fibra óptica en la que los picos de atenuación por iones hidroxilo se han eliminado casi por completo.

Son pérdidas causadas por las imperfecciones presentes en el material con el que se encuentra construida la fibra. Dichas imperfecciones se deben a fallas en el proceso de fabricación, las mismas que ocasionan difracción¹ lo que causa dispersión de luz y ocasiona que parte de ella se dirija a la cubierta generándose pérdidas.

Las pérdidas de potencia por dispersión Rayleigh son inversamente proporcionales a la cuarta potencia de la longitud de onda y se define por la siguiente expresión:

$$P = \frac{k}{\lambda^4} \quad (1.13)$$

Donde:

k = Constante dependiente del material.

P_R = Pérdidas ocasionadas por el efecto Rayleigh.

λ = Longitud de onda.

Las pérdidas Rayleigh son significativas cuando el diámetro de las imperfecciones es mucho menor que la longitud de onda de la señal. Dichas pérdidas son de mayor consideración en longitudes de onda entre los 400 y 1100 nanómetros. Por ende, se recomienda trabajar con longitudes de onda lo más altas posible para minimizar este tipo de pérdidas.

Las pérdidas por Mie Scattering contrariamente a las de Rayleigh tienen mayor influencia sobre irregularidades de tamaño igual o mayor a la longitud de onda de la señal. Las técnicas de fabricación actuales han logrado minimizar eficientemente este tipo de pérdidas.

De acuerdo a la longitud de onda se tiene valores aproximados para las pérdidas por absorción y por efecto Rayleigh. Los valores se indican en la TABLA 1.3

¹ Difracción: fenómeno que se da cuando la luz choca con las irregularidades submicroscópicas inherentes a la fibra lo que produce que la luz se propague en otras direcciones.

λ [nm]	Absorción [dB/Km]	Rayleigh [dB/Km]
1300	0.05	0.25
1550	0.09	0.15

Tabla 1.3 Pérdidas por absorción y por efecto Rayleigh.

1.1.3.2 Pérdidas extrínsecas a la fibra

1.1.3.2.1 Pérdidas por curvaturas

Son ocasionadas por curvaturas, (Ver FIG 1.12) inducidas en la fibra al momento de tendido o instalación. Esto se produce debido a un cambio del ángulo de incidencia en el umbral entre el núcleo y la cubierta, lo que conlleva a una violación del principio de reflexión interna total, produciéndose un escape de haces de luz a través del manto.

Este tipo de pérdida varía exponencialmente con el radio de la curvatura, por lo que es necesario determinar un radio de curvatura crítico bajo del cual se evitaría los efectos de este tipo de pérdidas.

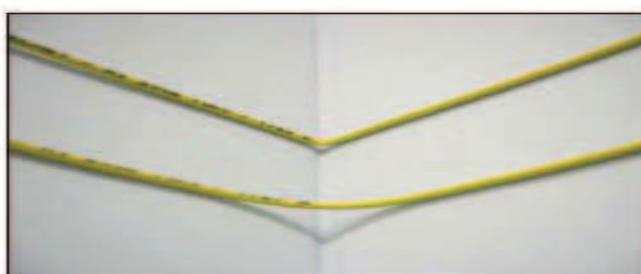


FIG 1.12 Curvaturas en una fibra óptica.¹

Generalmente este radio de curvatura crítico corresponde a diez o doce veces el diámetro exterior del cable y puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$R_c \approx \frac{3n_1^2 \lambda}{4\pi(n_1^2 - n_2^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (1.14)$$

Donde:

R_c = Radio crítico.

¹ http://www.telnet-ri.es/fileadmin/user_upload/img/soluciones/fibra2.jpg

λ = Longitud de onda.

n_1 = Índice de refracción del núcleo.

n_2 = Índice de refracción del manto.

En su mayoría, las pérdidas por curvaturas se presentan en longitudes de onda alrededor de los 1500 nanómetros, siendo las fibras multimodo más susceptibles a estas pérdidas.

1.1.3.2.2 *Pérdidas por microcurvaturas*

Se producen por imperfecciones presentes en la fibra debido a su deterioro. Son principalmente causadas por efectos climáticos, lo cual origina pequeñas variaciones en el diámetro de la misma. (Ver FIG 1.13)

En fibras monomodo, la atenuación por microcurvaturas se incrementa casi exponencialmente en longitudes de onda mayores a los 500 nanómetros.

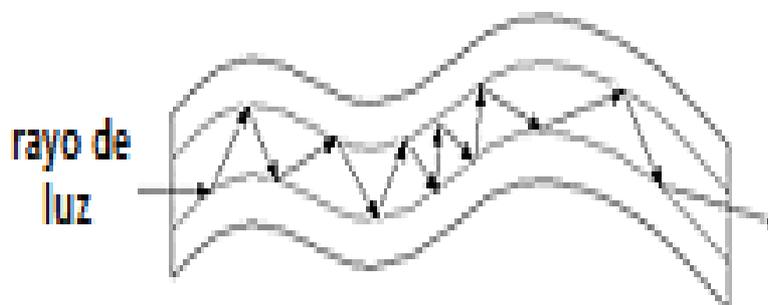


FIG 1.13 **Microcurvaturas en una fibra óptica.**¹

1.1.3.2.3 *Pérdidas por tendido, ambiente y envejecimiento*

Las pérdidas ocasionadas por el tendido se originan debido a las tracciones inherentes al proceso de instalación, las cuales acortan la vida útil de la fibra y generan pérdidas.

La presencia de agentes climáticos extremos pueden de alguna manera degradar el recubrimiento de la fibra, desgastándolo y

¹ <http://www.luceat.it/img/schema1.gif>

ocasionando fisuras que generan pérdidas. De la misma manera el envejecimiento de la fibra puede generar tensiones adicionales con su desgaste, así como también, la aparición de pequeñas fisuras en la misma.

Se puede combatir este tipo de pérdidas al reforzar el recubrimiento de la fibra con materiales rígidos que brinden una mayor protección ante estas causas de pérdidas.

1.1.3.2.4 Pérdidas por empalme y conectorización

Son originadas por elementos adicionales a la fibra, los cuales conforman el sistema de comunicación óptico, tales como conectores y uniones. Dichas pérdidas se ocasionan también en el proceso de empalme de las fibras.

Las pérdidas en un empalme mecánico son de unos 0,5 decibelios, mientras que los empalmes por fusión tienen pérdidas de aproximadamente unos 0,2 decibelios. Generalmente las pérdidas originadas en los conectores están en el orden de 0.1 a 0.7 decibelios.

1.1.3.3 Ventanas de transmisión para la fibra óptica

Al incluir todas las pérdidas por atenuación se obtienen pequeños rangos de longitudes de onda sobre los cuales es posible la propagación de haces de luz con la menor atenuación. Estos rangos de longitudes de onda son conocidos como ventanas de transmisión.

De acuerdo a la FIG 1.14 se llega a las siguientes conclusiones:

- a) Para longitudes de onda menores a los 800 nanómetros se tiene una atenuación alta, por ende no es conveniente su uso.
- b) Para longitudes de onda mayores a aproximadamente 1610 nanómetros, la atenuación crece indefinidamente debido a la absorción de rayos infrarrojos, por lo cual este rango es descartado.
- c) Se observa finalmente que existen pequeñas ventanas en las cuales la atenuación es mínima, siendo ideales para las transmisiones

ópticas. Dichas ventanas están en los 850, 1310, 1550, 1625 y 1470 nanómetros.

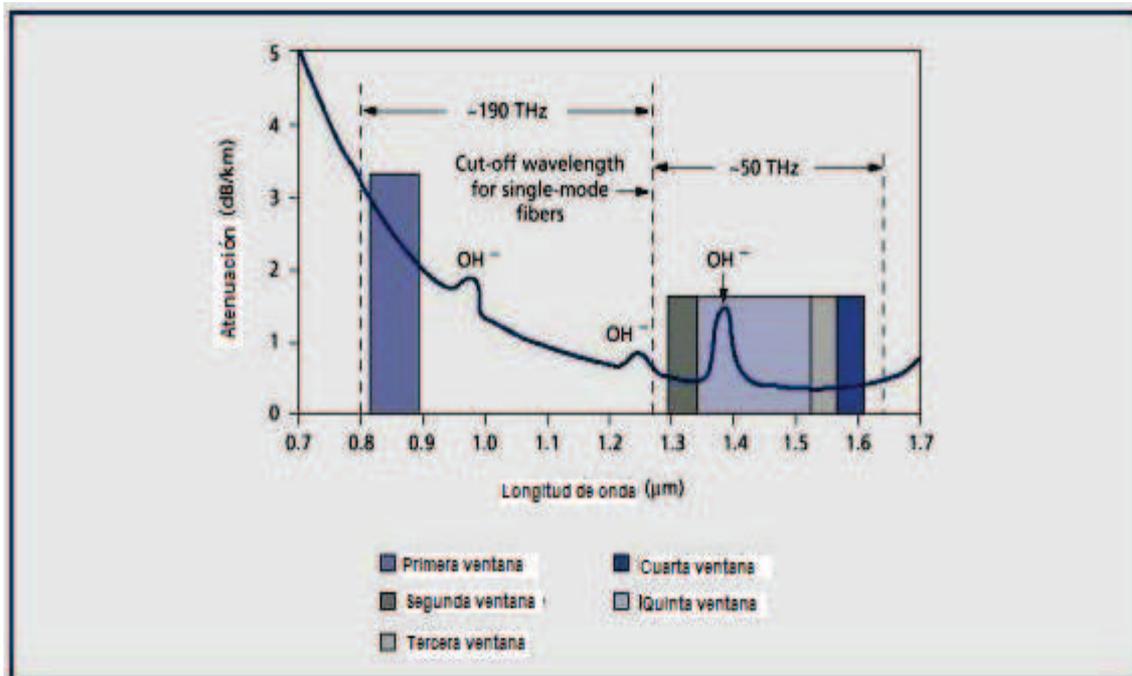


FIG 1.14 Ventanas de transmisión para la fibra óptica. [23]

1.1.4 DISPERSIÓN EN LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICOS [21] [6]

Este fenómeno ocurre cuando el pulso de luz se ensancha a lo largo de la transmisión por la fibra. La dispersión puede ser tan alta de manera que en recepción se vuelva prácticamente imposible distinguir si el pulso discreto de luz es un cero lógico o un uno lógico.

La dispersión es directamente proporcional a la longitud de la fibra. Se tienen los siguientes tipos de dispersión: modal, cromática de material o espectral, cromática de guía de onda y de polarización, (Ver FIG. 1.15).

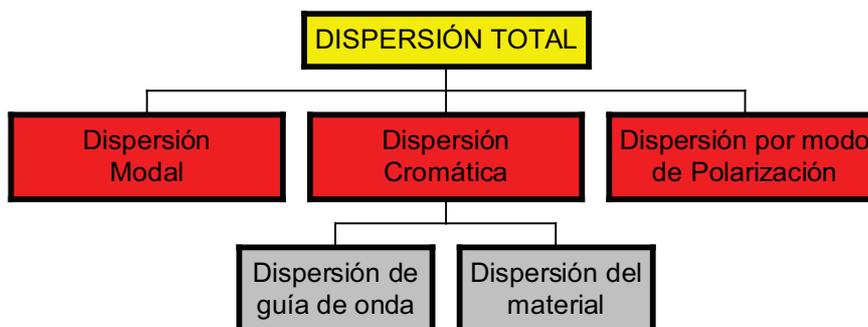


FIG 1.15 Tipos de dispersión presentes en la fibra óptica.

1.1.4.1 Dispersión modal

La dispersión modal (τ_m) ocurre solamente en las fibras multimodo, y es causada por la presencia de varios modos en la transmisión de pulsos de luz, los cuales al tener distintas trayectorias recorren distancias diferentes llegando al receptor en instantes distintos, haciendo que los pulsos de luz se dispersen y puedan interferir con los pulsos siguientes. La interferencia producida es conocida como interferencia intersímbolo, (Ver FIG 1.16), la cual conlleva a la reducción de la velocidad efectiva de transmisión de datos.

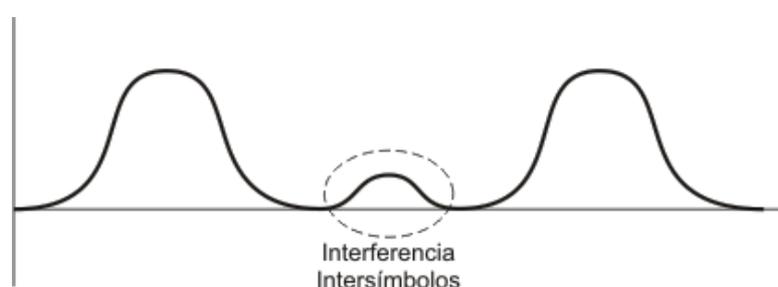


FIG 1.16 Interferencia Intersímbolo.¹

La dispersión modal usualmente está en el orden de los nanosegundos.

1.1.4.2 Dispersión cromática de material o espectral

Este tipo de dispersión está presente tanto en las fibras multimodo como en las monomodo. A mayor distancia entre el emisor y receptor, se incluye una mayor dispersión espectral.

Se origina debido a que el índice de refracción de una fibra óptica varía en función de la longitud de onda con la que se propagan los pulsos de luz a través de la fibra. Esto produce distintas velocidades de propagación, y por ende, distintos retardos, lo que desemboca en un ensanchamiento del pulso, provocando dispersión.

La dispersión espectral (τ_e) se reduce con la utilización de fuentes de luz de espectro estrecho.

¹ <http://www.textoscientificos.com/imagenes/redes/interferencia-intersimbolos.gif>

1.1.4.3 Dispersión cromática de guía de onda

La dispersión cromática de guía de onda (τ_g) se presenta de manera significativa solo en las fibras monomodo. Se produce debido a que si bien la mayoría de la energía en una fibra monomodo se propaga por el núcleo, existe una porción de energía (aproximadamente el 20%) que se propaga a través del manto, el cual, al tener un distinto índice de refracción se propagará a distinta velocidad y por ende esta porción del pulso llegará con distinto retardo al receptor.

Cabe recalcar que esta dispersión no se produce por las posibles variaciones del índice de refracción, sino que se da por la existencia de la propia guía de onda.

La dispersión cromática de guía de onda puede llegar a cancelarse con la dispersión cromática de material, lo que se da aproximadamente en longitudes de onda alrededor de los 1310 nanómetros, la cual es llamada longitud de onda de dispersión cromática nula. En base a cambios en el perfil de índice de refracción y la relación de índices de refracción entre el núcleo y el manto se puede desplazar el valor de longitud de onda de dispersión cromática nula a valores alrededor de los 1550 nanómetros, originando así fibras ópticas de dispersión desplazada.

La dispersión total (τ) en la fibra puede calcularse en base a la siguiente expresión:

$$\tau = \sqrt{\tau_m^2 + (\tau_e + \tau_g)^2} \quad (1.15)$$

Donde:

τ = Dispersión total.

τ_m = Dispersión modal.

τ_e = Dispersión cromática de material o espectral.

τ_g = Dispersión cromática de guía de onda.

Ya que la dispersión limita la capacidad de un sistema óptico, se puede estimar de manera aproximada el ancho de banda requerido para una transmisión en base a la dispersión total presentada. Se tiene:

$$AB = \frac{0.5}{\tau} [GHz] \quad (1.16)$$

Donde:

AB= Ancho de Banda

τ = Dispersión total en nanosegundos.

1.1.4.4 Dispersión de modo de polarización

La dispersión de modo de polarización (τ_p) se origina solamente en fibras monomodo. Se presenta por las mismas causas de la dispersión cromática de guía de onda.

Se relaciona con la propiedad de la luz, en la cual durante su propagación, ésta presenta vibraciones en distintas direcciones, las cuales determinan distintas velocidades al propagarse.

Se tiene por convención que al vibrar sobre el eje X se tiene un modo lento, mientras que al vibrar sobre el eje Y se tiene un modo rápido. Por ende, el haz de luz presentará un pequeño ensanchamiento del pulso en recepción.

Este tipo de dispersión es significativa para velocidades de transmisión altas, en el orden de los 10 Gbps¹, y puede ser disminuida con la utilización de fuentes con reducido ancho espectral y fibras de baja dispersión.

La dispersión de polarización es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la longitud de la fibra y usualmente está en el orden de los picosegundos². Se expresa en unidades de [ps.Km^{1/2}].

¹ Gbps: Velocidad de transmisión en la cual se transmiten 10⁹ bits en un segundo.

² 1 picosegundo [ps]= 10⁻¹² segundos [s].

1.1.5 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN ÓPTICO ^{[2] [4] [5]}

Un sistema de comunicación óptico, se encuentra formado básicamente por un transmisor óptico, la fibra en sí y un receptor óptico. A lo largo del camino que recorre la fibra es necesaria la inclusión de varios equipos y elementos, tanto activos (amplificadores ópticos, regeneradores ópticos, convertidores) como pasivos (conectores, uniones o acopladores), los cuales permiten que la señal óptica llegue a su destino de manera conveniente. En la figura 1.17 se presenta un esquema general de un sistema de transmisión óptico.

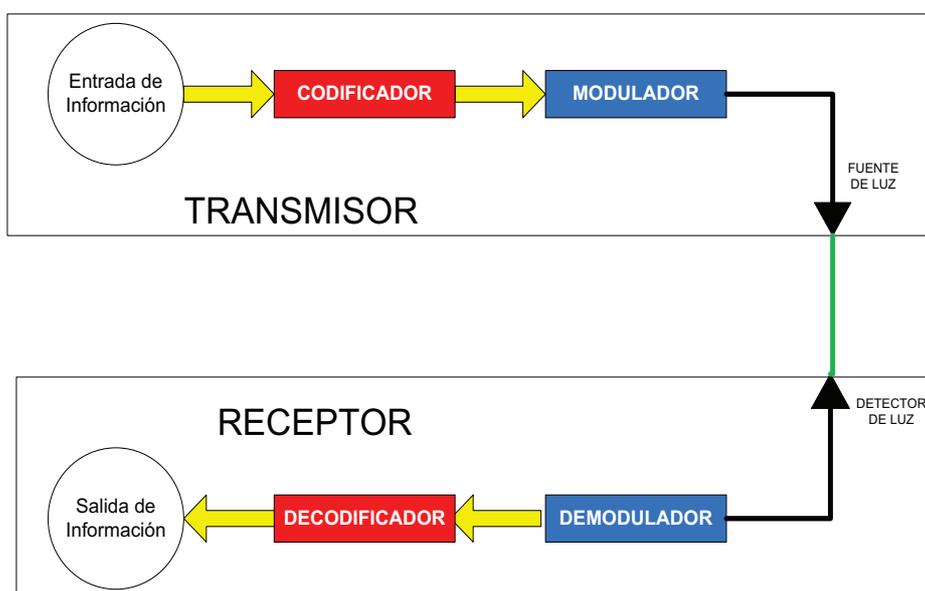


FIG 1.17 Sistema de Transmisión Óptico.

1.1.5.1 Transmisores ópticos

Su función es generar la señal óptica que viajará a través de la fibra. Los transmisores dependen de los requerimientos de desempeño, tales como la velocidad de transmisión y los niveles de potencia necesarios para la transmisión.

Como fuentes de luz se usan generalmente:

- LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)
- LED (*Light Emmiting Diode*)

1.1.5.1.1 Fuentes de Luz

En esencia son transductores cuya función radica en la conversión de la energía eléctrica en energía óptica, la cual deberá ser acoplada en la fibra.

Deben emitir pulsos de luz con longitud de onda correspondiente a alguna de las ventanas de transmisión óptica. Además deben cumplir ciertos requisitos tales como:

- a) Bajo consumo de energía.
- b) Estabilidad ante eminentes cambios de temperatura.
- c) Potencia de salida adecuada, es decir, lo suficientemente alta para cubrir las distancias necesarias, pero sin saturar los equipos y producir distorsión en la comunicación.
- d) Emitir luz en un ancho espectral adecuado y reducido tiempo de respuesta¹ para poder alcanzar altas tasas de transmisión.

En la TABLA 1.4 se indica un cuadro comparativo de las características de las fuentes LED y láser.

Parámetro	LED	LÁSER
Estabilidad térmica	Buena	Mala
Potencia emitida	Baja	Alta
Anchura espectral	20 a 150 nm.	1 a 5 nm.
Costo	Bajo	Alto
Vida útil	Larga	Corta
Tiempo de respuesta	Alto	Bajo

Tabla 1.4 Cuadro comparativo de las fuentes LED y láser.

1.1.5.2 Receptores ópticos

Los receptores ópticos se encargan de convertir una señal óptica en eléctrica. El elemento más relevante que constituye el receptor óptico es el detector de luz.

¹ Tiempo de respuesta: tiempo que tarda la fuente de luz desde su excitación eléctrica hasta que responde con luz.

Para tener un funcionamiento eficiente, un detector de luz debe cumplir con las características siguientes:

- a) Debe tener una alta sensibilidad¹, lo que se refleja en la generación de corrientes altas de respuesta a la luz incidente.
- b) Al igual que las fuentes ópticas debe tener un pequeño tiempo de retardo para poder trabajar con altas tasas de transmisión.
- c) Minimizar el ruido producido internamente con el objetivo de detectar señales de luz pequeñas.

El ruido eléctrico dentro del detector puede medirse por la corriente de oscuridad², estableciendo así, el nivel mínimo de señal detectable, debiendo ésta ser mayor que la corriente de oscuridad. Otro parámetro usado para determinar el nivel mínimo de señal detectable es el NEP³

Se pueden encontrar dos tipos de detectores de luz: PIN⁴ y el APD⁵, siendo el detector PIN el más usado en los sistemas de comunicación ópticos.

1.1.5.3 Amplificadores ópticos

La fibra óptica es un medio de transmisión de baja atenuación, pero aún así, para enlaces ópticos de largas distancias es necesaria la inclusión de amplificadores. Existen dos tipos de amplificadores para sistemas de comunicación ópticos: Amplificadores electro – ópticos y amplificadores ópticos.

1.1.5.3.1

Amplificadores electro – ópticos

Antes de efectuar el proceso de amplificación realizan la conversión de la señal óptica en señal eléctrica. Luego de la amplificación, se

¹ Sensitividad: es un parámetro que permite medir que tan bien responde el receptor ante una excitación luminica en función de su intensidad.

² Corriente de oscuridad: es la corriente de ruido que un detector genera cuando no está iluminado.

³ NEP (*Noise Equivalent Power*): es la potencia equivalente de ruido. Representa la potencia óptica requerida en la entrada del detector para generar una corriente eléctrica eficaz igual a la corriente de ruido para un valor determinado de ancho de banda.^[2]

⁴ PIN (*Positive – Intrinsic – Negative*): es el más usado en los sistemas de comunicación ópticos. Trabaja con altas tasas de transmisión.

⁵ APD (*Avalanche Photo Diode*): es más sensible que el detector PIN. La señal se amplifica durante el proceso de detección.

reverte la conversión inicial, transformando así, la señal eléctrica en señal óptica, la cual se propaga a través de la fibra.

1.1.5.3.2

Amplificadores ópticos

En los amplificadores ópticos se trabaja íntegramente con la señal óptica, es decir, para el proceso de amplificación no se necesita procesos intermedios de conversión de señales electro – ópticas.

Su principal ventaja es la posibilidad de amplificar simultáneamente señales con diferente longitud de onda, lo que conlleva a que con un solo amplificador óptico, es posible amplificar señales ópticas WDM¹ transportadas por la misma fibra.

Entre este tipo de amplificadores se tienen: amplificadores ópticos de semiconductores (SOA), amplificador de fibra dopada de erbio (EDFA) y los amplificadores Raman.

En la TABLA 1.5 se muestra una comparación de las características presentadas por los amplificadores citados.

Parámetro	SOA	EDFA	RAMAN
Ganancia	~10 a 20 dB	~30 dB	~ 20 a 25 dB
Potencia de salida	Baja	Alta	Alta
Potencia recibida	Alta	Moderada	Alta
Banda de operación	Bandas O, L, C y S	Bandas C y L	Bandas S y C

Tabla 1.5 **Comparación entre los amplificadores ópticos.**

1.1.5.4 Empalmes de fibra óptica

Es el proceso utilizado para unir permanentemente las fibras durante el proceso de instalación sin la utilización de conectores.

¹ WDM (*Wavelength Division Multiplexation*): es el proceso de combinar varias señales ópticas por la misma fibra discriminándose entre ellas por sus longitudes de onda.

En la práctica se tienen dos tipos de técnicas para realizar el empalmado de fibras: empalme mecánico (pérdidas entre 0,1 y 0,2 decibelios) y empalme por fusión (pérdidas menores a 0,1 decibelios).

1.1.5.5 Conectores de fibra óptica

El conector es un dispositivo que permite unir dos fibras de manera no permanente. Básicamente se utilizan en los extremos asociados a transmisores, receptores y amplificadores ópticos.

La conectorización puede realizarse por fibra desnuda y por alineación por férula¹. Generalmente los conectores se acoplan a la fibra usando adaptadores.

En el mercado actual resaltan los siguientes tipos de conectores:

- **ST (*Suscriber Termination*)**: se usan principalmente en redes de datos de edificios y en sistemas de seguridad, (Ver FIG 1.18). Pueden ser usados tanto en fibras monomodo como en las multimodo. Su diseño es parecido a los conectores usados para los cables coaxiales.



FIG 1.18 Conector ST.²

Este tipo de conector presenta pérdidas entre los 0.1 y 0.4 dB.

- **SC (*Suscriber Connection*)**: en su mayoría no cuentan con elementos metálicos, constituyéndose en su totalidad de material plástico, (Ver FIG 1.19). Presentan pérdidas en el orden de los 0.4 dB. Existe una versión dúplex que presenta mayor resistencia a esfuerzos que el tipo ST.

¹ Férula: cilindro hueco de gran precisión, con una perforación concéntrica del diámetro de la fibra desnuda que facilita su alineación.^[2]

² http://foros.emagister.com/imagenes_foros/1/2/8/9/8/177453Tipos_conectores_fibra_optica.jpg

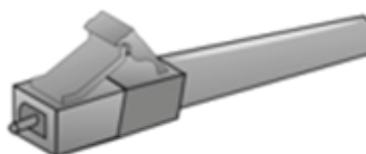
FIG 1.19 Conector SC.¹

Es usado generalmente para transmisiones de datos.

- **FC (*Fiber Connector*):** son conectores metálicos y para su conexión se da en base a inserción a rosca, (Ver FIG 1.20). Presenta pérdidas típicas entre los 0.08 y los 0.2 dB. Su aplicación se da principalmente en redes telefónicas y en sistemas de televisión por cable.

FIG 1.20 Conector FC.¹

- **LC (*Lucent Connector*):** son utilizados para transmisiones de alta densidad de datos. Utiliza una férula de cerámica y es empleado en fibras de estructura ajustada, (Ver FIG 1.21). Presenta pérdidas típicas de 0.2 dB.

FIG 1.21 Conector LC.¹

1.1.5.5.1 *Pérdidas en los conectores*

Existen los siguientes tipos de pérdidas debidas al conector:

- *Pérdidas por inserción:* determina el nivel de potencia perdido por efecto de incluir un conector en un enlace óptico. Se encuentran entre los 0.2 y 0.5 dB.
- *Pérdidas por retorno:* evalúan la potencia que es reflejada desde el conector hacia la fuente de luz. Tiene mayor

¹ http://foros.emagister.com/imagenes_foros/1/2/8/9/8/177453Tipos_conectores_fibra_optica.jpg

incidencia en enlaces monomodo que usan el láser como fuente de luz produciendo una emisión ruidosa. Es un parámetro especificado por el fabricante. Usualmente está en el orden de los – 40 dB.

- *Durabilidad de la conexión:* parámetro que mide el aumento generado en las pérdidas por inserción, el cual se incrementa conforme el conector se conecta y desconecta sucesivamente. Tiene un valor típico de 0.2 dB por cada 1000 conexiones.

1.1.6 VENTAJAS DEL USO DE FIBRA ÓPTICA EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ^{[1] [2]}

Las comunicaciones a través de fibra óptica tienen significativas ventajas con relación a los medios guiados de cobre y coaxiales; a continuación se citan algunas de ellas:

- Alta capacidad de transmisión de datos al alcanzar anchos de banda considerablemente grandes, en el orden de los gigahertzios.
- Se tiene niveles pequeños de atenuación, lo que permite realizar enlaces libres de amplificadores intermedios para distancias en las que otros medios de transmisión los requerirían.
- Al transmitirse señales ópticas, la interferencia electromagnética es nula y por ende es óptima para tendidos que vayan cerca o sobre torres de alta tensión o postes de alumbrado público.
- Facilidad de mantenimiento debido a que en base a equipos de medición tales como el OTDR¹, puede determinarse con rapidez y efectividad el lugar en donde se originó una falla.
- Por su estructura liviana, el transporte, tendido y manipulación de la fibra es fácil en comparación a los medios de transmisión metálicos.

¹ OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*): es el dispositivo usado para la medición de las propiedades del cable de fibra óptica.

1.1.7 DESVENTAJAS DEL USO DE FIBRA ÓPTICA EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ^[1] ^[2]

- El costo de la fibra y de los equipos a utilizar es relativamente caro, por lo que se deben optimizar los equipos y el tipo de fibra a utilizar de acuerdo a las necesidades en el sistema de comunicación requerido.
- El mantenimiento, instalación y reparación de un sistema basado en fibra óptica presenta mayor dificultad en relación a los medios metálicos.
- El mantenimiento y reparación de la fibra óptica debe ser efectuado por personal calificado y especializado debido a los peligros que genera la manipulación de la fibra especialmente cuando se tiene al láser como fuente de luz.
- Para conectarse con equipos remotos de regeneración o interconexión en donde no exista alimentación eléctrica no se puede enviar dicha alimentación a través de la fibra, sino que se deben agregar cables metálicos en el cableado.

1.2 PROPAGACIÓN EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICOS

La energía electromagnética puede propagarse en forma de voltaje o corriente a través de los cables metálicos y ondas de radio emitidas hacia el espacio libre.

La energía electromagnética se distribuye en un rango de frecuencias llamado espectro electromagnético.

1.2.1 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO ^[1]

En el espectro electromagnético se establecen los diversos servicios que se pueden ofrecer de acuerdo al rango de frecuencias que se emplee, (Ver FIG 1.22).

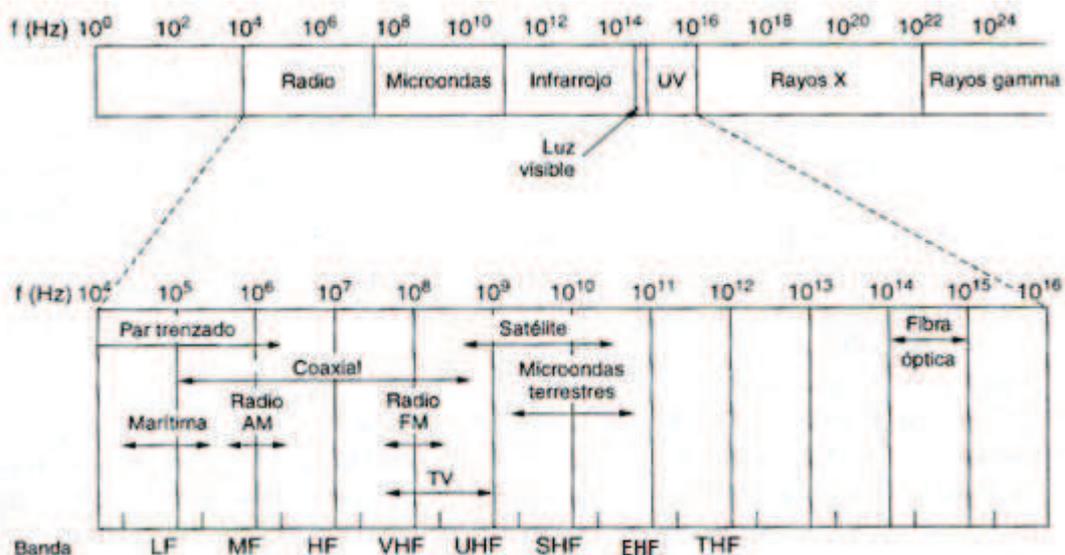


FIG 1.22 El espectro electromagnético. [1]

Para las radiocomunicaciones por microondas se utilizan básicamente frecuencias contenidas en las bandas UHF, SHF y EHF.

Además, en la TABLA 1.6 se indica la designación de cada uno de los intervalos de frecuencia del espectro electromagnético.

1.2.2 PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS [1] [7]

Una onda electromagnética contiene tanto campo eléctrico como magnético. Ambos campos se encuentran dispuestos de tal manera que forman un ángulo de 90° entre sí.

La propagación de ondas electromagnéticas por el espacio libre comúnmente se la llama propagación de radiofrecuencia (RF). El espacio libre no implica el vacío, sino que se considera la propagación a través de la atmósfera terrestre.

Número de banda	Intervalo de Frecuencias	Designación
2	30 Hz– 300 Hz	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3KHz – 3KHz	VF (frecuencias de voz)
4	3KHz – 30KHZ	VLF (frecuencias muy bajas)

5	30KHz – 300KHz	LF (bajas frecuencias)
6	0.3MHz – 3MHz	MF (frecuencias intermedias)
7	3MHz – 30MHz	HF (frecuencias altas)
8	30MHz – 300MHz	VHF (frecuencias muy altas)
9	0.3GHz – 3GHz	UHF (frecuencias ultra altas)
10	3GHz – 30GHz	SHF (frecuencias súper altas)
11	30GHz – 300GHz	EHF (frecuencias extremadamente altas)
12	0.3THz – 3THz	Luz infrarroja
13	3THz – 30THz	Luz infrarroja
14	30THz – 300THz	Luz infrarroja
15	0.3PHz – 3PHz	Luz visible
16	3PHz – 30PHz	Luz ultravioleta
17	30PHz – 300PHz	Rayos X
18	0.3EHz – 3EHz	Rayos gamma
19	3EHz – 30EHz	Rayos cósmicos

Tabla 1.6 **Designaciones de las bandas del espectro electromagnético.**

1.2.2.1 Polarización electromagnética

La polarización de una onda electromagnética es la orientación que tiene el vector campo eléctrico con respecto a la superficie terrestre. Se tienen los siguientes tipos de polarización:

- a) Polarización lineal: la polarización se mantiene constante a lo largo de la propagación. Puede ser vertical¹ u horizontal².
- b) Polarización circular: el vector polarización gira 360° al propagarse por el espacio recorriendo una longitud de onda. La intensidad del campo es igual en todas las orientaciones del vector.
- c) Polarización elíptica: la intensidad del campo es variable conforme cambia la orientación del vector campo.

1.2.2.2 Radiación electromagnética

1.2.2.2.1 *Densidad de potencia*

¹ Polarización vertical: el campo eléctrico se propaga perpendicularmente con respecto a la superficie terrestre.

² Polarización horizontal: el campo eléctrico se propaga paralelamente con respecto a la superficie terrestre.

Se define como la rapidez con la que la energía pasa a través de una determinada superficie en el espacio libre. Se la expresa en watts por metro cuadrado [W/m^2].

La densidad de potencia es:

$$\phi = E \cdot H \quad [W/m^2] \quad (1.17)$$

Donde:

ϕ = Densidad de potencia (watts por metro cuadrado)

E= Intensidad del campo eléctrico (voltios por metro)

H= Intensidad del campo magnético (amperios por metro)

1.2.2.2.2 *Impedancia característica del espacio libre*

Permite relacionar la intensidad del campo eléctrico y la intensidad del campo magnético en el espacio libre. Para medios de transmisión sin pérdidas se calcula en base a la siguiente relación:

$$Z_s = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad [\Omega] \quad (1.18)$$

Donde:

Z_s = Impedancia característica del espacio libre (ohms)

μ_0 = Permeabilidad magnética¹ del espacio libre (1.26×10^{-6} H/m)

ϵ_0 = Permitividad eléctrica² del espacio libre (8.85×10^{-12} F/m)

1.2.2.2.3 *Frente de onda esférico*

Se produce por un radiador isotrópico³, el cual produce un frente esférico de radio R. Se entiende que la potencia irradiada se encuentra uniformemente distribuida en cualquier punto de la esfera.

¹ Permeabilidad magnética: capacidad que tiene un medio para atraer y hacer pasar a través de éste los campos magnéticos.

² Permitividad eléctrica: constante física que describe la manera que un campo eléctrico afecta y es afectado por un medio.

³ Radiador isotrópico: es una fuente ideal considerada puntual, que irradia potencia a una tasa constante en todas las direcciones.

La densidad de potencia en cualquier punto de la superficie de un frente esférico es:

$$\phi = \frac{P_{rad}}{4\pi R^2} \quad (1.19)$$

Donde:

ϕ = Densidad de potencia

P_{rad} = Potencia total irradiada [W]

$4\pi R^2$ = Área de la esfera

Ley del cuadrado inverso: mientras más se aleja el frente de onda de la fuente, su densidad de potencia ϕ es más pequeña.

1.2.2.3 Propiedades ópticas de las ondas de radio

Las propiedades ópticas pueden ser aplicadas a las ondas de radio, ya que las señales ópticas pueden ser concebidas como ondas de alta frecuencia.

Para los fenómenos de reflexión y refracción se considera una onda electromagnética que incide sobre superficies que son grandes en relación a su longitud de onda.

Ya que el índice de refracción de un material es igual a la raíz cuadrada de su constante dieléctrica, a partir de la ecuación (1.4) se tiene:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \sqrt{\frac{\epsilon_{r2}}{\epsilon_{r1}}} \quad (1.20)$$

Donde:

ϵ_{r1} = Constante dieléctrica del medio 1

ϵ_{r2} = Constante dieléctrica del medio 2

Cuando la superficie reflectora es curva, se tiene que la superficie de la onda reflejada es diferente a la superficie de la onda incidente. Si el frente de la onda incidente es curvo, y la superficie reflectora es plana, la curvatura del frente de onda reflejada es igual a la de la onda incidente.

1.2.2.3.1 *Difracción*

Es el fenómeno que permite que las ondas de radio se propaguen en torno a superficies irregulares, (Ver FIG 1.23). Se presenta en discontinuidades de tamaño comparable a la longitud de onda de la señal, en donde los análisis geométricos analizados en la refracción y reflexión no son aplicables.

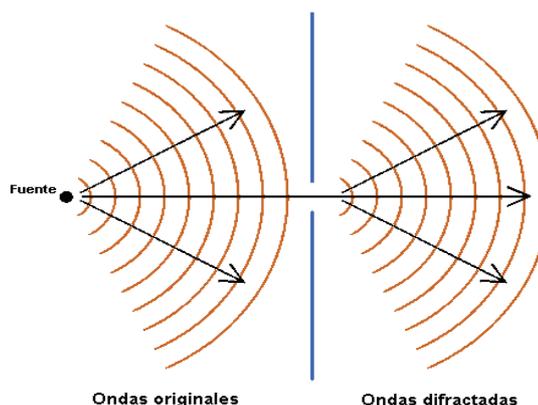


FIG 1.23 Fenómeno de difracción.¹

1.2.2.3.2 *Interferencia*

La interferencia entre ondas de radio se presenta cuando se combinan dos o más ondas electromagnéticas, degradando el comportamiento del sistema, (Ver FIG 1.24). Depende del principio de superposición lineal² y se genera cuando dos o más ondas se encuentran en el mismo punto del espacio simultáneamente.

¹ <http://usuarios.lycos.es/fisikito/Clases/ondas/Images/difraccion.gif>

² Principio de superposición lineal: establece que la intensidad total del voltaje en un punto dado en el espacio es igual a la suma de los vectores de ondas individuales.

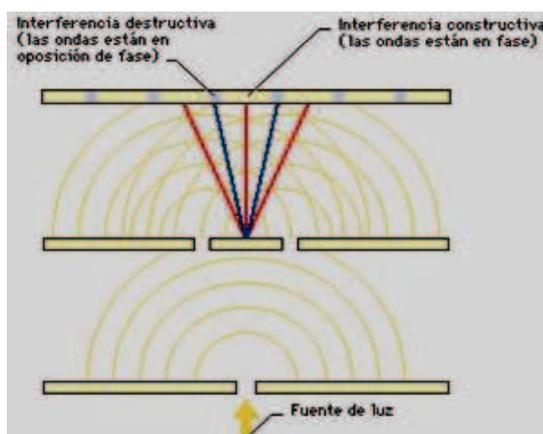


FIG 1.24 Interferencia de las ondas electromagnéticas.¹

1.2.2.4 Propagación de las ondas electromagnéticas

Existen tres formas de propagación de ondas electromagnéticas dentro de la atmósfera terrestre: onda terrestre, onda espacial y ondas celestes o ionosféricas.

1.2.2.4.1 Propagación de ondas terrestres

Este tipo de ondas viajan siguiendo la superficie terrestre, (Ver FIG 1.25). Las ondas terrestres necesariamente deben estar polarizadas verticalmente, ya que de estar polarizadas horizontalmente, las ondas se pondrían en corto debido a la conductividad del suelo.



FIG 1.25 Propagación de ondas terrestres.

Se propagan de mejor manera sobre superficies conductoras como el agua salada. La atenuación en las ondas terrestres es función directa de la distancia recorrida.

La propagación de ondas terrestres se limita a frecuencias menores a los 2 MHz. Principalmente este tipo de propagación se utiliza en comunicaciones marítimas y en radio navegación

¹ <http://www.fisicanet.com.ar/monografias/monograficos3/es05/interferencia01.jpg>

1.2.2.4.2 *Propagación de las ondas espaciales*

Puede darse por propagación de ondas directas o por reflejo en la superficie terrestre. La transmisión por ondas directas, es llamada transmisión por línea de vista (LOS) por sus siglas en inglés. Se observa en ondas cuya frecuencia está sobre los 30 MHz.

El alcance de las transmisiones por línea de vista se encuentra limitado por la curvatura de la Tierra, (Ver FIG 1.26). El alcance puede aumentarse al elevar las antenas de emisión y recepción.



FIG 1.26 Transmisión de ondas electromagnéticas por línea de vista.

1.2.2.4.3 *Propagación por ondas celestes*

Las ondas espaciales se irradian hacia el cielo, desde donde se reflejan o refractan hacia la superficie terrestre por la ionosfera¹, (Ver FIG. 1.27).

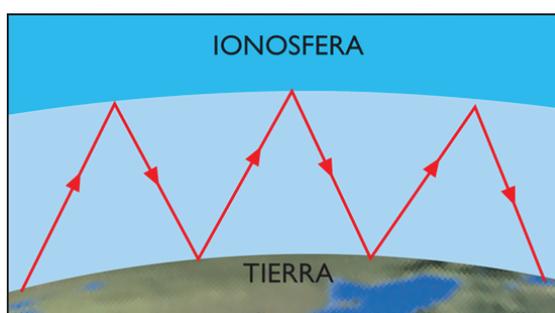


FIG 1.27 Propagación por ondas celestes.²

1.2.3 CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ANTENAS ^{[1] [7] [8]}

Una antena (Ver FIG 1.28) es un conductor o un sistema de conductores capaces de radiar (antena emisora) y capturar ondas electromagnéticas (antena receptora).

¹ Ionosfera: región del espacio que está entre los 50 y 400 Km sobre la superficie terrestre.

² http://ea7oc.ea7urc.org/gifs/filo_navaj.gif



FIG 1.28 Antena de microonda.¹

En el emisor, la antena convierte las ondas eléctricas que viajan por una línea de transmisión en ondas electromagnéticas que viajan por el espacio libre. En el receptor se da el proceso inverso.

Las antenas son dispositivos recíprocos, lo que quiere decir que se comportan de la misma manera tanto para emitir, como para recibir energía electromagnética.

Las potencias manejadas por las antenas emisoras son altas, por lo que para su construcción se usan materiales que soportan voltajes altos y potencias grandes como los tubos metálicos. En las antenas receptoras se manejan potencias pequeñas, pero dado que una misma antena puede actuar como emisora y receptora, en la práctica se construyen antenas con materiales robustos.

En antenas de emisión y recepción se usan diplexores² para evitar el acoplamiento de las ondas transmitidas (alta potencia) con el receptor que es bastante sensible.

1.2.3.1 Terminología y definiciones para antenas

1.2.3.1.1 Diagrama de radiación

Permite representar gráficamente las características de radiación de una antena indicando las intensidades de campo o las densidades de

¹ <http://www.wimo.com/bilder/18795.jpg>

² Diplexor: dispositivo usado para dirigir las señales de transmisión y de recepción.

potencia con respecto a determinadas posiciones angulares, (Ver FIG 1.29).

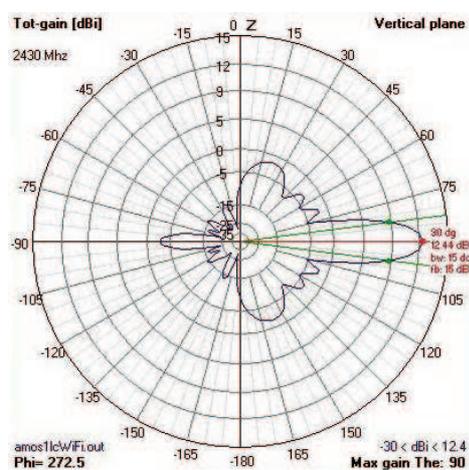


FIG 1.29 Diagrama de radiación de una antena.¹

En un diagrama de radiación se tienen lóbulos primarios y lóbulos secundarios. Los primeros contienen la mayor cantidad de energía de emisión y recepción, mientras que los segundos generalmente representan radiación no deseada.

1.2.3.1.2 Resistencia de radiación

Es un parámetro que no se puede medir directamente, y representa la porción de potencia que no es irradiada por la antena y se convierte en calor. Se lo calcula como la relación entre la potencia irradiada por la antena y el cuadrado de la corriente medida en el punto de alimentación.

$$R_r = \frac{P_{rad}}{i^2} \quad (1.21)$$

Donde:

R_r = Resistencia de radiación (ohms)

P_{rad} = Potencia irradiada por la antena (watts)

i = Corriente medida en el punto de alimentación (amperios)

¹ <http://www.guw.cl/sitio/images/stories/Sectamos/amos3.jpg>

Es un concepto ficticio, ya que toma un valor de corriente arbitrariamente en el punto de la alimentación, ya que el valor de la corriente variará en otro punto referencial de la antena.

Se define paralelamente el concepto de eficiencia de la antena como la relación existente entre la potencia irradiada y la suma de la potencia irradiada con la potencia disipada:

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{rad} + P_d} \cdot 100 \quad (1.22)$$

Donde:

η = Eficiencia de la antena

P_{rad} = Potencia irradiada (watts)

P_d = Potencia disipada (watts)

1.2.3.1.3 *Ganancia directiva y ganancia de potencia*

Para hablar de la ganancia en una antena hay que establecer un concepto referencial con el cual compararlo. En consecuencia, se define a la antena isotrópica (Ver FIG 1.30) como aquella que irradia la misma potencia uniformemente en todas las direcciones y tiene una ganancia equivalente a cero decibelios.

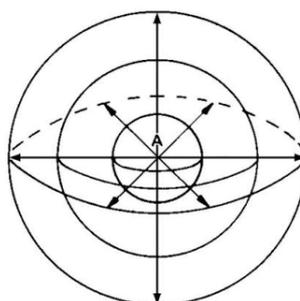


FIG 1.30 **Antena isotrópica.**

Se define la ganancia directiva como la relación entre la densidad de potencia irradiada por la antena en una dirección determinada y la densidad de potencia irradiada en esa dirección por una antena isotrópica, suponiendo que ambas antenas irradian la misma potencia. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\rho}{\rho_{ref}} \quad (1.23)$$

Donde:

D= Ganancia directiva

ρ = Densidad de potencia de una determinada antena en un punto (watts/m²)

ρ_{ref} = Densidad de potencia de una antena de referencia en el mismo punto (watts/m²)

Se define a la ganancia de potencia como un concepto similar a la ganancia directiva, pero en ésta se toma en cuenta la eficiencia de la antena. Se supone que tanto la antena a analizar como la antena referencial tienen la misma potencia de entrada y que las pérdidas en la antena de referencia son nulas, por lo que se calcula la ganancia de potencia en base a la siguiente relación:

$$A_p = D\eta \quad (1.24)$$

Donde:

A_p= Ganancia de potencia

D= Ganancia directiva

η = Eficiencia de la antena

Si se toma como antena referencial a la isotrópica, la ganancia de potencia se suele expresar en dBi, mientras que si se toma como antena referencial la antena dipolo de media onda la ganancia de potencia se suele expresar en dBd.

$$dBi = dBd - 2.15 \quad (1.25)$$

La potencia irradiada por la antena nunca será mayor a la potencia de entrada, es decir no existe ningún proceso de amplificación en la antena, por lo que la ganancia se entiende como la capacidad de concentrar la potencia irradiada en una dirección determinada.

1.2.3.1.4 *Potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE)*

Se define como la potencia equivalente que debería irradiar una antena isotrópica para lograr la misma densidad de potencia de otra antena en determinada dirección y en el mismo punto. Se lo calcula de la siguiente manera:

$$PIRE = P_{rad} D_t \quad (1.26)$$

Donde:

PIRE= Potencia isotrópica radiada efectiva (watts)

P_{rad} = Potencia total irradiada (watts)

D_t = Ganancia directiva de la antena de transmisión

1.2.4 **RADIOCOMUNICACIONES POR MICROONDA** ^{[1] [7]}

Se llaman microondas a ondas electromagnéticas con frecuencias que van aproximadamente desde los 500 MHz hasta poco más de los 300 GHz. Al operar en frecuencias altas, el tamaño de la antena va a ser pequeño.

Los sistemas de comunicación por microondas usan transmisión por línea de vista, por lo que es sensible ante deterioros o agentes externos que pueden interrumpir el servicio. Por esta causa se introduce el concepto de diversidad.

1.2.4.1 **Antenas microondas**

Son antenas altamente direccionales, es decir concentran la potencia irradiada en un haz pequeño. Las antenas microondas tienen aberturas de haz de mitad de potencia en el orden de 1° o menos, con lo que se disminuyen los efectos interferentes causados por antenas cercanas o fuentes externas.

Las antenas para transmisión por microonda, al usar un haz angosto es proclive a desvanecimientos temporales de señal lo que puede causar pérdidas en la transmisión de información.

1.2.4.2 **Diversidad**

La diversidad permite incluir más de una ruta para la comunicación en un enlace microonda, lo que lleva a un aumento en la confiabilidad del sistema. La confiabilidad tiene que ver con el grado de confianza en el cual, el sistema se comporta satisfactoriamente.

Cuando hay más de una ruta para la transmisión de información, el sistema puede escoger el camino que presenta la señal con mejor calidad en recepción.

La calidad de la señal recibida se puede evaluar usando la relación entre la portadora (*carrier*) y el ruido (*noise*) en la entrada al receptor.

La diversidad utiliza arreglos permanentes, y su objetivo es responder ante problemas causados por condiciones climáticas anormales entre dos estaciones cualesquiera. Se puede usar diversidad en frecuencia, espacial, polarización, híbrido o cuádruple.

En la TABLA 1.7 se muestra la relación existente entre el grado de disponibilidad del enlace y el tiempo en el cual se mantendrá interrumpido.

1.2.4.3 Características de la trayectoria

En un sistema de transmisión microonda existen las siguientes señales: de onda directa, reflejada en tierra, reflejada en el cielo y la superficial, (Ver FIG 1.31).

Onda directa: se define como la onda que se propaga con línea de vista desde la antena emisora hasta la antena receptora.

Disponibilidad (%)	Tiempo de Interrupción (%)	Tiempo de interrupción		
		Por año (horas)	Por mes (horas)	Por día (horas)
0	100	8760	720	24
50	50	4380	360	12
80	20	1752	144	4.8
90	10	876	72	2.4
95	5	438	36	1.2

98	2	175	14	29 min
99	1	88	7	14.4 min
99.9	0.1	8.8	43 min	1.44 min
99.99	0.01	53 min	4.3 min	8.6 seg
99.999	0.001	5.3 min	26 seg.	0.86 seg
99.9999	0.0001	32 seg	2.6 seg.	0.086 seg

Tabla 1.7 **Relación entre la disponibilidad y el tiempo en que se interrumpirá un enlace.**^[1]

Onda reflejada en tierra: es una porción de la onda electromagnética que llega a la antena receptora luego de reflejarse en la superficie terrestre.

Onda superficial: es la que viaja sobre la superficie terrestre debido a los campos eléctrico y magnético que se asocian con las corrientes inducidas en la superficie.

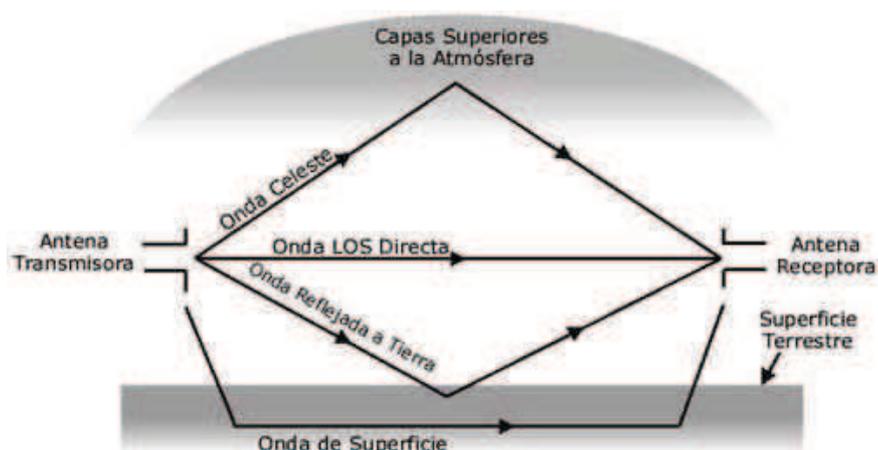


FIG 1.31 **Señales generadas en una transmisión por microonda.**¹

A la suma de los tres tipos de trayectorias citadas anteriormente se la llama onda terrestre.

Onda reflejada en el cielo: es la porción de la onda que se refleja en las capas ionizadas de la atmósfera para luego regresar a la superficie terrestre y llegar al receptor.

Dentro del rango de las microondas, se desprecian las ondas superficiales y las reflejadas en la atmósfera.

¹ <http://www.ilustrados.com/publicaciones/multimedia/comina2.jpg>

1.2.4.4 Ganancia del sistema

La ganancia del sistema se define como la diferencia entre la potencia nominal de salida de un transmisor, y la potencia de entrada mínima necesaria en el receptor.

Para establecer la ganancia requerida en un enlace de microonda es necesario considerar tanto las pérdidas y ganancias que se tienen a lo largo del enlace.

1.2.4.4.1 *Margen de desvanecimiento*

Las comunicaciones por microondas requieren la propagación de ondas electromagnéticas a través del espacio libre, lo que genera pérdidas inherentes a la trayectoria. Además de estas pérdidas se presentan disminuciones intermitentes en la intensidad de la señal, las cuales se deben a agentes meteorológicos tales como: lluvia, nieve, granizo, entre otros; así como también a trayectorias múltiples de transmisión y a superficies terrestres irregulares. Esta pérdida aleatoria se la conoce como margen de desvanecimiento.

Pérdidas por trayectorias múltiples: Son causadas por los choques de las ondas electromagnéticas con superficies sólidas lo que puede producir: reflexión o difracción.

Para transmisiones con línea de vista, los efectos de la difracción son mínimos, siendo la reflexión el fenómeno que causa un impacto significativo.

El principal efecto de la propagación por trayectorias múltiples es que la señal transmitida llegue a recepción con fases distintas, lo cual puede ocasionar una disminución en la intensidad de la señal, lo que dificultaría considerablemente la recepción de la misma.

Para cuantificar el margen de desvanecimiento se toman en cuenta los efectos de la propagación por trayectorias múltiples, la sensibilidad del terreno y los objetivos de confiabilidad.

Para un sistema sin diversidad resolviendo las ecuaciones de confiabilidad de Barnett – Vignant se tiene para una disponibilidad anual especificada, la siguiente ecuación:

$$F_m = 30 \log D + 10 \log(6. A. B. f) - 10 \log(1 - R) - 70$$

(1.27)

Donde:

$F_m =$	Margen de desvanecimiento
$30 \log D =$	Efecto por trayectorias múltiples
$D =$	Distancia (kilómetros)
$10 \log(6. A. B. f) =$	Sensibilidad del terreno
$A =$	Factor de rugosidad. (Ver TABLA 1.8)
$B =$	Factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual. (Ver TABLA 1.9)
$10 \log(1 - R) =$	Objetivos de confiabilidad
$R =$	Confiabilidad en tanto por uno
$1 - R =$	Objetivo de confiabilidad para una ruta de 400 kilómetros en un sentido.

Factor de Rugosidad(A)	Terreno
4	Sobre agua o terreno muy liso
1	Sobre un terreno promedio
0.25	Sobre un terreno muy áspero y montañoso

Tabla 1.8 Valores para el factor de rugosidad. ^[1]

Factor de conversión (B)	Terreno
1	Para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual
0.5	Para áreas calientes y húmedas
0.25	Para áreas continentales promedio
0.125	Para áreas muy secas o montañosas

Tabla 1.9 Factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual.^[1]

1.2.4.4.2 Pérdidas en la trayectoria por espacio libre

Son las pérdidas que ocurren en la onda electromagnética cuando se propaga en línea recta de manera directa entre la antena emisora y la antena receptora a través del espacio libre.

Las pérdidas por espacio libre dependen de la frecuencia, y aumentan con la distancia. Se calculan de acuerdo a la siguiente expresión:

$$L_{P(dB)} = 10 \log \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = 10 \log \left(\frac{4\pi f D}{c} \right)^2 \quad (1.28)$$

Donde:

L_P = Pérdidas en la trayectoria en espacio libre.

D = Distancia (metros)

f = Frecuencia (hertz)

λ = Longitud de onda (metros)

c = velocidad de luz en el espacio libre (3×10^8 m/s)

1.2.4.4.3 Umbral del receptor

Se lo llama también sensibilidad del receptor y establece la potencia mínima de portadora en banda ancha de entrada a un receptor que produzca una correcta interpretación de la misma en banda base (información).

El umbral del receptor depende en gran medida del nivel de ruido de banda ancha presente en el receptor. Además depende del ruido inherente al receptor y la sensibilidad del detector de banda base al ruido.

La potencia de ruido de entrada se determina mediante la siguiente ecuación:

$$N = kTB \quad (1.29)$$

Donde:

N= Potencia de ruido (watts)

k= Constante de Boltzman (1.38×10^{-23} J/°K)

T= Temperatura equivalente del ruido del receptor (°K)

B= Ancho de banda del ruido (hertz)

Ahora para determinar el nivel de umbral del receptor se debe especificar previamente el requisito mínimo de la relación portadora a ruido (C/N), y se procede con el cálculo:

$$C_{min} = \frac{C}{N} + N \quad (1.30)$$

Donde:

C_{min} = Umbral del receptor

C/N= Relación portadora a ruido

N= Potencia del ruido

1.2.4.4.4 *Cálculo de la ganancia del sistema.*

Para el diseño de los enlaces inalámbricos es necesario el estudio de factibilidad de la recepción de la señal, para lo cual se analizan los parámetros que generan las pérdidas y ganancias de potencia dentro del sistema. Finalmente, al relacionar las pérdidas y las ganancias se

calcula la potencia recibida, la cual deberá ser mayor a la del margen de recepción ofrecido por el fabricante (umbral de recepción).

El receptor posee un margen dinámico que representa la habilidad que tiene el mismo para recibir señales contenidas entre la mínima potencia de recepción y la máxima potencia antes de que se produzca la saturación del mismo. La potencia captada en recepción se calcula así:

$$P_{RX} = \sum_{ganancias} - \sum_{pérdidas} \quad (1.31)$$

Donde:

P_{RX} = Potencia de recepción (dBm)

$\sum_{pérdidas}$ = $L_p + L_f + L_b + F_m$, donde:

L_p = Pérdida en trayectoria por espacio libre (dB)

L_f = Pérdida en alimentador de guía de onda¹ (dB) entre la red de distribución y su antena respectiva. (Ver TABLA 1.10)

L_b = Pérdida total por acoplamiento (dB) entre la salida de un transmisor o la entrada de un receptor, y su guía de onda de alimentación respectiva.

F_m = Margen de desvanecimiento para determinado objetivo de confiabilidad.

$\sum_{ganancias}$ = $P_t + A_t + A_r$, donde:

P_t = Potencia de salida del transmisor (dBm)

A_t = Ganancia de la antena de transmisión (dB) en relación a un radiador isotrópico. (Ver TABLA 1.11)

A_r = Ganancia de la antena de recepción (dB) en relación a un radiador isotrópico. (Ver TABLA 1.11)

¹ Guía de onda: tipo especial de línea de transmisión que se forma por un tubo metálico conductor, por el cual se propagan ondas electromagnéticas.

La ganancia del sistema es un parámetro que sirve para estimar la confiabilidad del mismo.

Frecuencia (GHz)	Tipo	Pérdidas en alimentador de guía de onda L_f		Pérdidas por ramificación L_b (dB)	
		Pérdida (dB/100m)	Diversidad (frecuencia)	Diversidad (espacial)	
1.8	Cable coaxial lleno de aire	5.4	5	2	
7.4	Guía de onda elíptica EWP 64	4.7	3	2	
8.0	Guía de onda elíptica EWP 69	6.5	3	2	

Tabla 1.10 Pérdidas en alimentador de guía de onda L_f y pérdidas por ramificación L_b .^[1]

Frecuencia (GHz)	Tamaño (m)	Ganancia (dB)
1.8	1.2	25.2
	2.4	31.2
	3.0	33.2
	3.7	34.7
7.4	1.5	38.8
	2.4	43.1
	3.0	44.8
	3.7	46.5
8.0	2.4	43.8
	3.0	45.6
	3.7	47.3
	4.8	49.8

Tabla 1.11 Ganancia en las antenas según su longitud y frecuencia de operación.^[1]

1.3 DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE TRÁFICO A TRANSPORTAR A TRAVÉS DE LOS ENLACES DE COMUNICACIÓN A DISEÑAR

1.3.1 SISTEMA SCADA^{[13][14][15]}

1.3.1.1 Introducción

Los sistemas SCADA¹ forman parte importante de las aplicaciones industriales en la actualidad, ya que permiten adquirir información de una gran cantidad de variables físicas o lógicas producidas remotamente, y las presenta a un operador, ya sea local o remoto en un entorno amigable.

Los sistemas SCADA constituyen el software y el hardware necesarios para poder realizar todo el proceso de recopilación, proceso y transmisión de los datos generados remotamente a través de un sistema de comunicación con altos índices de confiabilidad y disponibilidad.

Dentro de los procesos de generación, transmisión y comercialización de energía eléctrica, es imperativo la inclusión de un sistema SCADA, mediante el cual se tenga acceso a las distintas variables eléctricas y lógicas producidas remotamente en cada una de las subestaciones y centrales de generación, ya que a través de dichas variables se pueden optimizar los procesos de producción, operación y mantenimiento de dichas instalaciones.

1.3.1.2 Características generales del sistema SCADA

1.3.1.2.1 Requisitos de un sistema SCADA

La implementación de un sistema SCADA variará de acuerdo a la aplicación requerida, pero mantendrá ciertos criterios generales que deberán ser manejados por todos los sistemas SCADA, los cuales se mencionan a continuación:

- a) Deberá tener una arquitectura abierta, lo cual conlleva a características de flexibilidad y adaptación satisfactorias para requerimientos futuros de la empresa.
- b) Se debe contar con un interfaz gráfico amigable, desde el cual se pueda observar en tiempo real los procesos que se encuentra realizando la planta remota.
- c) Deben utilizar protocolos de comunicación que permitan trabajar sobre cualquier clase de equipos, tanto a nivel local como remoto.

¹ SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) "Supervisión, Control y Adquisición de Datos".

1.3.1.2.2 *Componentes y flujo de información con el cual trabaja un sistema SCADA*

Un sistema SCADA se estructura con los siguientes elementos:

MTU (*Master Terminal Unit*): unidad que concentra localmente todo el flujo de información que es enviado por una RTU. Es la que ejecuta las acciones de mando de acuerdo a las variables medidas en la estación remota. Se encarga también del almacenamiento y procesamiento de los datos adquiridos.

RTU (*Remote Unit Terminal*): es el dispositivo ubicado en el sitio remoto que envía información al MTU. Cuenta con un microprocesador central e interfaces de entrada y salidas, tanto digitales como analógicas, los cuales toman los datos de los elementos transductores asociados directamente al proceso y los envían a través del sistema de comunicaciones.

HMI (*Human – Machine Interface*): maneja el software con la aplicación visual en base a la cual, el operador de la estación remota puede interactuar con el sistema automatizado.

Sistema de comunicaciones: se encarga de establecer el camino por el cual se transmitirán los datos desde la estación remota hacia la estación local. Se encuentra conformado por transmisores, receptores y el medio de transmisión utilizado.

Transductores: son los dispositivos que convierten las variables físicas medidas en señales eléctricas, las cuales van a ser transmitidas por la red de comunicación.

En la figura 1.32, se puede observar la manera en que viaja la información desde el proceso físico en la estación remota hasta la unidad maestra.

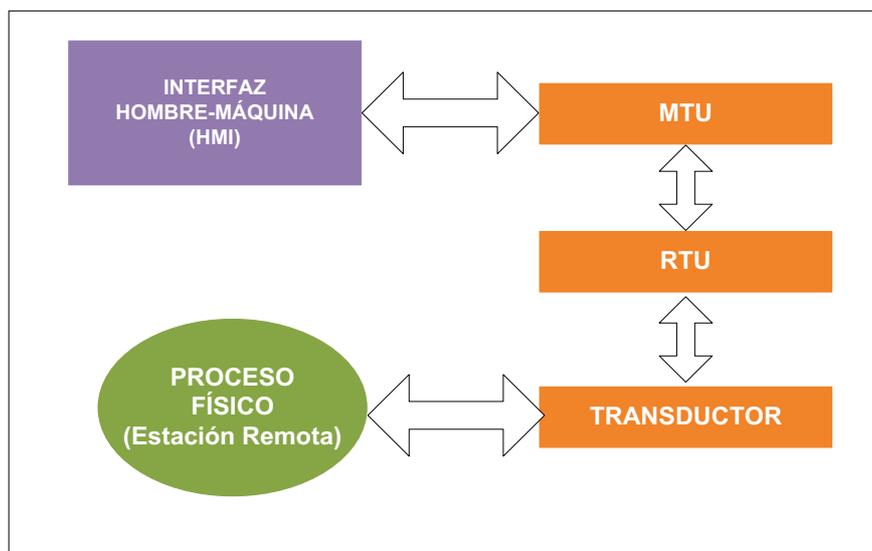


FIG 1.32 Flujo de información en un sistema SCADA.

1.3.1.2.3 Funciones principales de un sistema SCADA

Las funciones principales de un sistema SCADA son las siguientes:

- a) **Monitoreo remoto:** permite conocer los niveles en los que se encuentren las variables medidas en la estación remota para así, evaluar el desempeño de los equipos.
- b) **Control remoto de equipos:** el sistema es capaz de activar o desactivar los equipos o instalaciones en la estación remota de manera automática.
- c) **Procesamiento de datos:** luego de recibir los datos de cada una de las estaciones remotas, el sistema realiza un proceso de validación y aceptación de los mismos de acuerdo a datos históricos almacenados en el sistema.
- d) **Entorno gráfico de visualización:** es la facilidad que brinda el sistema al operador para que, mediante imágenes pueda observar el comportamiento del proceso analizado remotamente, tal y como si estuviera ahí.
- e) **Creación de reportes:** el sistema tiene la facilidad de generar reportes estadísticos de acuerdo a los datos recibidos del proceso remoto.

- f) **Manejo de alarmas:** conjunto de señales que permiten alertar al operador ante comportamientos anormales o fallas en el proceso que está siendo objeto de la medición. Dichas alarmas pueden ser visuales o sonoras.

1.3.1.3 Protocolo de comunicación DNP¹ 3.0^[17]

En la actualidad, el protocolo de comunicación DNP 3.0 es uno de los más difundidos para trabajar sobre prestaciones del Sistema SCADA. Fue propuesto por el IEC (*International Electrotechnical Commission*) “Comisión Internacional de Electrotecnia”.

Es un protocolo abierto, robusto, eficiente y de propiedad pública diseñado principalmente para lograr la comunicación interrelacionada entre los RTU, IED² y las MTU.

La IEEE adoptó el protocolo DNP 3.0 como recomendación para la interconexión específica IED – RTU. Es un estándar concebido en base a la arquitectura de capas; originalmente contenía tres capas, pero se ha agregado una cuarta capa que permite la fragmentación del mensaje.

El protocolo DNP 3.0 es usado por el CENACE³ en recepción para acoger los datos enviados por cada una de las empresas generadoras y comercializadoras de energía eléctrica en todo el país, y por ende de EMELNORTE.

1.3.2 REDES IP^[11] [18]

1.3.2.1 Introducción

Las redes IP son aquellas que se basan en el protocolo TCP/IP⁴ para su funcionamiento. La transmisión se da a través de paquetes llamados datagramas.

Su modelo referencial es el TCP/IP que consiste en cuatro capas: Aplicación, Transporte, Internet y Acceso de Red, (Ver FIG. 1.33).

¹ DNP (*Distributed Network Protocol*): Protocolo Distribuido de Red.

² IED (*Intelligent Electronic Device*) Dispositivos Electrónicos Inteligentes.

³ CENACE: Centro Nacional de Control de Energía.

⁴ TCP/IP: Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet.



FIG 1.33 **Modelo de referencia TCP/IP.**

Para la transmisión de datos en el equipo transmisor de los datos, se divide el flujo de bits en unidades de datos en la capa transporte. Luego la capa transporte agrega un encabezado formando un segmento de datos. De la misma manera en la capa Internet se introduce una cabecera IP, originando así el datagrama (paquete IP), el cual es enviado a la capa de acceso de red, desde donde se transmite a través de la red IP hacia el equipo de destino.

En el equipo destino se realiza el proceso contrario. Se desencapsula el paquete IP en la capa Internet, quedando el segmento de datos, para luego desencapsularse éste en la capa transporte para obtener finalmente el datagrama que inicialmente fue transmitido, (Ver FIG. 1.34).

Cada interfaz de host y de ruteador dentro de una red IP tienen asociado una dirección IP única, la cual determina la identificación de red y de host. La dirección IP se incluye en los campos de dirección de origen y de destino del encabezado de los paquetes IP.

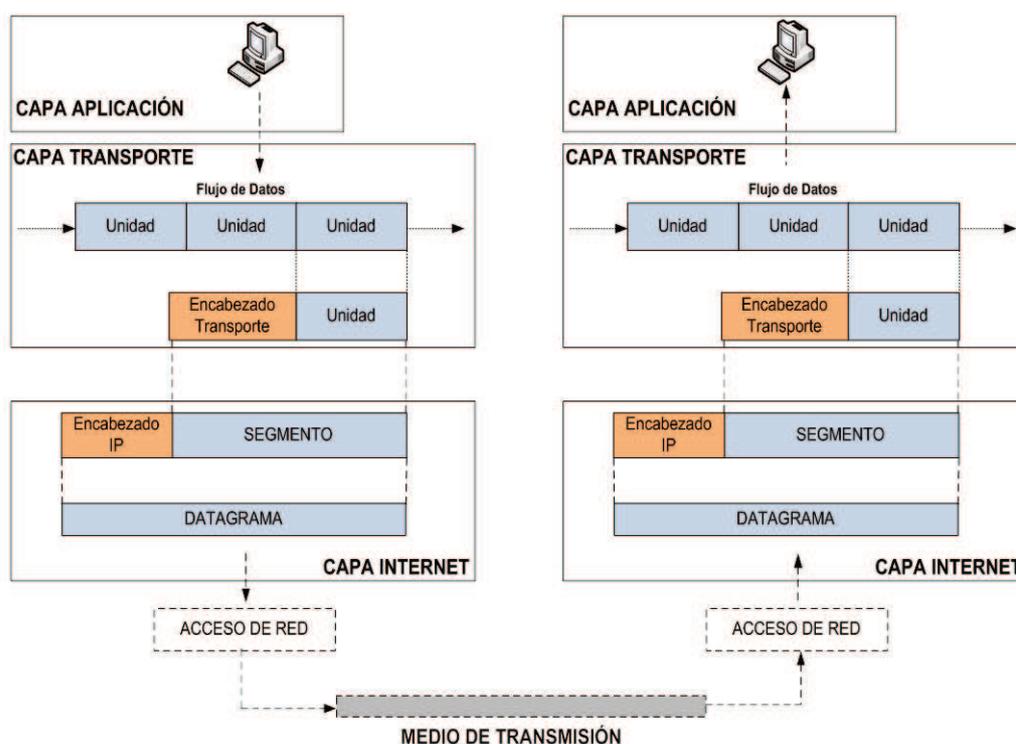


FIG 1.34 Comunicación entre dos equipos a través de una Red IP.

1.3.2.2 Protocolo IP

El datagrama IP se forma de dos campos: cabecera y el campo de datos en sí. Establece un sistema que realiza la transmisión de paquetes desde el origen hacia el destino con las siguientes características:

- No establece una conexión previa a la transmisión de los paquetes.
- Es independiente de los medios físicos a través de los cuales se realiza la transmisión.
- Es un protocolo no confiable, es decir, no se establecen funciones para la recuperación de paquetes perdidos.

1.3.2.3 Características fundamentales del protocolo TCP

Es el protocolo de la capa transporte en el modelo de referencia TCP/IP que brinda una conexión confiable y transmisión de datos bidireccionales entre dos hosts. El protocolo realiza la división del flujo de bits en unidades de datos que tienen como tamaño máximo 64 Kilobytes.

El protocolo TCP se encarga de las funciones de control en la transmisión, determinando los parámetros que introducen la confiabilidad en la transmisión de los datagramas entre dos nodos.

La cabecera TCP introducida en la capa transporte tiene un tamaño fijo de 20 bytes.

1.3.3 VOZ SOBRE REDES IP ^{[11] [16]}

La tecnología de Voz sobre IP (VoIP) tiene que ver con la transmisión de voz a través de paquetes IP. Consiste en la conversión de la señal analógica generada por la voz en información digitalizada, su posterior compresión y finalmente su transmisión a través de paquetes. El proceso se invierte en recepción.

El proceso de conversión de la señal analógica a digital se lo realiza a través de un códec, ya sea en software o en hardware, (Ver FIG. 1.35).

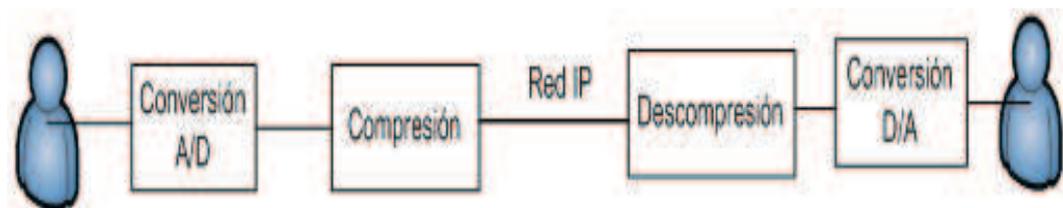


FIG 1.35 Esquema general de transmisión de voz a través de redes IP.

El formato de la trama utilizada para la transmisión de voz sobre IP, a parte de las muestras de voz, cuenta con tres campos de cabecera. El primero es la cabecera IP que cuenta con 20 bytes, luego se ubica la cabecera introducida por el protocolo UDP de 8 bytes, y finalmente se tiene la cabecera de 12 bytes introducida por el protocolo RTP, (Ver FIG 1.36).

IP 20 bytes	UDP 8 bytes	RTP 12 bytes
----------------	----------------	-----------------

FIG 1.36 Cabeceras incluidas en las tramas de VoIP.

1.3.3.1 Protocolos UDP y RTP

El protocolo UDP¹ es un protocolo de la capa transporte del modelo de referencia TCP/IP, no confiable y no orientado a conexión. Es utilizado en su mayoría para aplicaciones que requieren sus propias características de control de flujo y secuenciación.

UDP es ampliamente utilizado para procesos de negociación en la comunicación (solicitud - respuesta), así como también para la transmisión de voz o video.

RTP² es un protocolo cuyas funciones se desarrollan en la capa transporte pero que se encuentra implementado en la capa aplicación.

La función del RTP es multiplexar varios flujos de datos en tiempo real como voz o video, en un solo flujo de paquetes UDP. Para garantizar la entrega correcta de estos paquetes se deben incluir algunas opciones de calidad de servicio sobre la transmisión de los paquetes.

1.3.3.2 Tipos de codificadores para voz

Consiste en realizar conversiones en la forma de la señal de voz digitalizada con la finalidad de obtener una mejor eficiencia en la comunicación, lo que se logra compensando los efectos negativos causados por la presencia de ruido, desvanecimientos o interferencias en el canal de comunicación.

Los algoritmos usados para la compresión de la voz utilizan períodos de silencio, pausas entre palabras y cambios predecibles en la amplitud de las señales de voz, para disminuir ostensiblemente el requerimiento de ancho de banda para la transmisión.

Según el teorema de Nyquist, para que una señal sea recuperada fielmente, la frecuencia de muestreo debe ser al menos igual al doble del ancho de banda de la señal original. En el caso de las señales vocales, se tiene un ancho de banda que se encuentra entre los 20 Hz y los 20

¹ UDP (*User Datagram Protocol*): Protocolo de Datagrama de usuario.

² RTP (*Real Time Protocol*): Protocolo de Tiempo Real.

KHz, pero se sabe que la mayor cantidad de la información de la voz se maneja en el rango comprendido entre los 300 y 3400 Hz.

Se define además la capacidad mínima del canal necesario para transmitir las muestras por la siguiente relación:

$$R = M \cdot f_s \quad (1.32)$$

Donde: R: velocidad binaria

M: número de bits usados para transmitir un símbolo.

f_s : frecuencia de muestreo.

Se concluye del análisis anterior que se puede aumentar la capacidad del canal si es que se utiliza una codificación de canal adecuada. Existen tres tipos de codificadores de voz: codificadores de forma de onda, de modelo de voz e híbridos.

1.3.3.2.1 *Codificadores de forma de onda*

Producen altas velocidades binarias (16 Kbps o más) con buena calidad de voz y menor retardo. Se basan en la reproducción fiel de la forma de la señal de voz en el dominio temporal. Dentro de este tipo de códecs se encuentran los que utilizan los algoritmos PCM (G.711) y ADPCM (G.726).

1.3.3.2.2 *Codificadores de modelo de voz*

Ofrecen bajas tasas binarias (2.4 Kbps a 8 Kbps), pero tienen un alto retardo y baja calidad de la señal digitalizada. Consisten en analizar las tramas de voz para obtener los parámetros que caracterizan la forma la señal de voz generada por el ser humano durante el período de la trama.

Este tipo de codificadores disminuyen en mayor medida el requerimiento de ancho de banda, ya que, eliminan los períodos de silencio, generan ruido de confort y ocultan las tramas de voz perdidas.

1.3.3.2.3 *Codificadores Híbridos*

Relacionan características de los dos codificadores citados anteriormente. Ofrecen una mejor calidad en la conversación que los códecs anteriores.

1.3.3.3 Recomendaciones de mayor uso para codificadores de voz

Los algoritmos más utilizados para la codificación de la señal de voz se describen a continuación.

1.3.3.3.1 *Recomendación G.711*

Maneja como algoritmo de codificación la técnica PCM¹ que proporciona una salida de 64 Kbps. Es el método menos eficiente en cuanto a la optimización de ancho de banda, pero paralelamente es la codificación con la cual se obtiene la mejor calidad de la voz.

Para mejorar la calidad de la señal en esta codificación se emplea la compansión² por Ley A o Ley μ .

1.3.3.3.2 *Recomendación G.726*

Define la codificación ADPCM³. El algoritmo usado para la adaptación del paso de cuantificación aumenta o disminuye el mismo en función de la diferencia de amplitud entre muestras consecutivas de la señal entrante. Este tipo de adaptación del paso de cuantificación permite que la relación señal a ruido se mantenga constante en el rango dinámico de la señal. Se consiguen anchos de banda de 16, 24, 32 y 40 Kbps. Se emplea principalmente para el transporte de voz en redes públicas o privadas.

1.3.3.3.3 *Recomendación G.729*

¹ PCM (*Pulse Code Modulation*): realiza la codificación para la conversión analógica-digital de la señal y la cuantificación de las muestras obtenidas.

² Compansión: denota el par de acciones en transmisión (compresión) y recepción (descompresión).

³ ADPCM (*Adaptative Differential Pulse Code Modulation*): en este tipo de codificación el paso de cuantificación se adapta dinámicamente.

Es conocida como codificación CS-ACELP¹ se usa para aplicaciones de videoconferencia, inalámbricas y voz sobre Frame Relay. Se obtiene un factor de compresión de 8:1, por lo que se tiene a la salida un flujo binario de 8 Kbps.

Como variante a este codificador de voz se tiene el G.729B que reduce el ancho de banda necesario al introducir un factor de compresión más alto.

En resumen, se tiene la TABLA 1.12 que especifica el codificador de voz con la tasa binaria de salida producida.

Vocoder	Codificación	Capacidad de canal (Kbps)	Retardo (ms)
G.711	PCM	64	20 – 30
G.726	ADPCM	16, 32, 24, 16	30
G.729A	CS-ACELP	8	15
GSM ²	RPE - LTP ³	13	20

TABLA 1.12 Tasa binaria de salida y retardo producida por los codificadores de voz.^[16]

1.3.3.4 Calidad de Servicio (QoS)

Es la capacidad que tiene la red para ofrecer el nivel de servicio adecuado a cada tipo de tráfico. Esto es necesario cuando se trata de redes que integran voz, datos y video. Al transmitirse la voz a través de una red IP, se presentan varios inconvenientes como:

- Retardo sufrido por los paquetes.
- Ancho de banda necesario para transmisión de voz.
- El *jitter* causado por la variación del retardo.

¹ CS-ACELP (*Conjugate Structure – Algebraic Code Excited Linear Predictive*)

² GSM (*Global System for Mobile communications*) “Sistema Global para comunicaciones Móviles”: es el sistema estándar más utilizado para la telefonía móvil.

³ RPE – LTP (*Regular Pulse Excitation – Long Term Predictor*): algoritmo de codificación usado en las comunicaciones móviles GSM.

- Pérdidas de paquetes debidas principalmente a la congestión en los ruteadores y al ancho de banda limitado.

La calidad de Servicio permite afrontar estos problemas para garantizar una transmisión efectiva entre dos terminales extremos.

La calidad de la comunicación se la determina también por el retardo de los paquetes desde que se emiten hasta que se reciben, teniendo un umbral de retardo de 150 ms, a partir del cual la conversación comienza a degradarse significativamente.

1.3.4 VIDEO SOBRE REDES IP ^{[11][20]}

En la actualidad, la transmisión de video se realiza digitalmente, ya que ofrece significativas ventajas en cuanto a detección y corrección de errores, interferencias, disminución del impacto del ruido en los canales de comunicación, entre otras ventajas que mejoran el rendimiento del sistema.

Las imágenes pueden ser digitalizadas al muestrear cada punto de la imagen en píxeles, en donde, los datos almacenados son los correspondientes a cada píxel. La calidad de la imagen se refleja en el número de píxeles utilizados para su representación.

El sistema de video sobre IP consiste en la transmisión de imágenes en movimiento (video) a través de redes IP. En un sistema de video IP se realizan múltiples procesos que se ejecutan simultáneamente para posibilitar la transmisión de la información de video, entre éstos se tiene: codificación, transmisión de datos IP, grabación de información de video y decodificación. (FIG. 1.37).

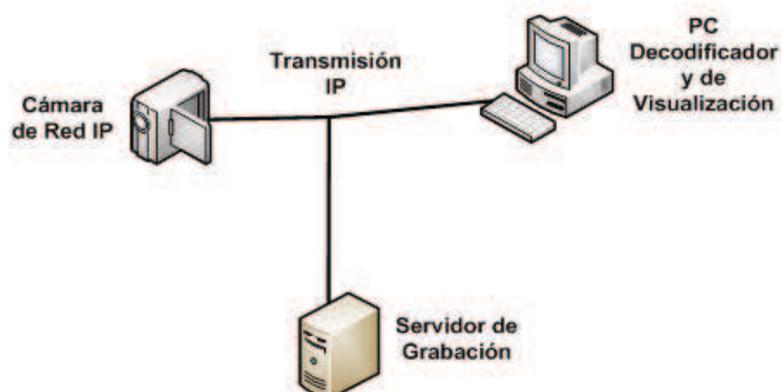


FIG 1.37 Esquema general de un sistema de video sobre IP.

1.3.4.1 Técnicas de compresión de video ^[18] [19]

El ancho de banda que requeriría la transmisión de video digitalizado sería extremadamente grande debido a la cantidad de imágenes por unidad de tiempo que se deben transmitir para tener una aceptable calidad en el video. Debido a esto, se han introducido técnicas de compresión de video.

Las técnicas de compresión de video permiten reducir considerablemente el ancho de banda necesario para la transmisión de información de video. Para ello, utiliza algoritmos de codificación diseñados específicamente para eliminar cierto tipo de información redundante, lo cual, si bien disminuye la calidad del video, lo muestra todavía en parámetros aceptables.

1.3.4.1.1 *Compresión JPEG¹ y Motion - JPEG*

JPEG Es la técnica de compresión de imágenes más utilizada en la actualidad. Está definido en los estándares ISO e IEC 10918.

Consiste en un algoritmo de compresión de imágenes fijas, tanto para color como para escala de grises. Al mostrarse las imágenes de manera secuencial da la impresión de una compresión de video, lo que se conoce como *Motion – JPEG*.

El nivel de compresión puede definirse por el usuario y determina la calidad de la imagen resultante.

Se tienen rangos de compresión desde 1:10 hasta 1:50. Es un algoritmo de compresión con pérdidas, ya que la imagen en recepción no se recupera en su totalidad.

1.3.4.1.2 *Compresión de video MPEG²*

Es un estándar creado por la ISO que permite la compresión de audio y video. La compresión de video se basa en la transmisión de una imagen inicial de referencia, luego de la cual se transmiten imágenes

¹ JPEG (*Joint Photographic Experts Group*): Grupo Unido de Experto en Fotografía.

² MPEG (*Motion Picture Experts Group*): Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento

secundarias que contienen solo los parámetros de variación que contienen éstas con respecto a la imagen de referencia enviada inicialmente. Esta técnica consigue un rango de compresión mayor que va desde 1:50 hasta 1:200.

Existen varios estándares para MPEG, los cuales se describen a continuación:

MPEG-1: es un estándar dirigido a aplicaciones de almacenamiento de video digital en discos compactos (CD). Requieren de un ancho de banda de aproximadamente 1.5 Mbps para una resolución de 352x288 pixeles. Su objetivo es mantener el ancho de banda constante aunque se tenga calidad de imagen variable. Presenta un nivel de calidad de video como la de VHS¹.

MPEG-2: es un estándar creado para aplicaciones de video con calidad alta como: DVD², HDTV³, ISM⁴, DVB⁵ y CATV⁶. Abarca imágenes más grandes y de mejor calidad que abarcan un mayor ancho de banda. Se tienen niveles de compresión que requieren un ancho de banda de 4 a 8 Mbps.

MPEG-4: estándar que muestra características mejoradas para aplicaciones de menor consumo de ancho de banda como en unidades móviles. También soporta aplicaciones que requieren calidad extremadamente alta de video como en la realización de películas.

1.3.4.2 Aplicaciones de video - vigilancia sobre IP ^[21] ^[22]

La video – vigilancia es una aplicación de la transmisión de video sobre IP que utiliza la infraestructura de una red de datos para la transmisión de la información de video basada en paquetes.

¹ VHS (*Video Home System*): Sistema de Video en Casa.

² DVD (*Digital Versatile Disc*): Disco Versátil Digital.

³ HDTV (*High Definition Television*): Televisión de Alta Definición.

⁴ ISM (*Interactive Storage Means*): Medios de Almacenamiento Interactivo.

⁵ DVB (*Digital Video Broadcasting*): Retransmisión de Video Digital.

⁶ CATV (*Community Antenna Television*): Red de Televisión por Cable.

Posee las características inherentes a la tecnología de video IP, tales como: acceso remoto, bajo costo, máxima efectividad, flexibilidad y escalabilidad.

Una cámara IP se encarga de digitalizar, comprimir y transmitir el video captado a través de la red de datos. En esencia, se comporta a la vez, como cámara digital y ordenador. Un sistema de video – vigilancia incluye además una computadora que opera como servidor de video, desde la cual se administran los recursos de procesamiento, memoria y almacenamiento del sistema.

Para la transmisión de información de video se realizan procesos de encapsulamiento en cada una de las capas del modelo TCP/IP en base a los protocolos RTP, UDP e IP (FIG. 1.38).

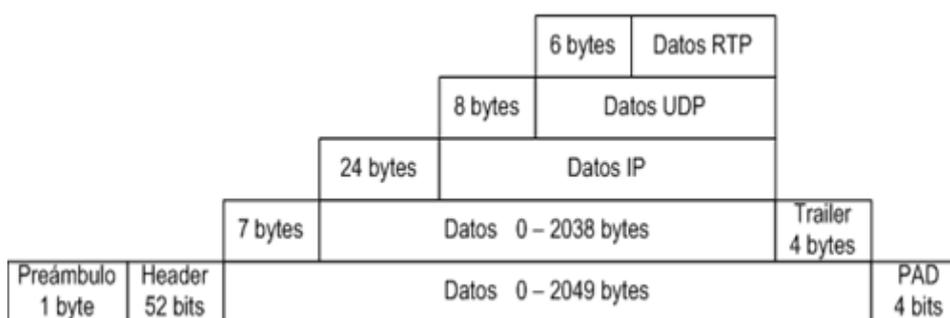


FIG 1.38 Encapsulamiento en el modelo referencial TCP/IP para video - vigilancia.

1.4 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED EMELNORTE

1.4.1 INTRODUCCIÓN ^[9]

La Empresa Eléctrica Regional Norte “EMELNORTE” es la empresa líder en la generación y comercialización de energía eléctrica en la zona norte del país. Fue constituida el 25 de noviembre de 1975 mediante escritura pública concedida en la ciudad de Ibarra para desarrollar actividades en las provincias de Imbabura, Carchi y los cantones Pedro Moncayo y Cayambe de la provincia de Pichincha.

1.4.1.1 Misión y Visión¹

EMELNORTE tiene como misión generar, distribuir y comercializar energía eléctrica bajo estándares de calidad para satisfacer las necesidades de sus clientes, con servicios de excelencia, personal calificado y comprometido, contribuyendo al desarrollo del norte del país. EMELNORTE tiene como visión de futuro ser una empresa competitiva, técnica, moderna, modelo y referente del sector eléctrico; por la calidad de sus productos y servicios, gestión transparente y por su efectiva contribución al desarrollo del país.

1.4.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED ACTUAL DE COMUNICACIONES DE EMELNORTE ^[10]

Previo a la descripción de equipos e infraestructura de comunicaciones que posee EMELNORTE, se presenta un esquema global (Ver FIG 1.39) con las ubicaciones referenciales de las subestaciones y centrales de generación de la empresa, repartidos en las provincias de Carchi, Imbabura y Pichincha; para así, visualizar la disposición geográfica de dichas dependencias.

EMELNORTE cuenta con su oficina matriz en el centro de la ciudad de Ibarra, en las calles Borrero 8-73 y Chica Narváez. Además, se conforma por catorce puntos de recaudación situados en la matriz y en las agencias de: Tulcán, San Gabriel, Bolívar, El Ángel, Mira, Pimampiro, Urcuquí, Ibarra (sur), Atuntaqui, Cotacachi, Otavalo, Cayambe y Tabacundo.

La empresa posee cuatro centrales de generación dentro de su área de concesión. En Ibarra se tiene la central hidroeléctrica El Ambi; mientras que en la ciudad de Tulcán se tienen las centrales hidroeléctricas San Miguel de Car y La Playa, y la central térmica San Francisco.

Dentro del área de servicio, la empresa tiene en funcionamiento catorce subestaciones que son: El Rosal, Tulcán, San Gabriel, El Ángel, El Chota, Alpachaca, El Retorno, San Agustín, Atuntaqui, Cotacachi, Otavalo, San Vicente, Tabacundo y Cayambe.

Adicionalmente, la empresa cuenta con múltiples puntos de cobro¹, de los cuales se destacan en la ciudad de Ibarra: Banco del Pacífico (edificio matriz

¹ EMELNORTE, Departamento de Planificación. Plan Estratégico 2009 – 2014.

y en La Plaza Shopping Center) y en la Cooperativa San Antonio de Ibarra, en el Banco del Pacífico de la ciudad de Otavalo y en el Banco del Pacífico de la ciudad de Cayambe.

Finalmente, la empresa cuenta con el Despacho de Carga ubicado en la ciudad de Ibarra y con tres bodegas ubicadas en las ciudades de Ibarra, Tulcán y Otavalo. Cabe señalar que en las instalaciones del Despacho de Carga se encuentran también ubicadas la Dirección de Generación, el Departamento de Subestaciones y la Bodega General de la ciudad de Ibarra.

1.4.2.1 Red WAN de EMELNORTE

EMELNORTE posee actualmente una red WAN que permite interconectar la matriz con las agencias ubicadas en toda su zona de operación. La red WAN consiste en enlaces independientes desde cada una de las agencias hacia la matriz a través de la Red Metropolitana de Andinados, ahora CNT (Corporación Nacional de Telecomunicaciones).

Las configuraciones utilizadas en cada punto de interconexión con las agencias se describen en los puntos siguientes.

1.4.2.1.1 Configuración General para las agencias

Las agencias Tulcán, San Gabriel, Bolívar, El Ángel, Mira, Pimampiro, Urcuquí, Atuntaqui, Cotacachi, Otavalo, Cayambe y Tabacundo se interconectan con la matriz en Ibarra en base a la configuración de la FIG 1.40.

¹ Los puntos de cobro se limitan exclusivamente a las tareas de recaudación y no a tareas administrativas adicionales como es el caso de las Agencias.

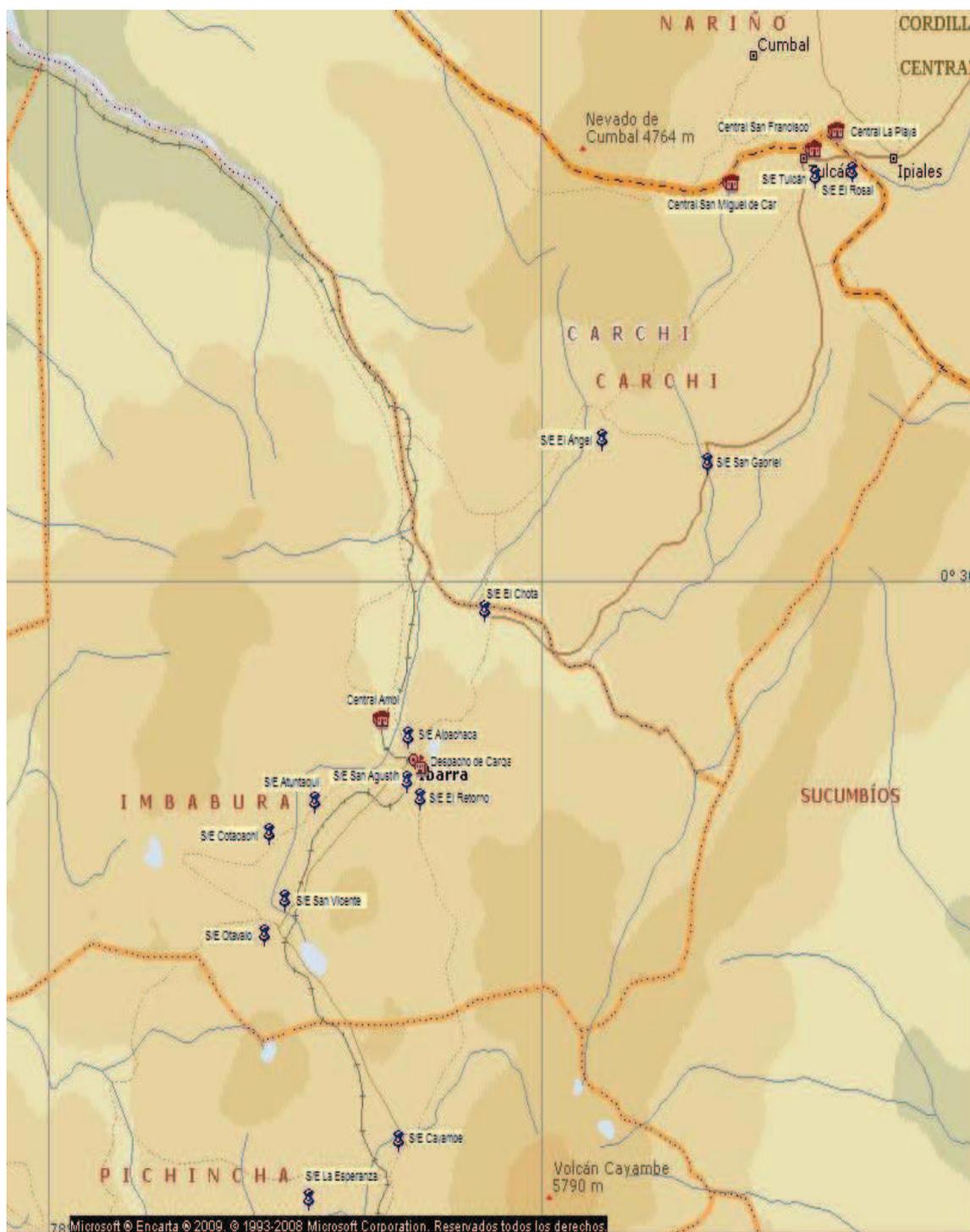


FIG 1.39 Ubicaciones referenciales de las subestaciones y centrales de generación de EMELNORTE

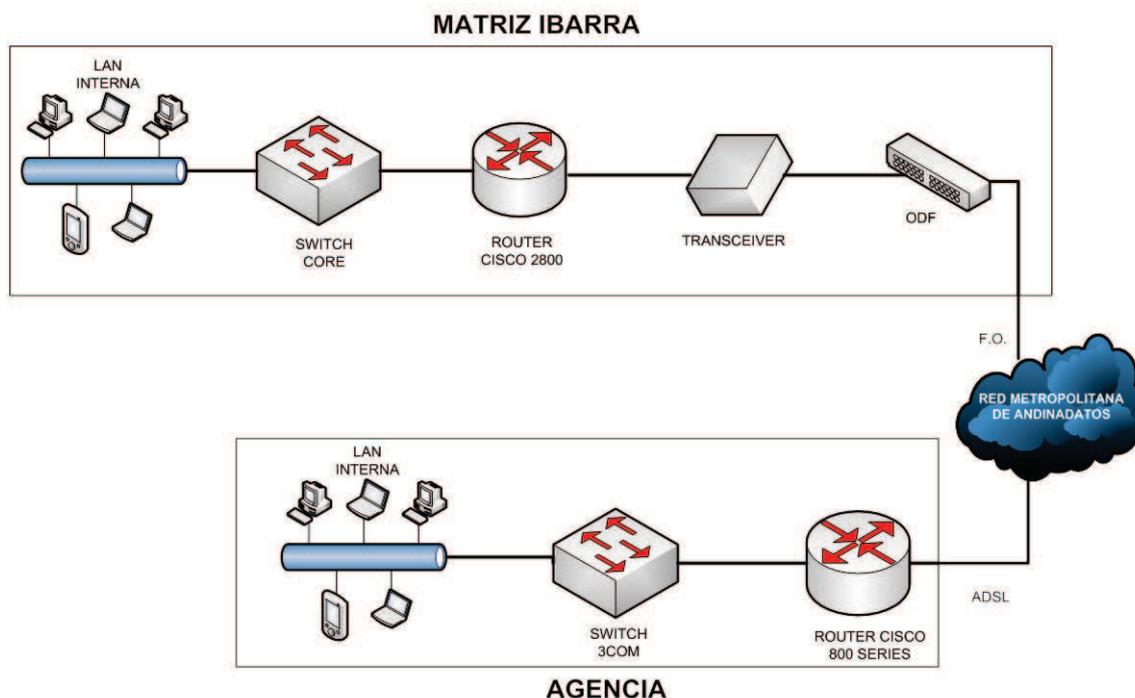


FIG 1.40 Diagrama lógico de la configuración de comunicación para las agencias.

En el sitio remoto (agencia), la red LAN interna se conmuta por medio de un *Switch* 3COM, luego de lo cual se conecta a un Ruteador Cisco 800. Utilizando el puerto G.SHDSL¹ del ruteador se conecta a la red de Andinadatos a través de una línea ADSL².

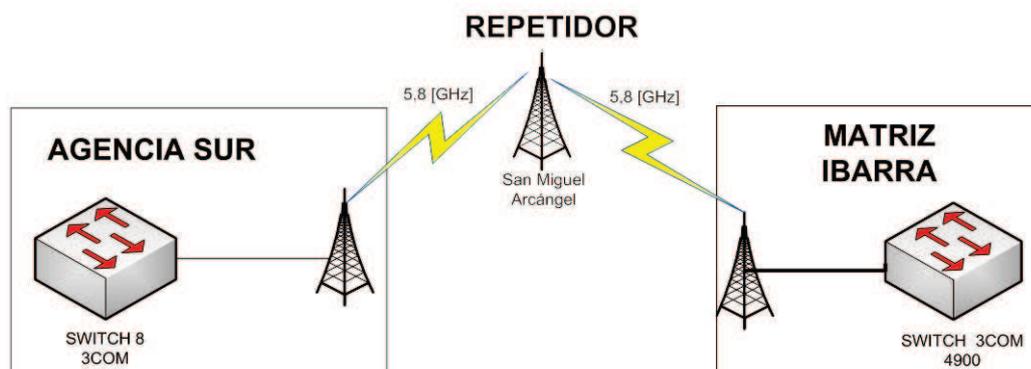
Para llegar al edificio matriz, Andinadatos envía los datos procesados internamente a través de una conexión de última milla utilizando fibra óptica. La fibra llega a un ODF³, luego del cual se conecta a un *transceiver*, desde donde se envían los datos a un Ruteador Cisco 2800 y luego a un *Switch Core*, desde el cual se envían los datos a la red LAN interna de la matriz.

Para la interconexión de la Agencia Sur con la matriz Ibarra se utiliza un enlace inalámbrico que utiliza una estación repetidora situada en la loma de Guayabillas en el sector de San Miguel Arcángel, (Ver FIG. 1.41).

¹ G.SHDSL: estándar de la UIT, el cual ofrece anchos de banda simétricos comprendidos entre 192 Kbps y 2.3 Mbps. Ofrece mayores distancias en comparación a otros estándares DSL, y es altamente compatible con los mismos.

² ADSL (Línea de suscriptor digital asimétrica): consiste en una transmisión de datos digitales sobre el par de cobre que utiliza la telefonía convencional con un alcance máximo de 5,5 km medidos desde la central telefónica. Se denomina asimétrica debido a que la transmisión de datos de subida y de bajada no coinciden.

³ ODF (Distribuidor de Fibra Óptica): es el elemento que sirve para distribuir cada una de las fibras tanto en transmisión como en recepción.



FI

G 1.41 Diagrama lógico de comunicación para la agencia Sur.

Las agencias Otavalo y Cayambe tienen conexión con las subestaciones Otavalo y Cayambe respectivamente; desde la subestación Otavalo se mantiene un enlace inalámbrico (Ver FIG 1.42), mientras que desde la subestación Cayambe se tiene un enlace en fibra óptica, (Ver FIG 1.43).

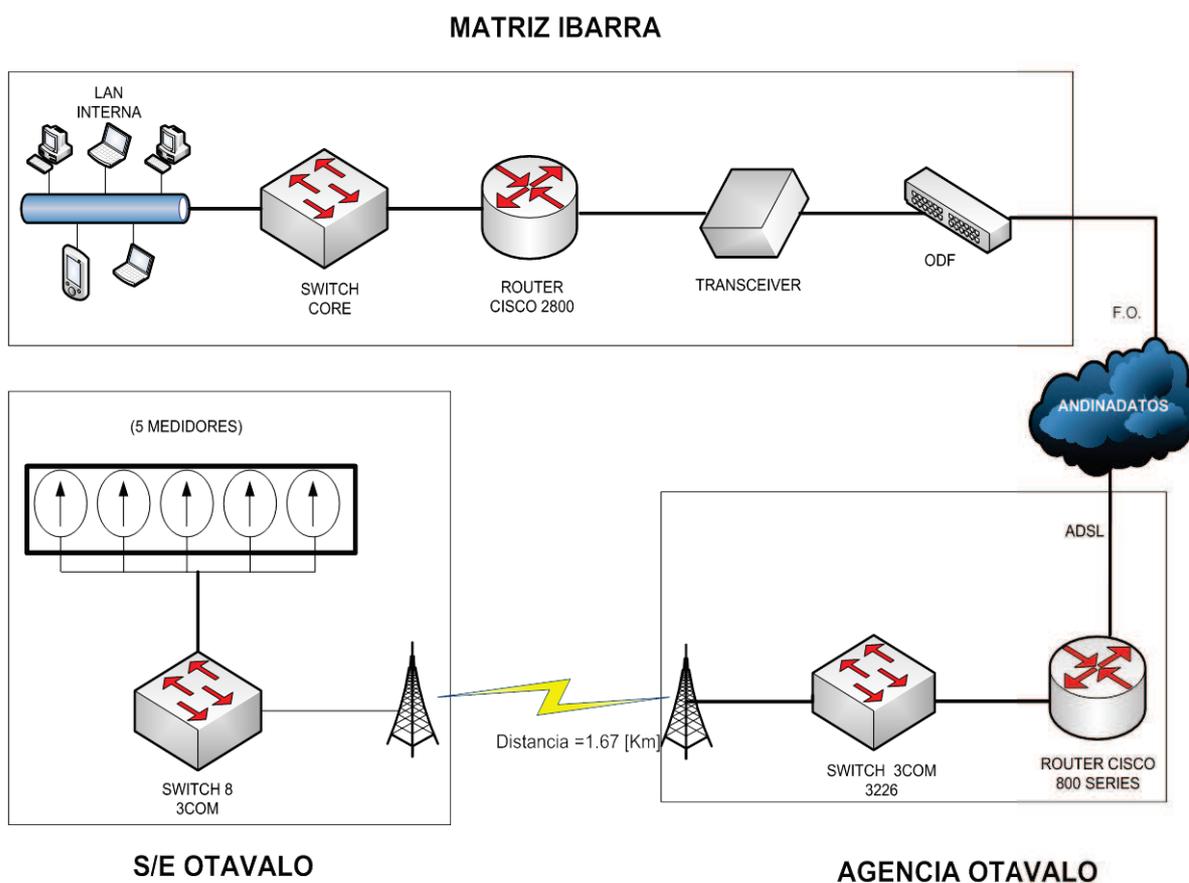


FIG 1.42 Diagrama lógico de comunicación para la agencia Otavalo.

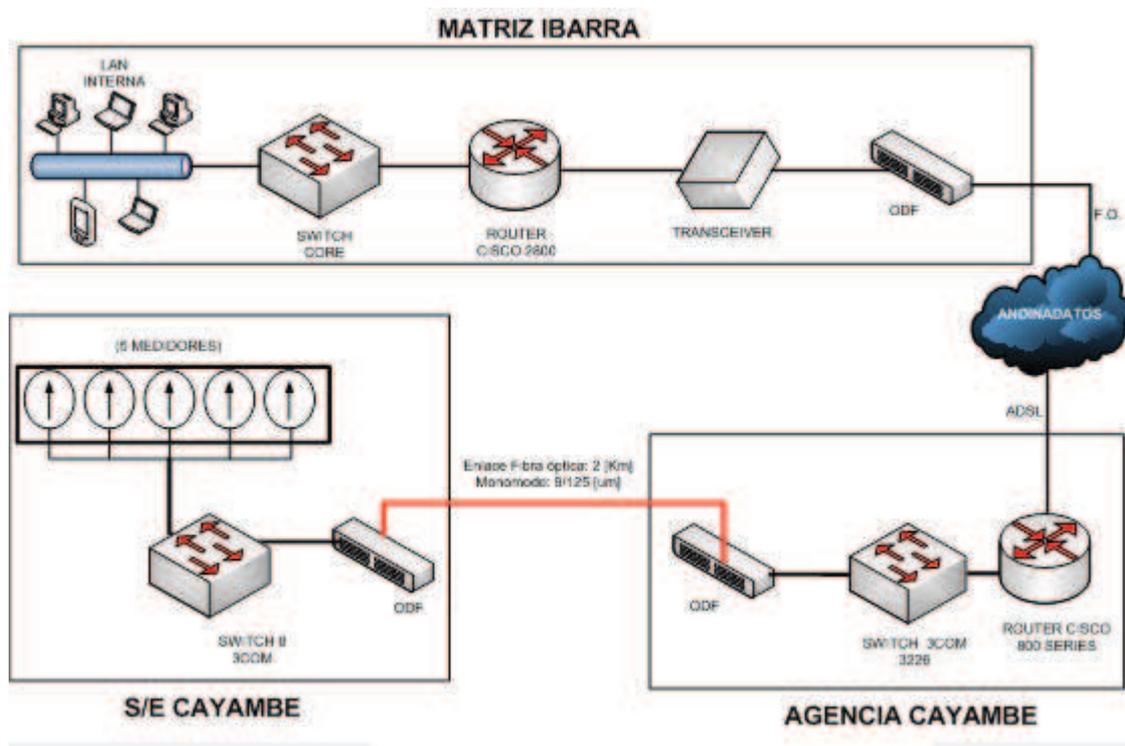


FIG 1.43 Diagrama lógico de comunicación para la agencia Cayambe.

El detalle de los equipos de interconectividad LAN y WAN se muestra en la TABLA 1.13.

1.4.2.1.2 Descripción de los equipos de la Red WAN

a) Router Cisco Serie 2800

El *router* Cisco de la serie 2800 (Ver FIG. 1.44) es ideal para pequeñas y medianas empresas. Presenta las siguientes características: velocidad de ejecución sobresaliente para servicios de seguridad, transmisión de información de voz y servicios avanzados para múltiples tipos de enlaces WAN, flexibilidad a partir de la posibilidad de inclusión de nuevos módulos, soporte de PoE¹ y características avanzadas para cifrado y autenticación.

Cuenta con dos puertos Ethernet para velocidades de 10, 100 o 1000 Mbps integrados. Posee un sistema operativo amigable para funciones de configuración y administración.

¹ PoE (*Power over Ethernet*): alimentación eléctrica a través del cable Ethernet de cobre.

Localidad	Equipo	Marca	Modelo	Puertos
Agencia Tulcán	Switch	3COM	3226	24 FastEthernet 2 GigabitEthernet
	Router	Cisco	800 Series	4 LAN 2 WAN (ISDN ¹ , G.SHDSL)
Agencia San Gabriel	Switch	3COM	2226 Plus Baseline	24 FastEthernet 2 GigabitEthernet
	Router	Cisco	800 Series	4 LAN 2 WAN (ISDN, G.SHDSL)
Agencia Bolívar	Switch	3COM	3226	24 FastEthernet 2 GigabitEthernet
	Router	Cisco	800 Series	4 LAN 2 WAN (ISDN, G.SHDSL)
Agencia El Ángel	Switch	3COM	3226	24 FastEthernet 2 GigabitEthernet
	Router	Cisco	800 Series	4 LAN 2 WAN (ISDN, G.SHDSL)
Agencia Mira	Switch	3COM	3226	24 FastEthernet 2 GigabitEthernet
	Router	Cisco	800 Series	4 LAN 2 WAN (ISDN, G.SHDSL)
Agencia Pimampiro	Switch	3COM	Switch 9 Office Connect Managed	8 FastEthernet 1 GigabitEthernet
	Router	Cisco	800 Series	4 LAN 2 WAN (ISDN, G.SHDSL)
Agencia Urcuquí	Switch	3COM	3226	24 FastEthernet 2 GigabitEthernet
	Router	Cisco	800 Series	4 LAN 2 WAN (ISDN, G.SHDSL)
Agencia	Switch	3COM	Switch 8	8 FastEthernet

¹ ISDN (Red digital de servicios integrados): protocolo que ofrecen las compañías de servicio telefónico para que a través de la misma se transmita datos, voz y otras fuentes de tráfico.

Atuntaqui	Router	Cisco	800 Series	4 LAN 2 WAN (ISDN, G.SHDSL)
Agencia Cotacachi	Switch	3COM	3226	24 FastEthernet 2 GigabitEthernet
	Router	Cisco	800 Series	4 LAN 2 WAN (ISDN, G.SHDSL)
Agencia Otavalo	Switch	3COM	3226	24 FastEthernet 2 GigabitEthernet
	Router	Cisco	800 Series	4 LAN 2 WAN (ISDN, G.SHDSL)
Subestación Otavalo	Switch	3COM	Switch 8	8 Fast Ethernet
Agencia Tabacundo	Switch	3COM	3226	24 FastEthernet 2 GigabitEthernet
	Router	Cisco	800 Series	4 LAN 2 WAN (ISDN, G.SHDSL)
Agencia Cayambe	Switch	3COM	3226	24 FastEthernet 2 GigabitEthernet
	Router	Cisco	800 Series	2 LAN 2 WAN (ISDN, G.SHDSL)
Subestación Cayambe	Switch	3COM	Switch 8	8 FastEthernet
Agencia Sur	Switch	3COM	Switch 8	8 Fast Ethernet
Matriz	Switch	3COM	4900	12 FastEthernet 12 GigabitEthernet
	Router	Cisco	2800 Series	2 FastEthernet 4 WAN

Tabla 1.13 Equipos de comunicación para las agencias de Emelnorte.



FIG 1.44 **Router Cisco Serie 2800 (vista posterior).**¹**b) Router Cisco Serie 800**

Los ruteadores de la serie 800 de Cisco (Ver FIG. 1.45) presentan las siguientes características: soporte para redes inalámbricas, protección *firewall*², configuración y administración sencillas y capacidad de inclusión de nuevas características.

Son ideales para empresas pequeñas y medianas. Poseen 4 puertos Fast Ethernet y 2 puertos para enlaces WAN (ISDN y G.SHDSL). Además, manejan características para brindar alta confiabilidad, ya que permiten dar prioridad al tráfico manejado por la red.

FIG 1.45 **Router Cisco Serie 800 (vista frontal).**³**c) Switch 3 COM 4900**

Proporciona una conmutación Gigabit de alto rendimiento. Posee sistema de comunicación redundante, capacidad de adición de enlaces, siendo así, ideal para aplicaciones que manejen tráfico con alto nivel de prioridad. Soporta IEEE 802.1p⁴ y clasificación multicapa de paquetes para el manejo de las aplicaciones críticas.

Este *switch* (Ver FIG. 1.46) es ideal para redes pequeñas y medianas con requerimientos crecientes de ancho de banda. Posee 12 puertos, y está disponible en dos configuraciones, para soportar cableado de fibra óptica multimodo o cableado UTP categoría 5E. Además tiene la capacidad de combinar medios

¹ www.trueconnect.co.th/Products.aspx?CatID=12

² *Firewall*: hardware o software utilizado para el control de acceso a las comunicaciones en una red de computadoras

³ www.mercadolibre.com.cl/MLC-21178080-liquido-router-cisco-series-800-modelo-877-nuevo-85-likas-JM

⁴ IEEE 802.1p: Estándar que proporciona manejo de prioridades según el tipo de tráfico requerido.

Gigabit por fibra y por cable UTP mediante módulos de conmutación opcionales.



FIG 1.46 **Switch 3 COM 4900.**¹

d) **Switch 3 COM 8**

Switch ideal para pequeñas oficinas que necesitan un alto rendimiento de red para altos niveles de tráfico (Ver FIG.1.47).

Posee ocho puertos de 10 y 100 Mbps con autosensado de velocidad y elevados requisitos de ancho de banda.



FIG 1.47 **Switch 3COM 8.**²

e) **Switch 3 COM 3226**

Es un *switch* (Ver FIG. 1.48) de capa tres que tiene 24 puertos 10BASE-T/100BASE-TX y 2 puertos 10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T o en fibra 1000BASE-SX o 1000BASE-LX.

Dentro de las funcionalidades de conmutación en capa dos posee lo siguiente: velocidad completa sin bloqueo en todos los puertos Ethernet, auto negociación *full dúplex* y *half dúplex*, control de flujo, soporte para IEEE 802.1q³, IEEE 802.1p y filtrado *multicast* de capa dos.

¹ http://www.ciao.es/3Com_SuperStack_3_Switch_4900_SX_12__638410

² http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-23584443-switch-3com-8-puertos-10100-_JM

³ 802.1q: Protocolo de soporte a *Spanning Tree*. Permite compartir el mismo medio físico a múltiples redes sin provocar interferencia.

En capa tres, soporta enrutamiento estático y dinámico. Soporta el protocolo RIP¹ para rutas dinámicas lo que facilita la administración en el caso de posibles cambios de topología.



FIG 1.48 **Switch 3 COM 3226 (vista posterior).**

f) **Switch 3 COM 9 Office Connect Managed**

Es ideal para empresas pequeñas y entornos de oficinas. Posee ocho puertos 10/100 Fast Ethernet y un puerto Gigabit para enlaces de cobre (Ver FIG. 1.49). Maneja prioridades de tráfico a través de IEEE 802.1p y servidor RADIUS para autenticación. Soporta alimentación a través de la conexión Ethernet (PoE), compatible con IEEE 802.3af. Tiene la capacidad de administración remota.



FIG 1.49 **Router 3COM Office Connect Managed.**²

g) **Switch 3 COM 2226 Plus Baseline**

Utilizado para empresas pequeñas y medianas, posee las siguientes características: compatible con IEEE 802.3af (PoE), maneja calidad de servicio (QoS) posibilitando la priorización del tráfico a través del protocolo IEEE 802.1p.

Posee 24 puertos Fast Ethernet y 2 puertos Gigabit Ethernet que pueden utilizar como medio de transmisión cable de cobre o fibra multimodo (1000BASE-SX o 1000BASE-LX). Soporta además enlaces troncales (Ver FIG. 1.50).

¹ RIP (*Routing Information Protocol*): Protocolo de enrutamiento de información. Es un protocolo utilizado por los *routers* para intercambiar la información en redes IP.

² <http://www.ciao.es/sr/q-connect>



FIG 1.50 **Switch 3 COM 2226 Plus Baseline.**¹

1.4.2.2 Configuración de comunicaciones para la interconexión en la ciudad de Ibarra

Para la interconexión de las dependencias de la empresa en la ciudad de Ibarra, se cuenta con enlaces inalámbricos y de fibra óptica. El diagrama lógico para las comunicaciones se indica en la FIG 1.51.

La red permite interconectar las subestaciones de San Agustín y El Retorno, la Agencia Sur, el Despacho de Carga, la Bodega, la Dirección de Generación y la Dirección de Subestaciones.

Para los enlaces inalámbricos, las antenas operan en la frecuencia de 5.8 GHz, y los datos se transmiten utilizando modulación OFDM².

Para los enlaces de la agencia Sur y de la subestación San Agustín con la matriz, se utiliza un salto intermedio empleando una antena ubicada en el cerro del Mirador de San Miguel Arcángel.

La Matriz se interconecta con la Bodega General mediante un enlace inalámbrico con línea de vista. De la misma manera desde la bodega se enlazan el Despacho de Carga y la Dirección de Subestaciones.

¹ <http://www.mundodigital.info/picts/l234077.jpg&imgrefurl>

² OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*): consiste en enviar un conjunto de portadoras de frecuencias distintas, donde cada una de las portadoras transporta información la que es modulada en QAM (Modulación por Amplitud en Cuadratura) o PSK (Modulación por desplazamiento de fase).

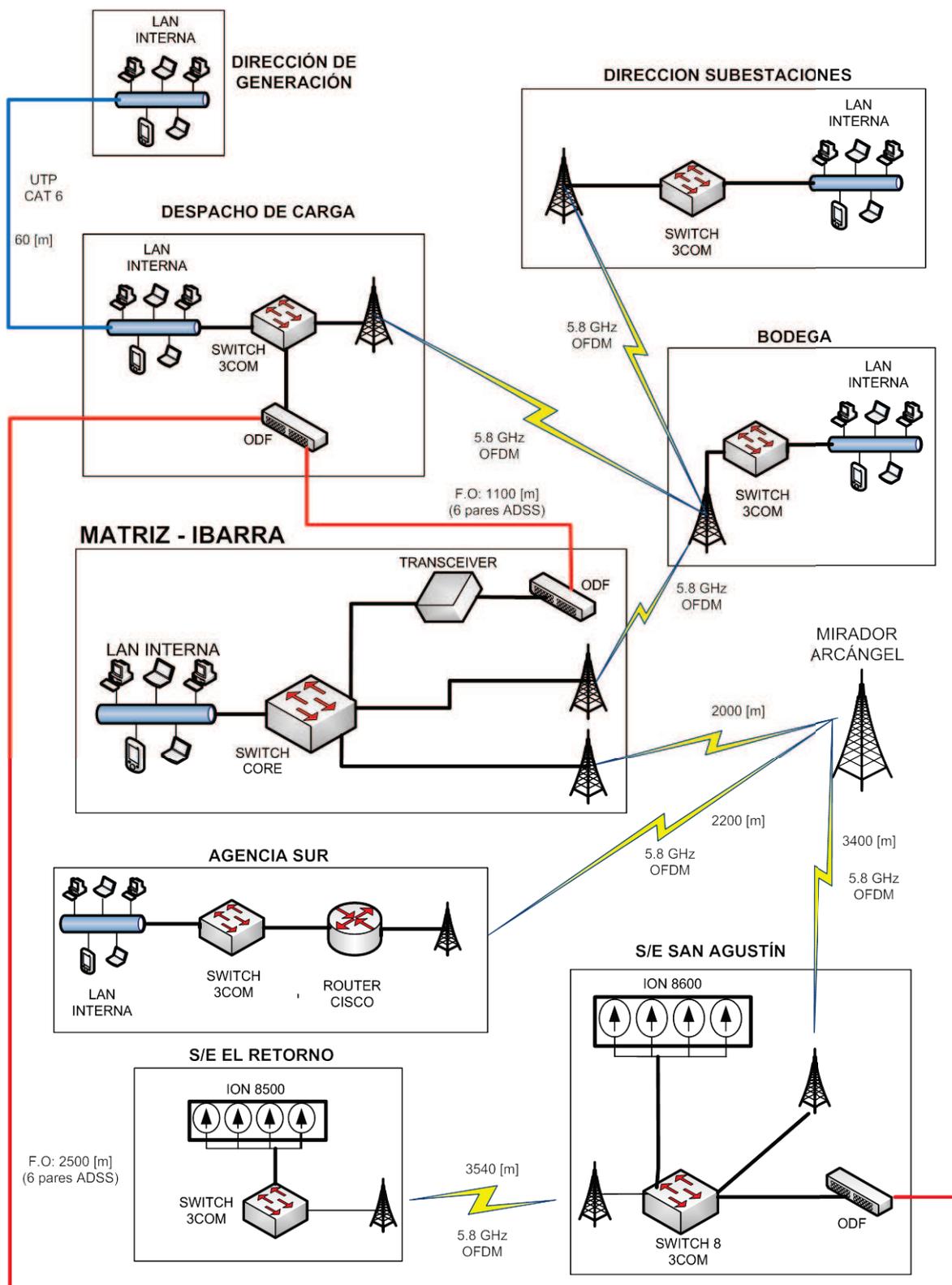


FIG 1.51 Diagrama lógico de la red de comunicaciones para la ciudad de Ibarra.

Para la interconexión con la Dirección de Generación se tiene un tendido de cable UTP¹ categoría 6 desde el Despacho de Carga.

¹ UTP (*Unshielded Twisted Pair*): par trenzado no apantallado, tipo de medio alámbrico utilizado para comunicaciones. Está estandarizado por la norma TIA/EIA – 568 – B.

El detalle de los equipos de comunicaciones que se emplean en las distintas dependencias enlazadas en la ciudad de Ibarra se indica en la TABLA 1.14.

Localidad	Equipo	Marca	Modelo
Subestación El Retorno	Medidor	ION	8600
	Switch	3COM	Switch 8
Subestación San Agustín	Medidor	ION	8600
	Switch	3COM	Switch 8
Agencia Sur	Switch	3 COM	Switch 9 Office Connect Managed
	Router	Cisco	800 Series
Bodega General	Switch	3COM	Switch 9 Office Connect Managed
Despacho de Carga	Switch	3COM	Switch 8
Dirección de Generación	Switch	3COM	Switch 9 Office Connect Managed
Dirección de Subestaciones	Switch	3 COM	Switch 9 Office Connect Managed

Tabla 1.14 **Equipos de comunicación para la red de comunicación metropolitana para la ciudad de Ibarra.**

1.4.2.2.1 *Descripción de los equipos utilizados para la red que interconecta la ciudad de Ibarra*

En la descripción de los equipos utilizados para la red WAN de EMELNORTE se describió el *router* Cisco de la serie 800 y los *switch* 3COM 8 y 9 Office Connect Managed.

En las subestaciones San Agustín y El Retorno se utiliza el medidor ION Enterprise 8600 (Ver FIG.1.52) para la medición, lectura, tratamiento y almacenamiento de la información de las variables eléctricas.

Para el almacenamiento de datos históricos y eventos se utiliza una base de datos SQL¹. Para la transmisión de datos se soporta TCP y Modbus¹ RTU.

¹ SQL (*Structurate Query Language*): Lenguaje de consulta estructurado, es un lenguaje que permite el acceso a bases de datos relacionales que permiten especificar diversos tipos de operaciones sobre las mismas.

Posee como interfaces de comunicación a RS-232 y RS-485. Además tiene la opción de incluir un puerto 10BASE-T.



FIG 1.52 Medidor ION Enterprise 8600 ubicado en la S/E San Agustín.

1.4.2.3 Configuración para la comunicación con las centrales de Generación vía Internet

Las centrales de generación de EMELNORTE poseen una configuración de comunicaciones que les permite levantar los datos obtenidos por los medidores digitales ION al Internet y de algunos dispositivos encargados de tomar datos de variables físicas, tales como: temperatura, estado de válvulas, alarmas, entre otras. Esto será analizado de manera detallada en el capítulo 2.

Principalmente, los datos son registrados por el CENACE, el Departamento de Centrales de Generación en el Despacho de Carga y por el Departamento de Sistemas ubicado en la matriz en la ciudad de Ibarra.

En las centrales de generación hidroeléctrica La Playa, San Miguel de Car y la central térmica San Francisco existe un solo medidor ION; mientras que en la Central Ambi existen dos medidores ION.

Las centrales de generación de la empresa levantan los datos adquiridos por sus medidores en base a la configuración presentada en la FIG 1.53.

¹ Modbus: es un protocolo de comunicaciones manejado por los PLCs (Controlador Lógico Programable) definido para el uso de conexiones por cable.

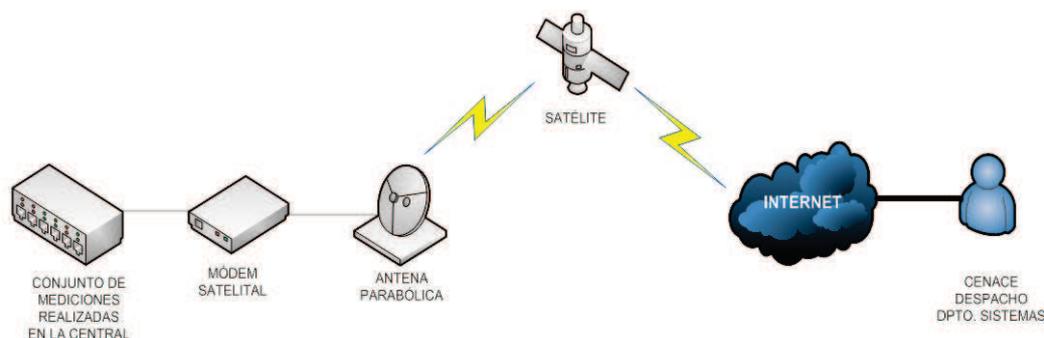


FIG 1.53 Configuración de las comunicaciones en las centrales de generación (San Francisco, San Miguel de Car y La Playa).

El detalle de los equipos se indica en la TABLA 1.15.

Central	Equipo	Marca	Modelo/características
El Ambi	Medidor 1	ION	7650
	Medidor 2	ION	7650
	Módem	Nera	Satlink 1000
	Switch	D-Link	10/100 FastEthernet
La Playa	Medidor	ION	7650
	Módem	Nera	Satlink 1000
San Miguel de Car	Medidor	ION	7650
	Módem	Nera	Satlink 1000
San Francisco	Medidor	ION	7650
	Módem	STM	Satlink 1000

Tabla 1.15 Equipos de comunicación en las centrales de generación de Emelnorte.

1.4.2.3.1 Descripción de los equipos de la Red que interconectan las centrales de generación a través del Internet

Para los enlaces de comunicación de las centrales de generación con la matriz se utilizan los siguientes equipos:

a) Módem Nera Satlink 1000

Es un módem satelital que soporta aplicaciones sobre redes IP y es ideal para pequeñas y medianas empresas, (Ver FIG. 1.54). Tiene soporte para manejar calidad de servicio (QoS) y prioridad de tráfico.

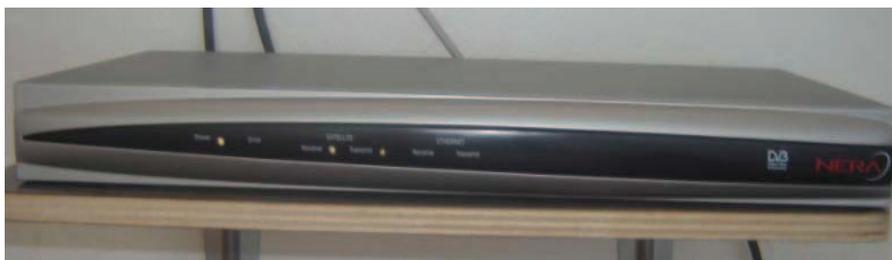


FIG. 1.54 **Módem Satelital Nera 1000** ubicado en la central **San Miguel de Car.**

Ofrece velocidades efectivas de subida de 12 Mbps en paquetes IP de 1500 bytes. Cuenta con un puerto serial RS-232 y un puerto Fast Ethernet 10/100 Mbps.

Para recepción maneja DVB-S2¹ con modulaciones en QPSK, 8 PSK y 16 APSK². Opera en el rango de frecuencias comprendido entre los 950 y 2150 MHz. En transmisión opera sobre DVB - RCS³ con modulación QPSK. Trabaja en el rango de frecuencias comprendidas entre los 950 y los 1450 MHz.

Además, en las centrales de generación se utiliza el medidor ION Enterprise 7650 (Ver FIG. 1.55), los cuales presentan características y funcionalidades similares al ION Enterprise 8600 descrito anteriormente.



FIG. 1.55 **Medidor ION Enterprise 7650** ubicado en la **Central San Francisco.**

1.4.3 DESCRIPCIÓN DEL TRÁFICO ACTUAL DE DATOS ^{[10] [11]}

1.4.3.1 Descripción de las aplicaciones que utilizan las agencias de EMELNORTE

¹ DVB-S2 (*Digital Video Broadcasting- Satélite* versión 2): Difusión de video digital. Estándar diseñado para servicios interactivos, de difusión y de televisión digital a través de enlaces satelitales.

² APSK (Amplitude and Phase Shift Keying): Modulación por desplazamiento de amplitud y fase. Permite combinar al mismo tiempo la modulación de amplitud (ASK) y de fase (PSK) y sitúa sus símbolos sobre circunferencias concéntricas en el plano IQ.

³ DVB-RCS (*Digital Video Broadcasting – Revision Control System*): Difusión de video digital que incluye un Sistema de control de revisiones que permite la interacción entre distintas versiones del estándar.

De acuerdo a las aplicaciones, las agencias trabajan sobre varios protocolos, los cuales permitirán la transmisión de los datos requeridos hacia la matriz a través de la Red Metropolitana de Andinadatos.

Las aplicaciones usadas por la empresa y los protocolos que emplean dichas aplicaciones, son detalladas en la TABLA 1.16.

Aplicaciones	Protocolos
Correo	POP3 SMTP
Administración	SNMP
Sistema Interno	ICA
Web	HTTP
Modo carácter	Telnet

Tabla 1.16 **Aplicaciones usadas por las agencias de EMELNORTE.**

1.4.3.1.1 *Correo Electrónico*

A través de esta aplicación se realiza la transmisión de mensajes de correo electrónico a través de la red de comunicación. Para el efecto se trabaja sobre los protocolos SMTP y POP3 para el proceso de transferencia de los mensajes y se tiene como el agente de usuario¹ a Microsoft Outlook Express, que es un programa que forma parte del paquete Microsoft Office. Las características y el funcionamiento de los protocolos para la transferencia de mensajes de correo electrónico se describen a continuación:

SMTP (Simple Mail Transfer Protocol): “Protocolo Simple de Transmisión de Correo” es el protocolo que se usa para el intercambio de mensajes de correo electrónico. Consiste en su totalidad por líneas de texto escritas en caracteres ASCII² sencillo (7 bits). SMTP a través del protocolo TCP³ logra disponer de un canal de comunicación confiable y además con capacidad de entrega ordenada de los paquetes. Para esto, la máquina de donde se emite

¹ Agente de usuario: aplicación que permite al usuario leer y enviar mensajes de correo electrónico.

² ASCII (*American Standard Code for Information*): es un código normalizado que asigna valores numéricos a las letras, números y demás caracteres utilizados para la comunicación.

³ TCP: Protocolo para el control de transferencia de datos usado en el modelo referencial TCP/IP.

el mensaje establece la conexión TCP con el puerto 25 de la máquina receptora.

El protocolo trabaja sobre el modelo cliente – servidor, donde el terminal que emite el mensaje (cliente) espera que el terminal receptor (servidor) envíe los comandos necesarios que indique si está listo o no para recibir el mensaje.

La transmisión es confiable, ya que el servidor confirma al cliente si el mensaje fue recibido o no. Luego de realizarse el proceso de envío, recepción y confirmación del correo electrónico, la conexión se libera.

POP3 (*Post Office Protocol 3 Version*): “Protocolo de Oficina de Correos Versión 3”. Es el protocolo que permite al usuario acceder a los mensajes de correo electrónico almacenados temporalmente en un servidor remoto, luego de que se comprobó que en el momento del envío del mensaje desde la máquina emisora, la máquina receptora estaba desconectada.

La máquina del usuario se conecta con el servidor remoto a través de una conexión TCP con el puerto 110 del servidor, luego de lo cual los mensajes de correo electrónico se copian desde el servidor hasta la máquina del usuario, después del intercambio de peticiones y respuestas dadas por el protocolo.

Dentro de la comunicación entre el terminal del usuario y el servidor remoto se efectúan tres procesos: Autenticación (inicio de sesión por parte del usuario), transacción (colección de mensajes por parte del usuario) y actualización (eliminación efectiva de los mensajes en el servidor remoto).

El proceso de administración de la red¹ permite mantener estándares satisfactorios en el funcionamiento de la red, y así, conservarla eficiente, operativa y segura. Para el efecto la empresa maneja el protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) “Protocolo Simple de Administración de Red”, que es un protocolo de la capa aplicación de la familia TCP/IP.

SNMP permite monitorear el estado de los diferentes dispositivos que componen una red, donde cada equipo que forma parte de la misma ejecuta procesos, los cuales permiten la realización de la administración de la red de manera local y remota.

1.4.3.1.3 *Sistemas manejados internamente*

Las agencias de EMELNORTE trabajan sobre el módulo del sistema del área comercial, el cual, se encuentra desarrollado sobre la base de datos ORACLE 10G, y las aplicaciones están implementadas en ORACLE FORMS 6I. El acceso a las aplicaciones es realizado a través de una conexión de Terminal Server con un Servidor CITRIX.

El sistema Comercial comprende un subsistema para la comercialización y otro para la atención al cliente. El subsistema comercial incluye: lectura, facturación y recaudación; el subsistema de atención al cliente incluye: estado de cortes, reconexiones, instalaciones, medidores, transformadores e información del abonado.

Para la transmisión de los datos de pantalla, teclado y ratón generados por el módulo del área Comercial en las agencias, se utiliza el protocolo ICA (Arquitectura de Computación Independiente), el cual es utilizado por la empresa CITRIX² para la transmisión de datos basada en servidores. Los datos se transmiten desde el cliente ICA (agencia) hacia el servidor CITRIX (matriz) a través de la Red Metropolitana de Datos de Andinadatos.

¹ <http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/2005-12-12/0032134.pdf>

² CITRIX: empresa norteamericana dedicada principalmente al desarrollo de software y en menor escala de hardware. Ofrece paquetes que permiten el acceso a aplicaciones y contenidos.

El protocolo ICA trabaja con una velocidad de señal entre 4 y 20 Kilobaudios¹ y tiene como característica fundamental un alto rendimiento en la transmisión de datos debido a que trabaja sobre eventos cambiantes; es decir, no se transmite toda la pantalla que se encuentra ejecutándose en el cliente ICA, sino que se transmite únicamente aquello que ha variado en la pantalla.

ICA puede operar sobre cualquier protocolo de transmisión de datos, lo cual permite funcionar sobre distintas redes. A nivel de arquitectura, este protocolo se compone de: preámbulo, datos y cabecera.

1.4.3.1.4 *Aplicaciones Web*²

Las aplicaciones Web permiten acceder a los usuarios de la red a documentos y archivos que se encuentran disponibles en el Internet. Las páginas pueden ser visualizadas por el usuario mediante el uso de un navegador Web, el cual recibe la página requerida, interpreta los comandos contenidos y finalmente despliega la página en la pantalla correctamente. En el caso de la empresa, el navegador utilizado es Internet Explorer.

Las páginas Web son identificadas utilizando URLs³, los cuales contienen tres partes: el nombre del protocolo, el nombre DNS⁴ de la máquina contenedora de la página Web requerida y el nombre del archivo al cual se quiere acceder. Además cabe recalcar que las páginas Web están escritas en lenguaje HTML⁵.

Para que un navegador se conecte a un servidor Web, es necesario establecer una conexión TCP con el puerto 80 de la máquina del servidor.

¹ Baudio: número de símbolos transmitidos por segundo. Un símbolo puede contener varios bits.

² Web: enorme conjunto de documentos a nivel mundial que se encuentran vinculados entre sí. Dichos documentos se los llama comúnmente páginas Web.

³ URL (Localizadores Uniformes de recursos): nombre mediante el cual se identifica una página Web.

⁴ DNS (Sistema de nombres de dominios): permite relacionar los nombres de host y destinos de correo electrónico con las direcciones IP.

⁵ HTML (*Hypertext Marked Language*): "Lenguaje de Marcado de Hipertexto": es el lenguaje o estándar con el cual se producen las páginas Web.

En la empresa, los servidores Web se comunican mediante el protocolo HTTP (Protocolo de Transferencia de Hipertexto¹) que es el que define la sintaxis de los mensajes entre los clientes y los servidores. En esencia HTTP es un protocolo basado en operaciones de solicitud y respuesta.

En la comunicación entre el usuario y el servidor Web se cumplen cuatro procesos inherentes al protocolo HTTP que son: conexión, solicitud, respuesta y desconexión.

1.4.3.1.5 Aplicaciones en modo caracter

Para las aplicaciones en modo caracter, se realizan sesiones Telnet. Básicamente, Telnet es un protocolo que permite establecer conexiones entre un cliente y un servidor usando el puerto 23 de la máquina del servidor.

Telnet se desarrolló como un servicio cliente – servidor. Para establecer una sesión es necesario disponer del nombre de usuario y de una contraseña que permita establecer la sesión con un terminal remoto. Luego de que se establece la conexión, el usuario local es capaz de acceder al terminal remoto y ejecutar líneas de instrucciones, tal y como si se estuviese en el mismo.

1.4.3.2 Descripción del tráfico actual de datos en las agencias de EMELNORTE

Las agencias envían los datos a través de una conexión ADSL. Las agencias de Tulcán, Otavalo y Cayambe tienen disponible un ancho de banda de 512 Kbps, mientras que el resto de agencias disponen de 256 Kbps, (Ver FIG 1.56).

Al edificio matriz llegan los datos transmitidos por las agencias mediante un enlace en fibra óptica de 4 Mbps resultante del conjunto de los anchos de banda disponibles para cada una de las agencias.

¹ Hipertexto: se refiere al hecho de que una página Web pueda apuntar hacia otra página Web.

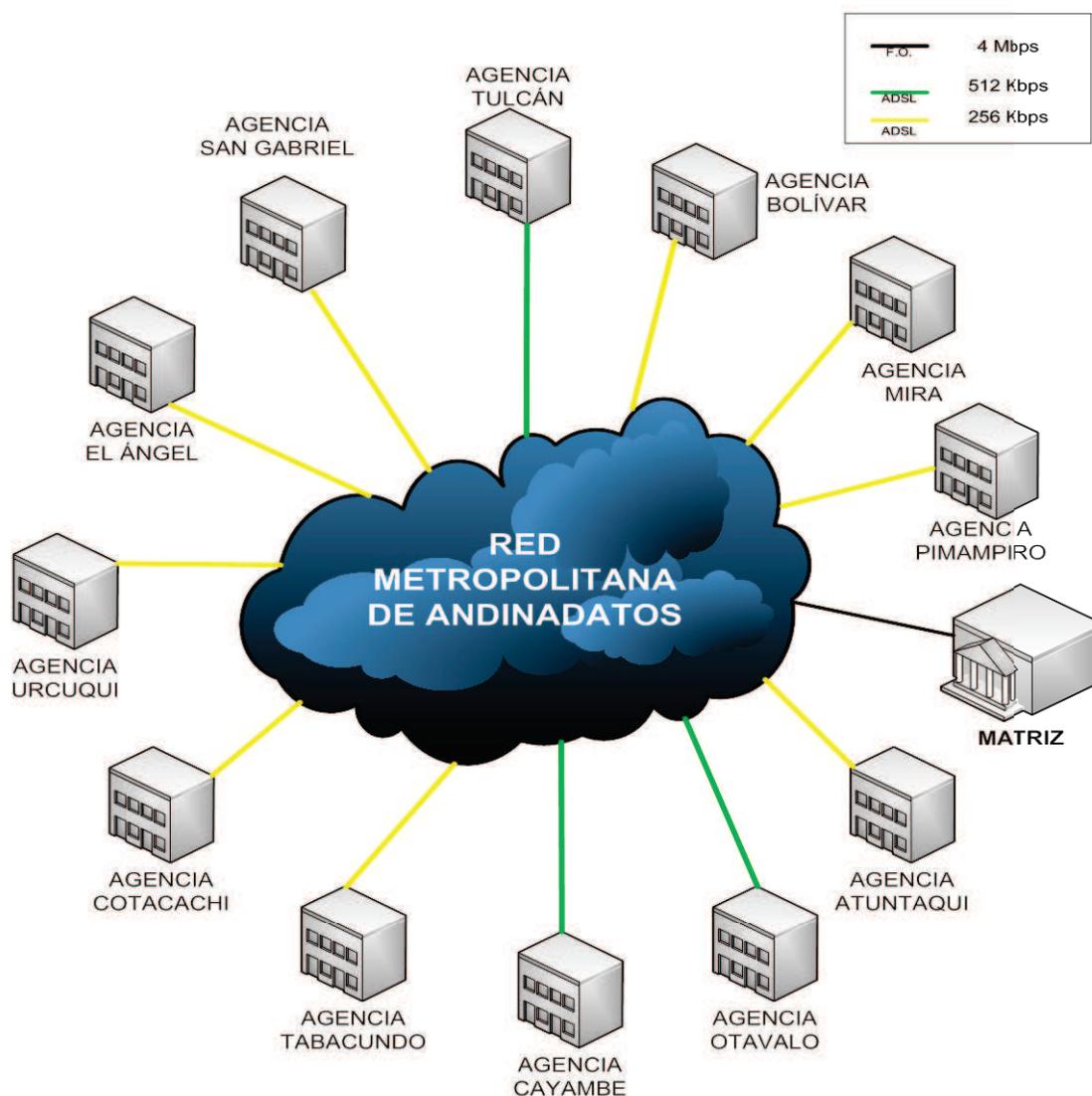


FIG 1.56 Anchos de banda utilizados en la transmisión de datos de las agencias hacia la matriz a través de la Red Metropolitana de Andinadatos.

1.4.3.2.1 Medición del tráfico que cursa sobre los enlaces de comunicación entre las agencias y la matriz de EMELNORTE

Para el monitoreo y el reporte cursado por cada uno de los enlaces WAN entre las agencias y la matriz de la empresa a través de la Red Metropolitana de Andinadatos, se utilizó el paquete Zenoss™ Core. Con este programa se obtuvieron los reportes del tráfico cursado por cada enlace, (Ver ANEXO A).

La medición del tráfico se realizó para los enlaces WAN desde las agencias: Tulcán, El Ángel, San Gabriel, Atuntaqui, Otavalo, Cotacachi, Cayambe y Tabacundo hacia la matriz, debido a que a través de éstos se cursará el nuevo tráfico generado por los enlaces a

diseñar para la ampliación de la red desde las subestaciones y centrales de generación.

En la TABLA 1.17 se muestra un resumen de los picos de tráfico obtenidos para cada enlace WAN, los cuales fueron monitoreados por un período de cuatro semanas a través del software mencionado.

Enlace	Dirección IP	Capacidad contratada (Kbps)	Valor máximo IN (Kbps)	Valor máximo OUT (Kbps)
Tulcán	192.168.200.5	512	312,44	32,13
San Gabriel	192.168.200.9	256	26,01	20,22
El Ángel	192.168.200.17	256	6,56	5,29
Atuntaqui	192.168.200.29	256	46,73	8,49
Otavalo	192.168.200.41	512	20,04	22,17
Cotacachi	192.168.200.33	256	21,04	11,33
Cayambe	192.168.200.45	512	22,11	30,12
Tabacundo	192.168.200.49	256	8,61	7,76
Matriz	192.168.200.1	4096	135,71	381,54

Tabla 1.17 Comportamiento del tráfico cursado por los enlaces WAN desde las agencias a la matriz a través de la Red Metropolitana de Andinadatos.

DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN CON FIBRA ÓPTICA Y TECNOLOGÍA INALÁMBRICA

1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se establecerán inicialmente los enlaces de comunicación requeridos para la ampliación de la red de comunicación de la empresa. Adicionalmente se presentará un estudio detallado del tráfico a manejar por los enlaces en base a las aplicaciones requeridas.

De igual manera se indicará la solución para la interconexión de subestaciones y centrales de generación de EMELNORTE S.A. con la red WAN que opera actualmente en la empresa. Para el efecto, los diseños de los enlaces se desarrollarán usando fibra óptica y enlaces inalámbricos.

1.2 ESTABLECIMIENTO DE LOS ENLACES REQUERIDOS

Para el diseño de la ampliación de la red de Emelnorte S.A. previamente es necesario determinar cada uno de los sitios en donde se requiere la implementación de los enlaces.

EMELNORTE S.A. requiere interconectar con su red actual un total de cuatro centrales eléctricas y doce subestaciones eléctricas que se encuentran ubicadas en las provincias de Imbabura, Carchi y el norte de Pichincha. Las subestaciones El Retorno y San Agustín actualmente ya se encuentran formando parte de la red de la empresa. Cabe recalcar que en la central San Francisco se encuentra también la bodega de la ciudad de Tulcán.

En la TABLA 2.1 se especifican los enlaces requeridos para la ampliación de la red de Emelnorte S.A. utilizando fibra óptica. Además, en la TABLA 2.2 se indican los enlaces inalámbricos requeridos.

Estación A	Estación B
Subestación La Esperanza	Agencia Tabacundo

Subestación Cayambe	Agencia Cayambe
Subestación Otavalo	Agencia Otavalo
Subestación San Vicente	Agencia Otavalo
Subestación Cotacachi	Agencia Cotacachi
Subestación Atuntaqui	Agencia Atuntaqui
Subestación Alpachaca	Central Diesel
Subestación Tulcán	Agencia Tulcán
Subestación El Rosal	Agencia Tulcán
Subestación San Gabriel	Agencia San Gabriel
Subestación El Ángel	Agencia El Ángel
Subestación El Chota	Despacho de Carga
Central Ambi	Subestación Alpachaca
Central San Francisco (Bodega Tulcán)	Agencia Tulcán
Central San Miguel de Car	Subestación Tulcán
Central La Playa	Central San Francisco

Tabla 2.1 **Enlaces de fibra óptica requeridos para la ampliación de la red de EMELNORTE**

Cabe recalcar que en la TABLA 2.2 no se considera el diseño de los enlaces inalámbricos para las centrales de generación El Ambi, La Playa y San Miguel de Car, en vista de que poseen un enlace de comunicación satelital con servicio de Internet, el cual se constituye en una vía redundante para la transmisión de los datos generados en estas dependencias.

Estación A	Estación B
Subestación La Esperanza	Agencia Tabacundo
Subestación Cayambe	Agencia Cayambe

Subestación Otavalo	Agencia Otavalo
Subestación San Vicente	Agencia Otavalo
Subestación Cotacachi	Agencia Cotacachi
Subestación Atuntaqui	Agencia Atuntaqui
Subestación Alpachaca	Central Diesel
Subestación Tulcán	Agencia Tulcán
Subestación El Rosal	Agencia Tulcán
Subestación San Gabriel	Agencia San Gabriel
Subestación El Ángel	Agencia El Ángel
Subestación El Chota	Despacho de Carga
Central San Francisco (Bodega Tulcán)	Agencia Tulcán

Tabla 2.2 **Enlaces inalámbricos requeridos para la ampliación de la red de EMELNORTE S.A**

En la FIG. 2.1 se presenta un esquema que bosqueja de manera general la ampliación de la red de comunicaciones desde las subestaciones y centrales hacia la matriz utilizando fibra óptica, desde donde se levantarán los datos al CENACE a través de la conexión a Internet. De la misma manera, en la FIG. 2.2 se presenta el esquema de diseño para los enlaces inalámbricos.

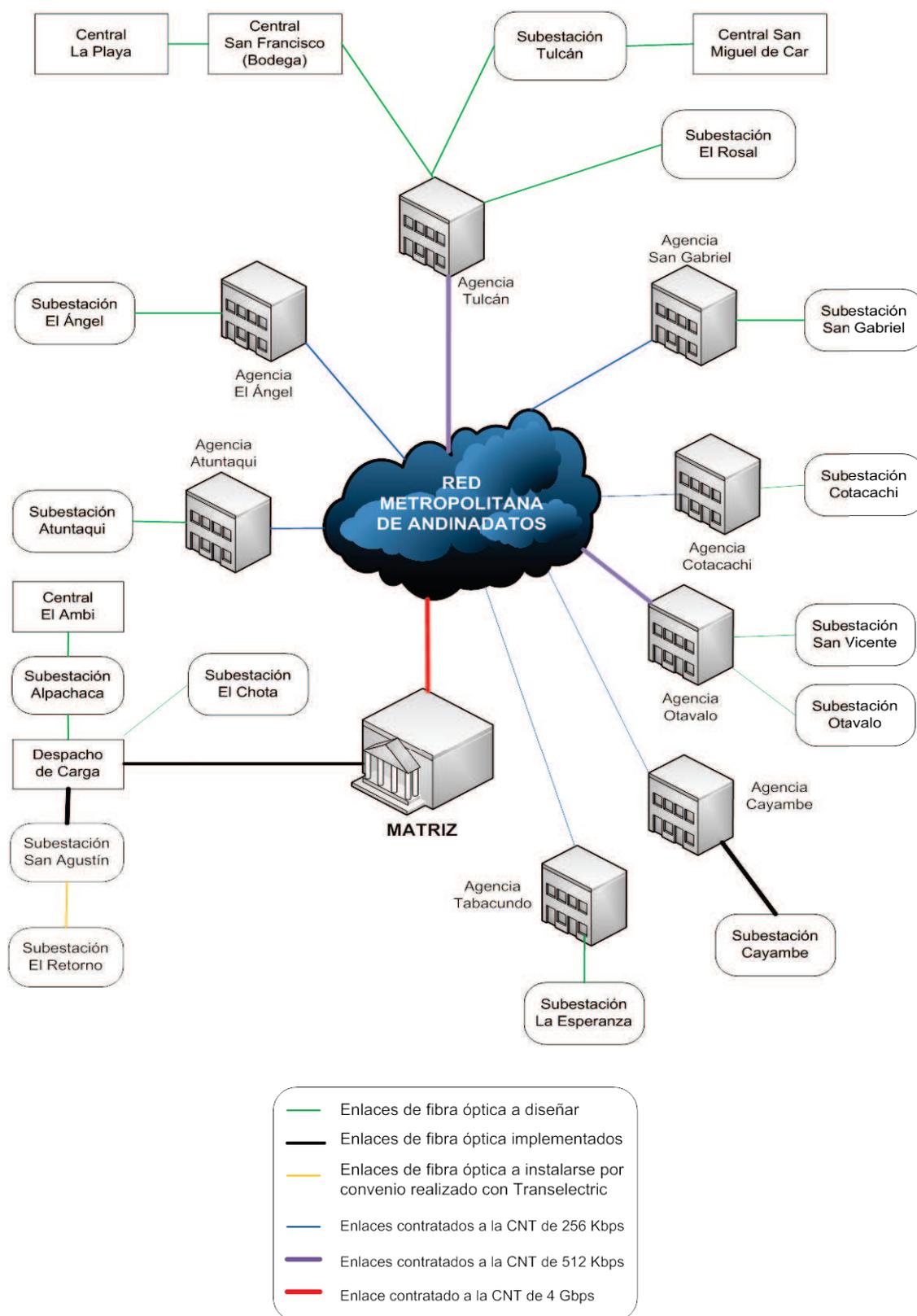


Fig. 2.1 Esquema gráfico de la ampliación de la red de EMELNORTE S.A. utilizando fibra óptica.

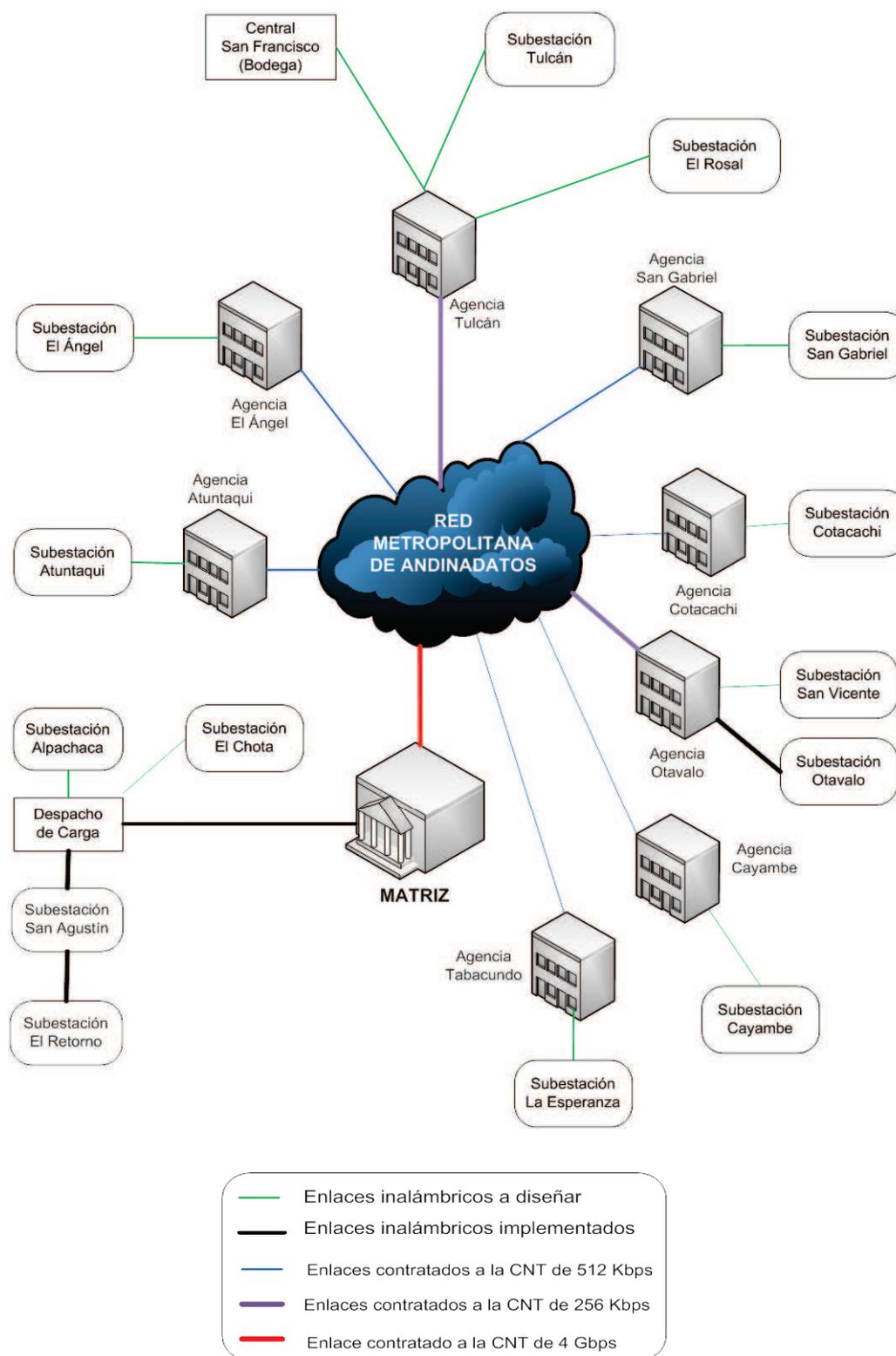


Fig. 2.2 Esquema gráfico de la ampliación de la red de EMELNORTE S.A. utilizando enlaces inalámbricos.

1.3 ANÁLISIS DEL TRÁFICO A TRANSPORTAR A TRAVÉS DE LOS ENLACES DE COMUNICACIÓN

La ampliación de la red de Emelnorte S.A. está destinada principalmente al manejo del tráfico tipo SCADA que permita el monitoreo y control a pequeña escala de las distintas variables que se encuentran en las subestaciones y centrales de la empresa.

Además, la empresa tiene como visión futura la implementación de ciertas aplicaciones IP tales como voz y video – vigilancia, las cuales podrán ser accedidas desde las subestaciones y centrales. Se considerará el requerimiento de ancho de banda que permita manejar dichas aplicaciones a través de los nuevos enlaces de comunicación.

1.3.1 SEÑALES A MANEJAR POR EL SISTEMA SCADA EN LAS SUBESTACIONES DE EMELNORTE S.A.

Las señales a manejar por cada una de las subestaciones son estandarizadas y están desarrolladas en función de la subestación San Agustín, que es la que cuenta con el equipamiento más reciente, y es objeto de un estudio paralelo que analiza las funciones de monitoreo y control para su automatización.

1.3.1.1 Descripción del sistema de automatización de subestaciones ^{[1][2][3]}

La subestación será organizada jerárquicamente en niveles de campo, de bahía y de estación, con la finalidad de optimizar el manejo de recursos de la empresa y los costos de operación, manteniendo una mínima intervención del operador de la subestación.

En la FIG. 2.3 se presenta el esquema que indica a nivel general la estructura con la que se llevará a cabo la automatización de la subestación San Agustín.

El nivel de campo lo constituyen los equipos que interactúan directamente con los parámetros eléctricos de la subestación. Se utilizan sensores especializados, de tecnología avanzada, los cuales envían la información a los niveles superiores mediante comunicación serial.

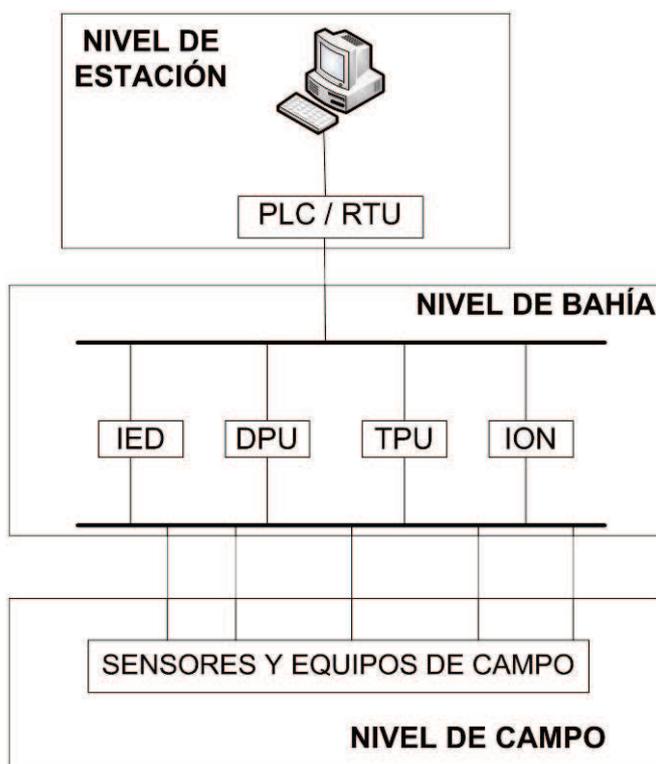


FIG. 2.3 Niveles para el control jerárquico de la subestación San Agustín.

El nivel de bahía es aquel que se encuentra cerca del equipo de campo. En este nivel se incluyen los IED's¹ para control, medición y protección.

En la subestación San Agustín se tienen niveles de bahía de alimentador y niveles de bahía para los transformadores. Existen dos tipos de bahías de alimentador: la bahía que describe las variables de alimentación externas (Subestación Bellavista - Transelectric) que llegan a la subestación y conformada por un SCU² y un medidor Alpha; y la bahía de alimentación que describe los parámetros presentados en el lado de distribución de energía eléctrica a los usuarios formado de un medidor ION 8500 y un DPU³.

La bahía de transformador describe los parámetros eléctricos presentados en el lado del transformador y se constituye de un medidor Alpha y de un TPU⁴.

¹ IED (*Intelligent Equipment Devices*): Dispositivos Electrónicos Inteligentes.

² SCU: (*Switchgear Control Unit*): Unidad de Control y Protección de Bahía

³ DPU (*Distribution Protection Unit*): Unidad de Protección de Distribución.

⁴ TPU (*Transformer Protection Unit*): Unidad de Protección de Transformador.

En la TABLA 2.3 se muestran las características de los equipos que se encuentran en las diferentes bahías de la subestación.

Equipo	Marca	Modelo	Bahía	Función	Puertos de Comunicación
Medidor	ION	8600	Alimentador	Medición	Ethernet RS-232C
Medidor	Alpha	Q3F0F6A0	Transformador y Alimentador	Medición	RS-485 ¹ RS-232C
SCU	ABB	REF542	Alimentador	Medición Control y Protección	RS-485 RS-232C
TPU	ABB	2000R	Transformador	Medición Control y Protección	RS-485 RS-232C
DPU	ABB	2000R	Alimentador	Medición Control y Protección	RS-485 RS-232C

TABLA 2.3 Características técnicas de los equipos de medición, protección y control utilizados en las bahías de la subestación San Agustín.

Finalmente, se tiene el nivel de estación, en donde se establece el interfaz hombre – máquina (HMI). Se encuentra ubicado en el cuarto del operador de la subestación. En este nivel se realizan los registros e impresión de eventos, así como también el archivo y almacenamiento de datos históricos.

1.3.1.1.1 Red de comunicaciones para la subestación San Agustín^{[2][4]}

Para la subestación San Agustín se tiene previsto la implementación de una red interna de comunicaciones que consta básicamente de dos

¹ Protocolo RS-485: es un estándar de comunicaciones que ocupa topología bus sobre la capa física del modelo ISO – OSI.

etapas. La primera se encargará de concentrar los datos de las variables a medir en el nivel de campo (medidores ION, medidores Alpha, IED's) para llevarlos al nivel de estación, para lo cual se requerirá de un *switch*, donde se concentrarán los datos de los DPU, SCU y TPU. Además se requerirá de un PLC para el tratamiento de las variables no eléctricas como presión y temperatura. La segunda etapa se encargará de la interconexión entre la red LAN de la subestación con la red WAN de la empresa, (Ver FIG. 2.4).

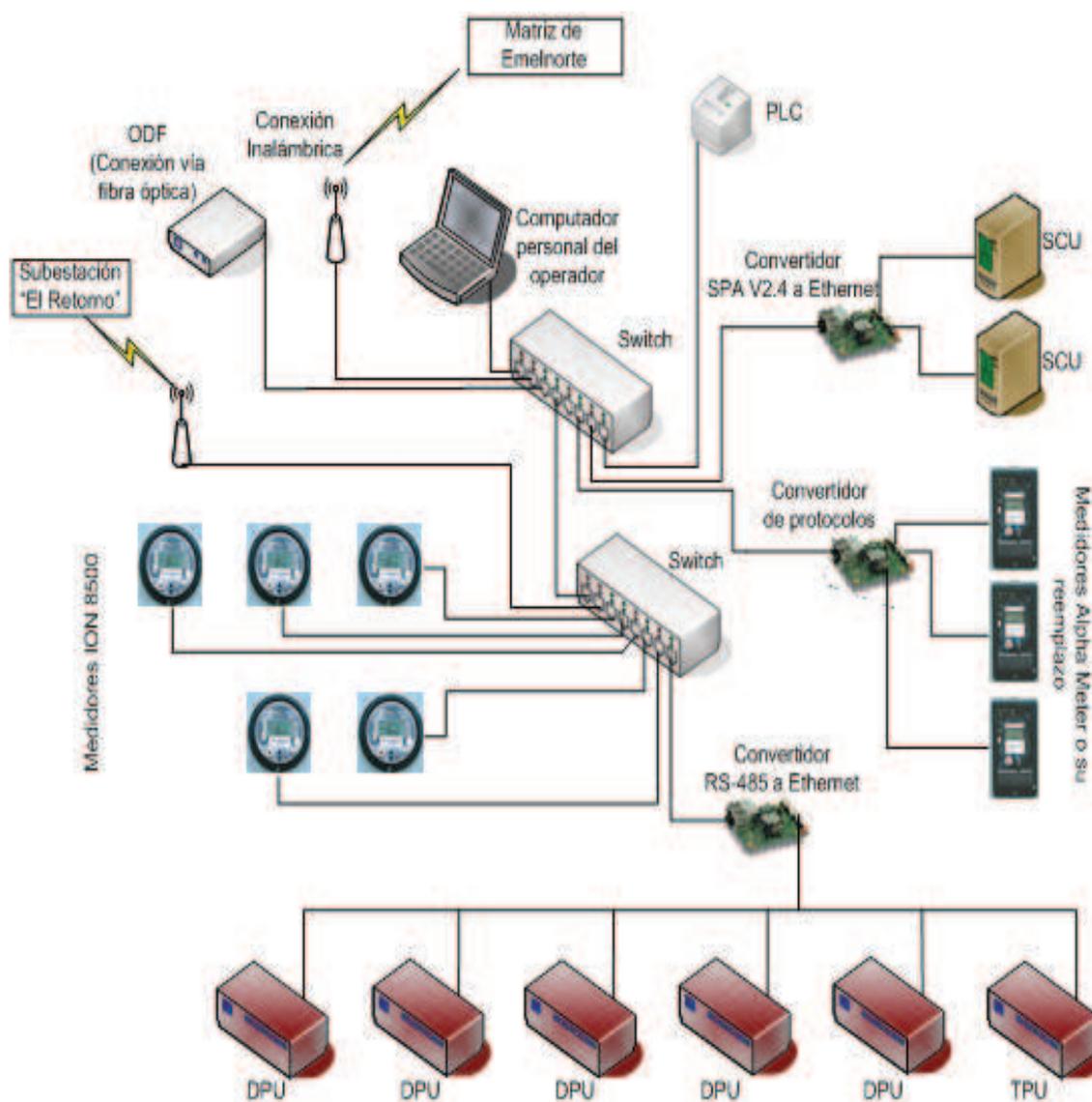
1.3.1.2 Señales a manejar por el sistema SCADA en la subestación San Agustín^[3]

A través de los enlaces de comunicación a diseñar se transmitirán señales de monitoreo y de control. Para el monitoreo se tomarán en cuenta tanto señales eléctricas como señales de variables no eléctricas que serán de naturaleza binaria y análoga. Para las señales de control se tratarán básicamente señales binarias que denoten el estado de las variables requeridas.

1.3.1.2.1 Señales de monitoreo y supervisión

Dentro de las señales eléctricas se tienen: corrientes, voltajes, potencias, datos de energía, frecuencia de operación y factor de potencia. Estos datos serán tomados tanto en el nivel de 13,8 KV, como de 69 KV.

Dentro de las variables no eléctricas a monitorear se tienen: temperatura de devanados del transformador, temperatura del aislamiento del transformador, niveles de aceite, presión de aceite o gas, posición del tap del transformador, rigidez dieléctrica del aceite, estado y número de veces que se han accionado los interruptores, relés y alarmas.



PLC: Utilizado para el monitoreo y control de las variables no eléctricas

FIG 2.4 Niveles de bahía y estación para el control jerárquico de la subestación San Agustín.

1.3.1.2.2 Señales de control

Las señales de control permiten describir el estado en el que se encuentran disyuntores, seccionadores y el sistema de ventilación forzada del transformador de potencia. Tanto las señales de monitoreo y supervisión, como las de control usadas para la automatización de la subestación San Agustín están detalladas en el ANEXO B.1.

1.3.1.3 Requerimiento de ancho de banda para transmitir los datos del Sistema SCADA en la subestación San Agustín.^{[6][7][8][9]}

El requerimiento de ancho de banda para enlaces de comunicación de sistemas industriales es pequeño en comparación a los enlaces requeridos por redes administrativas de datos.

Las variables eléctricas utilizadas por el sistema SCADA para la supervisión, monitoreo y control serán extraídas del ION 8600, SCU (lado de 69 kV), DPU (lado de 13,8 kV) y TPU (en el lado del transformador).

En resumen, la cantidad de variables eléctricas a ser manejadas por la subestación San Agustín para el sistema SCADA se indican en la TABLA 2.4.

Señales a ser manejadas por el PLC	
<i>Tipo de señal</i>	<i>Cantidad</i>
Señales de entradas discretas	32
Señales de entradas analógicas	11
Señales de salidas discretas	30
Señales de salidas analógicas	0

TABLA 2.4 Resumen de la cantidad de variables eléctricas a ser manejadas por el Sistema SCADA a implementarse en la subestación San Agustín.

Para determinar el ancho de banda mínimo requerido por el enlace de comunicación para tener una transmisión fiable de datos, se examina la cantidad de información a transmitir en bits. Una señal digital requiere de un solo bit, mientras que la señal analógica requiere una conversión a formato digital que puede llegar a ocupar hasta 8 bytes cuando se expresa la señal analógica en digital en números reales con doble grado de precisión.

De las señales eléctricas, los medidores ION 8600 si bien tienen múltiples funciones de medición y control de la energía en el sistema de automatización a implementarse, se utilizan solamente para establecer las corrientes análogas de cada uno de los alimentadores de 13,8 [kV] en el sistema de distribución de la subestación. Se tiene que las salidas

analógicas del ION manejan una resolución de 12 bits; adicionalmente, el tiempo de transmisión de datos es de 20 [ms]¹, por lo tanto se tiene:

$$V_{txreq} = \frac{\text{Número de bits de señal}}{\text{tiempo de bit}} \quad (2.1)$$

$$V_{txreq} = \frac{12 \text{ bits}}{20 \text{ ms}} = 600 \text{ [bps]}$$

Como se tienen 5 medidores en la subestación:

$$V_{tx_total_req_ION} = 5 * 600 \text{ [bps]} = 3000 \text{ [bps]}.$$

El resto de variables eléctricas serán transmitidas a través de una red interna de datos RS – 485, la cual será configurada para operar con una velocidad de señal de 9600 [baudios]. Para la transmisión de los datos generados por los SCU, DPU y TPU a través de la red, es necesaria la inclusión de un convertidor de RS-485 a ethernet para que los datos sean enviados a la red a través de los enlaces de comunicación a diseñar. La transmisión de datos se realizará sobre código binario por lo que la velocidad de transmisión tiene el mismo valor que la velocidad de señal, es decir, 9600 bps.

Además, como se mencionó anteriormente, el PLC procesará el conjunto de señales no eléctricas necesarias para la automatización de la subestación, las cuales se resumen en la TABLA 2.5.

Para determinar la velocidad de transmisión requerida para las señales manejadas por el PLC es necesario definir el tiempo de procesamiento total del mismo, el cual depende de los siguientes factores: tiempo de barrido, tiempo de actualización de información y del tiempo de respuesta de los módulos de entrada y salidas.

Listado de Señales de Entrada	
<i>Tipo de señal</i>	<i>Cantidad</i>
Señales de entradas discretas	7

¹ Manual del usuario ION 8650.

Señales de entradas analógicas	5
Señales de salidas discretas	3
Señales de salidas analógicas	0

TABLA 2.5 **Resumen de la cantidad de variables no eléctricas a ser manejadas por el PLC en la subestación San Agustín.**

El tiempo de procesamiento es propio para cada PLC; para aplicaciones industriales se tiene en el mercado una infinidad de opciones de acuerdo a las necesidades de control. Se tomará como ejemplo uno de los PLC más utilizados que es el modelo Premium de Modicon que cuenta con módulos específicos de conteo, los cuales efectuarían las mediciones de las magnitudes requeridas. Se toma como ejemplo el modelo TSXCTY4A¹, el cual establece un tiempo de procesamiento de 8 milisegundos y una resolución de 12 bits para las entradas y salidas analógicas, entonces:

Como el número de bits para monitorear una señal analógica es 12, y el tiempo de procesamiento es de 8 [ms], para la velocidad de transmisión, de la fórmula (2.1) se tiene:

$$V_{tx\ req} = \frac{12\ bits}{8\ [ms]} = 1,5\ Kbps$$

Además, para calcular la cantidad total de bit necesarios para la transmisión de los datos de las señales a monitorear se tiene:

$$\#\ bits = \#\ señales\ discretas * (1) + \#\ señales\ analógicas (12) \quad (2.2)$$

$$\#\ bits\ de\ datos = (10 * 1) + (5 * 12) = 70\ bits$$

Ahora, para la transmisión de datos sobre IP se tiene el encapsulamiento requerido para la transmisión de datos sobre este tipo de redes, en donde resulta que se introduce un encabezado total de 67 bytes² para efectuar la transmisión; por lo tanto, la eficiencia de transmisión es:

¹ http://www.asielectric.com.ar/images/Manuales/GuiaSeleccion_automatismo.pdf

² TANENBAUM, Andrew. Redes de computadoras. Cuarta Edición. Prentice Hall. 2003.

$$\eta = \frac{\text{número de bits de datos}}{\text{total de bits transmitidos}} \quad (2.3)$$

$$\eta = \frac{70}{70 + 536} = 0,1155115511 \cong 11,55\%$$

Donde:

η : Eficiencia de transmisión

Se tiene también que la eficiencia en una transmisión, se relaciona con la velocidad de transmisión requerida (velocidad efectiva) y la velocidad nominal como sigue:

$$V_{efectiva} = \eta \cdot V_{nominal} \quad (2.4)$$

Despejando la velocidad nominal se obtiene:

$$V_{nominal} = \frac{V_{efectiva}}{\eta} = \frac{1,5 [Kbps]}{0,1155115511} = 12,99 \approx 13 [Kbps]$$

Obteniendo así, que el ancho de banda digital (velocidad de transmisión) requerida para monitorear y controlar las entradas y salidas no eléctricas es de 13 Kbps.

En la TABLA 2.6 se muestra la velocidad de transmisión requerida por la subestación San Agustín para establecer la comunicación que forma parte del sistema SCADA a implementarse. Como se mencionó anteriormente, el requerimiento de la subestación San Agustín será tomada como estándar para el resto de subestaciones.

Tipo de tráfico	Velocidad de transmisión requerida
Generado por las variables monitoreadas por el ION 8600.	3 [Kbps]
Generado por la red interna de datos.	9,6 [Kbps]

Generado por el PLC.	13 [Kbps]
TOTAL	25,6 [Kbps]

TABLA 2.6 **Resumen del requerimiento de capacidad de canal para la subestación San Agustín.**

1.3.2 SEÑALES A MANEJAR POR EL SISTEMA SCADA EN LAS CENTRALES DE GENERACIÓN DE EMELNORTE S.A.

El proceso de automatización industrial en las centrales de generación de EMELNORTE S.A. se encuentra en continuo desarrollo. Se describirá el proceso de automatización implementado en la central de generación El Ambi, en vista de que incluye la mayor cantidad de dispositivos de medición y control con respecto a las otras centrales, y por ende, en esta central se generará la mayor cantidad de tráfico y su requerimiento de ancho de banda para los enlaces se considerará estándar para el resto de centrales de generación.

1.3.2.1 Descripción del sistema de automatización implementado en la Central El Ambi.^{[10][11][12]}

La Central El Ambi opera sobre un modelo jerárquico de automatización que incluye los niveles descritos en el diseño de la automatización para la subestación San Agustín.

Para el nivel de campo se incluyen principalmente sensores especializados en la adquisición de datos, principalmente de caudal, temperatura y variables eléctricas de tecnología avanzada, los cuales envían la información al nivel de bahía a través de enlaces seriales. Dentro de ellos se destaca el medidor ultrasónico Prosonic FMU 860, utilizado para medir el caudal entrante a cada una de las turbinas de los dos grupos generadores de la central.

En el nivel de bahía se incluyen los IED's para control, medición y protección. Además se cuenta con dos medidores ION 7650 para la medición de los parámetros eléctricos en cada uno de los dos grupos

generadores de la central. Para las funciones de automatización, en la central El Ambi se encuentran instalados dos PLC modelo 07CT41 de la empresa ABB, los cuales cuentan además con módulos de expansión que consisten en ocho entradas analógicas (modelo XE08B5) y ocho salidas analógicas (modelo XO08R1).

Finalmente, en el nivel de estación se cuenta con el interfaz hombre – máquina con el que el operador interactúa con el sistema automatizado instalado en la central. En la FIG. 2.5 se visualiza el interfaz del sistema SCADA para monitorear el estado de las variables de campo en el grupo generador 2; mientras que en la FIG. 2.6 se indica la configuración de límites para las alarmas en el grupo generador 1 configurado en el interfaz.

1.3.2.1.1 Red interna del sistema de automatización en la central El Ambi^[5]

En la central El Ambi, el sistema de automatización se centra en las funciones realizadas por los PLC's, los cuales, concentran cada una de las señales de entrada analógicas y discretas requeridas para la automatización; luego, efectúan las acciones de control a través de cada una de las salidas discretas.

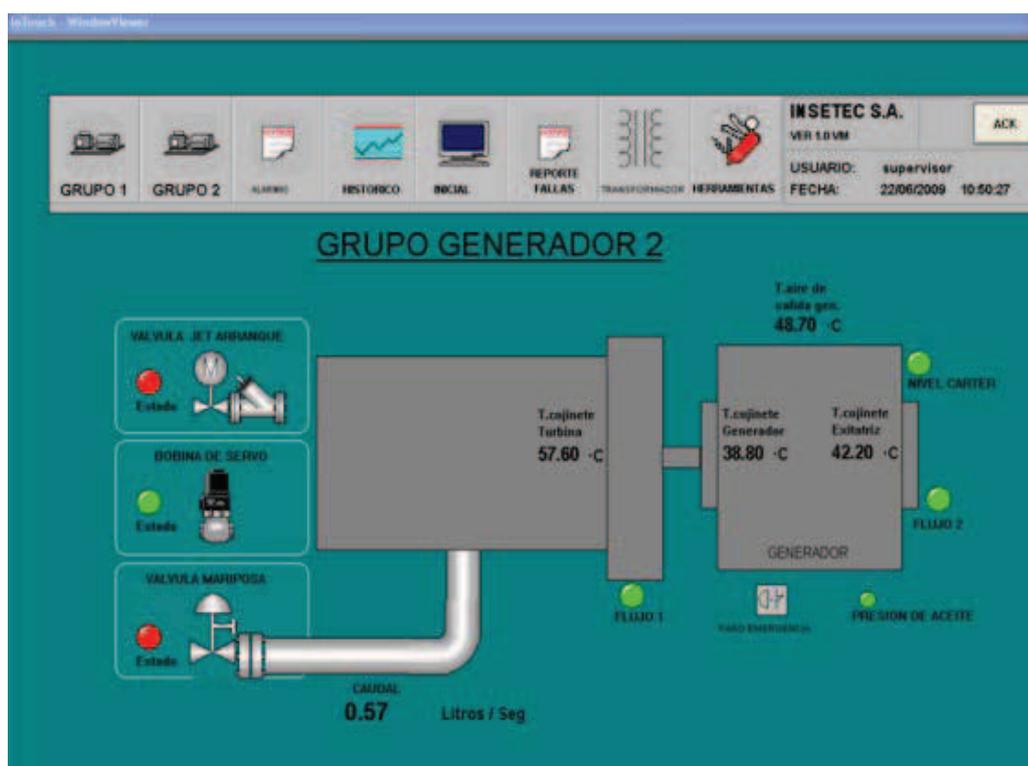


FIG. 2.5 Interfaz hombre – máquina que indica el estado de las variables automatizadas del grupo generador 2 de la central El Ambi.



FIG. 2.6 Configuración de los límites de alarmas del interfaz hombre – máquina para el grupo generador 1 de la Central El Ambi.

Para la transmisión de los datos medidos para las variables eléctricas de cada grupo generador, los dos ION 7650 se conectan al *switch* Data – Link 10/100 Mbps, desde el cual se tendrá el punto de salida a los enlaces de comunicación a diseñar. Además, el *switch* concentra los datos generados por el PLC. Éste se conecta a los dispositivos de campo mediante el protocolo MODBUS¹ serial, al mismo tiempo que los PLC's se enlazan al puerto ethernet del *switch* con el uso de un conversor de serial a ethernet, (Ver FIG. 2.7).

¹ Protocolo MODBUS: estándar desarrollado por Modicon para efectuar la comunicación entre PLC's. Opera sobre el modelo maestro – esclavo.

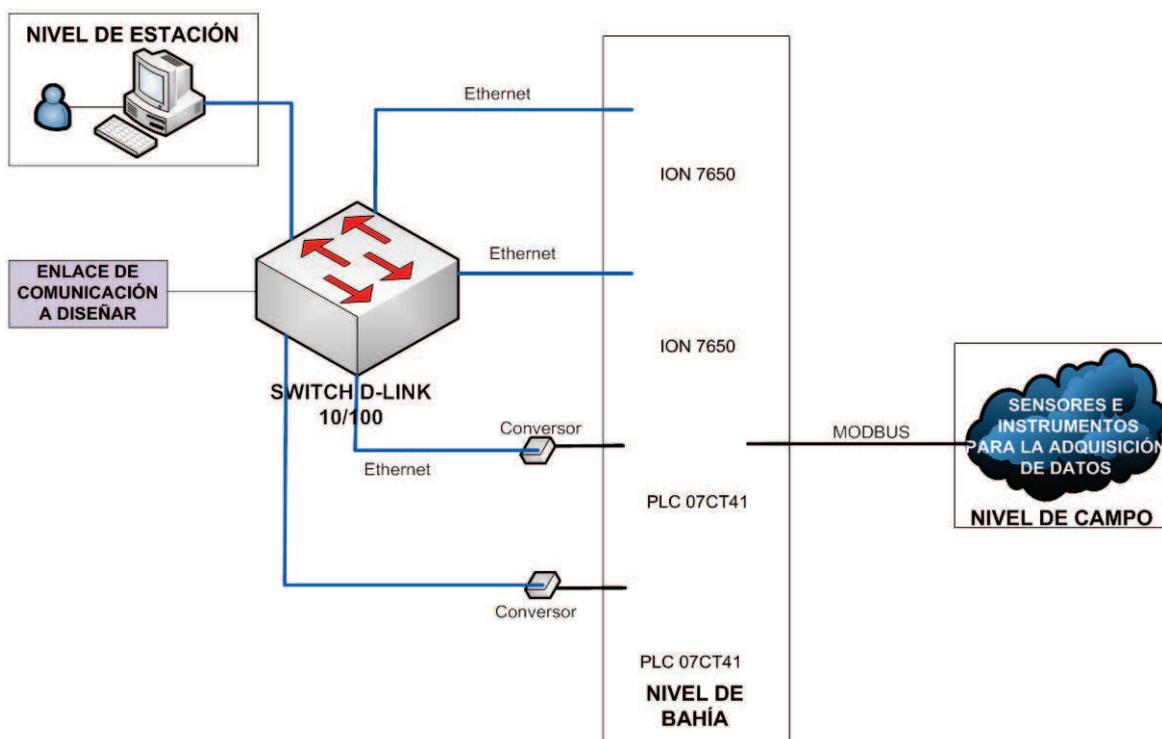


FIG. 2.7 Red interna de datos que soporta las funciones de automatización en la central El Ambi.

1.3.2.2 Señales a manejar por el sistema SCADA en la central El Ambi

A través de los enlaces de comunicación que interconectarán las centrales de generación con la red actual de la empresa se transmitirán señales de monitoreo y de control. De la misma manera que en el modelo de automatización para las subestaciones, en cada grupo generador se efectúan mediciones tanto de variables eléctricas como no eléctricas. Las variables eléctricas son adquiridas a través de los ION 7650; mientras que las variables no eléctricas son adquiridas y procesadas por los PLC's.

1.3.2.2.1 Señales de monitoreo y supervisión

Las variables eléctricas que se incluyen son corrientes, voltajes, potencias, datos de energía, frecuencia de operación y factor de potencia. Estos datos serán tomados de cada grupo generador por cada uno de los medidores ION 7650.

Dentro de las variables no eléctricas a monitorear se tienen principalmente las de temperatura, niveles de caudal y los estados de las alarmas.

1.3.2.2.2 Señales de control

Las señales de control son de carácter binario, y están presentes principalmente para actuar sobre las válvulas del jet de arranque y la válvula de mariposa utilizada para regular el nivel de paso de agua hacia los grupos generadores; así como también para actuar sobre la bobina de servo localizada en cada grupo generador.

1.3.2.3 Requerimiento de ancho de banda para transmitir los datos SCADA en la central El Ambi^[13]

Como se mencionó anteriormente los datos de carácter eléctricos serán adquiridos a través de los dos ION 7650, con los cuales se realiza el monitoreo completo y efectivo de los parámetros de energía activos, reactivos y aparentes. Además, se realizan mediciones en cuanto a calidad de energía, registros de datos y eventos; convirtiéndose así en el elemento fundamental para las funciones de monitoreo y supervisión del comportamiento de los dos grupos generadores de la central¹.

La transmisión de datos desde cada uno de los ION 7650 se la realiza directamente hacia el *switch* D-Link usando el puerto Ethernet. La velocidad de transmisión ofrecida por el puerto ethernet es de 10 Mbps, pero en vista de que para este tipo de aplicaciones es suficiente operar con velocidades de transmisión de 9600 bps, se asume esta velocidad para cada uno de los medidores.

Para las variables no eléctricas, se utilizan los PLC's para procesar dichas señales, las cuales se detallan en el ANEXO B.2. En la TABLA 2.7 se presenta un resumen de las variables no eléctricas manejadas por los PLC'S.

Listado de Señales de Entrada	
<i>Tipo de señal</i>	<i>Cantidad</i>
Señales de entradas discretas	14

¹ http://abampere.com.ar/pdf/ION7550_7650_folleto_largo_Espanol%5B1%5D.pdf

Señales de entradas analógicas	10
Señales de salidas discretas	6
Señales de salidas analógicas	0

TABLA 2.7 **Resumen de las variables no eléctricas a ser manejadas por los PLC's en la central El Ambi.**

Para el PLC 07CT41¹ el fabricante especifica un tiempo de procesamiento de 1,2 [ms] para la transmisión conjunta de datos binarios y analógicos por cada kilobyte transmitido, por lo que para ambos PLC's se tiene de la fórmula (2.1):

$$V_{tx} = \frac{8000 \text{ bits}}{1,2 \text{ [ms]}} = 6,667 \text{ [Kbps]}$$

Además se tiene que la resolución de cada palabra a transmitir es de 16 bits, por lo que se concluye lo siguiente:

$$\# \text{ bits} = \# \text{ señales discretas} * (1) + \# \text{ señales analógicas} (16) \quad (2.5)$$

$$\# \text{ bits de datos} = (20 * 1) + (10 * 16) = 180 \text{ bits}$$

De la fórmula (2.3) se tiene que la eficiencia es:

$$\eta = \frac{180}{536} = 0,33582089 \cong 33,58\%$$

De la fórmula (2.4), se calcula, y se obtiene:

$$V_{nominal} = \frac{V_{efectiva}}{\eta} = \frac{6,667 \text{ [Kbps]}}{0,33582089} = 19,85 \text{ [Kbps]}$$

Por lo que se tiene que para la transmisión de los datos SCADA manejados por los PLC's es necesario una velocidad de transmisión de 19,85 Kbps.

En la TABLA 2.8 se indica la velocidad de transmisión requerida por el enlace de comunicación que interconectará la central El Ambi con la red

¹ Manual del usuario. PLC ABB AC-31. Modelo 07CT41.

actual de datos de EMELNORTE S.A. Además, ésta será la velocidad de transmisión estándar que manejarán el resto de centrales de generación.

Tipo de tráfico	Velocidad de transmisión requerida
Generado por los dos ION 7650	19,6 [Kbps]
Generado por el PLC.	57,71 [Kbps]
TOTAL	77,31 [Kbps]

TABLA 2.8 Resumen del requerimiento de capacidad de canal para la central El Ambi

1.3.3 ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO FUTURO A SER MANEJADO POR LAS SUBESTACIONES Y CENTRALES DE GENERACIÓN DE EMELNORTE S.A.

En la actualidad, los sistemas que manejan la transmisión de voz sobre IP buscan en su mayoría la optimización del ancho de banda para el establecimiento de la comunicación de voz a través de la red IP.

1.3.3.1 Estimación del requerimiento de ancho de banda para sistemas de voz sobre redes IP a soportar por cada enlace punto – punto de comunicación a futuro [14][15][16]

En la actualidad, los sistemas que manejan la transmisión de voz sobre IP buscan en su mayoría la optimización del ancho de banda para el establecimiento de la comunicación de voz a través de la red IP.

Para la estimación del ancho de banda requerido por una conversación se debe tomar en cuenta el ancho de banda utilizado por el códec para la codificación de la voz, y el número de llamadas simultáneas. En la TABLA 1.17 del capítulo 1 se hace referencia al ancho de banda (*bit rate*) que ocupan los códecs más usados para sistemas de voz sobre IP. Estos valores se toman en cuenta para calcular el ancho de banda requerido para la transmisión de voz sobre IP para los enlaces.

Para calcular el ancho de banda ocupado por la voz en una sola vía se tiene:

$$AB_{VOZ} = (Payload + L_3 + L_2) * 8 * pps \quad ^1 \quad (2.6)$$

Donde:

- Payload*: Carga en bytes que genera el códec.
- L_3 : Cabecera de capa 3 y capas superiores.
- L_2 : Cabecera de capa de enlace en bytes.
- 8: Número de bits por byte.
- pps: Tasa de paquetes por segundo generado por el códec (pps = bit rate / payload)

Por lo tanto, se procede a realizar el cálculo del ancho de banda de voz para cada uno de los codificadores presentados en el capítulo 1.

Para el codificador G.711 se tiene:

- Payload = 160 bytes²
- $L_3 = 40$ bytes³
- $L_2 = 14$ bytes⁴
- pps = 50

$$AB_{VOZ} = (160 + 40 + 14) * 8 * 50 = 85.6 \text{ [Kbps]}$$

Para el codificador G.726 se tiene:

¹ http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/solutions_docs/voip_solutions/CAC.html.

² <http://www.oreillynet.com/pub/a/etel/2005/12/13/how-many-voice-callers-fit-on-the-head-of-an-access-point.html?page=1>.

³ 40 bytes = 20 bytes (cabecera IP) + 8 bytes (cabecera UDP) + 12 bytes (RTP).

⁴ Cabecera Ethernet = 14 bytes

- Payload = 80 bytes
- $L_3 = 40$ bytes
- $L_2 = 14$ bytes
- pps = 50

$$AB_{VOZ} = (80 + 40 + 14) * 8 * 50 = 53.6 \text{ [Kbps]}$$

Para el codificador G.729 se tiene:

- Payload = 20 bytes
- $L_3 = 40$ bytes
- $L_2 = 14$ bytes
- pps = 50

$$AB_{VOZ} = (20 + 40 + 14) * 8 * 50 = 29.6 \text{ [Kbps]}$$

Para el codificador GSM se tiene:

- Payload = 33 bytes
- $L_3 = 40$ bytes
- $L_2 = 14$ bytes
- pps = 50

$$AB_{VOZ} = (33 + 40 + 14) * 8 * 50 = 34.8 \text{ [Kbps]}$$

Para estimar el ancho de banda real requerido para una conversación es necesario determinar el número de llamadas simultáneas. Además, hay que tomar en cuenta que en una conversación se desarrolla el flujo de información en dos vías.

El número de llamadas simultáneas se calcula como sigue:

$$\text{Llamadas simultáneas} = \frac{\text{Ancho de Banda requerido}}{2 * \text{Ancho de Banda de voz}} \quad (2.7)$$

Para cada subestación y central de generación, la empresa cuenta con un solo operador a la vez, por lo tanto, se tiene un usuario generador de tráfico telefónico desde cada una de estas dependencias.

De lo anterior se concluye que al mismo tiempo solo puede realizar una llamada. De la fórmula (2.7) se puede determinar el ancho de banda requerido para los enlaces:

- Para el codificador G.711 (Ancho de banda de voz = 85,6 Kbps):

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

$$AB \text{ requerido} = 1 * 2 * 85,6 \text{ Kbps}$$

$$AB \text{ requerido} = 171,2 \text{ Kbps}$$

- Para el codificador G.726 (Ancho de banda de voz = 53,6 Kbps):

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

$$AB \text{ requerido} = 1 * 2 * 53,6 \text{ Kbps}$$

$$AB \text{ requerido} = 107,2 \text{ Kbps}$$

- Para el codificador G.729 (Ancho de banda de voz = 29,6 Kbps):

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

$$AB \text{ requerido} = 1 * 2 * 29,6 \text{ Kbps}$$

$$AB \text{ requerido} = 59,2 \text{ Kbps}$$

- Para el codificador GSM (Ancho de banda de voz = 34,8 Kbps):

$$AB \text{ requerido} = \text{llamadas simultáneas} * 2 * AB \text{ de voz} \quad (2.8)$$

$$AB \text{ requerido} = 1 * 2 * 34,8 \text{ Kbps}$$

$$AB \text{ requerido} = 69,6 \text{ Kbps}$$

Se tomará como ejemplo el teléfono IP de 3COM 3101¹, utilizado por la empresa para la red de telefonía IP interna desplegada en cada una de las oficinas y dependencias de la matriz, el despacho de carga y la agencia Sur en la ciudad de Ibarra. En sus especificaciones técnicas se detalla que maneja los códecs G.711, ADPCM y G.729 A/B, por lo que tomando como ejemplo el códec G.729 se tiene que el ancho de banda digital requerido por cada teléfono IP es de 59,2 [Kbps].

1.3.3.2 Estimación del tráfico manejado por sistemas de transmisión de video sobre IP para los enlaces de comunicación a futuro ^{[17][18][19]}

Para determinar el ancho de banda requerido para implementar un sistema de video – vigilancia se consideran los siguientes factores:

- *Número de cámaras de vigilancia en las subestaciones y centrales de generación:* para las subestaciones y centrales de generación se asume la utilización de una cámara por dependencia.
- *Técnica de compresión:* es la técnica de compresión que usa la cámara IP.
- *Número de imágenes transmitidas por segundo:* determina el número de fotogramas por segundo que el sistema es capaz de enviar. Para aplicaciones de video - vigilancia sobre IP, el mínimo número de fotogramas para tener una calidad aceptable de video es de 5 a 7² FPS³ por cada cámara.
- *Tamaño de la imagen:* depende de la cámara usada. A mayor tamaño de la imagen, mayor consumo de ancho de banda.

Se tomará como referencia la cámara AXIS modelo 2110⁴, la cual, es ampliamente utilizada en la actualidad para aplicaciones de video – vigilancia. Dicha cámara soporta resoluciones y niveles de compresión en formato JPEG y MPEG-4.

¹ http://www.3com.com/other/pdfs/products/en_US/3com-400897.pdf

² <http://monitoreo.calcom.com.mx/soptec.htm>

³ FPS: Fotogramas por segundo

⁴ http://www.axis.com/techsup/cam_servers/cam_2110/indez.htm?tab=product_info

Además se toma como referencia los valores de compresión de nivel alto (8 kilobytes) para formato JPEG y resolución de imagen de 640 x 480 píxeles (TABLA 2.9).

Resolución	Compresión JPEG (Kilobytes)			
	Muy Baja	Baja	Media	Alta
640 x 480	250	20	13	8
320 x 240	70	8	5	3

Tabla 2.9 Niveles de resolución y compresión de imagen de la cámara Axis 2110.

Para calcular el número de tramas necesarias para la transmisión de una imagen se tiene:

$$\text{Número de tramas} = \frac{\text{bytes imagen}}{\text{Número de bytes de datos por trama}} \quad (2.9)$$

Donde:

Número de bytes de imagen: 8 Kilobytes = 8192 bytes

Número de bytes de datos por trama: 2000 bytes¹

Por lo tanto:

$$\text{Número de tramas} = \frac{8192 \text{ bytes}}{2000 \text{ bytes/trama}} = 4,096 \text{ tramas}$$

Por lo que se determina que se necesita enviar cinco tramas en total; las cuatro primeras incluyen 2000 bytes de datos cada una, y la quinta con 192 bytes de datos.

Para cinco tramas el número de bytes de cabecera sería:

$$\text{bytes}_{\text{cabecera}} = \text{Número de tramas} * \text{bytes}_{\text{cabecera}} \quad (2.10)$$

$$\text{bytes}_{\text{cabecera}} = 5 * 57 \text{ bytes} = 285 \text{ bytes}$$

¹ En el encapsulamiento utilizado para video – vigilancia para el modelo TCP/IP (FIG. 1.56) se establece que el campo de datos por cada trama puede ser de 0 a 2049 bytes. En el cálculo efectuado se estandariza al campo de datos a 2000 bytes por trama.

Por lo tanto, el número total de bytes transmitidos por imagen es:

$$bytes_{TOTAL} = bytes_{imagen} + bytes_{cabecera}$$

$$bytes_{TOTAL} = 8192 + 285 = 8477 \text{ bytes}$$

Se asume 10 FPS para cada cámara, con lo que se logra un nivel de visualización bueno y se procede a calcular el ancho de banda que ocuparía cada cámara ubicada en las subestaciones y centrales de generación:

$$AB_{video} = \text{Número imágenes por segundo} * \text{bits por imagen} \quad (2.11)$$

$$AB_{video} = 10 \frac{\text{imágenes}}{\text{segundo}} * 8477 \frac{\text{bytes}}{\text{imagen}} * 8 \frac{\text{bits}}{\text{byte}} = 678,16 \text{ Kbps}$$

Por lo tanto a futuro se requerirá de 678,16 Kbps por cada cámara utilizada en cada una de las dependencias.

Suponiendo que se ubiquen dos cámaras por dependencia se tendría una velocidad de transmisión requerida de 1356,32 [Kbps].

1.4 DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA RED USANDO ENLACES EN FIBRA ÓPTICA

1.4.1 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE ENLACES DE COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA ^{[20][21]}

1.4.1.1 Parámetros básicos

Para la optimización del enlace óptico se deben determinar claramente la cantidad y las características de la información a transmitir. Además, para el diseño de los enlaces de comunicación en fibra óptica es necesario establecer la velocidad de transmisión (B) a manejar y la longitud del enlace (L).

Además se debe escoger el resto de parámetros adecuados para el enlace tales como: longitud de onda, tipo de fibra óptica, fuentes y emisores ópticos. Dichos parámetros serán los puntos fundamentales en el diseño.

Adicionalmente, para el diseño se deben considerar otros parámetros tales como:

- a) Tipo de modulación a usar.
- b) BER¹ del enlace, el cual determinará el grado de fidelidad del enlace.
- c) Vida útil de los equipos.
- d) Costo total del sistema.
- e) Posibilidad de ampliaciones futuras en las características del enlace.

Al analizar para cada enlace los parámetros de longitud y velocidad de transmisión con la ayuda de la TABLA 2.10 se establecen los parámetros de fuente óptica y tipo de fibra a usar para cada enlace.

1.4.2 DISEÑO DEL ENLACE CENTRAL EL AMBI – SUBESTACIÓN ALPACHACA – DESPACHO DE CARGA

1.4.2.1 Ubicación geográfica

La Central El Ambi está ubicada en la provincia de Imbabura, al noreste del cantón Antonio Ante en el sector que limita con el cantón Ibarra, en las siguientes coordenadas: 00° 23' 13.01" Norte, 78° 09' 22.06" Oeste a 1857 m.s.n.m². El camino de acceso es de tierra, y se encuentra en mal estado. Se cuenta con la comunicación satelital descrita en el capítulo uno. Además, tiene el equipamiento para la comunicación por radio de los operadores. Se encuentra a una distancia en línea recta de 3200 metros con respecto a la subestación Alpachaca.

La Subestación Alpachaca está ubicada en la parte noroccidental de la ciudad de Ibarra, parroquia Alpachaca, en las siguientes coordenadas: 00° 22' 0.16" Norte, 78° 08' 5.80" Oeste a 2294 m.s.n.m. El camino de acceso a la subestación es empedrado y se encuentra en condiciones normales. Se tiene el equipamiento para la comunicación por radio de los operadores.

¹ BER (*Bit Error Rate*): es una relación que permite cuantificar la confiabilidad de un sistema de comunicación. Por ejemplo, un BER de 10^{-12} indica que se acepta un bit errado por cada 10^{12} bits transmitidos.

² m.s.n.m: metros sobre el nivel del mar.

La bodega, el despacho general de carga y las direcciones de generación y subestaciones se encuentran ubicados en la misma dependencia (ex – Central Diesel) en la calle 13 de Abril s/n en la parte centro – norte de la ciudad. El despacho de carga se encuentra en las siguientes coordenadas: 00° 21' 26.20" Norte, 78° 07' 29.50" Oeste a 2204 m.s.n.m. Se encuentra a una distancia en línea recta de 1530 metros con respecto a la Subestación Alpachaca.

1.4.2.2 Selección de la ruta y análisis del tipo de cable de fibra a utilizar^{[20][22][23][24]}

Para los enlaces a diseñar surgen principalmente dos alternativas para el tendido del cable de fibra óptica:

- A través de canales subterráneos o excavación directa.
- A través de estructuras que permitan el tendido aéreo.

En el primer caso surgen algunas complicaciones en vista de que se requeriría la construcción de las rutas de ductería a través de todo el recorrido de la fibra entre estaciones terminales. Para lo cual, se debe conseguir los permisos de acceso y construcción sobre cada uno de los terrenos privados a lo largo del enlace, y consistiría en un considerable gasto adicional para la consecución de la obra civil previa. En el caso de la excavación directa, cabe señalar que las rutas de los enlaces incluyen el paso de riachuelos y quebradas, lo cual complica considerablemente la utilización de este tipo de cable.

En cambio para el tendido del cable aéreo de fibra óptica, se cuenta con los postes de hormigón propiedad de la empresa, a través de los cuales se encuentran las líneas de transmisión de energía eléctrica, constituyéndose así en rutas válidas y establecidas para el tendido aéreo del cable.

Además, el tendido aéreo para los cables de fibra óptica presenta algunas ventajas con respecto a las otras modalidades de tendido tales como:

- La instalación es relativamente sencilla y menos costosa.
- Facilita la localización y corrección de roturas del cable de fibra.

- Facilita el acceso para funciones de mantenimiento y revisión.

Por lo mencionado anteriormente se concluye que el tendido aéreo, constituye la mejor opción para el diseño de los enlaces de fibra óptica requeridos por la empresa.

En el ANEXO C se detallan las rutas a seguir para el tendido de cable de fibra óptica para cada uno de los enlaces.

En el mercado sobresalen tres tipos de cables aéreos de fibra óptica: OPGW, ADSS y Figura en 8; los cuales se describen y comparan a continuación, para así, escoger el más conveniente para el enlace.

a) *Cable OPGW*: satisface los requerimientos de la CCITT, G.652 (fibras monomodo estándar) y G.655 (NZDSF: fibras monomodo de dispersión desplazada no nula).

Su uso depende de factores como: tamaño de los vanos entre los postes o torres de alta tensión, condiciones ambientales del lugar, número de fibras, entre otras. Este cable presenta alta resistencia mecánica. Se distinguen dos áreas distintas en el cable:

- ✓ **Área óptica**: se constituye por las fibras que se encuentran protegidas dentro de un tubo de aluminio y acero. Junto con la cubierta externa reducen significativamente los efectos de la humedad y el sobrecalentamiento
- ✓ **Área metálica**: se conforma de al menos dos capas de alambres metálicos que rodean el área óptica. Su construcción se efectúa para establecer una protección adecuada ante los efectos de los esfuerzos mecánicos a la hora del tendido el cable. Normalmente se constituye de una aleación de aluminio con alma de acero.

El cable OPGW (Ver FIG. 2.8) acepta como máximo 120 fibras por cable. Operan a temperaturas de -40 °C hasta 85 °C y sobre las ventanas de transmisión de 1310 y 1550 [nm].

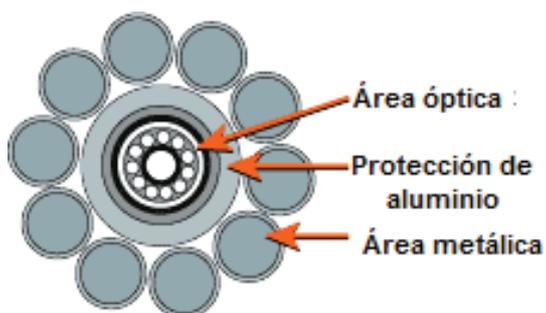


FIG 2.8 Estructura interna del cable de fibra óptica tipo OPGW.¹

Este tipo de fibra óptica posee excelentes características de protección del cable y puede conseguirse buenas prestaciones de disponibilidad para el enlace. Además, son inmunes a las interferencias electromagnéticas, pero al constituirse de elementos metálicos no son inmunes a la caída de rayos. Se acostumbra su uso sobre líneas eléctricas de alta tensión, especialmente en tendidos sobre torres de transmisión que poseen hilo de guarda.

- b) *Cable ADSS*: El cable aéreo de fibra óptica ADSS es totalmente inmune a las interferencias electromagnéticas y no es susceptible a la caída de rayos. Se aplica para distancias medias, largas. Es considerablemente más barato que el cable OPGW. El proceso de mantenimiento del cable ADSS es posible sin tener que interrumpir el sistema de transporte eléctrico.

Al igual que el cable OPGW, esta fibra satisface los requerimientos G.652 y G.655 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

La utilización del cable ADSS, (Ver FIG. 2.9) se recomienda para sistemas eléctricos ya construidos donde se tiene el correspondiente hilo de guarda. Muestra buenas características de estabilidad ante la presencia de vientos. Este tipo de cable puede instalarse en enlaces que cuenten con vanos menores a los 600 metros (ADSS de vanos largos) de acuerdo a las características del cable. A medida que crece el tamaño del vano se recomienda suspender el cable en un tensor, ya sea mediante grapas o un tensor de acero.

¹ http://www.caledonian-cables.co.uk/pic/Fiber/OPGW_Central%20Loose%20Tube%20Cable.JPG



FIG 2.9 Cable de fibra óptica tipo ADSS (*loose tube*¹).^[29]

La cubierta del cable es de polietileno², ya que este material posee mayor resistencia a las corrientes de fuga que pueden producirse sobre el cable producto de la diferencia de potencial que se puede producir entre el cable y las partes que se conectan a tierra. El cable ADSS es sensible a las radiaciones ultravioletas. Su cubierta externa puede llegar a dañarse por el efecto de los campos eléctricos que se generan alrededor del cable. A pesar de lo mencionado se cuenta con la posibilidad de la inclusión de una capa *antitracking* extra para protección del cable, la cual garantiza un comportamiento efectivo ante los factores citados anteriormente.

Para determinar el tipo de cable ADSS óptimo es necesario establecer algunas características de la ruta sobre la que se instalará la fibra, entre ellas: tamaño de los vanos, condiciones ambientales, número de fibras en el cable, entre otras.

c) *Figura en 8*: al igual que los cables analizados anteriormente, soporta las recomendaciones G.652 y G.655 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Es un cable de estructura holgada, al cual se encuentra adosado un cable guía usualmente de acero. La inclusión de este cable fiador resulta en una alta capacidad de tracción, el cual soportará las fuerzas externas presentadas en el tendido aéreo del mismo. Cuando el tendido de este cable se lo realiza cerca de cables de líneas de alta tensión, el cable guía se lo construye con material dieléctrico constituido generalmente por hilos de aramida y fibra de vidrio, (Ver FIG.2.10).

¹ *Loose tube*: es un cable de estructura holgada, el cual ofrece un mayor aislamiento mecánico del cable para resistir las fuerzas mecánicas exteriores que se ejercen sobre el mismo.

² Polietileno: es el polímero más simple.

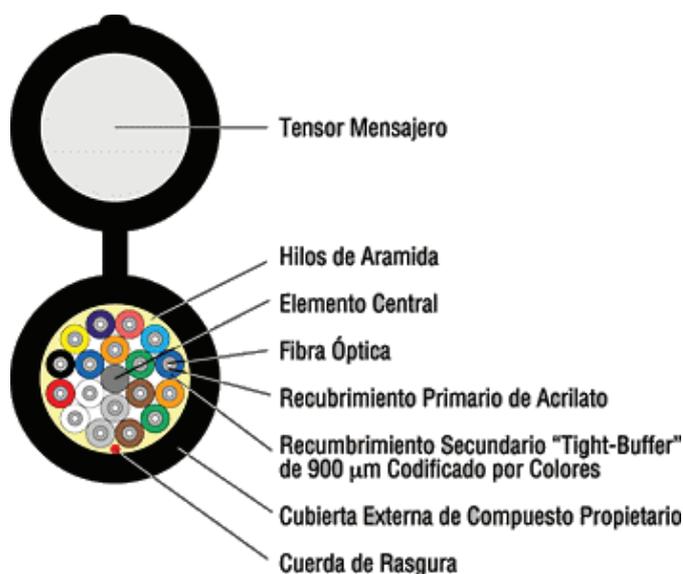


FIG 2.10 Cable de estructura en 8¹.

El cable guía y el cable óptico se encuentran físicamente separados por una franja de polietileno que aumenta el diámetro del cable. Al estar constituido con el cable guía presenta forma asimétrica, lo cual lo vuelve más susceptible a vibraciones de baja frecuencia debido a la acción del viento. Es recomendable para el tendido aéreo que presentan vanos largos.

1.4.2.2.1 Comparación entre el cable aéreo OPGW, ADSS y Figura en 8

En la TABLA 2.10 se muestra un análisis comparativo entre las características de estos tres tipos de cables aéreos.

Luego de analizar detenidamente las características de estos tipos de cable de fibra óptica de tendido aéreo, y de acuerdo a las características del enlace requerido y de la postiería existente, se escogió el cable ADSS como la más conveniente para éste y el resto de los enlaces. Se debe destacar que, además de su inmunidad a la interferencia electromagnética y a la caída de rayos (inclusión capa *antitracking*), su mantenimiento es fácil y el costo del cable y del sistema completo son menores al que se incurriría con la utilización del cable OPGW. Es oportuno también señalar que los vanos sobre los cuales se tenderá el cable aéreo son medianos y pequeños, por lo cual no se tiene la necesidad de proponer el cable de figura en 8.

¹ http://www.yio.com.ar/fibras-opticas/imagenes/cables-fibras-opticas-aereosm_series_figure_eight.gif

Características	ADSS	OPGW	Figura 8
Confiabilidad	ALTA	ALTA	ALTA
Sobrecarga estructural	PEQUEÑA	CONSIDERABLE	CONSIDERABLE
Inmunidad ante caída de rayos	TOTAL	NINGUNA	TOTAL (con guía dieléctrico)
Instalación en sistema nuevo	SIMPLE	SIMPLE	SIMPLE
Instalación sobre sistema existente	SIMPLE	COMPLEJO	SIMPLE
Facilidad de mantenimiento	FÁCIL	DIFÍCIL	FÁCIL
Costo del cable	BAJO	ALTO	MEDIO
Costo de instalación	BAJO	ALTO	BAJO
Costo total del sistema	BAJO	ALTO	MEDIO
Acceso a fibras ópticas	FÁCIL	DIFÍCIL	FÁCIL

Tabla 2.10 **Comparación entre cables ADSS, OPGW y Figura en 8.**¹

Ahora, el cable ADSS a utilizar deberá ser de estructura holgada (*loose tube*) debido a que éste presenta un buen aislamiento ante las fuerzas externas, así como también posee buenas prestaciones contra la deformación, envejecimiento y degradación. Cuenta además con un revestimiento interno, el cual presenta un soporte adicional en el proceso de tendido.

Además, para determinar el tamaño de vano máximo para cada enlace se recurre al ANEXO C, en donde se muestra al detalle, el recorrido del cable de fibra óptica. A partir de éste dato se determina el cable de fibra óptica a adquirir, ya que el mismo deberá ser capaz de soportar la tensión y su propio peso para distancias entre poste y poste equivalentes por lo menos al vano máximo. Para el caso del enlace Central El Ambi –

¹ La Tabla 2.10 fue generada por el autor.

Subestación Alpachaca, el tamaño del vano máximo es de 173,59 metros; para el caso del enlace Subestación Alpachaca – Despacho de Carga, el tamaño del vano máximo es de 99,39 metros. Por lo que se sugiere estandarizar que el cable de fibra óptica deberá a utilizar deberá soportar las tensiones y su propio peso en vanos de hasta 200 metros.

Cabe señalar además que para el tendido aéreo del cable de fibra óptica se requieren los herrajes de suspensión (Ver FIG. 2.11) y retención (Ver FIG.2.12), los cuales irán dispuestos en cada uno de los postes de hormigón dependiendo de las características del trayecto. Se los utiliza de manera que cuando se tiene un trayecto recto se colocan herrajes de suspensión; mientras que, cuando se presenta un camino irregular se colocan herrajes de retención. Además, si se presentan rectas extensas en el trayecto, se acostumbra la inclusión de herrajes de retención cada dos o tres postes en los que se utilizaron herrajes de suspensión. El número y naturaleza de los herrajes necesarios para cada uno de los enlaces están especificados al detalle en el ANEXO C.



FIG 2.11 Herrajes de suspensión para el tendido de cable ADSS de vanos de hasta 200 metros.¹

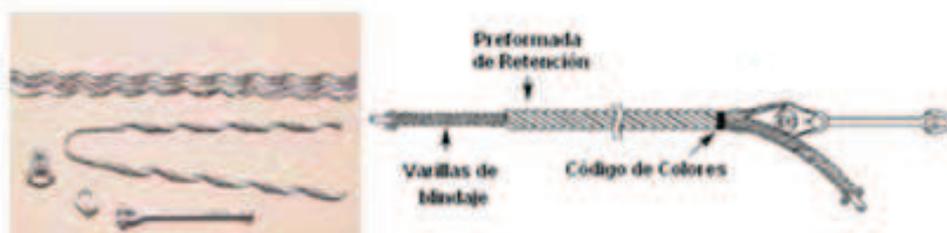


FIG 2.12 Herrajes de retención para el tendido de cable ADSS de vanos de hasta 200 metros.¹

1.4.2.3 Requerimientos para el enlace de fibra óptica^{[25][26]}

En la TABLA 2.11 se indica el requerimiento de velocidad de transmisión de datos para cada tramo de los enlaces.

¹<http://www.cabletelsa.com/herrajesfibraoptica.html>

Enlace Central El Ambi – Subestación Alpachaca	
<i>Tipo de datos</i>	V_{tx} [Kbps]
SCADA en la central	77,31
Voz IP	59,2
Video – vigilancia	1356,32
TOTAL	1492,83
Enlace Subestación Alpachaca – Despacho de Carga	
<i>Tipo de datos</i>	V_{tx} [Kbps]
Datos de la central El Ambi	1492,83
SCADA en la subestación	25,6
Voz IP	59,2
Video – vigilancia	1356,32
TOTAL	2933,95

Tabla 2.11 **Requerimiento de capacidad de canal para el enlace Central El Ambi – Subestación Alpachaca – Despacho de Carga.**

Para el cálculo de un enlace óptico es necesario establecer la fibra óptica disponible en el mercado que cumpla íntegramente con los requerimientos del sistema.

Cabe recalcar que la necesidad imperante de la empresa en la actualidad es la transmisión de datos SCADA desde las subestaciones y las centrales de generación, debiendo las aplicaciones de video – vigilancia y de voz sobre IP ser implementadas a futuro.

El requerimiento de velocidad de transmisión es pequeño en comparación a los manejados por fibras ópticas de altas capacidades, por lo que bastaría con la utilización de fibra óptica multimodo para cada uno de los enlaces ; sin embargo, la empresa pensando a futuro, en la posibilidad de brindar a la comunidad nuevos tipos de servicios ha requerido que los enlaces sean sobredimensionados para capacidades mayores a las requeridas, lo cual es posible con la utilización de fibra óptica monomodo para cada uno de los enlaces.

Para el tramo Central El Ambi – Subestación Alpachaca se tiene una distancia efectiva¹ a través de la ruta especificada de 4302 metros, mientras que para el tramo Subestación Alpachaca – Despacho de Carga se tiene una distancia efectiva de 2206 metros. (ANEXO C).

La Unión Internacional de Telecomunicaciones en el sector de normalización (UIT-T) ha publicado dos recomendaciones para tendidos aéreos de fibra óptica monomodo que son:

a) *G.652: Características de las fibras y cables ópticos monomodo*²:

La recomendación G.652 describe las características geométricas, mecánicas y de transmisión de un cable monomodo diseñado para transmitir en la región de los 1310 nm de longitud de onda en donde se tiene dispersión nula. Es ideal para transmitir en altas velocidades en distancias medias y largas.

Cuenta con cuatro variaciones de la norma, las cuales se detallan a continuación:

- *G.652.A*: presenta los atributos y valores recomendados para el soporte de aplicaciones que corren sobre sistemas de hasta STM³-16.
- *G.652.B*: contiene las características y valores recomendados para el soporte de aplicaciones de velocidades binarias de hasta STM-64.
- *G.652.C*: es semejante a la G.652.A, con la variación que permite transmisiones sobre un rango de longitudes de onda que va desde los 1360 nm hasta los 1530 nm.
- *G.652.D*: es semejante a la G.652.B, pero permite transmisiones sobre un rango de longitudes de onda que va desde los 1360 nm hasta los 1530 nm.

¹ Distancia efectiva es la longitud medida sobre la trayectoria de tendido del cable de fibra óptica y no representa la distancia a la que geográficamente se encuentran las dependencias citadas.

² Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

³ STM (*Synchronous Transport Module*): es la unidad de transmisión básica de la Jerarquía Digital Síncrona (SDH).

b) *G.655: Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula (Non Zero Dispersion Shifted Fiber, NZDSF):*¹

La recomendación G.655 describe a las fibras monomodo en las cuales el punto de dispersión cromática nula es desplazado a longitudes de onda por encima o por debajo de los 1550 nm. Para éstas longitudes de onda la dispersión cromática, si bien no se anula, es notoriamente baja.

Se comporta efectivamente en transmisiones de múltiples longitudes de onda a través de la misma fibra, específicamente para sistemas que utilizan la multiplexación por división en longitud de onda densa (*DWDM, dense wavelength division multiplexing*) y sistemas que utilizan la multiplexación por división de longitud de onda gruesa (*CDWM, coarse wavelength division multiplexing*). Son recomendadas para enlaces de larga distancia.

Si bien las características de transmisión de la fibra que se ajusta a la norma G.655 presenta mejores prestaciones para el soporte de aplicaciones que demandan gran ancho de banda e inclusión de sistemas multiplexados, la capacidad requerida para los enlaces a diseñar a corto y a largo plazo no justifica la inclusión de este tipo de cable. Cabe señalar que es poco probable que los enlaces de fibra óptica a futuro sean destinados para la prestación de servicios complementarios a las zonas aledañas debido a la dificultad de acceso a las mismas y al poco volumen poblacional que se presenta en éstos sitios. Aún así, además de los hilos de reserva, se debe garantizar que la capacidad de canal estimada para cada enlace sea considerablemente mayor a la requerida.

Además, los enlaces de fibra óptica requeridos por la empresa son de distancias cortas y medias, con lo cual sería suficiente la utilización de un cable monomodo que cumpla con la recomendación G.652. Cuando los enlaces de fibra óptica se encuentran en este rango de longitud no es necesaria la inclusión de compensadores de dispersión en el trayecto, lo que encarecería el enlace y haría necesaria la utilización de un cable de

¹¹ Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

fibra óptica que cumpla con la recomendación G.655 que es ideal para transmisión en altas velocidades para grandes distancias pero con un costo considerablemente mayor.

Los enlaces requeridos por EMELNORTE S.A. son de media capacidad, lo cual es analizado en el estudio de tráfico realizado anteriormente en el capítulo. Por lo cual, es suficiente para las necesidades de la empresa la utilización de un cable que cumpla con la recomendación G.652.

Dentro de la recomendación G.652, la más utilizada y recomendada es la G.652D, debido principalmente a que sobre la misma se soportan altas tasas binarias de transmisión de datos, y permite además transmisiones en un rango amplio de longitudes de onda adicionales que va desde los 1360 nm hasta los 1530 nm. Esta fibra se la conoce también como de pico de agua cero (*ZWP, Zero Water Peak*) ya que los picos de atenuación causados por iones hidroxilo se eliminan casi en su totalidad gracias a procesos de fabricación que evitan toda posible fuente de agua, lo cual desemboca en un aumento de aproximadamente del 33% de capacidad extra.

En la TABLA 2.12 se presentan los requerimientos especificados por la UIT-T en la recomendación G.652D para cables de fibra óptica monomodo.

Atributos de la fibra G.652.D		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal ¹	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6 – 9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del manto	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0 %

¹ Diámetro del campo modal: parámetro aplicado a fibras monomodo que indica cómo se produce la distribución geométrica de la luz en el modo propagado

Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 μm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0,092 ps/nm ² .Km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 a 1625 nm	0,4 dB/Km
	Máximo de 1383 nm \pm 3 nm	\leq 0,4 dB/Km
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/Km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01 %
	PMD _Q máximo	0,20 ps / $\sqrt{\text{Km}}$

Tabla 2.12 Características de la fibra óptica monomodo (Recomendación UIT-T G.652D)¹.

1.4.2.4 Determinación de los parámetros técnicos de los equipos

De acuerdo a las características del enlace, la UIT-T elaboró la recomendación G.959.1² "Interfaces de capa física de red óptica de transporte, para el establecimiento de los parámetros técnicos requeridos por los equipos que formarán parte del enlace".

La recomendación UIT-G.959.1 tiene los siguientes interfaces ópticos para fibras monomodo: 2.5 Gbps, 10 Gbps y 40 Gbps. Los enlaces de

¹ <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200506-I/en>

² <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.959.1/en>

fibra óptica a diseñar requieren un interfaz notablemente menor que los presentados por la recomendación, ya que en el análisis de tráfico realizado anteriormente, la capacidad del canal requerida para los enlaces a diseñar necesita interfaces de menores capacidades. El interfaz óptico que se tomará como referencia es el de 2.5 Gbps.

Como se analizó anteriormente se trabajará sobre fibra óptica que cumpla con la recomendación G.652.D, la cual puede operar satisfactoriamente sobre la segunda (1310 nm.) y tercera ventana de transmisión (1550 nm).

La longitud de onda de trabajo tiene que ver directamente con la atenuación que se presentará en la transmisión, y por ende en la distancia máxima para el enlace. Las distancias para los enlaces de fibra óptica requeridos por la empresa son cortas y medias, por lo que si bien para las transmisiones en 1310 nm se presenta una atenuación relativamente mayor a la presentada en los 1550 nm, serán suficientes para satisfacer las necesidades del presente proyecto. Por la misma razón, no será necesaria la inclusión de amplificadores ópticos intermedios los cuales operan en su mayoría en la tercera ventana, lo que obligaría a que la transmisión se realice sobre dicha ventana.

Por lo citado anteriormente se trabajará sobre el interfaz P1S1-1D1¹ de corto alcance cuyos parámetros importantes se indican en la TABLA 2.13.

Características	Unidad	Valores
Velocidad binaria	Gbps	2.5
Tipo de fibra	-	G.652.D
Transmisor S		
Tipo transmisor	-	SLM ²
Potencia máxima	dBm	0
Potencia mínima	dBm	-5

¹ P1S1-1D1: Interfaz óptico recomendado por la UIT-T G.959.1 para enlaces de fibra óptica que operan en los 1310 nm y cumplen con la recomendación G.652.

² SLM: Láser de modo mono longitudinal.

Tramo óptico entre el transmisor S y el receptor R		
Atenuación máxima	dB	11
Atenuación mínima	dB	0
Máxima dispersión cromática en el límite superior de longitud de onda	ps / nm	± 140
Receptor R		
Máxima potencia de entrada	dBm	0
Sensibilidad mínima	dBm	- 26
BER	-	10^{-12}

Tabla 2.13 **Especificaciones técnicas del interfaz óptico P1S1-1D1 de la recomendación UIT-T G.959.1**

1.4.2.4.1 Cálculos generales para los enlaces de fibra óptica ^{[3][20][21]}

Para garantizar que un enlace de fibra óptica se encuentre correctamente dimensionado se debe cumplir la siguiente relación que incluye todos los parámetros que influyen en la atenuación total del enlace:

$$P_T - n * \alpha_c - \alpha * D - \alpha_e * N_e - M_C - M_s \geq P_R \quad (2.12)$$

Donde:

P_T = Potencia de transmisión [dBm]

α_c = Atenuación debida al conector utilizado en el interfaz [dB]

n = Número de conectores de extremo a extremo del enlace

α_e = Atenuación debida a los empalmes [dB]

α = Atenuación debida a la longitud de la fibra óptica [dB/Km]

D = longitud efectiva de la fibra óptica [Km]

N_e = Número de empalmes

M_C = Margen de seguridad del cable de fibra óptica [dB]

$M_e =$ Margen del interfaz óptico de transmisión [dB]

$P_R =$ Potencia de recepción mínima [dBm]

Para los extremos del enlace se usarán conectores SC que son los empleados generalmente para la transmisión de datos, los cuales nominalmente introducen pérdidas de 0,4 dB cada uno. Cabe señalar que para cada extremo del enlace se cuenta con un cable Patch cord a la salida del ODF, el cual servirá para la conexión con los equipos activos del sistema. Por lo tanto para cada enlace se tiene la existencia de seis conectores.

El margen de reserva para los equipos por envejecimiento y condiciones ambientales está en el orden de 0,1 a 0,6¹ [dB/Km]; como las distancias para los enlaces requeridos son cortas y no sobrepasan los 5 kilómetros en su mayoría van a presentarse atenuaciones en el orden de los 2 a 3 decibelios. Se tomará como referencia para el cálculo el valor de 0,6 [dB/Km] para el margen de reserva que constituye el peor caso. El margen de seguridad para los cables debido a futuras reparaciones está entre 1 y 2 [dB].

Actualmente, cuando se requiere la inclusión de empalmes a lo largo del trayecto de la fibra óptica se utiliza la técnica de fusión, la cual incluye pérdidas que se encuentran en el rango de 0.01 a 0.2 dB. Cuando éste es el caso, se deben incluir elementos de encapsulado, los cuáles protegen a los empalmes de los esfuerzos y de la contaminación

A continuación se procede a calcular la distancia máxima que puede tener el enlace óptico sin necesidad de regeneración. Despejando la distancia D de la ecuación 2.12:

$$D_{max} \leq \frac{P_T - 6 * \alpha_C - M_C - M_e - P_R}{\alpha}$$

$$D_{max} \leq \frac{-5[dBm] - 6 * 0,4[dB] - 2[dB] - 3[dB] - (-26[dBm])}{0,4[dB/Km]}$$

¹ <http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/calculo-enlace>.

$$D_{max} \leq \frac{13,6[dBm]}{0,4[dB/Km]}$$

$$D_{max} \leq 34 [Km]$$

Se nota que de acuerdo a la disposición geográfica de los enlaces de fibra requeridos en el diseño, ninguno de ellos supera el valor de ésta distancia por lo que se validan los parámetros establecidos. Luego, se calcula para el peor caso, el valor de ancho de banda mínimo que se obtendría para una distancia de 34 kilómetros, como sigue ^[3]:

$$AB_{min} = \frac{0,5}{D * W_C * \Delta\lambda} \quad (2.13)$$

Donde:

D = Distancia máxima permitida para un enlace [Km]

W_C = Coeficiente de dispersión cromática de la fibra óptica [ps/nm.Km]

Δλ = Ancho espectral del láser [nm]

Para las fibras ópticas que operan en el rango de los 1310 nm de longitud de onda, el coeficiente de dispersión cromática posee valores de 4 o 5 [ps/nm.Km]¹. De acuerdo a la norma G.652D, el máximo valor para el coeficiente de dispersión cromática es de 5,3 [ps/nm.Km], y al ser el peor caso se tomará en cuenta éste valor para el cálculo.

De acuerdo a la recomendación UIT-T G.959.1 se sugiere la utilización de fuentes láser que con anchos espectrales mínimos (0,1 nm) que logran aumentar considerablemente el ancho de banda del enlace; pero, debido a la distancia del tramo y las características del enlace requerido es suficiente la utilización de fuentes láser estándar cuyo ancho espectral varía entre 1 y 5 nm.

$$AB_{min_Disponible} = \frac{0,5}{34[Km] * 5,3 \left[\frac{ps}{nm.Km} \right] * 5[nm]}$$

¹ JIMÉNEZ, María Soledad. Folleto de Comunicaciones ópticas.

$$AB = 554,94 \text{ [MHz]}$$

Ahora, el valor calculado es teóricamente el mínimo ancho de banda que se dispondrá para la distancia máxima soportable bajo las condiciones especificadas anteriormente. Para los enlaces de fibra requeridos, el ancho de banda que se dispondrá para cada enlace variará en función de la distancia de los mismos, de manera que para los enlaces más cortos dispondremos de un mayor ancho de banda con respecto a los enlaces que presentan mayores distancias. Cabe señalar que el cálculo efectuado tiene que ver con el ancho de banda que se dispondrá en cada enlace, y no con el requerido. Por aquello, se debe comprobar que mientras mayor sea la distancia del enlace de fibra óptica, menor será el ancho de banda que se dispondrá para la transmisión.

1.4.2.4.2 Enlace Central El Ambi – Subestación Alpachaca

La distancia efectiva que recorrerá el cable de fibra óptica es de 4327 metros, cursando en total 43 postes de hormigón usados para el tendido las líneas de alta tensión de 34,5 [kV]. Debido a que los carretes nominales estándares¹ en el mercado son mayores a la distancia requerida para este tramo, no se realizarán empalmes por lo que no se incluyen pérdidas de este tipo.

Para el cálculo de atenuación se tiene:

$$-5[\text{dBm}] - 6 * 0,4[\text{dB}] - 0,4 * 4,302[\text{dB}] - 2[\text{dB}] - 3[\text{dB}] \geq -26 [\text{dBm}]$$

$$-5[\text{dBm}] - 0,8[\text{dB}] - 1,7208[\text{dB}] - 2[\text{dB}] - 3[\text{dB}] \geq -26 [\text{dBm}]$$

$$-14,1208 [\text{dBm}] \geq -26 [\text{dBm}]$$

Por lo tanto, al ser la potencia recibida mayor que la sensibilidad del receptor, el enlace es satisfactorio.

¹ En su mayoría los carretes nominales de fibra óptica se presentan en longitudes de cable de cuatro o cinco kilómetros.

El ancho de banda resultante para el enlace es el siguiente:

$$AB = \frac{0,5}{4,327[Km] * 5,3 \left[\frac{ps}{nm.Km} \right] * 5[nm]}$$

$$AB = 4,36 [GHz]$$

1.4.2.4.3 Enlace Subestación Alpachaca – Despacho de Carga

La distancia efectiva de cable de fibra óptica es de 2206 metros, cursando en su totalidad 50 postes de la red de distribución pública de energía eléctrica. De la misma manera que en el tramo anterior no se realizarán empalmes por lo que no se incluyen pérdidas de este tipo.

Para el cálculo de atenuación se tiene:

$$-5[dBm] - 6 * 0,4[dB] - 0,4 * 2,206[dB] - 2[dB] - 3[dB] \geq -26 [dBm]$$

$$-5[dBm] - 0,8[dB] - 0,8824[dB] - 2[dB] - 3[dB] \geq -26 [dBm]$$

$$- 12,8824 [dBm] \geq -26 [dBm]$$

Al ser la potencia recibida mayor que la sensibilidad del receptor, el enlace es satisfactorio.

El ancho de banda para el enlace es el siguiente:

$$AB = \frac{0,5}{2,206 [Km] * 5,3 \left[\frac{ps}{nm.Km} \right] * 5[nm]}$$

$$AB = 8,55 [GHz]$$

1.4.2.5 Diagrama general de interconexión

En la FIGURA 2.13 se indica el esquema general de interconexión para el enlace Central El Ambi – Subestación Alpachaca – Despacho de Carga.

La interconexión se da a través de los puertos WAN de los switches disponibles en cada una de las dependencias y descritos al detalle en el

capítulo 1. En la TABLA 2.14 se indican los elementos y equipos requeridos para el tendido de la fibra.

1.4.2.6 Características técnicas de los equipos de red para la puesta en marcha del sistema de interconexión

Cabe señalar también que los *switches* ubicados en las dependencias a enlazar cumplen con los requerimientos para soportar el tráfico prioritario a transmitir en la actualidad que es el del sistema SCADA, tanto de las centrales de generación, como de las subestaciones. Cuando la empresa presente a futuro la necesidad de la inclusión de aplicaciones, deberá realizar la evaluación acerca de si los equipos de red utilizados podrán soportar dichas aplicaciones.

Ítem	Cantidad	Unidad	Descripción
1	4327	Metros	Cable 12 hilos ADSS monomodo con vanos de hasta 200 metros que cumpla con la Rec. G.652D.
2	2206	Metros	Cable 12 hilos ADSS monomodo con vanos de hasta 200 metros que cumpla con la Rec. G.652D.
3	1	Unidad	ODF de 24 puertos SC monomodo.
4	2	Unidad	ODF de 12 puertos SC monomodo.
5	3	Unidad	<i>Patch cord</i> de fibra óptica SC/SC.
6	4	Unidad	<i>Transceiver</i> de fibra a cobre 10/100 Mbps.

Tabla 2.14 Elementos requeridos para el tendido de fibra entre la central El Ambi y el Despacho de Carga a través de la subestación Alpachaca.

Debido al tipo de tráfico a transmitir, los equipos de red deben soportar gestiones de administración tales como:

- Ethernet para prestaciones en altas velocidades: 802.3i, 802.3u, 803.3z.
- Protocolo *Spanning Tree* (802.1d)
- Manejo de prioridades en la transmisión de datos para las aplicaciones de audio y video sobre IP (802.1p)
- Configuración de redes VLAN (802.1q)
- Ofrecer prestaciones de calidad de servicio.

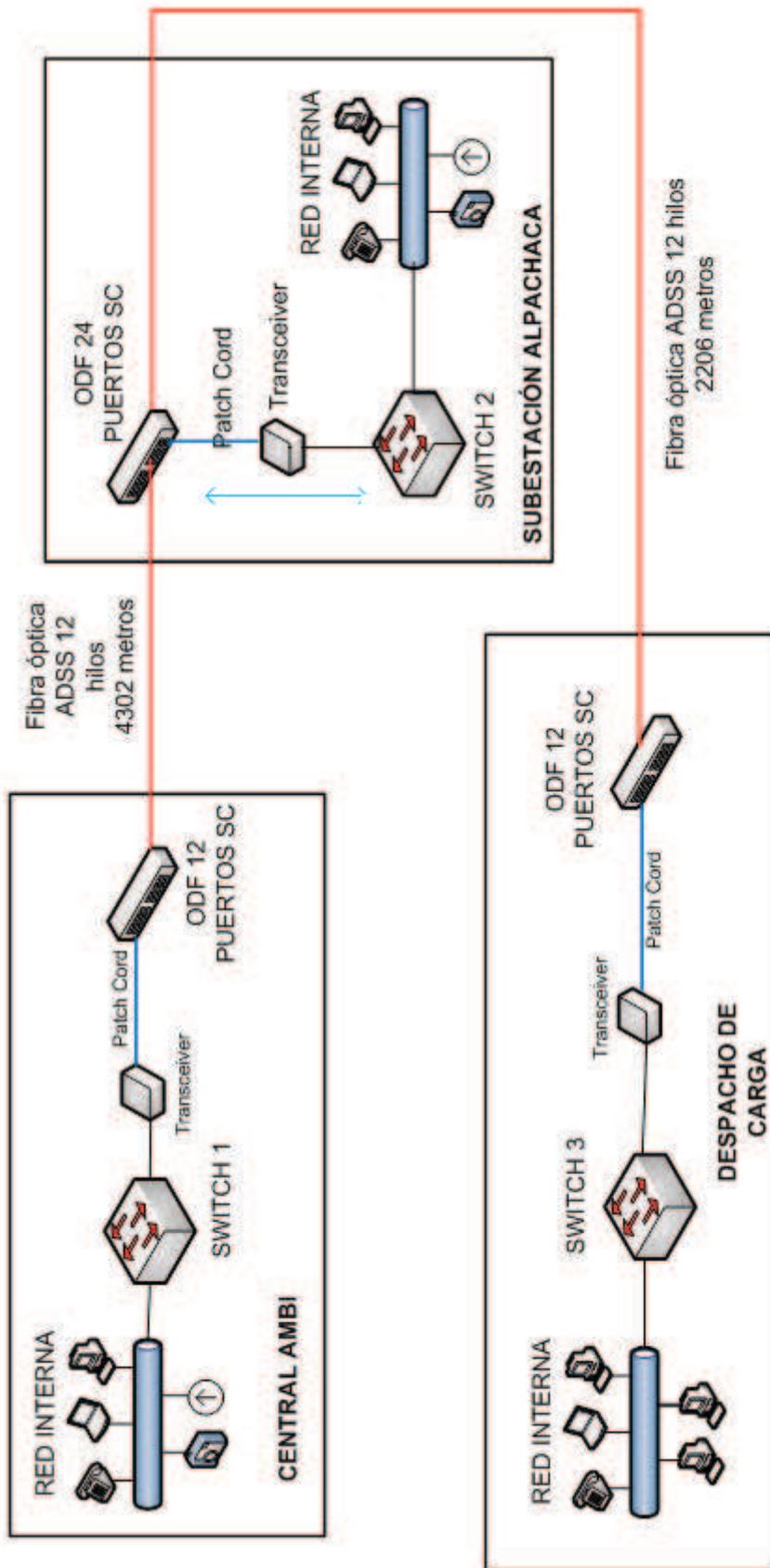


FIG. 2.13 Diagrama general de interconexión entre las central El Ambi y el Despacho de Carga a través de la subestación Alpacachaca

Además deberá ser capaz de trabajar sobre un entorno de calidad de servicio (QoS) y configuración de redes VLAN.

Todas las características requeridas para los *switches* son absolutamente necesarias para las gestiones de red a realizarse en cada una de las subestaciones y centrales al levantar los datos a través del enlace, para luego transmitirlos a través de los enlaces ADSL de la Red Metropolitana de Andinadatos (CNT)¹.

1.4.3 DISEÑO DE LOS ENLACE RESTANTES

El enlace Central El Ambi – Subestación Alpachaca – Despacho de Carga analizado en el punto anterior determina la interconexión directa de dichas dependencias con la matriz, esto sucede también para la subestación El Chota, la cual se interconecta directamente con el Despacho de Carga. Para el resto de enlaces, la interconexión se la realiza a través de la Red Metropolitana de Andinadatos; en este caso las condiciones para el dimensionamiento de la fibra óptica son las mismas que las tomadas en cuenta para el enlace presentado al detalle anteriormente.

La ubicación geográfica de cada una de las dependencias a enlazar se presenta en el ANEXO D. De la misma manera el trayecto pormenorizado de cada una de las rutas a seguir se indican en el ANEXO C. En la TABLA 2.15 se muestran en resumen, los cálculos de potencia y ancho de banda correspondientes a cada enlace.

Para el dimensionamiento de cada uno de los enlaces se toman en cuenta las mismas recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, así como también los mismos criterios de diseño, debido a las características similares de cada uno de ellos.

¹ CNT: Corporación Nacional de Telecomunicaciones

Nombre del Enlace	Distancia (Km)	Potencia (dBm)	Ancho de Banda disponible para cada enlace (GHz)
Sub. La Esperanza – Ag. Tabacundo	5,225	-14,09	3,61
Sub. Otavalo – Ag. Otavalo	2,776	-13,11	6,79
Sub. San Vicente – Ag. Otavalo	1,048	-12,42	18,00
Sub. Cotacachi – Ag. Cotacachi	0,708	-12,28	26,64
Sub. Atuntaqui – Ag. Atuntaqui	3,436	-13,37	5,49
Sub. El Chota – Despacho de Carga	18,668	-21,46	1,01
Sub. El Ángel – Ag. El Ángel	2,076	-12,83	9,08
Sub. San Gabriel – Ag. San Gabriel	1,125	-12,45	16,77
Sub. El Rosal – Ag. Tulcán	3,321	-13,33	5,68
Sub. Tulcán – Ag. Tulcán	2,372	-12,95	7,95
Central La Playa – Bodega Tulcán	2,515	-13,01	7,50
Bodega Tulcán – Matriz Tulcán	3,076	-13,23	6,13
Central S. Miguel de Car – Sub. Tulcán	10,454	-16,29	1,80

Tabla 2.15 Resumen de cálculos de potencia y ancho de banda disponible para los enlaces de fibra óptica restantes.

La metodología de interconexión de las dependencias con la matriz varía de cierta manera con respecto al enlace indicado anteriormente y analizado en detalle, ya que, en la mayoría de casos la matriz logrará acceder a los datos transmitidos desde las subestaciones y centrales de generación a través de la Red Metropolitana de Andinadatos, conectada con las agencias de la empresa ubicadas localmente.

El diagrama de interconexión de la FIG. 2.14 se establecerá para las subestaciones La Esperanza, Otavalo, San Vicente, Atuntaqui, San Gabriel, El Rosal y Tulcán. Cabe señalar, que la subestación Tulcán se interconectará con la Central San Miguel de Car, por lo cual desde este punto de interconexión se transmitirán los datos generados en la subestación y en la central.

Para la interconexión de la Central La Playa y la Bodega de Emelnorte en Tulcán con la agencia Tulcán, se presenta el diagrama de interconexión en la FIGURA 2.15.

En ambos casos los equipos de red deben presentar las características establecidas anteriormente, con lo cual se garantiza que las funciones lógicas de administración de la red para las aplicaciones requeridas funcionen adecuadamente.

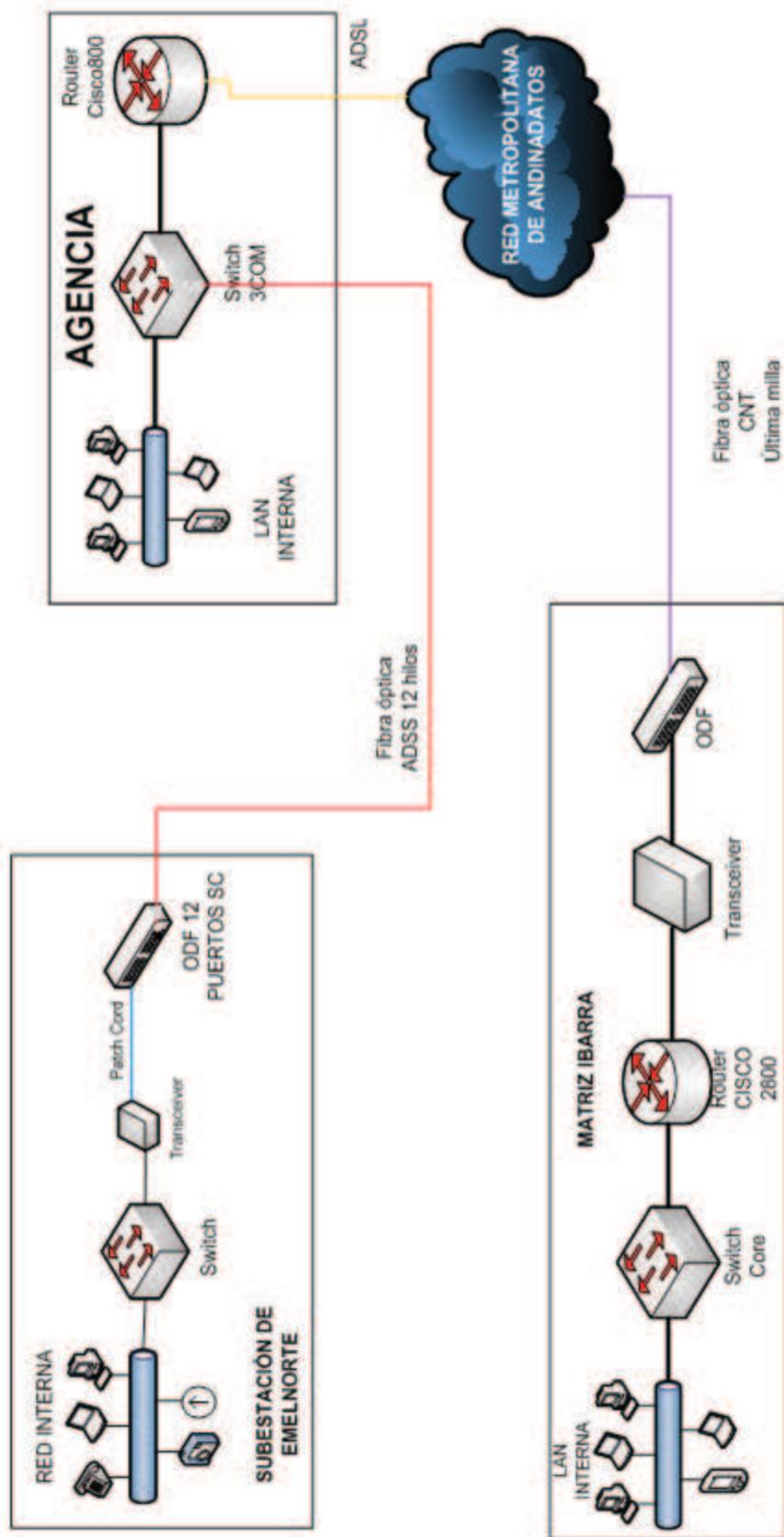


FIG. 2.14 Diagrama general de interconexión entre las subestaciones y la matriz

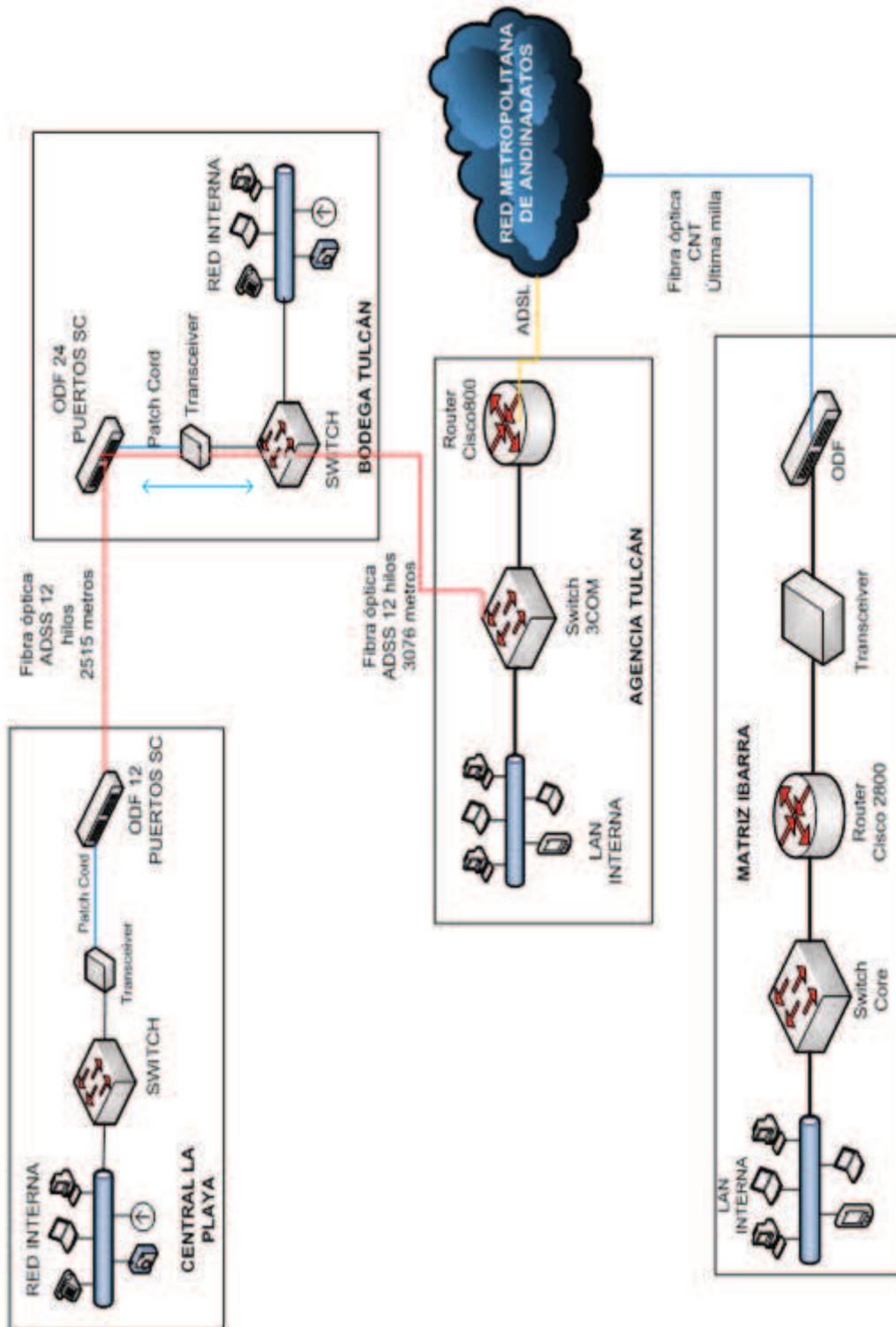


FIG. 2.15 Diagrama de Interconexión para el enlace Central La Playa – Bodega – Agencia Tulcán – Matriz Ibarra

1.5 DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA RED USANDO ENLACES INALÁMBRICOS

Para el diseño de los enlaces inalámbricos se usará el paquete computacional Radio Mobile que permite simular el comportamiento de los enlaces inalámbricos en base a la disposición geográfica de los puntos a enlazar y los parámetros técnicos de los equipos a usar.

1.5.1 RADIO MOBILE^{[27][28]}

1.5.1.1 Características de software de Radio Mobile

Radio Mobile tiene las siguientes características:

- Software de distribución libre, siendo además compatible con las distintas versiones de Windows.
- Generación de modelos de terreno a partir de datos del modelo digital de terreno. Utilización del modelo Longley – Rice para los cálculos de propagación.
- Fusionado de imágenes, lo que permite la visualización de distintas capas con los datos geográficos del terreno.

Radio Mobile puede descargarse desde la siguiente dirección en internet: <http://www.cplus.org/rmw/download.html>.

1.5.1.2 Modelo de propagación

Radio Mobile usa el modelo de propagación Longley – Rice. También conocido como ITM (*Irregular Terrain Model*), el cual, se basa en la teoría del electromagnetismo y el análisis estadístico de las características del terreno y los parámetros del radioenlace.

El modelo Longley – Rice predice la atenuación media de una señal de radio que se propaga por un entorno troposférico sobre terreno

irregular. El modelo fue estimado para frecuencias comprendidas entre los 20 MHz y los 40 GHz, y para distancias entre 1 Km y 2000 Km.

Para los cálculos de propagación, el modelo Longley – Rice tiene los siguientes parámetros:

Frecuencia: las frecuencias de operación para el modelo están entre los 20 MHz y los 40 GHz.

PIRE: parámetro establecido por el usuario en unidades de potencia.

Antena: como predeterminada se tiene el uso de antenas omnidireccionales. El usuario establece el tipo de antena a usar.

Altura de la antena: altura a las que se colocan las antenas de transmisión y recepción. El programa realiza el cálculo de las alturas necesarias para cumplir satisfactoriamente los cálculos de propagación del modelo.

Polarización: El modelo asume que tanto la antena de transmisión, como la de recepción tienen la misma polarización, sea vertical u horizontal.

Refractividad: determina el grado de curvatura que sufrirán las ondas de radio. En la mayoría de modelos se asume este valor igual a la curvatura de la Tierra ($4/3$), pero en el modelo Longley – Rice se pueden introducir valores para la refractividad de superficie directamente en el rango entre 250 y 400 unidades de n correspondientes a valores de curvatura de la Tierra entre 1.232 a 1.767. La curvatura de la tierra equivale a 301 unidades de n . En el modelo Longley – Rice recomiendan el valor de $4/3$ para condiciones atmosféricas promedio.

Permitividad y conductividad: ambos parámetros se encuentran indicados en la TABLA 2.16.

	Permitividad	Conductividad
Tierra media	15	0.005
Tierra pobre	4	0.001
Tierra rica	25	0.02
Agua fresca	81	0.01
Agua mar	81	5

Tabla 2.16 **Parámetros de permitividad y conductividad para la simulación de los enlaces inalámbricos con el modelo Longley – Rice^[27].**

Clima: en el modelo Longley – Rice se establecen siete tipos de condiciones climáticas que son: ecuatorial, subtropical continental, subtropical marítimo, desértico, templado continental, templado marítimo sobre tierra y templado marítimo sobre el mar.

Variabilidad: permite determinar la fiabilidad de los valores usados en el modelo. Los tipos de variabilidad que se toman en cuenta en el modelo Longley – Rice son las que se dan a largo plazo, y son: en el tiempo, posición y situación.

1.5.1.3 Modelos digitales del terreno

1.5.1.3.1 Modelo GTOPO30 (Global Topographic Data)

Es un modelo digital del terreno elaborado por la USGS¹. Tiene un espacio de muestras de 30 segundos de arco que equivale aproximadamente a 1 Km. Cubre todo el rango de latitud de 90° norte y 90° sur, todo el rango de longitud de 180° oeste y 180° este, y un rango de elevación entre -407 y 8752 metros.

Se encuentra determinado por un sistema de coordenadas tridimensional de grados decimales (latitud/longitud) y metros

¹ USGS (United States Geological Survey): Inspección geológica de los Estados Unidos.

(elevación). Los ficheros de este modelo se descargan a través del servidor FTP: <ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/>

1.5.1.3.2 *Modelo SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)*

Es una mejora del modelo GTOPO30. Es un modelo digital de terreno que genera un modelo tridimensional de la superficie terrestre. Tiene una precisión de 30 segundos de arco y abarca el 80% del globo terrestre. La nomenclatura es la misma que el modelo GTOPO30. Sobre este modelo se trabajará para establecer cada uno de los enlaces a diseñar.

Puede descargarse desde el servidor FTP: <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm>.

1.5.1.3.3 *Modelo DTED (Digital Terrain Elevation Data)*

Ofrece una precisión de 1 segundo de arco en los Estados Unidos y 3 segundos de arco que equivale a 100 metros para las regiones comprendidas entre las latitudes 56° sur y 60° norte. Los datos de este modelo se organizan por continente y pueden descargarse del siguiente servidor FTP: <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3>.

1.5.2 DISEÑO Y ESTUDIO DE LOS ENLACES INALÁMBRICOS DE COMUNICACIÓN PARA INTERCONECTAR LAS SUBESTACIONES Y LA BODEGA UBICADAS EN LA CIUDAD DE TULCÁN CON LA AGENCIA TULCÁN

Además de establecer el tráfico que va a manejar un enlace de comunicación, es importante el tratamiento de varios aspectos importantes que influyen en el diseño de un enlace inalámbrico tales como: análisis geográfico de las estaciones a enlazar, estudio topográfico del lugar, cálculos de pérdidas y características de propagación, especificaciones técnicas para los enlaces, para finalmente determinar los equipos que van a ser usados por el enlace.

Cada uno de los ítems citados anteriormente serán tratados independientemente para cada uno de los enlaces requeridos para la ciudad de Tulcán.

En la FIG.2.16 se muestra un bosquejo de los enlaces inalámbricos a diseñar sobre el modelo digital de terreno SRTM de Radio Mobile.

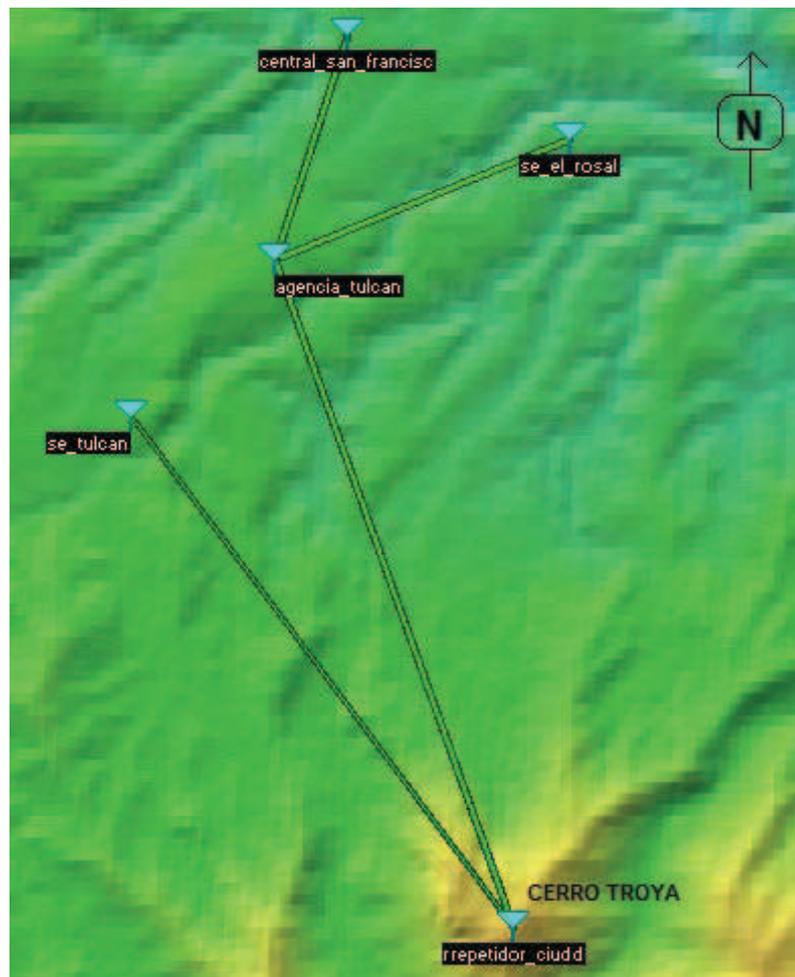


FIG 2.16 Red inalámbrica a diseñar en la ciudad de Tulcán.

En la TABLA 2.17 se indica el requerimiento de velocidad de transmisión de datos para cada tramo de los enlaces.

Enlace Bodega Tulcán – Agencia Tulcán	
<i>Tipo de datos</i>	V_{tx} [Kbps]
Central La Playa (enlace fibra óptica)	1492,83
SCADA en la central	77,31
Voz IP	59,2
Video – vigilancia	1356,32
TOTAL	2985,66
Enlace Subestación El Rosal – Agencia Tulcán	
<i>Tipo de datos</i>	V_{tx} [Kbps]
SCADA en la subestación	25,6
Voz IP	59,2
Video – vigilancia	1356,32
TOTAL	1441,12
Subestación Tulcán – Agencia Tulcán	
<i>Tipo de datos</i>	V_{tx} [Kbps]
Central San Miguel de Car (enlace fibra óptica)	1492,83
SCADA en la subestación	25,6
Voz IP	59,2
Video – vigilancia	1356,32
TOTAL	2933,95

Tabla 2.17 **Requerimiento de capacidad de canal para los enlaces inalámbricos requeridos en la ciudad de Tulcán.**

Es necesario recalcar que los datos que en la actualidad se transmitirán a través de los enlaces a diseñar, y luego por la Red Metropolitana de Andinados¹ son los del sistema SCADA de las

¹ Actualmente forma parte de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT).

subestaciones y centrales. Por esta razón, en la TABLA 2.18 se analiza la factibilidad de transmisión de los datos a través de los enlaces ADSL alquilados a Andinadatos.

Agencia	Velocidad pico de transmisión medida [Kbps]	Capacidad de canal adicional [Kbps]	Capacidad de canal requerido [Kbps]	Capacidad de canal alquilado [Kbps]
Tulcán	312,44	283,11	595,55	512
San Gabriel	26,01	25,60	51,61	256
El Ángel	6,56	25,60	32,16	256
Atuntaqui	46,73	25,60	72,33	256
Otavallo	22,17	51,20	73,37	512
Cotacachi	21,04	25,60	46,64	256
Cayambe	30,12	25,60	55,72	256
Tabacundo	8,61	25,60	34,21	256
Matriz	381,54	487,91	869,45	4096

Tabla 2.18 Análisis de la factibilidad de la transmisión de los datos generados por el sistema SCADA en subestaciones y centrales a través de las líneas ADSL alquiladas a la Red Metropolitana de Andinadatos.

Del análisis se observa que el único enlace ADSL crítico sería el que se genera desde la agencia Tulcán, ya que en el instante en el que se genera un pico de transmisión el canal podría llegar a saturarse y por ende se generarían pérdidas en los datos transmitidos. Se recomienda aumentar la capacidad de este enlace de 512 Kbps a 1024 Kbps para asegurar la fiabilidad en los datos transmitidos. Además, se determina que para el resto de enlaces es coherente la revisión del ancho de banda alquilado a la CNT debido a que se

encuentran sobredimensionados, siendo un ancho de banda de 128 Kbps suficiente para la transmisión de los datos SCADA generados tanto en subestaciones y centrales.

1.5.2.1 Enlace Bodega Tulcán – Agencia Tulcán

1.5.2.1.1 Análisis geográfico y características del terreno de los puntos a enlazar

La Bodega Tulcán (Central San Francisco) está ubicada en la provincia del Carchi, en la parte nororiental de la ciudad de Tulcán, en las siguientes coordenadas: 00° 49' 39.36" Norte, 77° 42' 45.08" Oeste a 2921 m.s.n.m. Se encuentra a un costado de la avenida San Francisco, a una distancia de 60 metros de la misma. El camino de acceso es de tierra, y se encuentra en condiciones regulares. Se cuenta con la comunicación satelital descrita en el capítulo uno para los datos generados por la Central Térmica San Francisco. Además, Se tiene el equipamiento para la comunicación por radio de los operadores.

La Agencia Tulcán se localiza en las siguientes coordenadas: 00° 48' 39.10" Norte, 77° 43' 4.34" Oeste a 2944 m.s.n.m. Se ubica en el centro de la ciudad, en la zona urbana, en las calles Pichincha y José Joaquín de Olmedo. Al situarse dentro del perímetro urbano se cuenta con una buena accesibilidad al lugar. El edificio donde opera la agencia Tulcán es de tres pisos y cuenta con una altura aproximada de 14 metros; en la parte superior del edificio se tiene un mástil de 4 metros de altura, por lo que se tendría una altura efectiva total de 18 metros para la ubicación de las antenas para el diseño.

La trayectoria del enlace se encuentra libre de obstáculos, es decir, se cuenta con una línea de vista despejada. La distancia entre los dos puntos a enlazar es de 1956 metros. La altura a la que se debe colocar la antena en la bodega es de 9 metros con respecto al nivel suelo, y en la agencia a una altura de 15 metros con respecto al nivel del mismo.

Con la ayuda del modelo digital de terreno SRTM utilizado por Radio Mobile se puede observar, en el perfil de terreno entre las dos estaciones a enlazar, que la primera zona de Fresnel se encuentra totalmente despejada, (Ver FIG.2.17).

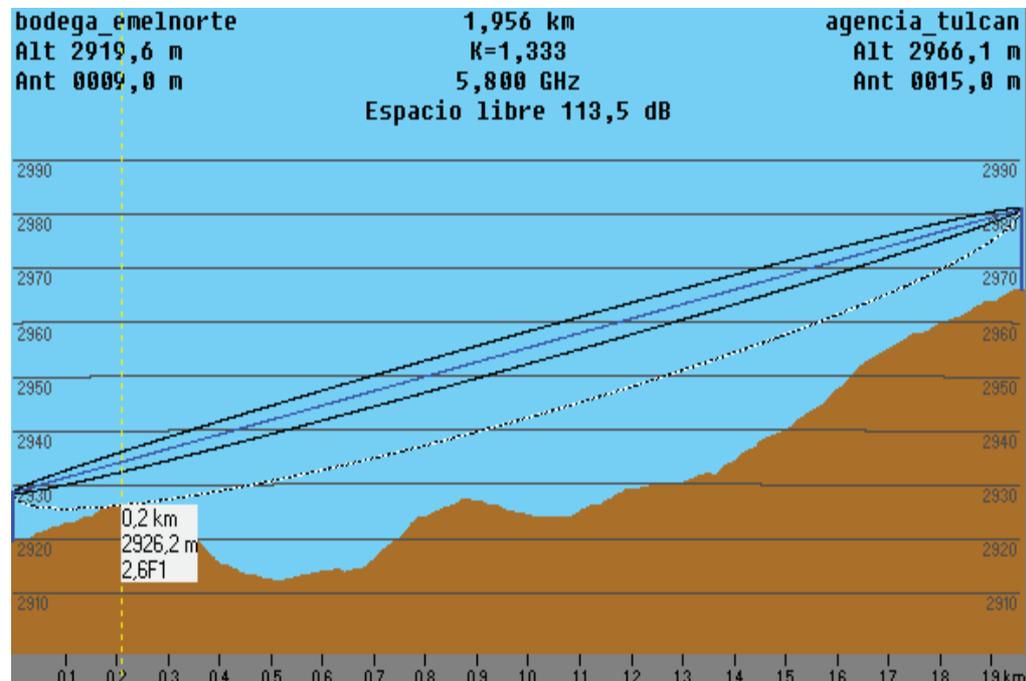


FIG 2.17 Perfil de terreno entre la Bodega Tulcán (Central San Francisco) y la Agencia Tulcán.

Para el diseño del radio enlace requerido entre la Bodega Tulcán (Central San Francisco) y la agencia Tulcán se necesita un enlace punto a punto. Cabe recalcar que el tráfico transmitido desde la Bodega Tulcán será el generado por la Bodega Tulcán y por la Central La Playa, la cual enviará su información a través del enlace de fibra óptica diseñado e indicado anteriormente en el capítulo y al detalle en el anexo C.

1.5.2.1.2 Cálculos de propagación y simulación del enlace en Radio Mobile

Los parámetros con los cuales se realizó la simulación del radioenlace se muestran en la TABLA 2.19. Éstos fueron determinados de acuerdo a las características geográficas, topográficas y ambientales de cada uno de las estaciones a enlazar.

Se señala también que los parámetros de ganancia de las antenas y potencias transmitidas por el radio base son los mínimos con los que se asegura un comportamiento aceptable del enlace.

En la simulación del enlace se cuantifican las pérdidas generadas en el enlace debidas a la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre, pérdidas por el entorno natural o urbano y las pérdidas generadas por conectores y líneas de conexión. Además, con el valor de potencia que indica la simulación se establece el margen de recepción mínimo que deberá tener el receptor.

El porcentaje a incluir en el campo de pérdidas adicionales por entorno urbano y boscoso representa la cantidad aproximada de territorio de este tipo dentro del mapa de trabajo. Por lo tanto, en las zonas urbanas la determinación del porcentaje adecuado dependerá exclusivamente de la presencia de edificios, casas, vías y avenidas con números considerables de vehículos en movimiento (efecto Doppler¹) y vegetación ligera. Para las zonas rurales este porcentaje dependerá de la densidad de vegetación y territorio boscoso que se localice entorno al enlace a simular.

CARACTERÍSTICAS DEL RADIOENLACE	
Frecuencia de operación	5,8 [GHz]
Distancia	1956 [m]
Refractividad de la superficie	301 [unidades-n]
Conductividad del suelo	0,02 [S/m]
Permitividad relativa al suelo	25
Inclusión de pérdidas por entorno urbano	60%

¹ Efecto Doppler: se refiere al aparente cambio de frecuencia que se percibe en recepción debido al movimiento del emisor de la señal con respecto al receptor.

Clima	Continental templado
Topología	Enlace punto – punto
PARÁMETROS DE LOS EQUIPOS USADOS EN LA SIMULACIÓN	
Potencia Transmisión	23 dBm
Ganancia antena de transmisión	12 dBi
Ganancia antena de recepción	12 dBi
Umbral de recepción	1 [μV]
PÉRDIDAS EN EL ENLACE Y CARACTERÍSTICAS DE RECEPCIÓN	
Pérdidas en el espacio libre	113,5 dB
Pérdidas en línea	0,5 dB
Pérdidas entorno urbano	25,6 dB
Pérdidas totales de propagación	140,0 dB
Nivel de recepción	1,4089 [μV]

Tabla 2.19 **Enlace Bodega Tulcán (San Francisco) – Agencia Tulcán**

Cabe señalar que para la obtención de las pérdidas totales de propagación, además de los factores citados en la TABLA 2.20 se incluyen las pérdidas estadísticas introducidas por el modelo Longley -Rice.

1.5.2.2 Enlace Subestación El Rosal – Agencia Tulcán

1.5.2.2.1 *Análisis geográfico y características del terreno de los puntos a enlazar*

La Subestación El Rosal está ubicada en la parte nororiental de la provincia del Carchi, en el cantón Tulcán, en las siguientes coordenadas: 00° 49' 11.55" Norte, 77° 41' 45.47" Oeste a 2862 m.s.n.m. Se encuentra en la parte nororiental de la ciudad, en la Panamericana Norte vía al puente de Rumichaca frontera con Colombia. La accesibilidad al sitio es buena. Se tiene el equipamiento para la comunicación por radio de los operadores.

Los detalles geográficos de la agencia Tulcán se indicaron en el enlace Bodega Tulcán (Central San Francisco) – Agencia Tulcán.

Entre las dos dependencias a enlazar se cuenta con una línea de vista despejada, lo cual permite la realización de un enlace punto a punto sin necesidad de la inclusión de estaciones repetidoras. El perfil de terreno del enlace se muestra en la FIG.2.18. La altura a la que se debe colocar la antena en la subestación es de 6 metros con respecto al nivel suelo, y en la agencia a una altura de 15 metros con respecto al suelo.

Además, se observa que entre las dos estaciones a enlazar, la primera zona de Fresnel se encuentra totalmente despejada, ya que se tiene el peor valor para la zona de Fresnel de 3,1 F1, siendo el mínimo permitido de 0,6 F1.

1.5.2.2.2 *Cálculos de propagación y simulación del enlace en Radio Mobile*

Los parámetros con los cuales se realizó la simulación del radioenlace se muestran en la TABLA 2.20. En la misma se especifican además los requerimientos técnicos de los equipos que con los cuales se estableció un enlace satisfactorio en la simulación.

CARACTERÍSTICAS DEL RADIOENLACE	
Frecuencia de operación	5,8 [GHz]
Distancia	2636 [m]
Refractividad de la superficie	301 [unidades-n]
Conductividad del suelo	0,02 [S/m]
Permitividad relativa al suelo	25
Inclusión de pérdidas por entorno urbano	50%
Clima	Continental templado
Topología	Enlace punto – punto

1.5.2.3.1 *Análisis geográfico y características del terreno de los puntos a enlazar*

La Subestación Tulcán está ubicada en la parte nororiental de la provincia del Carchi, en el cantón Tulcán, en las siguientes coordenadas: 00° 47' 56.68" Norte, 77° 43' 42.57" Oeste a 2957 m.s.n.m. Se encuentra en la parte suroccidental de la ciudad, en las calles Espejo y Pío Montúfar. Al encontrarse dentro del perímetro urbano, la accesibilidad es buena. Se tiene el equipamiento para la comunicación por radio de los operadores.

Los detalles geográficos de la agencia Tulcán se indicaron en el enlace Bodega Tulcán (Central San Francisco) – Agencia Tulcán.

Al no poseer línea de vista entre estas dos dependencias se procedió a realizar un análisis topográfico para indicar los lugares en donde sería factible la colocación de una estación repetidora. El sitio ideal se determinó que se encuentra en el pico aldeaño al cerro Troya, lugar que brinda línea de vista hacia el centro de la ciudad. La estación repetidora deberá colocarse en las coordenadas 00°45'36,0" Norte, 77°42'03,2" Oeste a 3427 m.s.n.m.

En las FIG. 2.19 y 2.20 se determina el perfil de terreno para el enlace de ambas dependencias a través de la estación repetidora ubicada a un lado del cerro Troya. Se observa que la primera zona de Fresnel se encuentra despejada en los dos casos. En el primer caso el ángulo mínimo determinado para la primera zona de Fresnel es de 3,1 F1, mientras que para el enlace Estación repetidora – Agencia Tulcán se tiene un valor de 8,0 F1.

La distancia para el enlace desde la subestación Tulcán hacia la estación repetidora es de 5333 metros, mientras que la distancia desde la estación repetidora hasta la Agencia Tulcán es de 5968 metros. La altura a la que se debe colocar la antena en la subestación Tulcán es de 9 metros con respecto al nivel suelo, y en la agencia a una altura de 15 metros con respecto al suelo. La estación repetidora estará levantada 9 metros con respecto al suelo.



FIG 2.19 Perfil de terreno entre la Subestación Tulcán y la Estación Repetidora.

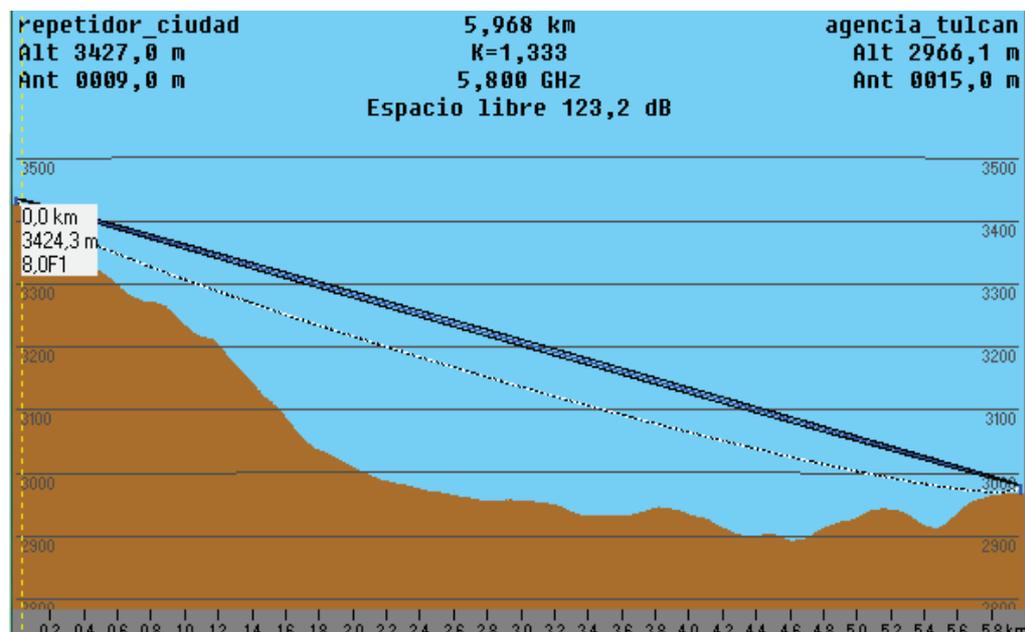


FIG 2.20 Perfil de terreno entre la Estación Repetidora y la Agencia Tulcán.

1.5.2.3.2 Cálculos de propagación y simulación del enlace en Radio Mobile

Los parámetros con los cuales se realizó la simulación del radioenlace usando una estación repetidora se muestran en la TABLA 2.21. En ésta se especifican además los requerimientos técnicos de los equipos que con los cuales se estableció un enlace satisfactorio en la simulación.

Cabe señalar que al operar sobre la frecuencia de 5.8 [GHz] y establecer la velocidad de transmisión requerida para cada enlace, se determina que los equipos de radio para los enlaces deben cumplir con el estándar IEEE 802.11a que establece la frecuencia de operación de 5.8 [GHz] y velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps. Además, establece para la transmisión de datos la técnica OFDM¹ (Multiplexación por división de frecuencias ortogonales).

CARACTERÍSTICAS DE LOS RADIOENLACES	
Frecuencia de operación	5,8 [GHz]
Distancia (Subestación Tulcán – Repetidora)	5333 [m]
Distancia (Repetidora – Agencia Tulcán)	5968 [m]
Refractividad de la superficie	301 [unidades-n]
Conductividad del suelo	0,02 [S/m]
Permitividad relativa al suelo	25
Inclusión de pérdidas por entorno urbano	50%
Clima	Continental templado
Topología	Enlace con salto de estación repetidora
ENLACE Subestación Tulcán – Estación Repetidora	
PARÁMETROS DE LOS EQUIPOS USADOS EN LA SIMULACIÓN	
Potencia Transmisión	23 dBm
Ganancia antena de transmisión	12 dBi
Ganancia antena de recepción	12 dBi

¹ OFDM: es una tecnología de modulación digital que consiste en dividir una señal de información de alta velocidad en múltiples subseñales de información y transmitir las en paralelo utilizando frecuencias portadoras ortogonales

Umbral de recepción	1 [μ V]
PÉRDIDAS EN EL ENLACE Y CARACTERÍSTICAS DE RECEPCIÓN	
Pérdidas en el espacio libre	122,2
Pérdidas en línea	0,5 dB
Pérdidas entorno urbano	21,2 dB
Pérdidas totales de propagación	144,8 dB
Nivel de recepción	2,5716 [μ V]
ENLACE Estación Repetidora – Agencia Tulcán	
PARÁMETROS DE LOS EQUIPOS USADOS EN LA SIMULACIÓN	
Potencia Transmisión	23 dBm
Ganancia antena de transmisión	12 dBi
Ganancia antena de recepción	12 dBi
Umbral de recepción	1 [μ V]
PÉRDIDAS EN EL ENLACE Y CARACTERÍSTICAS DE RECEPCIÓN	
Pérdidas en el espacio libre	123,2 dB
Pérdidas en línea	0,5 dB
Pérdidas entorno urbano	21,1 dB
Pérdidas totales de propagación	148,3 dB
Nivel de recepción	3,6771 [μ V]

Tabla 2.21 Enlace Subestación Tulcán – Estación Repetidora – Agencia Tulcán

1.5.2.4 Características técnicas de los equipos para la puesta en marcha del sistema de interconexión

Los equipos de red para la interconexión de las subestaciones y centrales de generación con las agencias locales a través de los

enlaces inalámbricos deberán mantener las mismas características de los descritos en el punto 2.4.2.6.

En la FIG. 2.21 se indica el diagrama general de interconexión a realizarse en la ciudad de Tulcán que incluye la Central San Miguel de Car, Central La Playa, Central San Francisco (Bodega Tulcán), Subestación El Rosal, Subestación Tulcán y la Agencia Tulcán.

1.5.3 DISEÑO DE LOS ENLACES INALÁMBRICOS PARA EL RESTO DE SUBESTACIONES DE EMELNORTE S.A.

Para el diseño de los enlaces inalámbricos restantes se siguen los mismos criterios que los utilizados para los enlaces diseñados para la ciudad de Tulcán, tratados en el punto anterior. La ubicación geográfica de cada dependencia se detalla en el ANEXO D, mientras que el detalle del estudio técnico para cada uno de ellos se indica en el ANEXO E.

En la TABLA 2.22 se indica un resumen, que incluye las características y parámetros más importantes para el diseño de cada enlace, tales como: distancia de línea de vista, peor despeje Fresnel, potencia de transmisión, ganancia de las antenas y la potencia recibida por la estación. Se señala además que el nivel mínimo para detectar la señal en recepción es de 1 [μ V].

El diagrama de interconexión para los enlaces inalámbricos restantes se presenta en la FIG. 2.22, con excepción del enlace a realizar para interconectar la subestación El Chota con el Despacho de Carga, en el cual se incluye un salto en la estación repetidora debido a que no se cuenta con línea de vista.

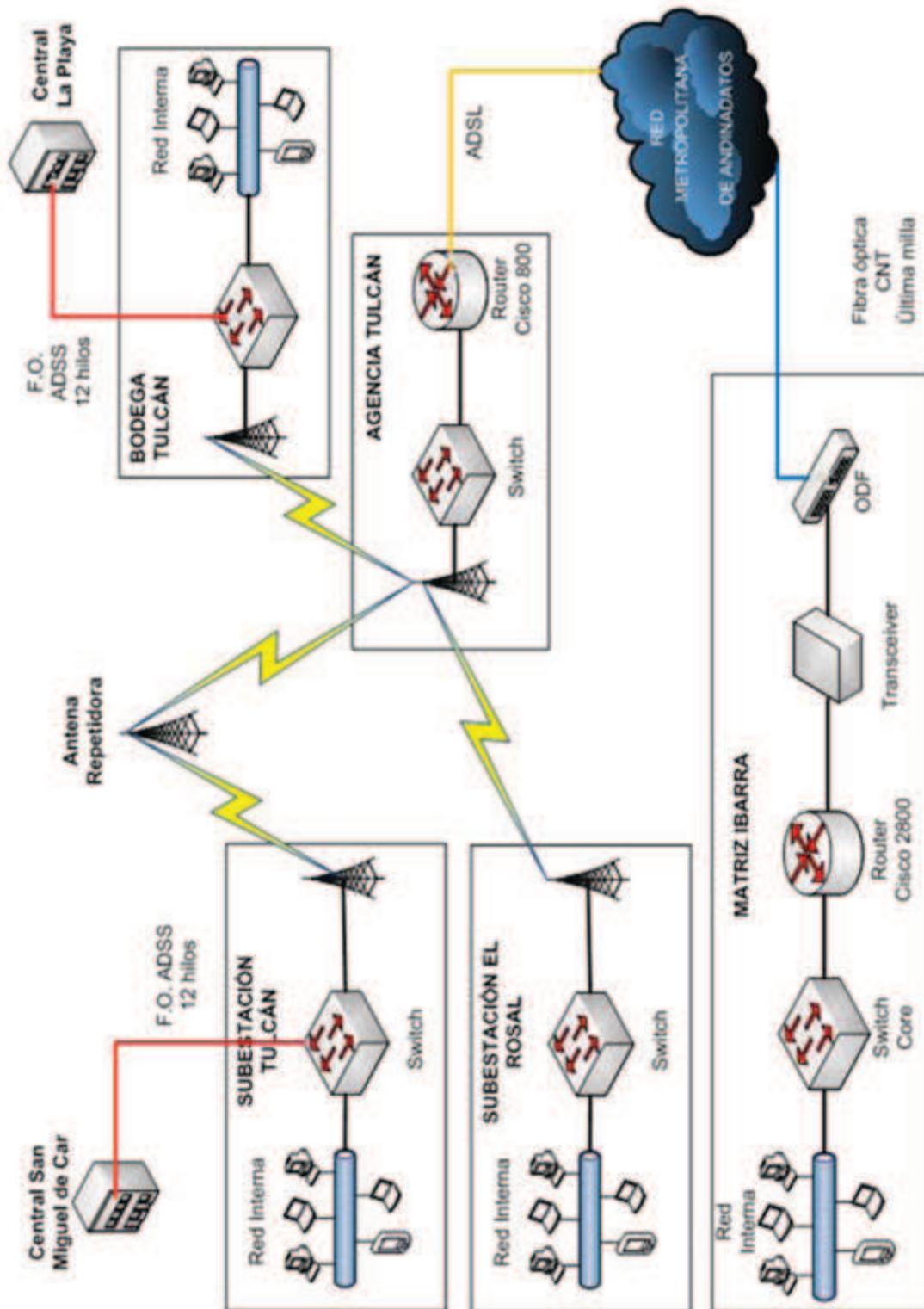


FIG 2.2.1 Diagrama de red para la interconexión para los enlaces inalámbricos restantes.

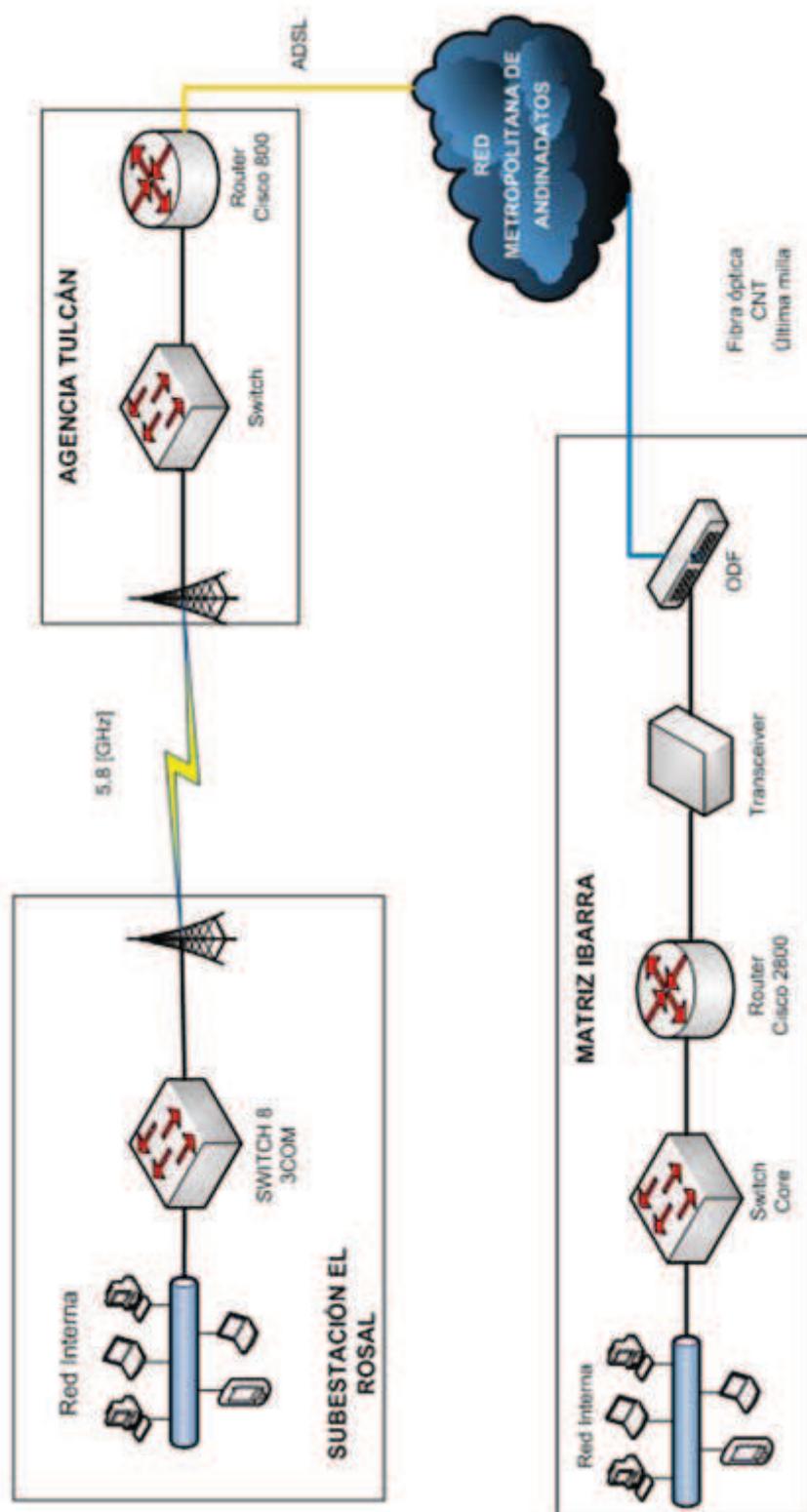


FIG 2.22 Diagrama de red para la interconexión para los enlaces inalámbricos restantes.

Enlace	Distancia [m]	Peor ángulo Fresnel	Potencia de Tx [dBm]	Ganancia Antenas [dBi]	Nivel de Rx [μV]
Sub. La Esperanza – Ag. Tabacundo	3332	0,6 F1	15	12	1,9993
Sub. Cayambe – Ag. Cayambe	1644	0,9 F1	10	12	2,2293
Sub. San Vicente – Ag. Otavalo	705	2,6 F1	10	9	2,7879
Sub. Cotacachi – Ag. Cotacachi	502	2,1 F1	10	9	2,7570
Sub. Atuntaqui – Ag. Atuntaqui	2359	0,6 F1	20	10	1,5475
Sub. Alpachaca – Despacho de Carga	1538	3,0 F1	6	6	1,7692
Sub. El Chota – Estación Repetidora	8670	0,6 F1	26	12	3,2815
Estación Repetidora – Despacho de Carga	5904	1,8 F1	20	12	2,3705
Sub. El Ángel – Ag. El Ángel	1576	0,9 F1	10	9	1,9971
Sub. San Gabriel – Ag. San Gabriel	816	4,4 F1	10	12	2,1914

Tabla 2.22 **Resumen de los parámetros principales en el diseño y simulación de los enlaces inalámbricos restantes.**

PRESUPUESTO DE LOS COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se detallan cada uno de los valores de los equipos y elementos referentes a la implementación de los diseños propuestos con el uso de fibra óptica y con tecnología inalámbrica. Se incluyen los costos referenciales en el mercado de acuerdo a las ofertas presentadas por empresas especializadas en la instalación de este tipo de servicios, y además se presentan los costos inherentes al mantenimiento, instalación y puesta en marcha de los mismos.

3.2 COSTOS DEL PROYECTO

3.2.1 COSTOS DE INVERSIÓN

3.2.1.1 Estimación de los costos para la implementación de los enlaces de fibra óptica

En base a las características y parámetros técnicos determinados en el capítulo dos, y también en el ANEXO D, se solicitaron ofertas a empresas dedicadas a la venta e instalación de enlaces de comunicación con fibra óptica, las cuales presentaron detalladamente el precio de cada uno de los elementos y equipos requeridos para la implementación de cada uno de los enlaces. Las empresas ofertantes fueron las siguientes: Andean Trade Group y Fiber Optic Solutions (F.O.S.) Ecuador Cia. Ltda.

3.2.1.1.1 Presupuesto referencial para el enlace Central El Ambi - Subestación Alpachaca – Despacho de Carga

En la TABLA 3.1 se presenta la oferta presentada por Andean Trade^[1]; de la misma manera en la TABLA 3.2 se presenta la oferta de F.O.S. Ecuador Cia. Ltda^[2]. Las ofertas realizadas se basan en las especificaciones técnicas realizadas en el capítulo dos.

Ítem	Descripción	Cant.	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Cable de fibra óptica ADSS spam 200 metros, 12 hilos monomodo. G.652D.	6600 ¹	3,16	20856,00
2	Accesorios de retención para postes de red pública	93	27,00	2511,00
3	Accesorios de suspensión para postes de red pública.	2	25,00	50,00
4	ODF de 12 puertos SC monomodo completo	3	182,25	564,75
5	Convertidor de fibra a cobre 10/100 Mbps	4	130,00	520,00
6	Patch Cord de fibra óptica SC/SC de dos metros	3	54,00	162,00
7	Rack de pared cerrado, ventilación, tomas.	2	500,00	1000,00
8	Fusiones (accesorios)	48	25,00	1200,00
9	Tendido de fibra, pruebas con OTDR y puesta en marcha del sistema y material adicional	1	4500	4500,00
PARCIAL				31363,75
IVA 12%				3763,65
TOTAL				35127,40

Tabla 3.1 Presupuesto referencial para el enlace Central El Ambi – Subestación Alpachaca – Despacho de Carga en base a los costos presentados por Andean Trade Group.

Ítem	Descripción	Cant.	Precio	Montaje	Precio
------	-------------	-------	--------	---------	--------

¹ Resulta de la suma de las longitudes para cada tramo del enlace Central El Ambi - S/E Alpachaca – Despacho de Carga. (2206 [m] + 4327 [m] = 6533 ~ 6600 [m]).

			Unitario (USD)	(USD)	Total (USD)
1	Cable de fibra óptica ADSS spam 200 metros, 12 hilos monomodo. G.652D.	6600	3,25	1,00	28050,00
2	Accesorios de retención para postes de red pública	93	11,00		1023,00
3	Accesorios de suspensión para red pública	2	11,00		22,00
4	ODF de 12 puertos SC monomodo completo	3	410,00	50,00	1380,00
5	Convertidor de fibra a cobre 10/100 Mbps	4	150,00		600,00
6	Patch cord de fibra óptica SC/SC de 2 metros	3	54,00		162,00
7	Rack de pared cerrado con ventilación, tomas	2	450,00	50,00	1000,00
8	Fusiones (accesorios)	48	16,20		777,60
9	Mediciones	48	15,00		720,00
10	Varios (Transporte, alimentación y hospedaje)	1	2000,00		2000,00
PARCIAL					35734,60
IVA 12%					4288,15
TOTAL					40022,75

Tabla 3.2 **Presupuesto referencial para el enlace de fibra óptica Central El Ambi – Subestación Alpachaca – Despacho de Carga en base a los costos referenciales presentados por F.O.S. Ecuador Cía. Ltda.**

F.O.S Ecuador Cia. Ltda. incluye en su oferta económica los siguientes aspectos:

- *Forma de pago:* 50% a la orden de compra y el otro 50% al momento de la entrega.
- *Tiempo de entrega:* cinco días de instalación; cable a disposición luego de treinta días de realizada la orden de trabajo.
- *Garantía:* quince años para la fibra óptica, y para los equipos un año contra defectos de fabricación.

En las ofertas presentadas se incluye además del costo del equipamiento necesario para los enlaces, el costo que representa la implementación y puesta en operación del mismo.

Ahora, ambas empresas cumplen con los requerimientos técnicos establecidos para los enlaces y cuentan además con el aval de haber participado en la implementación y ejecución de proyectos similares en el país. Para la empresa, la garantía presentada por el oferente es un parámetro indispensable al momento de inclinarse por una u otra opción, por lo que la oferta presentada por F.O.S. Ecuador Cía. Ltda. es la opción más adecuada.

Cabe señalar, que la empresa se rige por la Ley de Contratación Pública, por lo que la adjudicación de este tipo de proyectos se efectúa previa a la realización de un concurso público a través del portal del Sistema Nacional de Contratación Pública. Por lo tanto, se recomienda que para la calificación técnica de cada oferta, se realice un estudio minucioso de cada uno de los parámetros técnicos establecidos en el capítulo dos para cada uno de los enlaces.

Además, en el costo total de implementación del enlace debe incluirse el costo debido a la instalación de cuatro postes de hormigón en el trayecto comprendido entre la central El Ambi y la subestación Alpachaca. El presupuesto realizado para la instalación de los cuatro postes fue realizado por la Dirección de Distribución de EMELNORTE a través de los Departamentos de Ingeniería y Construcciones, y Mantenimiento ^[3].

El costo final para la adquisición e instalación de los cuatro postes requeridos es de 1168,04 dólares, por lo que se tiene un precio unitario de 292,01 dólares por poste.

Tomando en cuenta la oferta presentada por F.O.S. Ecuador Cía. Ltda. el costo referencial total para la implementación del enlace de fibra óptica Central El Ambi – Subestación Alpachaca – Despacho de Carga es de 41190,79 dólares, mientras que con la oferta presentada por Andean Trade se tiene un costo referencial de 36295,44 dólares.

3.2.1.1.2 Presupuesto referencial para el resto de enlaces de fibra óptica

Para el resto de enlaces es necesaria también la especificación del número de empalmes a realizar a lo largo del tendido de acuerdo a la longitud de los mismos. En la TABLA 3.3 se especifica el número de empalmes a realizar tomando como referencia carretes estándar de fibra óptica de cuatro kilómetros.

Finalmente, en la TABLA 3.4 se indica un resumen del presupuesto referencial para cada enlace de fibra óptica de acuerdo a los precios unitarios presentados por las dos empresas citadas anteriormente¹. Se indica también los requerimientos de postes y en qué enlaces existe la necesidad de realizar empalmes. En el ANEXO F se indica al detalle el desglose del presupuesto de cada uno de los enlaces de acuerdo a los precios de las dos empresas ofertantes.

El costo por empalme aéreo y fusión de las fibras varía según la empresa ofertante en función del fabricante y las características de la caja de empalme. Actualmente, el costo por el kit para el empalme de fibra óptica ADSS de 12 hilos de AFL Telecommunications es de 300 dólares, mientras que el costo para el montaje, fusiones de fibra y demás materiales para el empalme es de 300 dólares².

Nombre del Enlace	Longitud (en Km)	Número de empalmes	Número de postes instalados	Número de postes nuevos	Número de herrajes
-------------------	------------------	--------------------	-----------------------------	-------------------------	--------------------

¹ Los precios tomados en cuenta para el presupuesto referencial de cada enlace son variables debido a los diferentes fabricantes y a las fluctuaciones de precios que ocurren en el mercado.

² Fuente: INGETESAC Cía. Ltda. Ing. Juan Fernando Paz.

Sub. La Esperanza – Ag. Tabacundo	5,3	1	75	1	76
Sub. Otavalo – Ag. Otavalo	2,8	0	80	0	80
Sub. San Vicente – Ag. Otavalo	1,1	0	28	0	28
Sub. Cotacachi – Ag. Cotacachi	0,8	0	21	0	21
Sub. Atuntaqui – Ag. Atuntaqui	3,5	0	78	0	78
Sub. El Ángel – Ag. El Ángel	2,1	0	42	0	42
Sub. San Gabriel – Ag. San Gabriel	1,2	0	27	0	27
Sub. El Rosal – Ag. Tulcán	3,4	0	84	0	84
C. La Playa – Bodega – Ag. Tulcán	5,7	1	141	0	141
Sub. Tulcán – Ag. Tulcán	2,4	0	62	0	62
C. San Miguel de Car – Sub. Tulcán	10,5	2	79	31	110
Sub. El Chota – Sub. Alpachaca	18,7	4	80	21	101

Tabla 3.3 **Especificación del número de empalmes, número de postes instalados, número de postes nuevos y número de herrajes requeridos por cada enlace de fibra óptica.**

Enlace	Costo del Enlace	Costo inclusión de empalmes	Costo postes nuevos	Costo Total (USD)
---------------	-------------------------	------------------------------------	----------------------------	--------------------------

	(USD)	(USD)	(USD)	
Sub. La Esperanza – Ag. Tabacundo	29724,86	600,00	292,01	30616,87
Sub. Otavalo – Ag. Otavalo	20230,34	0,00	0,00	20230,34
Sub. San Vicente – Ag. Otavalo	11167,30	0,00	0,00	11167,30
Sub. Cotacachi – Ag. Cotacachi	9462,66	0,00	0,00	9462,66
Sub. Atuntaqui – Ag. Atuntaqui	23426,21	0,00	0,00	23426,21
Sub. El Ángel – Ag. El Ángel	16454,82	0,00	0,00	16454,82
Sub. San Gabriel – Ag. San Gabriel	11620,05	0,00	0,00	11620,05
Sub. El Rosal – Ag. Tulcán	23305,02	0,00	0,00	23305,02
C. La Playa – Bodega – Ag. Tulcán	36906,59	600,00	0,00	37506,59
Sub. Tulcán – Ag. Tulcán	18217,98	0,00	0,0	18217,98
C. San Miguel de Car – Sub. Tulcán	48915,37	1200,00	9052,31	59167,68
Sub. El Chota – Despacho de Carga	79834,20	2400,00	6132,21	88366,41

Tabla 3.4 Resumen de los costos de implementación para cada enlace de fibra óptica.

3.2.1.2 Estimación de los costos para la implementación de los enlaces inalámbricos

De acuerdo a los parámetros técnicos analizados en el capítulo dos y en el Anexo E, a continuación se presenta un presupuesto referencial de los equipos a utilizar para cada uno de los enlaces inalámbricos de acuerdo a sus características. Para lo cual, se tomaron los precios referenciales

actuales en el mercado facilitados por INGETESAC Cía Ltda., empresa dedicada a la instalación y puesta en marcha de enlaces inalámbricos.

Se presenta en detalle el presupuesto referencial para los enlaces inalámbricos a establecer en la ciudad de Tulcán. Además, en el ANEXO G se especifica el presupuesto estimado para el resto de enlaces diseñados en el capítulo dos.

Una de las marcas más difundidas en el campo de las comunicaciones inalámbricas en la actualidad es PROXIM, la cual ofrece una variedad de soluciones que incluyen parámetros sobresalientes de seguridad y fiabilidad en la transmisión de datos. Además, cumple con los requerimientos de calidad de servicio, rendimiento y prestaciones establecidas en el capítulo dos en el diseño de los enlaces; por lo que, para los enlaces inalámbricos requeridos en la ciudad de Tulcán se tomará como referencia los radios Tsunami MP.11 Model 5054-R de PROXIM ^[5].

3.2.1.2.1 Presupuesto referencial para los enlaces inalámbricos a establecer en la ciudad de Tulcán^[6]

Como se trató en el capítulo dos, en la ciudad de Tulcán se requiere implementar los siguientes enlaces: Bodega Tulcán – Agencia Tulcán, Subestación El Rosal – Agencia Tulcán y Subestación Tulcán – Agencia Tulcán a través de una estación repetidora.

Para el efecto, se requiere de equipos de radio, antenas y elementos para la instalación y puesta en marcha del sistema para cuatro unidades base y cuatro unidades suscriptoras mediante comunicación punto – punto. Además, cabe recalcar que los radios utilizados soportan comunicación punto – multipunto, por lo cual al momento de la puesta en marcha deberán ser configurados como punto – punto al limitar el número de estaciones suscriptoras a una.

En la TABLA 3.5 se indica el costo referencial de los equipos a utilizar para los enlaces inalámbricos requeridos.

Ítem	Descripción	Valor Unitario (USD)
1	Kit completo de radio Proxim Tsunami MP.11 Model 5054-R para estación base. Incluye una base de aluminio para el montaje, suministro de alimentación con cable de poder, cable ethernet para interconexión, documentación y CD – ROM con el software de configuración.	2076,00
2	Kit completo de radio Proxim Tsunami MP.11 Model 5054-R para estación suscriptora. Incluye una base de aluminio para el montaje, suministro de alimentación con cable de poder, cable ethernet para pruebas, documentación y CD – ROM con el software de configuración.	1020,00
3	Antena Patch de 5.8 [GHz] de Hyperlink de 19 dBi.	67,49 ¹
4	Antena Patch de 5.8 [GHz] de Hyperlink de 23 dBi.	107,99
5	Cable para conectar radio a la antena y conector.	40,00
6	Bancos de baterías (Estaciones Repetidoras)	800,00
7	Instalación, configuración y pruebas (para cada enlace).	1500,00

Tabla 3.5 **Costos referenciales para los equipos e instalación de los enlaces inalámbricos.**

De acuerdo a la información entregada se presenta en la TABLA 3.6 el presupuesto referencial para los enlaces inalámbricos a implementar en las dependencias de la ciudad de Tulcán.

Costos referenciales de los enlaces inalámbricos				
Ítem	Descripción	Cant.	Valor Unitario (USD)	TOTAL (USD)

¹ El precio en Estados Unidos es de 49,99 dólares, pero se añade aproximadamente un porcentaje del 35% por costos de transporte, envío y aduanas. Fuente: INGETESAC Cía. Ltda. Ing. Juan Fernando Paz.

<i>Enlace Subestación Tulcán – Agencia Tulcán</i>				
1	Kit completo de radio Proxim Tsunami MP.11 Model 5054-R para estación base.	2	2076,00	8921,96
	Kit completo de radio Proxim Tsunami MP.11 Model 5054-R para estación suscriptora.	2	1020,00	
	Antena Patch de 5.8 [GHz] de Hyperlink de 19 dBi.	4	67,49	
	Cable para conectar radio a la antena y conector.	4	40,00	
	Bancos de baterías	1	800,00	
	Instalación, configuración y pruebas (para cada enlace).	1	1500,00	
<i>Enlace Subestación El Rosal – Agencia Tulcán</i>				
3	Kit completo de radio Proxim Tsunami MP.11 Model 5054-R para estación base.	1	2076,00	4770,98
	Kit completo de radio Proxim Tsunami MP.11 Model 5054-R para estación suscriptora.	1	1020,00	
	Antena Patch de 5.8 [GHz] de Hyperlink de 19 dBi.	2	67,49	
	Cable para conectar radio a la antena y conector.	2	40,00	
	Instalación, configuración y pruebas (para cada enlace).	1	1500,00	
<i>Enlace Bodega Tulcán – Agencia Tulcán</i>				
2	Kit completo de radio Proxim Tsunami MP.11 Model 5054-R para estación base.	1	2076,00	4770,98
	Kit completo de radio Proxim Tsunami MP.11 Model 5054-R para estación suscriptora.	1	1020,00	
	Antena Patch de 5.8 [GHz] de Hyperlink de 19 dBi.	2	67,49	
	Cable para conectar radio a la antena y conector.	2	40,00	

	Instalación, configuración y pruebas (para cada enlace).	1	1500,00	
Subtotal				18463,92
IVA 12%				2215,67
TOTAL				20679,59

Tabla 3.6 **Costo referencial para los enlaces inalámbricos a implementar en la ciudad de Tulcán.**

En el ANEXO G se indica al detalle el presupuesto para los enlaces inalámbricos restantes.

Para la implementación de cada uno de los enlaces inalámbricos se debe contar con el aval y aprobación de funcionamiento mediante la emisión de un certificado de registro por parte de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL), previa presentación de la información técnica y legal referidos a cada enlace.

En el capítulo dos se indicó que la transmisión de datos para los enlaces inalámbricos se realizará mediante la técnica de modulación digital OFDM sobre la frecuencia de 5.8 [GHz], con lo cual se cumplen con las especificaciones de operación que el SENATEL señala para la aprobación de cada enlace.

Para enlaces punto – punto con modulación digital de banda ancha se establece la tarifa mensual^[7] a cancelar por la utilización de la frecuencia según la ecuación (3.1):

$$TA(US \$) = K_a * \alpha_6 * \beta_6 * B * NTE \quad (3.1)$$

Donde:

TA (US \$): Tarifa mensual en dólares de los Estados Unidos de América.

K_a : Factor de ajuste por inflación.

α_6 : Coeficiente de valoración del espectro para los Sistemas de Espectro Ensanchado.

- β_6 : Coeficiente de corrección para los Sistemas de Espectro Ensanchado.
- B: Constante de servicio para los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha.
- NTE: Es el número total de estaciones fijas, estaciones base, móviles y estaciones receptoras de triangulación, de acuerdo al sistema.

Para el cálculo se establece además que $K_a = 1$, $\beta_6 = 1$, $\alpha_6 = 0,533333$ y $B = 12^1$. Por lo tanto, la ecuación (3.1) queda:

$$TA(US \$) = 1 * 0,533333 * 1 * 12 * NTE = 6,399996 * NTE$$

Para los enlaces inalámbricos punto – punto que van a operar en la ciudad de Tulcán se especifican las tarifas mensuales a cancelar por el uso de la frecuencia en la TABLA 3.7, así como también el presupuesto total para la implementación y puesta en marcha de los mismos.

En base al mismo análisis se especifican los valores a cancelar por uso de frecuencia para el resto de enlaces en el ANEXO G.

Enlace	NTE	Valor a cancelar (USD)	Presupuesto parcial (USD)	Presupuesto total (USD)
Sub. Tulcán – Ag. Tulcán	3	19,20	20679,59	20724,39
Sub. El Rosal – Ag. Tulcán	2	12,80		

¹ Los valores descritos son los recomendados por la SENATEL para los enlaces de radio punto – punto con modulación digital de banda ancha.

Bodega Tulcán – Ag. Tulcán	2	12,80		
-------------------------------	---	-------	--	--

Tabla 3.7 Valor a cancelar mensualmente por el uso de frecuencia para un sistema punto – punto con modulación digital de banda ancha.

Por lo tanto para los enlaces inalámbricos requeridos en la ciudad de Tulcán se tiene un presupuesto total de 20724,39 dólares que resultan de sumar el costo por implementación del enlace con el costo por el uso de frecuencia determinado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL).

3.2.1.3 Costo de los equipos de red para la interconexión de los enlaces en fibra óptica y con tecnología inalámbrica

Además de los costos generados por el establecimiento de los enlaces inalámbricos y de fibra óptica, es necesaria la interconexión con la red actual de la empresa. Exceptuando en las subestaciones de Cayambe y Otavalo, en el resto de subestaciones y en las tres centrales de generación (La Playa, San Miguel de Car y El Ambi) es necesaria la inclusión de un *switch* que permita la interconexión de las mismas con las dependencias correspondientes. Para el efecto, se tomará como referencia el *switch* 3COM¹ Baseline de 8 puertos que ofrece las prestaciones de red requeridas para la transmisión eficiente de los datos especificados en el punto 2.4.2.6.

Actualmente el *switch* 3COM Baseline de 8 puertos tiene un costo referencial en el mercado de 240,00 dólares^[8] incluido el IVA. En la TABLA 3.8 se indica el costo referencial para la interconexión de las dependencias indicadas mediante el uso del *switch* 3COM señalado. Además se presenta el resumen total de los costos de inversión para los enlaces inalámbricos y de fibra óptica incluyendo los equipos de red para la interconexión.

¹ Se toma como referencia el equipo 3COM mencionado porque además de cumplir con los parámetros técnicos especificados en el capítulo dos para los equipos de red, la red de la empresa cuenta en su mayoría con estos equipos y por motivos de compatibilidad es conveniente utilizarlo.

3.2.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los costos de operación y mantenimiento de un proyecto determinado son los que tienen que ver con el monitoreo, operación y gestión de los enlaces de comunicación. Dentro de las actividades de mantenimiento se incluyen las de carácter preventivo a realizarse periódicamente y las de tipo correctivo destinado a la reparación de problemas en el funcionamiento normal del enlace de comunicación.

Los gastos a incurrir en los costos de mantenimiento son de carácter material y humano. La empresa que resulte contratada para la instalación y puesta en marcha de los sistemas deberá garantizar la operación de dichos enlaces por el tiempo determinado en la garantía dentro del cual los costos generados por este tipo de costos serán transparentes a la empresa durante los dos o tres primeros años de operación según el contrato establecido.

Cuantitativamente los costos de mantenimiento se los relaciona de acuerdo al costo total del proyecto. Para determinarlos se acostumbra establecer un porcentaje que va entre el 5 y el 10% del costo total del proyecto, por lo que para el caso del presente proyecto tendría un valor aproximado de 45000 dólares.

COSTOS DE INVERSIÓN				
Descripción del enlace	Fibra óptica (USD)	Inalámbricos (USD)	Equipos de red (USD)	Total (USD)
<i>Interconexión Central El Ambi – Sub. Alpachaca – Despacho de Carga</i>				
Central El Ambi – Subestación Alpachaca	36295,44	-	240,00	36775,44
Subestación Alpachaca – Despacho de Carga			240,00	
<i>Interconexión en la ciudad de Tulcán</i>				

Subestación Tulcán – Agencia Tulcán	18217,98	20724,39	240,00	160121,66
Subestación El Rosal – Agencia Tulcán	23305,02		240,00	
Central La Playa – Bodega Tulcán	37506,59		240,00	
Bodega Tulcán – Agencia			240,00	
Central San Miguel de Car – Subestación Tulcán	59167,68		240,00	
<i>Enlaces restantes</i>				
Sub. La Esperanza – Agencia Tabacundo	30616,87	5491,82	240,00	36348,69
Subestación Cayambe – Agencia Cayambe	-	5491,82	-	5491,82
Subestación Otavalo – Agencia Otavalo	20230,34	-	-	20230,34
Subestación San Vicente – Agencia Otavalo	11167,30	5401,10	240,00	16808,40
Subestación Cotacachi – Agencia Cotacachi	9462,66	5401,10	240,00	15103,76
Subestación Atuntaqui – Agencia Atuntaqui	23426,21	5491,82	240,00	29158,03
Subestación El Chota – Despacho de Carga	88366,41	10193,24	240,00	98799,65
Subestación San Gabriel – Agencia San Gabriel	11620,05	5401,10	240,00	17261,15
Subestación El Ángel – Agencia El Ángel	16454,82	5401,10	240,00	22095,92
			TOTAL	458194,86

Tabla 3.8 **Costos de inversión para la implementación de los enlaces de comunicación diseñados en el capítulo dos.**

En el caso de los costos de operación se señala que en la actualidad ya se cuenta con un operador fijo en cada una de las subestaciones (24 horas) y operadores volantes en cada una de las centrales de generación, quienes cumplen ocho horas diarias de trabajo (tres operadores por día). Por lo tanto, para la administración del interfaz hombre - máquina en cada dependencia no es necesaria la contratación de personal adicional. Cabe señalar, que es importante realizar la capacitación de dicho personal para el manejo del sistema SCADA desde la estación remota.

3.3 BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

3.3.1 Proyectos en empresas públicas

A diferencia de lo que se maneja en empresas privadas, las inversiones realizadas en las empresas públicas son evaluadas entorno a factores que tienen que ver con el servicio y bienestar general del usuario del mismo.

En el caso del presente proyecto de titulación, la ampliación de la red de comunicaciones de EMELNORTE tiene como objetivo principal el mejoramiento de la prestación del servicio de energía eléctrica dentro de su área de operación. Por lo dicho, no puede ser concebido directamente como una inversión que presente un beneficio económico directo, sino que tendrá que ser evaluado en función de la capacidad del mismo para suplir los objetivos del proyecto que no pueden ser valorados económicamente, tales como: disponibilidad del servicio, calidad del servicio, capacidad de reacción ante eventuales fallas del sistema de distribución eléctrico, etc.

3.3.2 Beneficios por la transmisión de datos desde subestaciones y centrales de generación

Al realizar la ampliación de la red de comunicaciones hacia las subestaciones y centrales de generación es posible la transmisión de los datos generados en los procesos operacionales localizados en estas dependencias con la ayuda de los procesos de automatización a establecerse en las mismas; con lo cual, es posible realizar el monitoreo y control en tiempo real de dichos procesos desde cualquier punto de la red.

Por lo dicho anteriormente se conformará un sistema de telecontrol que se constituirá en la herramienta fundamental para el control de la ejecución de los procesos eléctricos y no eléctricos en las subestaciones y centrales de generación. Con esto, se consigue contrarrestar efectivamente eventuales errores o fallas que pueden suceder en el funcionamiento de los sistemas de generación y transporte de energía.

Además, se logra cumplir con los requerimientos de acceso a la información planteados por el CENACE para las empresas dedicadas a la generación, transporte y distribución de energía.

3.3.3 Beneficios del establecimiento del canal de comunicación para la inclusión del servicio de voz y video – vigilancia a futuro

Los operadores volantes dispuestos en cada una de las subestaciones y centrales de generación mantienen comunicación única y exclusivamente mediante la red de radio troncalizada contratada por la empresa debido a la disposición geográfica alejada de algunos de ellos.

A futuro, cuando se establezcan y operen los teléfonos IP desde las subestaciones y centrales de generación a través de los enlaces de comunicación diseñados se establecerá una vía de transporte redundante para servicio de voz para los operadores, mejorando así significativamente su accesibilidad hacia cualquier dependencia de la empresa, y no solo con quienes tengan operativos los radios de comunicación. Por consiguiente, paulatinamente se disminuirá el número de radios alquilados por la empresa y simplemente serán necesarios para la comunicación de los grupos de trabajo distribuidos en toda el área de concesión, generándose así un ahorro de dinero para la empresa.

Con la futura implementación del servicio de video – vigilancia, la empresa mejorará significativamente los niveles de seguridad, tanto en las subestaciones como en las centrales de generación dando la posibilidad de que se mantengan vigiladas de forma continua y en tiempo real durante todo el día. Por lo tanto, se presentará la posibilidad de ahorrar dinero al prescindir de la contratación de nuevo personal de seguridad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Al establecer enlaces redundantes en un sistema de comunicación se aumenta el nivel de confiabilidad y disponibilidad en la transmisión de datos, ya que inmediatamente ante una eventual falla de alguno de ellos, mediante la gestión de la red, entra a operar el otro. En los enlaces diseñados, los enlaces operativos serán los de fibra óptica, mientras que los enlaces inalámbricos constituyen los enlaces de respaldo.
- El análisis de la situación actual del sistema de comunicaciones de la empresa proporcionó una visión general de las características y prestaciones de la red existente, a partir de lo cual se obtuvo un criterio de análisis para la integración de los nuevos enlaces.

- Al establecer los enlaces de comunicación que interconectan las subestaciones y centrales de generación, se incorporan con ayuda de los sistemas automatizados nuevas capacidades de monitoreo, medición, control y registro, lo cual garantiza una mejora en los procesos operativos de dichas dependencias, y a la vez cumplen los requerimientos exigidos por el CENACE.
- El análisis del tráfico a transportar para el diseño de un enlace de comunicación es muy importante, ya que permite establecer la capacidad y las características de los equipos y materiales a utilizar en el enlace. Además, se debe proyectar el tráfico que deberá soportar a futuro, estimando el ancho de banda que será requerido por futuras aplicaciones a implementar, así como también de los potenciales nuevos usuarios que harán uso de los enlaces implementados.
- Para el correcto dimensionamiento del tráfico a manejar por cada uno de los enlaces fue necesario establecer el nivel y el método de compresión, tanto para la voz como para el video sobre IP, el cual determinará la calidad y comportamiento de las aplicaciones mencionadas.
- Al incluir el nuevo tráfico generado por la transmisión de datos SCADA al tráfico generado sobre la red actual de comunicaciones resultó que en casi la totalidad de enlaces ADSL no se requiere un aumento de ancho de banda por parte de Andinadatos a través de su Red Metropolitana. Solo en el enlace proveniente desde la agencia Tulcán, se requirió incrementar el ancho de banda en vista de que se suma el tráfico generado en las subestaciones El Rosal y Tulcán, las centrales de generación San Miguel de Car y La Playa, y en la Bodega Tulcán.
- Al poseer la empresa el sistema de postes en toda el área de concesión lo más lógico fue plantearse el tendido aéreo del cable de fibra óptica, tendido que presenta otro tipo de ventajas como su facilidad de instalación, menos costosa y sobre todo en caso de fallas en la transmisión de datos facilita la revisión y corrección de errores.

- De acuerdo a las características de los enlaces de fibra óptica se estableció la utilización del cable aéreo tipo ADSS como el más conveniente en relación al cable OPGW y al figura en 8, debido principalmente a su alta inmunidad a los efectos de los campos electromagnéticos en el cable con la inclusión de la capa *antitracking*, su fácil mantenimiento y su costo total menor.
- De los doce hilos de fibra óptica disponibles solo serán utilizados dos, dando la posibilidad de que en el futuro se establezcan nuevos servicios de telecomunicaciones para las comunidades aledañas a las instalaciones de la empresa, lo cual sería ideal debido a la poca accesibilidad que se presenta en algunas de las dependencias.
- El costo del cable de fibra óptica aéreo ADSS, entre otros factores dependen de la distancia entre poste y poste (tamaño del vano) por lo que se recomienda que si se tienen pocos tramos demasiado largos es más conveniente desde el punto de vista económico, la inclusión de postes intermedios que si bien demandan un costo, éste es menor en comparación a la compra de cable aéreo de vanos largos.
- Para los enlaces inalámbricos se determinó que la frecuencia no licenciada de 5.8 [GHz] es la más recomendada debido a que la banda mayormente utilizada que es la de 2.4 [GHz] se encuentra saturada. Además, en el mercado se cuenta con un sinnúmero de equipos y antenas que operan satisfactoriamente en esta frecuencia.
- Al trabajar en la frecuencia de 5.8 [GHz] necesariamente se tiene la necesidad de contar con línea de vista entre las dos estaciones a enlazar debido a la forma de propagación de las ondas electromagnéticas; por lo tanto, en los enlaces que no se cumplía esta condición se debió incluir una estación repetidora intermedia que permita realizar el enlace efectivamente.
- Los enlaces requeridos por EMELNORTE fueron catalogados como de capacidad media por lo que se determinó la utilización de fibra óptica monomodo que cumpla con la Recomendación UIT G.652D. Además, se

cuenta con la recomendación UIT G.959.1 que determina los aspectos operacionales de las interfaces físicas para los enlaces de fibra óptica.

- Para la implementación de los radioenlaces se requiere del equipamiento óptimo recomendado en el capítulo dos, el cual debe mantener relación con las especificaciones técnicas determinadas en base a cada una de las simulaciones realizadas con la ayuda del paquete Radio Mobile.
- Radio Mobile es un paquete computacional que permite en base a un modelo digital de terreno la simulación de un enlace de radio cualquiera en función a su situación topográfica, ubicación geográfica, equipos y elementos a utilizar, en base a modelos matemáticos que simulan el comportamiento de la propagación de ondas electromagnéticas.
- Los proyectos de inversión en las empresas públicas tienen otro tipo de objetivo en relación a las empresas privadas, ya que su razón de ser tiene que ver con la mejora de servicios, sean éstos sociales o de bienestar general. Por lo tanto su evaluación va relacionada con el impacto que dicho proyecto genera en la sociedad o en la mejoría del servicio brindado por dicha empresa.

4.2 RECOMENDACIONES

- Si bien, en el análisis de tráfico se realiza una previsión a futuro en relación a la capacidad a ser soportada por los enlaces, se recomienda dejar un margen adicional de ancho de banda disponible, el cual evitará futuras complicaciones causadas principalmente por el apareamiento de nuevas aplicaciones y tecnologías que no pueden ser anticipadas en la actualidad.
- Las rutas que fueron determinadas para el tendido del cable de fibra óptica se establecieron tomando en cuenta la disminución de riesgo de robos o sabotajes, al seguir principalmente la postera que aloja el sistema de distribución de energía eléctrica en alta tensión, lo cual brinda un mayor nivel de seguridad, por lo que se recomienda seguir los recorridos establecidos.
- Se recomienda a la empresa la respectiva implementación de cada uno de los enlaces diseñados, debido a la capacidad de explotación de nuevas

aplicaciones de voz y de video que es posible transmitir a través de los mismos.

- Solicitar a quien corresponda el aumento de capacidad de ancho de banda para el nodo ADSL ofrecido por la Red Metropolitana de Andinados de la ciudad de Tulcán a 1024 Kbps debido a que el nuevo tráfico SCADA saturará la actual capacidad (512 Kbps).
- Se recomienda que EMELNORTE realice las gestiones necesarias para la modernización de los procesos automatizados en todas las subestaciones y centrales de generación, para a partir de la implementación de los enlaces diseñados se establezca el flujo de información requerido por las nuevas especificaciones del CENACE para el monitoreo, control y registro de los datos generados allí.
- Para evitar cualquier tipo complicación surgida a partir de la pérdida de datos durante la transmisión, es recomendable establecer sistemas locales de respaldo de la información generada y procesada en estas dependencias.
- En cuanto a la puesta en marcha de los enlaces de fibra óptica diseñados, la empresa proveedora deberá realizar las pruebas y evaluaciones del enlace que garanticen su calidad y nivel de señal que cumpla con los requerimientos especificados por las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. El instrumento básico para realizar dichas pruebas es el OTDR (Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo).
- Los equipos y elementos a utilizar para la instalación y puesta en marcha de los enlaces en fibra óptica e inalámbricos deben cumplir como mínimo las especificaciones técnicas citadas en el capítulo dos; por lo cual se recomienda que los proveedores calificados para el efecto presenten clara y detalladamente las características y especificaciones del fabricante para cada uno de los equipos.
- Para los enlaces diseñados que no serán implementados inmediatamente, se recomienda que previo al llamamiento del concurso respectivo para su adjudicación, se realice una petición de ofertas actualizadas a las empresas

mencionadas en el capítulo tres para poner al día los costos referenciales de los mismos.

- Luego de la calificación técnica de cada una de las propuestas presentadas por las empresas ofertantes, es importante tomar en cuenta al momento de la contratación, la garantía ofrecida para la implementación de los enlaces diseñados; así como también, es recomendable el análisis de la experiencia y capacidad de la empresa adjudicada en la consecución de proyectos similares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

TOMASI, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Cuarta Edición. Prentice – Hall. 2003

MSc. Jiménez, María Soledad. Comunicaciones Ópticas. 2007

SANZ, José Martín. Comunicaciones Ópticas. Tercera Edición. Paraninfo S.A. 1996

Guía de diseño para Estaciones Transformadoras. Guías de diseño y normas de sistemas de comunicaciones por fibra óptica. Transener S.A.

Ph.D. Bernal, Iván. Comunicaciones Inalámbricas. Revisión de conceptos básicos de antenas y propagación. EPN. 2008.

Ing. Cevallos, Mario. Sistemas de Comunicación Radiantes. 2006

TANENBAUM, Andrew. Redes de computadoras. Cuarta Edición. Prentice Hall. 2003

HUIDOBRO Moya, José Manuel; ROLDÁN Martínez, David. Integración de voz y datos / Call Centers: Tecnología y Aplicaciones. 2003.

HIDALGO, Pablo. Folleto para Telemática. Redes LAN. 2008

INFORMACIÓN INTERNA

EMELNORTE, Departamento de Planificación. Planificación Estratégica 2009 – 2014.

EMELNORTE, Departamento de Sistemas. Datos técnicos de la red de comunicaciones. 2009.

Información entregada por EMELNORTE S.A. Dirección de Distribución. Jefatura de Subestaciones. Ing. Marco Montesdeoca.

Información entregada por EMELNORTE S.A. Dirección del Centro de Cómputo. Ing. Xavier Brito.

EMELNORTE S.A. Dirección de Distribución. Jefatura de Subestaciones. Manual Técnico de operación y funcionamiento del ION 8500 - 8600.

EMELNORTE S.A. Dirección de Generación. Automatización de procesos en la Central El Ambi. Ing. Diego Ortiz.

EMELNORTE S.A. Dirección de Generación. Manual Técnico de operación y funcionamiento del ION 7650.

EMELNORTE S.A. Dirección de Generación. Manual del usuario PLC ABB AC-31 modelo 07CT41.

PROPUESTAS

Propuesta económica de Andean Trade al 02 de julio del 2009. Responsable Valentin Toro.

Propuesta económica de F.O.S. Ecuador Cía. Ltda. al 03 de julio del 2009.
Responsable Ing. Francisco Díaz.

Presupuesto económico para la instalación de postes realizado por el Departamento de Distribución de EMELNORTE S.A. bajo la coordinación del Tcnlgo. Leonidas Cisneros.

Propuesta económica de INGETESAC Cía Ltda. al 04 de septiembre del 2009.
Responsable Ing. Juan Fernando Paz.

PROYECTO DE TITULACIÓN

Llumiquinga Guayasamín, Dany Santiago. Análisis y diseño del sistema redundante de fibra óptica Quito – Guayaquil para la red TELCONET S.A. Quito, 2008.

Jiménez Ángulo, Verónica Consuelo. Estudio de factibilidad de un sistema de comunicación integrado al sistema microonda existente, que soporte aplicaciones de sistemas SCADA para el Poliducto Esmeraldas-Quito de Petrocomercial Regional Norte. Quito, junio 2008.

Gualoto Pillalaza, Roberto Carlos. Diseño e implementación de un sistema de video – vigilancia, en base a un sistema de video embebido para monitoreo remoto a través de Internet. Quito, febrero 2008.

Quinapallo Morales, Juan Pablo. Diseño de una red inalámbrica para interconectar la matriz de la cadena de farmacias Pharmacy's con sus diferentes sucursales ubicadas en la ciudad de Quito. Quito, agosto 2008.

INTERNET

www.portalplanetasedna.com.ar/fibras_opticas.htm. “Generalidades de la fibra óptica. Tecnologías de comunicaciones ópticas y normativas”. Universidad Blas Pascal.

<http://www.galeon.com/hamd/pdf/scada.pdf>

<http://sauron.etsi.es/public/propostes/pub/pdf/542pub.pdf>

<http://www.dnp.org>

[http://www.cedav.net/_cedav/archivos/2704_archivos_es_compresion_video_es_w
hitepaper.pdf](http://www.cedav.net/_cedav/archivos/2704_archivos_es_compresion_video_es_w
hitepaper.pdf)

[http://www.casadomo.com/images/archivos/axis_tecnicas_de_compresion_de_vide
o.pdf](http://www.casadomo.com/images/archivos/axis_tecnicas_de_compresion_de_vide
o.pdf)

http://www.angelfire.com/electronic/pfierro/docs/video_ip.pdf

http://www.asielectric.com.ar/images/Manuales/GuiaSeleccion_automatismo .pdf

[http://abampere.com.ar/pdf/ION7550_7650_folleto_largo_Espanol%5B1%5
D.pdf](http://abampere.com.ar/pdf/ION7550_7650_folleto_largo_Espanol%5B1%5
D.pdf)

http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/solutions_docs/voip_solutions/CAC.ht ml

[http://www.oreillynet.com/pub/a/etel/2005/12/13/how-many-voice-callers-fit-on-the-
head-of-an-access-point.html?page=1](http://www.oreillynet.com/pub/a/etel/2005/12/13/how-many-voice-callers-fit-on-the-
head-of-an-access-point.html?page=1)

http://www.3com.com/other/pdfs/products/en_US/3com-400897.pdf

[http://www.economizadores.net/soft/Manuales/lp/ANCHO_DE_BANDO_NECESARI
O_PARA_VISUALIZACI%D3N_Y_GRABACI%D3N_ SISTEMAS
_DE_VIGILANCIA.pdf](http://www.economizadores.net/soft/Manuales/lp/ANCHO_DE_BANDO_NECESARI
O_PARA_VISUALIZACI%D3N_Y_GRABACI%D3N_ SISTEMAS
_DE_VIGILANCIA.pdf)

<http://monitoreo.calcom.com.mx/soptec.htm>

http://www.axis.com/techsup/cam_servers/cam_2110/indez.htm?tab=produc t_info

[http://www.pimasa.com/shop_image/product/ffa6105c9d59ad6c22dee803c0cd9a6.
pdf](http://www.pimasa.com/shop_image/product/ffa6105c9d59ad6c22dee803c0cd9a6.
pdf)

[http://www2.iberdrola.es/DIEFI/928Norm.nsf/0/72240ccaeea6015dc1256a01002eba
e6/\\$FILE/33-26-31\(2-0\)nw.pdf](http://www2.iberdrola.es/DIEFI/928Norm.nsf/0/72240ccaeea6015dc1256a01002eba
e6/$FILE/33-26-31(2-0)nw.pdf)

http://www.daga-sa.com/Fichas/fibra_aerea.pdf

<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200506-l/en>

<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.959.1/en>

http://download.ehas.org/docs/manual_radiomobile.doc

http://www.it46.se/downloads/courses/wireless/es/09_SimulacionRedes/09_es_simulacion-redes-inalambricas_presentacion_vXX.pdf

http://www.wlanmall.com/media/catalog/pdf/5054-SUR-US_d.pdf

http://www.conatel.gov.ec/site_conatel/index.php?view=article&catid=40%3Arequisitos&id=165%3Asistemas-de-modulacion-digital-de-banda-ancha&option=com_content&Itemid=166

http://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-5306473-3com-baseline-switch-8-puertos-_JM