



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
REDES DE COMUNICACIÓN**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

TEMA:

**“DISEÑO DE LA RED DE RADIOCOMUNICACIONES PARA LA
INTERCONEXIÓN TRONCALIZADA DEL SISTEMA INTEGRADO DE
SEGURIDAD CIUDADANA DEL GOBIERNO NACIONAL DEL ECUADOR
EN LA PROVINCIA DE IMBABURA”**

AUTOR: STALIN MAURICIO RAMÍREZ REA

DIRECTORA: ING. SANDRA CASTRO

IBARRA – ECUADOR

2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

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

DATOS DEL AUTOR	
CEDULA DE IDENTIDAD	1002975173
APELLIDOS Y NOMBRES	RAMÍREZ REA STALIN MAURICIO
DIRECCIÓN	EJIDO DE IBARRA
E-MAIL	stalin.ramirez@cnt.gob.ec
TELÉFONO	0982238096
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	“DISEÑO DE LA RED DE RADIOCOMUNICACIONES PARA LA INTERCONEXIÓN TRONCALIZADA DEL SISTEMA INTEGRADO DE SEGURIDAD CIUDADANA DEL GOBIERNO NACIONAL DEL ECUADOR, EN LA PROVINCIA DE IMBABURA”
AUTOR	STALIN MAURICIO RAMÍREZ REA
FECHA	FEBRERO 2015
PROGRAMA	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN
ASESORA	ING. SANDRA CASTRO

2. AUTORIZACION DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Stalin Mauricio Ramirez Rea, con cédula de identidad Nro. 1002975173, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.



.....
Firma

Nombre: Ramirez Rea Stalin Mauricio

Cédula: 1002975173

Ibarra Enero del 2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, **Stalin Mauricio Ramírez Rea**, con cédula de identidad Nro. 1002975173, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **“DISEÑO DE LA RED DE RADIOCOMUNICACIONES PARA LA INTERCONEXIÓN TRONCALIZADA DEL SISTEMA INTEGRADO DE SEGURIDAD CIUDADANA DEL GOBIERNO NACIONAL DEL ECUADOR, EN LA PROVINCIA DE IMBABURA”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de **Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Firma

Nombre: Ramírez Rea Stalin Mauricio

Cédula: 1002975173

Ibarra Enero del 2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Certifico, que el presente trabajo de titulación “DISEÑO DE LA RED DE RADIOCOMUNICACIONES PARA LA INTERCONEXIÓN TRONCALIZADA DEL SISTEMA INTEGRADO DE SEGURIDAD CIUDADANA DEL GOBIERNO NACIONAL DEL ECUADOR, EN LA PROVINCIA DE IMBABURA” fue desarrollado en su totalidad por el señor Stalin Mauricio Ramírez Rea, bajo mi supervisión.

Considero que el presente trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

ING. SANDRA CASTRO
DIRECTORA DE TESIS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

Las metas propuestas en la vida son parte de un esfuerzo y superación personal, si tu deseas lograrlo, solo hay que encomendarse a Dios y seguir para adelante tras de lo que anhelas.

El presente trabajo de grado es una muestra de aquello, quiero dar las gracias a mis padres, los consejos y deseos expuestos por parte de ellos, se manifiestan en esta meta alcanzada.

A mi pareja, gracias por la comprensión, ayuda y apoyo brindado en los momentos que más necesité de ti. Te amo.

Y finalmente quiero dedicar todo mi trabajo a la personita que me enamoró desde el primer día que le conocí y le tuve en mis brazos, a mi hija Isabel Ramírez, eres el motor que mueve mi vida, este esfuerzo te lo dedico porque te amo mi princesita.

Stalin Mauricio Ramírez Rea



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la facultad y la capacidad de superar todos los obstáculos encontrados en el camino hacia la meta trazada en mi vida profesional.

Un eterno agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, que junto a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas y la carrera de Electrónica y Redes de Comunicación, me permitieron formar parte de esta prestigiosa institución, a mis docentes a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias por sus enseñanzas; ya que supieron prepararme para un futuro competitivo y formarme como un ser humano integral.

A mis padres, Gladys Rea y Oscar Ramírez por brindarme su apoyo incondicional y todo el amor tan grande durante mi vida, sus enseñanzas y sus valores los llevo siempre presentes, de todo corazón gracias por confiar en mí.

Un agradecimiento especial a la Ingeniera Sandra Castro y al Ingeniero Edgar Benavides, guías fundamentales en la realización de este proyecto, brindándome su apoyo en todo momento y guiándome con su conocimiento, para lograr la culminación del presente tema de investigación.

Stalin Mauricio Ramírez Rea

RESUMEN

El presente trabajo abarca el diseño de la red de radiocomunicaciones para la interconexión troncalizada del sistema integrado de seguridad ciudadana del gobierno nacional del Ecuador, en la provincia de Imbabura.

El primer capítulo se basa en el análisis de la arquitectura actual de la red y conceptos básicos de radio troncalizada, se realizará un estudio de las características, la arquitectura y el funcionamiento de la actual red de comunicaciones de la Policía Nacional, además un estudio de la tecnología radio trunking y los aspectos vigentes de regulación en el país sobre los sistemas troncalizados para su operación.

El segundo capítulo contempla el análisis de la situación geográfica se investigará los lugares donde se desea brindar cobertura, según esto se presenta las características técnicas y geográficas actuales dentro de la provincia para la ubicación de las repetidoras remotas.

El tercer capítulo detalla el diseño de la red troncalizada para la provincia, basado en el sistema trunking, constará de la arquitectura de la red, características de la propagación, además la selección y descripción de los equipos requeridos para el diseño y los servicios que ofrecerá.

El cuarto capítulo permite realizar las pruebas de funcionamiento mediante simulación, también la interpretación y la cobertura del mismo.

El quinto capítulo corresponde al análisis de costos/beneficio, donde se incluirá detalles del presupuesto referencial correspondiente para la implementación y de los beneficios que brindará el proyecto.

El capítulo seis estará encargado de realizar las conclusiones y recomendaciones a las que se llegue durante el desarrollo del proyecto de tesis las que pueden ser utilizadas para futuras investigaciones.

ABSTRACT

The present work covers the design of the radio network for Trunked interconnecting of the integrated system public safety of Ecuador National Government, in Imbabura province.

The first chapter is based on analysis of the present architecture of the network and basic concepts of Trunking radio, Its going to realize a study of the characteristics, architecture and operation of the existing network of communications for the National Police conduct further study of technology Trunking, and existing aspects regulatory in force in the country on Trunking systems for its operation.

The second chapter contemplates the analysis of the geographical location places where you want to provide coverage will be investigated, as this current techniques and geographic characteristics is presented inside of the province to location of the remote repeaters.

The third chapter details the design of the Trunking network to the province, based on the Trunking system consist of the architecture network, propagation characteristics, plus the selection and description of the equipment required for the design and the services will offer.

The fourth chapter allows to realize functioning test through simulation, also the interpretation and coverage of the same.

The fifth chapter corresponds to the analysis of cost / benefit, where it will include details of the corresponding reference budget to implementation and the benefits that will provide the project.

The Chapter six will be responsible of realize conclusions and recommendations to arrive during the development of the thesis project which can be used for future research.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	II
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE DE CONTENIDOS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XIX
ÍNDICE DE TABLAS	XXIII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XXVI
PRESENTACIÓN	XXVI
CAPÍTULO I	1
1 Análisis de la arquitectura actual de la red y FUNDAMENTOS de Radio Troncalizada	1
1.1 Historia del sistema de comunicaciones de la policía nacional	1
1.2 POLICÍAS EN IMBABURA.....	3
1.3 ARQUITECTURA ACTUAL DE LA RED de comunicaciones EN LA PROVINCIA DE IMBABURA.....	5
1.3.1 Controlador Maestro.....	7
1.3.1.1 Controlador de Zona MCZ3000	9
1.3.1.1.1 Tarjetas seriales	10
1.3.1.1.2 Tarjeta Ethernet.....	10
1.3.1.1.3 Tarjeta de Procesamiento Central CPU.....	10
1.3.1.1.4 Tarjeta de alarma	10
1.3.1.2 Conmutador de Audio	11
1.3.1.2.1 Tarjeta Ambassador AMB	11
1.3.1.2.2 Tarjeta de reloj	11
1.3.1.2.3 Tarjeta ZAMBI	11
1.3.1.3 Gestión del controlador maestro	11
1.3.1.4 Servidores del controlador maestro	12
	X

1.3.1.4.1 Servidores a nivel de zona.....	12
1.3.1.5 Servidores a nivel de sistema principal.....	13
1.3.1.5.1 Servidor de Configuración de usuarios UCS	14
1.3.1.5.2 Servidor de Estadísticas del Sistema SSS	14
1.3.1.6 Multiplexor	14
1.3.1.6.1 Tarjeta de control CPU.....	15
1.3.1.6.2 Tarjeta WAN.....	15
1.3.1.6.3 Tarjeta SRU.....	15
1.3.1.6.4 Tarjeta de 4 hilos.....	15
1.3.1.6.5 Tarjeta ADPCM	16
1.3.1.6.6 Tarjeta de Interfaz	16
1.3.1.7 Servidor Terminal.....	16
1.3.2 Sitios de repetición en IMBABURA	16
1.3.2.1 Equipos multiplexores.....	18
1.3.2.2 Repetidor de sitio inteligente Quantar.....	19
1.3.3 Equipos Terminales.....	19
1.3.3.1 Radios portátiles.....	19
1.3.3.2 Radios Móviles	20
1.3.3.3 Estaciones base	20
1.4 FUNDAMENTOS.....	20
1.4.1 Servicios de radiocomunicación.....	20
1.4.1.1 Servicio móvil	21
1.4.1.1.1 Servicio móvil Terrestre	21
1.4.1.2 Zona de Cobertura	22
1.4.2 Composición de un sistema de radio móvil	23
1.4.2.1 Estaciones fijas	23
1.4.2.1.1 Estación base.....	24
1.4.2.1.2 Estación de control.....	24
1.4.2.1.3 Estaciones repetidoras.....	24

1.4.2.2 Estaciones móviles.....	24
1.4.2.3 Equipos de control.....	25
1.4.3 Clasificación de los sistemas de radio móvil.....	25
1.4.3.1 Por el tipo de conexión y aplicación.....	25
1.4.3.2 Por la banda de frecuencias utilizada.....	25
1.4.3.3 Por el tipo de comunicación.....	25
1.4.3.4 Por la técnica de multiacceso.....	26
1.4.3.5 Por el tipo de modulación.....	26
1.4.4 Tipos de Comunicación.....	26
1.4.4.1 Canales símplex.....	26
1.4.4.2 Canales semidúplex.....	27
1.4.4.3 Canales Dúplex.....	28
1.5 Sistema de RADIO TRONCALIZADO.....	29
1.5.1 Tipos de sistemas troncales.....	30
1.5.1.1 Características.....	31
1.5.2 Elementos de un sistema troncalizado.....	32
1.5.2.1 Equipos de Infraestructura.....	32
1.5.2.2 Equipos de Usuario.....	33
1.5.2.2.1 Equipos fijos.....	33
1.5.2.2.2 Equipos móviles.....	33
1.5.2.2.3 Equipos portátiles.....	34
1.5.2.3 Señalización del sistema.....	34
1.5.2.4 Controlador de sitio.....	34
1.5.2.5 Canal de control.....	35
1.5.2.5.1 Canal de control dedicado.....	36
1.5.2.5.2 Canal de control no dedicado o distribuido.....	36
1.5.3 Sistema TRONCALIZADO SmartZone.....	36
1.5.3.1 Operación del Sistema.....	36
1.5.3.2 Ejecución de una llamada.....	36

1.5.3.2.1 Afiliación y petición de llamada	36
1.5.3.2.2 Establecimiento de llamada	37
1.5.3.2.3 Transmisión del mensaje	39
1.5.3.2.4 Finalización de la llamada.....	40
1.5.4 Protocolo de los sistemas troncalizados digitales.....	41
1.6 MARCO REGULATORIO DE LOS SISTEMAS TRONCALIZADOS EN EL ECUADOR	42
1.6.1 Aspectos de regulación	42
1.6.2 Reglamento de sistemas troncalizados	42
1.6.2.1 Información Técnica y Operativa	43
1.6.2.2 Autorización de uso de frecuencia	44
1.6.2.3 Duración del Contrato de Autorización	45
1.6.2.4 Modificaciones del Contrato de Autorización	45
1.6.2.5 Terminación del Contrato	45
1.6.2.6 Terminación Unilateral del Contrato de Autorización.....	46
1.6.2.7 Notificación de la Terminación Unilateral del Contrato de Autorización	46
1.6.2.8 Requisitos para la Renovación del Contrato de Autorización.....	47
1.6.3 Operaciones Sin Concesión.....	47
1.6.3.1 Exoneración de Requisitos	47
1.6.3.2 Instalación y operación	48
1.6.3.3 Derechos y obligaciones	49
1.6.3.3.1 Derechos del Concesionario	49
1.6.3.3.2 Obligaciones del Concesionario.....	49
1.6.4 Norma técnica para los sistemas troncalizados en el ecuador.....	51
1.6.4.1 Características Técnicas	51
1.6.4.2 Plan de canalización de bandas	52
1.6.4.3 Plan de distribución de frecuencias	53
CAPÍTULO II	54
2 Análisis de la Situación Geográfica y Requerimientos del Diseño	54
2.1 Análisis de la situación geográfica	54

2.1.1 Pruebas de Cobertura	54
2.1.1. Desarrollo de la prueba de cobertura.....	54
2.1.1.1.1 Calibración del Equipo	55
2.1.1.1.2 Elección de zonas para prueba de cobertura	57
2.1.2 Lugares de la provincia DE IMBABURA sin Cobertura DE RED TRONCALIZADA.....	60
2.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.....	62
2.2.1 Ubicación de los Sitios Remotos.....	62
2.2.1.1 Elevaciones consideradas	63
2.2.1.1.1 Elevación Cotacachi.....	63
2.2.1.1.2 Elevación el Habra	64
2.2.1.1.3 Elevación Cabras	66
2.2.1.1.4 Elevación Tabacoloma.....	67
2.2.1.1.5 Elevación Cerro Blanco.....	69
2.2.2 Zonas de cobertura	71
2.2.2.1 Repetidor el Habra	71
2.2.2.2 Repetidor Cabras	71
2.2.2.3 Repetidor CERRÓ Blanco.....	71
2.2.2.4 Repetidor Tabacoloma.....	71
2.2.2.5 Repetidor Cotacachi.....	72
2.2.3 CALCULO DE CANALES	72
2.2.3.1 Repetidor el Habra:	73
2.2.3.2 Repetidor Cabras	74
2.2.3.3 Repetidor Tabacoloma.....	76
2.2.3.4 Repetidor CERRÓ Blanco.....	77
2.2.4 FRECUENCIAS asignadAS	79
2.2.4.1 Repetidor el Habra	79
2.2.4.2 Repetidor Cabras	80
2.2.4.3epetidor Cerro Blanco	80
2.2.4.4 Repetidor Cotacachi.....	81

2.2.4.5 Repetidor Tabacoloma	81
CAPÍTULO III	82
3 DISEÑO DE LA RED DE RADIO TRONCALIZADA	82
3.1 Arquitectura de la red	82
3.2 Sitios de Repetición	84
3.2.1 Infraestructura física	84
3.2.1.2 Torres de transmisión	87
3.2.2 Equipos de red	89
3.2.2.1 GTR8000 Sitio Repetidor	91
3.2.2.2 GTR8000 Base radio	92
3.2.2.3 GCP 8000 Controlador de sitio	92
3.2.2.4 GCM 8000 Comparador	93
3.2.2.5 GGM8000 Router	94
3.2.2.6 TTA/ Tower System Amplificador Top	94
3.2.2.7 CMU	95
3.2.2.8 COMBINADOR	96
3.2.2.9 Multiacoplador	96
3.2.2.10 Accesorios	97
3.2.2.10.1 Línea de Transmisión	97
3.2.2.10.2 Línea de recepción	98
3.2.2.10.3 Línea de Test	98
3.2.2.11 Cableado	99
3.2.2.12 Normativa	101
3.2.2.13 Conexión de equipos del repetidor Trunking	102
3.2.3 Sistema de radiofrecuencia TRoncalizada	105
3.2.3.1 Transmisión trunking RF	105
3.2.3.2 Recepción trunking RF	107
2.3.4 Enlaces de radio	110
3.2.4.1 Enlace existente	110

3.2.4.1.1 Actualización repetidor Cotacachi –Cruz Loma	111
3.2.4.2 Enlaces nuevos	113
3.2.4.2.1 Cotacachi – El Habra	115
3.2.4.2.2 Cotacachi - Cabras	119
3.2.4.2.3 Cotacachi - Tabacoloma	123
3.2.4.2.4 Cotacachi – Cerro Blanco	127
3.2.5 Sistema de energía eléctrica.....	132
3.2.5.1 Cálculo de la carga eléctrica	132
3.2.5.2 Equipos de Energía.....	134
3.3 Servicios que ofrecerá la red troncalizada	134
3.3.1 Llamada en grupo	135
3.3.2 Llamadas privadas	135
3.3.3 Llamada de alerta.....	135
3.3.4 Continuidad de asignaciones	135
3.3.5 Alarma y llamada de emergencia, modo primero en la lista de espera	135
3.3.6 Llamada multigrupo.....	136
3.3.7 Reagrupación dinámica	136
3.3.9 Troncalización local.....	137
CAPÍTULO IV	138
4 PRUEBAS DE DISEÑO	138
4.1 Disponibilidad del sistema de microondas	138
4.1.1 Fórmulas de disponibilidad del enlace	138
4.1.1.1 Pérdida del espacio libre: L_{el} (dB)	138
4.1.1.2 Pérdidas en la línea de TX: L (dB)	139
4.1.1.3 Pérdidas totales: L_{Total} (dB)	139
4.1.1.4 Potencia de transmisión: P_t (dB).....	140
4.1.1.5 Ganancia de antenas: G_a (dB)	140
4.1.1.6 Ganancias totales: G_T (dB).....	140
4.1.1.7 Nivel de portadora recibida: N (dBm).....	141

4.1.1.9	Confiabilidad del enlace: C (%).....	141
4.1.2	Comprobación de disponibilidad del Enlace	142
4.1.2.1	Disponibilidad enlace Cotacachi – El Habra	143
4.1.2.2	Disponibilidad enlace Cotacachi – Cabras	144
4.1.2.3	Disponibilidad enlace Cotacachi – Tabacoloma	145
4.1.2.4	Disponibilidad enlace Cotacachi – Cerro Blanco	146
4.2	Cobertura de la radio troncalizada	147
4.2.1	Ubicación de los estaciones remotas de la radio troncalizada	147
4.2.2	Parámetros de transmisión de los sitios remotos	148
4.2.3	Pruebas de cobertura por sitio remoto.....	148
4.2.3.1	Repetidor el Habra	148
4.2.3.1.1	Localidades sin cobertura	149
4.2.3.2	Repetidor Cabras	153
4.2.3.2.1	Localidades sin cobertura	154
4.2.3.3	Repetidor Tabacoloma.....	158
4.2.3.3.1	Localidades sin cobertura	159
4.2.3.4	Repetidor Cerro Blanco.....	163
4.2.3.4.1	Localidades sin cobertura	164
	CAPÍTULO V	170
5	Análisis costo beneficio	170
5.1	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	170
5.1.1	COSTOS DE EQUIPOS.....	170
5.1.2	COSTOS DE INGENIERÍA	173
5.1.3	COSTOS TOTALES DE INSTALACIÓN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	173
5.1.4	COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN	174
5.2	ESTUDIO FINANCIERO	175
5.2.1.1	Relación Costo – Beneficio (B/C).....	175
5.2.1.2	Cálculo Costo-Beneficio de la Adquisición de Equipos Terminales	175
5.3	ANÁLISIS COSTO – EFICIENCIA	177

5.3.1 Valor Actual De Costo (VAC)	178
5.3.2 Valor actual de costos por unidad de beneficio	179
5.3.3 Costos Anual Equivalente (CAE)	179
5.3.4 Costo anual equivalente por unidad de beneficio	180
5.3.4.1 Componente Socioeconómico	181
5.3.4.1.1 Percepción social por la mejora de la seguridad	181
5.3.4.2 Impactos Benéficos	181
5.3.4.3 Buenas prácticas de responsabilidad social	181
CAPÍTULO VI	183
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	183
6.1 CONCLUSIONES	183
6.2 RECOMENDACIONES	184
6.3 BIBLIOGRAFÍA	185
6.4 LINKOGRAFÍA	186

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: Red troncalizada del sistema SmartZone	6
FIGURA 1.2: Estructura del Sitio principal de radio troncalizada de la Policía Nacional (SmartZone)	8
FIGURA 1.3: Sitios de Repetición en Imbabura	17
FIGURA 1.4: Radio XTS 1500	19
FIGURA 1.5: Radio MCS2000.....	20
FIGURA 1.6: Esquema de un sistema PRM.....	22
FIGURA 1.7: Comunicación Simplex.....	27
FIGURA 1.8: Comunicación Semidúplex.....	27
FIGURA 1.9: Comunicación Dúplex	28
FIGURA 1.10: Sistema troncal por grupo de usuarios.	29
FIGURA 1.11: Acceso de Usuarios a un sitio de repetición troncalizado	30
FIGURA 1.12: Esquema del controlador de sitio	35
FIGURA 1.13: Afiliación y petición de llamada	37
FIGURA 1.14: Autenticación de llamada	38
FIGURA 1.15: Establecimiento de llamada	39
FIGURA 1.16: Transmisión de audio.....	40
FIGURA 1.17: Finalización de la llamada	41
FIGURA 2.1: Conexión del Aeroflex 3920 OPT 201	55
FIGURA 2.2: Frecuencias detectadas por el Aeroflex 3920 OPT 201 en Ibarra.....	58
FIGURA 2.3 Frecuencias detectadas por el Aeroflex 3920 OPT 201 en Pimampiro, Lita, Angochagua y Apuela.	59
FIGURA 2.4: Elevación Cotacachi.....	63
FIGURA 2.5: Sitio troncalizado de Cotacachi en la actualidad.	64
FIGURA 2.6: Elevación el Habra	65
FIGURA 2.7: Sitio propuesto para repetidora el Habra	65
FIGURA 2.8: Elevación Cabras	66
FIGURA 2.9: Sitio propuesto para repetidora Cabras	67

FIGURA 2.10: Elevación Tabacoloma.....	68
FIGURA 2.11: Sitio propuesto para repetidora Tabacoloma	68
FIGURA 2.12: Elevación Cerro Blanco.....	69
FIGURA 2.13: Sitio propuesto para repetidora Cerro Blanco.....	70
FIGURA 2.14: Elevaciones consideras para la provincia de Imbabura.....	70
FIGURA 2.15: Futuras zonas de cobertura de la radio troncalizada	72
FIGURA 2.16: Resultado de calculadora Teligent Erlang, repetidor el Habra.	74
FIGURA 2.17: Resultado de calculadora Teligent Erlang, repetidor Cabras.	75
FIGURA 2.18: Resultado de calculadora Teligent Erlang, repetidor Tabacoloma.	77
FIGURA 2.19: Resultado de calculadora Teligent Erlang, repetidor Cabras.	78
FIGURA 3.1: Arquitectura propuesta Red Troncalizada.	83
FIGURA 3.2: Planta Cubierta	85
FIGURA 3.3: Fachada Principal	85
FIGURA 3.4: Fachada lateral	86
FIGURA 3.5: Fachada posterior	86
FIGURA 3.6: Torre autosoportada de Radio troncalizada.....	88
FIGURA 3.7: Equipo GTR8000 Sitio repetidor	91
FIGURA 3.8: Equipo GTR8000 Base radio	92
FIGURA 3.9: Equipo GCP8000 Controlador de sitio.....	93
FIGURA 3.10: Equipo GCM8000 Comparador.....	93
FIGURA 3.11: Equipo GGM8000 Router.....	94
FIGURA 3.12: Equipo TTA	95
FIGURA 3.13: Equipo CMU	95
FIGURA 3.14: Equipo combinador GTR8000.....	96
FIGURA 3.15: Equipo Multiacoplador GTR8000.....	96
FIGURA 3.16: Normativa para descripción de equipos.....	101
FIGURA 3.17: Normativa para la conexión de cableado.....	101
FIGURA 3.18: Diagrama de bloques conexión repetidor trunking	103
FIGURA 3.19: Ubicación de equipos – cuarto de telecomunicaciones	104

FIGURA 3.20: Sistema de TX troncalizada GTR8000 ESS	106
FIGURA 3.21: Sistema de RX troncalizada GTR8000 ESS	108
FIGURA 3.22: Arquitectura cuarto de telecomunicaciones y torre de transmisión.	109
FIGURA 3.23: Enlace Cotacachi-Cruz Loma	111
FIGURA 3.24: Enlaces nuevos de microondas	114
FIGURA 3.25: Ubicación coordenadas enlace Cotacachi – El Habra	116
FIGURA 3.26: Enlace Cotacachi – El Habra	117
FIGURA 3.27: Enlace Cotacachi – El Habra	118
FIGURA 3.28: Enlace Cotacachi- El Habra, despeje de la primera zona de Fresnel	118
FIGURA 3.29: Ubicación coordenadas enlace Cotacachi – Cabras	120
FIGURA 3.30: Enlace Cotacachi – Cabras.....	121
FIGURA 3.31: Enlace Cotacachi – Cabras.....	122
FIGURA 3.32: Enlace Cotacachi- Cabras, despeje de la primera zona de Fresnel	122
FIGURA 3.33: Ubicación coordenadas enlace Cotacachi – Tabacoloma.....	124
FIGURA 3.34: Enlace Cotacachi – Tabacoloma	125
FIGURA 3.35: Enlace Cotacachi – Tabacoloma	126
FIGURA 3.36: Enlace Cotacachi- Tabacoloma, despeje de la primera zona de Fresnel	126
FIGURA 3.37: Ubicación coordenadas enlace Cotacachi – Cerro Blanco.....	128
FIGURA 3.38: Enlace Cotacachi – Cerro Blanco	129
FIGURA 3.39: Enlace Cotacachi – Cerro Blanco	130
FIGURA 3.40: Enlace Cotacachi- Cerro Blanco, despeje de la primera zona de Fresnel	130
FIGURA 3.41: Enlaces microondas radio troncalizada en Imbabura	131
FIGURA 4.1: Distribución de los sitios remotos Imbabura	147
FIGURA 4.2: Ingreso del repetidor el Habra.....	150
FIGURA 4.3: Parámetros de la red cobertura el Habra.....	151
FIGURA 4.4: Miembros de red cobertura el Habra	151
FIGURA 4.5: Configuración del repetidor trunking	152
FIGURA 4.6: Cobertura radio troncalizada repetidor El Habra.....	153
FIGURA 4.7: Ingreso del repetidor Cabras.....	155

FIGURA 4.8: Parámetros de la red cobertura Cabras	156
FIGURA 4.9: Miembros de red cobertura Cabras	156
FIGURA 4.10: Configuración del repetidor trunking	157
FIGURA 4.11: Cobertura radio troncalizada repetidor Cabras.....	158
FIGURA 4.12: Ingreso del repetidor Tabacoloma	160
FIGURA 4.13: Parámetros de la red cobertura Tabacoloma	161
FIGURA 4.14: Miembros de red cobertura Tabacoloma	161
FIGURA 4.15: Configuración del repetidor trunking	162
FIGURA 4.16: Cobertura desde Tabacoloma, radio troncalizada.....	163
FIGURA 4.17: Ingreso del repetidor Cerro Blanco	165
FIGURA 4.18: Parámetros de la red cobertura Cerro Blanco	166
FIGURA 4.19: Miembros de red cobertura Cerro Blanco.....	166
FIGURA 4.20: Configuración del repetidor trunking	167
FIGURA 4.21: Cobertura radio troncalizada repetidor Cerro Blanco.	168
FIGURA 4.22: Cobertura total Radio Troncalizada en Imbabura	169

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1: Número de personal policial que labora en Imbabura	4
TABLA 1.2: Sitio de repetición en Imbabura	17
TABLA 1.3: Equipos en los sitios de repetición troncalizada de Imbabura	18
TABLA 1.4: Frecuencias asignadas a la Policía Nacional	47
TABLA 1.5: Plan de canalización de bandas para sistemas troncalizados en el Ecuador.....	52
TABLA 2.1: Frecuencias del repetidor Cotacachi	58
TABLA 2.2: Lugares seleccionados para la prueba de cobertura	59
TABLA 2.3: Sitios sin cobertura de radio troncalizada	60
TABLA 2.4: Características de la elevación Cotacachi.....	63
TABLA 2.6: Características de la elevación Cabras	66
TABLA 2.7: Características de la elevación Tabacoloma	67
TABLA 2.8: Características de la elevación Cerro Blanco.....	69
TABLA 2.9: Datos repetidor el Habra	74
TABLA 2.10: Datos repetidor Cabras.....	75
TABLA 2.11: Datos repetidor Tabacoloma	76
TABLA 2.12: Datos repetidor Cerro Blanco	78
TABLA 2.13: Frecuencias del repetidor el Habra	79
TABLA 2.14: Frecuencia del repetidor Cabras	80
TABLA 2.15: Frecuencias del repetidor Cerro Blanco	80
TABLA 2.16: Frecuencias del repetidor Cotacachi	81
TABLA 2.17: Frecuencias del repetidor Tabacoloma	81
TABLA 3.1: Características de la Torres.....	89
TABLA 3.2: Equipos para repetidor trunking.....	89
TABLA 3.3: Kit Conexión - Línea de Transmisión	97
TABLA 3.4: Kit Conexión - Línea de Recepción	98
TABLA 3.5: Kit Conexión –Línea Test.....	99
TABLA 3.6: Cables de Conexión radio troncalizada	99
TABLA 3.7: Matriz de conexión de cables GTR8000	100

TABLA 3.8: Equipos nuevos repetidor Cotacachi	112
TABLA 3.9: IP- sitios remotos trunking	112
TABLA 3.10: Datos geográficos Cotacachi	115
TABLA 3.11: Datos geográficos El Habra	115
TABLA 3.12: Parámetros de configuración enlace Cotacachi – El Habra	116
TABLA 3.13: Resultado enlace Cotacachi – El Habra	119
TABLA 3.14: Datos geográficos Cotacachi	119
TABLA 3.15: Datos geográficos Cabras	119
TABLA 3.16: Parámetros de configuración enlace Cotacachi – Cabras	120
TABLA 3.17: Resultado enlace Cotacachi – Cabras	123
TABLA 3.18: Datos geográficos Cotacachi	123
TABLA 3.19: Datos geográficos Tabacoloma	123
TABLA 3.20: Parámetros de configuración enlace Cotacachi – Tabacoloma	124
TABLA 3.21: Resultado enlace Cotacachi – Tabacoloma	127
TABLA 3.22: Datos geográficos Cotacachi	127
TABLA 3.23: Datos geográficos Cerro Blanco	127
TABLA 3.24: Parámetros de configuración enlace Cotacachi – Cerro Blanco	128
TABLA 3.25: Resultado enlace Cotacachi – Cerro Blanco	131
TABLA 3.26: Cargas de corriente continua	132
TABLA 3.27: Cargas de corriente alterna	133
TABLA 3.28: Equipos de energía eléctrica	134
TABLA 4.1: Disponibilidad del enlace Cotacachi – El Habra	143
TABLA 4.2: Disponibilidad del enlace Cotacachi – Cabras	144
TABLA 4.3: Disponibilidad del enlace Cotacachi – Tabacoloma	145
TABLA 4.4: Disponibilidad del enlace Cotacachi – Cerro Blanco	146
TABLA 4.5: Ubicación sitios remotos radio troncalizada	147
TABLA 4.6: Parámetros de configuración sitios remotos	148
TABLA 4.7: Localidades sin cobertura zona Noroeste	149
TABLA 4.8: Lugares elegidos zona noroeste	149

TABLA 4.9: Localidades sin cobertura zona noreste.....	154
TABLA 4.10: Lugares elegidos zona noreste.....	154
TABLA 4.11: Localidades sin cobertura zona suroeste	159
TABLA 4.12: Lugares elegidos zona suroeste.....	160
TABLA 4.13: Localidades sin cobertura zona sureste	164
TABLA 4.14: Lugares elegidos zona Sureste	164
TABLA 5.1: Costo de equipos para la Red Troncalizada	171
TABLA 5.2: Costos de Ingeniería.....	173
TABLA 5.3: Costos de Instalación	173
TABLA 5.4: Costos de Operación y Mantenimiento	174
TABLA 5.5: Costos totales de implementación.....	174
TABLA 5.6: Presupuesto de la compra de equipos terminales.	176
TABLA 5.7: Cálculo beneficio equipos terminales	176
TABLA 5.8: Valor Actual De Costo.....	178

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 2.1: Tráfico de Erlang	73
ECUACIÓN 2.2: Tráfico de Erlang	73
ECUACIÓN 2.3: Tráfico de Erlang.....	75
ECUACIÓN 2.4: Tráfico de Erlang	76
ECUACIÓN 2.5: Tráfico de Erlang	77
ECUACIÓN 4.1: Pérdidas del espacio libre.....	138
ECUACIÓN 4.2: Pérdida en la línea de Tx.....	139
ECUACIÓN 4.3: Pérdidas totales	139
ECUACIÓN 4.4: Potencia de Tx.....	140
ECUACIÓN 4.5: Ganancia de antenas.....	140
ECUACIÓN 4.6: Ganancias Totales.....	140
ECUACIÓN 4.7: Nivel de portadora recibida.....	141
ECUACIÓN 4.8: Margen de desvanecimiento.....	141
ECUACIÓN 4.9: Confiabilidad del enlace.....	141
ECUACIÓN 5.1: Retorno de la inversión.....	175
ECUACIÓN 5.2: Valor actual de costo	178
ECUACIÓN 5.3: Costo anual equivalente	179
ECUACIÓN 5.4: Factor de recuperación del capital	179

PRESENTACIÓN

El Ecuador en la actualidad tiene un problema central de la sociedad, que afecta a la paz social y dificulta su desarrollo, este es el incremento de la violencia e inseguridad, ocasionando un sentimiento generalizado de desprotección, frente a su constante crecimiento y amenaza permanente a la vida cotidiana. El presente proyecto describe el diseño de la red troncalizada de la Policía Nacional para la interconexión del Sistema Integrado de Seguridad Ciudadana del Ecuador, en la provincia de Imbabura, una red catalogada como sistema de telecomunicaciones crítico, donde se instalarán repetidoras nuevas en zonas estratégicas georeferenciadas, con el fin de solucionar los problemas de falta de cobertura dentro de la provincia, para esto se usará aplicaciones de software informático como es Radio Mobile, esta aplicación es una herramienta para calcular, analizar y dimensionar la red de un sistema de radiocomunicaciones móvil, brindando el apoyo deseado con el fin de verificar el correcto funcionamiento del sistema, esto involucra realizar un diagrama completo de ingeniería en detalle descrito de manera técnica, de igual manera el diseño incluye el análisis costo beneficio enfocándose en los costos de adquisición de equipos, accesorios, materiales, inversiones en personal técnico y costos de instalación que va a suponer la realización del proyecto.

CAPÍTULO I

1 ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA ACTUAL DE LA RED Y FUNDAMENTOS DE RADIO TRONCALIZADA

El presente proyecto describe el diseño de la nueva red de radiocomunicaciones troncalizada para la Policía Nacional en la provincia de Imbabura, con el objetivo de que esta institución pueda interconectarse al moderno Sistema Integrado de Seguridad Ciudadana del Ecuador.

La Policía Nacional actualmente posee un sistema de radiocomunicaciones móviles troncalizado a nivel nacional que está basado en el protocolo SmartZone versión 4.1, cuyo rango de operación está en los 800 MHz, del fabricante Motorola Inc.

Existen varias provincias que poseen este sistema de comunicación con sitios de repetición que cubren una extensa área geográfica de nuestro país, sin embargo la idea del Gobierno Nacional del Ecuador es mejorar este sistema, mediante la actualización y ampliación de la red troncalizada. Esto con el único fin de lograr un único sistema integrado de seguridad ciudadana a nivel nacional.

La Policía Nacional en la provincia de Imbabura cuenta actualmente con el sistema de comunicación SmartZone de baja capacidad, lo cual no le permite integrarse adecuadamente al sistema integrado de comunicación, además presenta pocas estaciones repetidoras dificultando la cobertura en ciertas zonas geográficas de la provincia, por lo cual el objetivo primordial de nuestra investigación es subsanar estas deficiencias realizando el nuevo diseño de la red de radio comunicación troncalizada para la provincia de Imbabura.

1.1 HISTORIA DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES DE LA POLICÍA NACIONAL

La Policía Nacional del Ecuador es la institución pública encargada de proteger los derechos y la libertad de los ciudadanos, la protección interna y el mantenimiento del orden público. A continuación se detalla la evolución del sistema de comunicación que presenta la Policía Nacional hasta la actualidad, los años de relevancia son los siguientes:

- **Año 1961**

En este año durante el proceso “Alianza para el progreso” se entrega a la Policía Nacional equipos que conforman el sistema convencional VHF-FM fijo-móvil, para las ciudades de Quito y Guayaquil, estos sistemas tenían operación en modo libre y con un sólo canal, así como también equipos HF de Radiofonía, los mismos que fueron instalados en todas las capitales de provincia y sus principales cantones, permitiendo una cobertura a nivel nacional.

Con el transcurso del tiempo estos equipos debido a su uso, falta de repuestos y condiciones atmosféricas de propagación quedaron fuera de servicio.

- **Año 1970**

Este año se emprendió un proceso de mejoría en el sistema de comunicación, se implementaron repetidoras como punto de enlace y ampliación de cobertura ubicadas en Puengasi ciudad de Quito y otra en Cerro Azul ciudad de Guayaquil, con dos canales de voz que permitían operar en forma independientemente repartidos un canal para policías encargados de la seguridad urbana y el otro para el tránsito dentro de estas ciudades.

El problema radicaba que en este sistema no tenía ningún tipo de seguridad, ocasionando que las comunicaciones que realizaban los miembros de la institución, fueran monitoreadas y detectadas permanentemente por personas que trataban de obtener provecho de estas vulnerabilidades de la red, otro inconveniente era que el sistema operaba en la banda de frecuencias VHF que es una gama de frecuencias utilizada por la mayor cantidad de empresas de seguridad privada, periodistas, empresas comerciales, etc.

- **Año 1987**

Fecha trascendente dentro del progreso del sistema de comunicación policial, ya que en el gobierno del Ing. León Febres Cordero el 31 de Marzo de 1987, se firma el Decreto Ejecutivo Nro. 2765, que otorgaba a la Compañía extranjera Francesa Alcatel Thomson la provisión e instalación de una red de tecnología vía microondas.

- **Año 1991:**

El 5 de febrero de 1991 entra en funcionamiento esta red moderna de comunicación vía microondas denominada SMOP, enlazando a todas las capitales de provincia y 7 Cantones importantes, excepto a Galápagos, con servicios de telefonía fija, correo electrónico y fax.

El diseño de la red obedece a las características propias de empleo policial para la transmisión de voz, sus exigencias estaban íntimamente relacionadas al cumplimiento de la misión institucional.

▪ **Año 2006:**

Durante este año se implementa el sistema de radio troncalizado en la provincia de Azuay, con dos sitios de repetición: Guaguazhumi y Bueran. Además se continúa ampliando la red de comunicación, en las provincias de Sucumbíos y Orellana se implementa un sistema de radio convencional analógico.

▪ **Año 2007:**

Tomando en cuenta los elevados índices de delincuencia la siguiente provincia con necesidades urgentes de comunicación era Manabí, donde se implementa el sistema de radio troncalizado con cinco sitios de repetición: Cerro de Hojas, Loma de Vientos, La Mona, El Globo y Manta.

▪ **Año 2009:**

En esta ocasión el turno fue para la provincia de Pichincha, con la necesidad de ampliar la cobertura del sistema de radio troncalizada, se instaló cinco sitios de repetición: Monteserrin, Mitaloma, La Viudita, Yamboya y Cerro de Osos; además, en este mismo año se incrementó la cantidad de canales de voz en la provincia del Guayas y la cantidad de radios bases, móviles y portátiles troncalizados para todas las provincias que cuentan con este sistema de radio.

▪ **Año 2012:**

Desde el 2009 hasta el año 2012 se amplía la cobertura del sistema de comunicaciones móviles para otras provincias, logrando un número de 7 provincias: Pichincha, Guayas, Manabí, Azuay, Cañar, Santo Domingo de los Tsáchilas y Santa Elena, que ya se encuentran interconectadas bajo el sistema de comunicaciones de radio troncalizada.

Para los próximos años específicamente hasta el 2016, se tiene previsto ampliar en su totalidad la red nacional de comunicaciones móviles, proyecto que consta en el plan del sistema integrado de seguridad ciudadana del Gobierno Nacional del Ecuador.

1.2 POLICÍAS EN IMBABURA

En la provincia de Imbabura existen 1100 miembros policiales distribuidos por toda la provincia, con la nueva reorganización para el 2015 llegarán 200 policías más a reforzar al personal actual, a los cuales se les asignará a un territorio y jurisdicción.

(Departamento estadístico de la Policía Nacional en Imbabura, 2014). De esta manera, se pretende cubrir los diferentes sectores donde existen escasos de resguardo policial.

En la provincia el personal policial está distribuido en localidades ubicadas al norte, sur, este y oeste, como se detalla en la siguiente tabla a continuación:

TABLA 1.1: Número de personal policial que labora en Imbabura

MIEMBROS POLICIALES	LOCALIDADES
130	<ul style="list-style-type: none"> ▪ San Pedro ▪ Tumbez ▪ La Carolina ▪ Jijón y Caamaño ▪ El Oso ▪ El Guadual ▪ Naranjito ▪ Buenos Aires ▪ La Concepción ▪ La Florida ▪ Chinchivi ▪ Lita
90	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ambuquí ▪ Juncal ▪ Piquiucho ▪ Carpuela ▪ Paragachi ▪ Pimampiro ▪ Chuga ▪ San Francisco de Sigsipamba ▪ Chaupi Guaranguí ▪ Mariano Acosta
90	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plaza Gutiérrez ▪ Peñaherrera ▪ El Palmal ▪ Los Corrales ▪ Junín ▪ Chalguayacu ▪ Palma Real ▪ Vacas Galindo

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Llurimagua ▪ Gualiman ▪ Baratillo ▪ Cielo Verde ▪ Cuellaje ▪ El Rosario ▪ Apuela
115	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Urcusiqui ▪ Tangali ▪ Eugenio Espejo ▪ San Rafael ▪ González Suarez ▪ San Pablo ▪ Pijal ▪ Angochagua. ▪ El Topo ▪ Cajas
675	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ibarra ▪ Atuntaqui ▪ Otavalo ▪ Urcuquí ▪ Cotacachi

Fuente: Policía Nacional – Zona 1

1.3 ARQUITECTURA ACTUAL DE LA RED DE COMUNICACIONES EN LA PROVINCIA DE IMBABURA

La Policía Nacional en el Ecuador en la actualidad cuenta con un sistema de radio comunicación basado en la tecnología SmartZone, correspondiente a la versión 4.1, desarrollada por el fabricante Motorola, cuyo rango de operación está en los 800 MHz.

Este sistema tiene la característica de soportar servicios de tráfico de voz analógico y digital, consta de varios sitios de repetición remotos a nivel nacional, estos sitios se encuentran configurados para trabajar en tipo área extendida y enlazados a través de enlaces microondas con el Controlador Maestro ubicado en la Dirección Nacional de Comunicaciones.

En el siguiente gráfico se puede observar cómo está estructurada la red troncal de la policía a nivel nacional.



FIGURA 1.1: Red troncalizada del sistema SmartZone

Fuente: Dirección Nacional de Comunicaciones

Como se puede observar existen varias provincias que cuentan con sitios de repetición que cubren una determinada área geográfica del país, sin embargo, hay lugares que no son cubiertos por este sistema, este es el caso particular de la provincia de Imbabura que posee una comunicación que no brinda suficiente cobertura geográfica e igual necesita mayor capacidad de transmisión por el incremento de efectivos policial.

En la provincia de Imbabura el personal policial, sus patrulleros y las Unidades de Policía Comunitaria (UPC), utilizan actualmente este sistema de comunicaciones troncalizado para la transmisión de voz, los mismos que se intercomunican por medio de las radio bases y sitios de repetición localizadas estratégicamente.

Estos sitios de repetición en Imbabura están comunicados directamente con el controlador maestro a través de enlaces microondas que viene desde una repetidora llamada Cruz Loma en Pichincha, hasta la principal repetidora en la provincia que es la de Cotacachi.

Actualmente los equipos que se encuentran en funcionamiento en la red troncalizada de Imbabura son:

- Controlador Maestro
- Sitios de Repetición
- Equipos Terminales.

1.3.1 CONTROLADOR MAESTRO

El controlador maestro está formado por varios equipos y sistemas secundarios, a continuación se realizará el estudio de cómo está estructurado este controlador que administra los sitios de repetición a nivel nacional, en la siguiente figura se tiene un esquema de la estructura del sitio principal de radio troncalizada de la Policía Nacional.

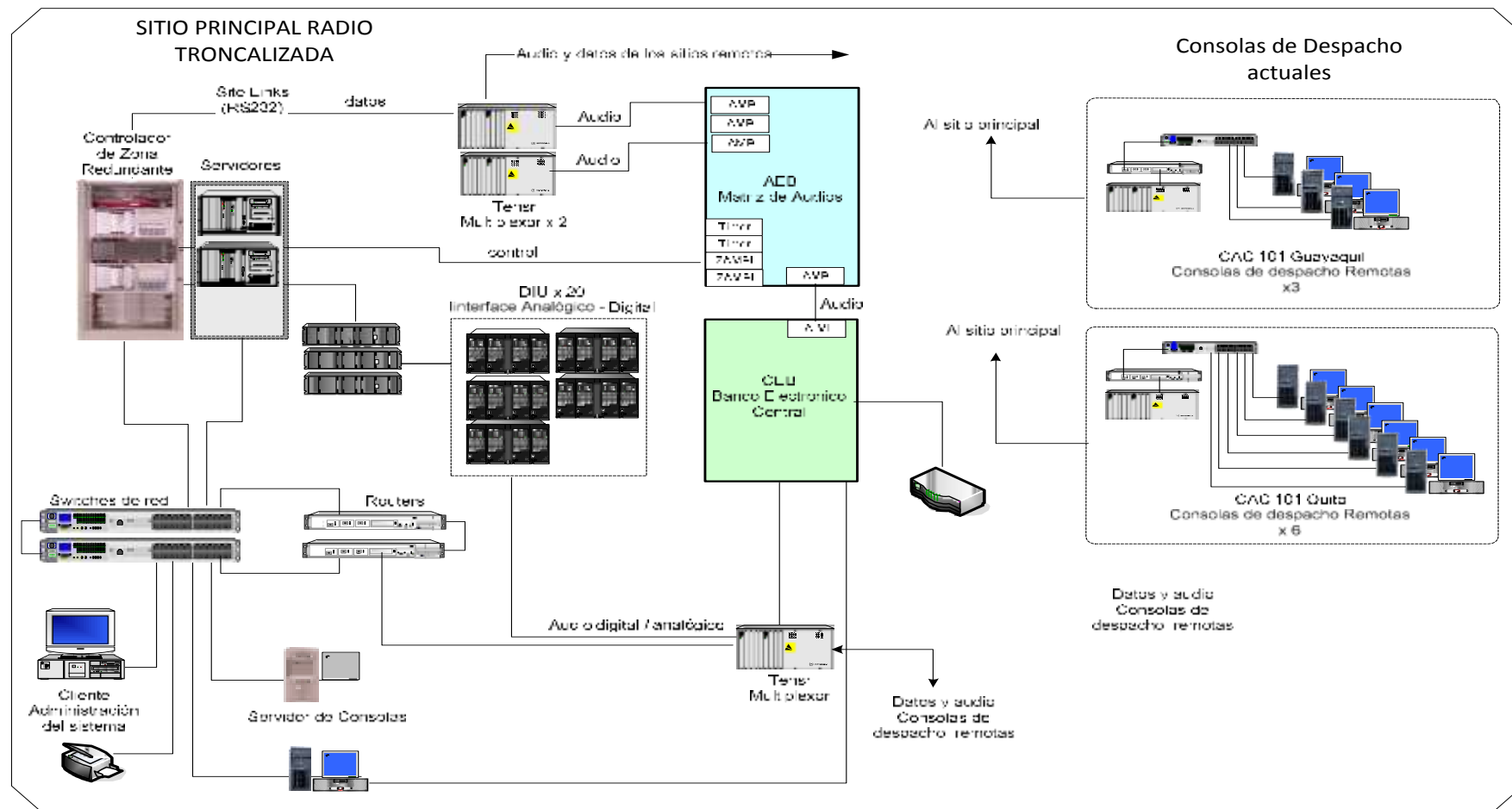


FIGURA 1.2: Estructura del Sitio principal de radio troncalizada de la Policía Nacional (SmartZone)

Fuente: Escobar, V. (2010). Diseño E Implementacion De La Nueva Red De Comunicaciones De Voz De La Policía Nacional En La Provincia De Pichincha. Universidad Politécnica Del Ejército, Sangolquí, Ecuador.

Entre los equipos que se encuentran instalados se tiene los siguientes:

1.3.1.1 CONTROLADOR DE ZONA MCZ3000

Es el elemento más importante del sistema, en si es una computadora multifuncional encargada de recibir, procesar y direccionar las llamadas que ingresan al sistema SmartZone, entre las características más importantes posee:

- Tolerancia a fallas
- Servicio permanente
- Interfaz amigable
- Software de configuración propio del fabricante

Las funciones que cumple el controlador de zona son las siguientes:

- Proceso de llamadas
- Enlaces de datos asincrónicos.
- Direccionamiento de canales
- Control de la Infraestructura
- Autenticación ID de equipos policiales
- Proveer los servicios de comunicación a sus terminales asociados.

La Policía Nacional tiene instalado en el sitio principal ubicado en la Dirección Nacional de Comunicaciones dos controladores de zona MCZ3000, conectados en paralelo a través de un módulo de conmutación, con el fin de brindar redundancia al sistema de comunicación en caso de fallas.

El MCZ3000 está estructurado de los siguientes elementos:

1.3.1.1.1 TARJETAS SERIALES

Estas tarjetas tienen conectores con capacidad hasta 70 puertos para ser conectadas a las señales de enlace de sitio provenientes de los sitios de repetición remotos.

Cada tarjeta serial tiene 14 puertos asincrónicos y 2 puertos síncronos de datos de 256 kbps para la conexión al conmutador de audio. Cada controlador tiene capacidad de hasta cinco tarjetas seriales.

A través de este puerto el controlador de zona dirige la actividad del conmutador de audio.

1.3.1.1.2 TARJETA ETHERNET

El controlador de zona posee una tarjeta Ethernet con 8 puertos, estos sirven para conectar el controlador de zona1 al controlador de zona 2, y si fuera el caso la conexión de un nuevo controlador que se desee instalar a futuro para la ampliación de red.

1.3.1.1.3 TARJETA DE PROCESAMIENTO CENTRAL CPU

La tarjeta CPU está formada por un procesador CP1500, de 2 puertos Ethernet y 4 puertos seriales. Estos puertos permiten comunicar el controlador de zona con dispositivos exteriores a través de un puerto de interface SCSI¹, los puertos Ethernet sirven para conectar la red LAN de la policía y los servidores.

1.3.1.1.4 TARJETA DE ALARMA

Esta tarjeta permite identificar condiciones de alarma en el controlador. EL MCZ3000 tiene pre configurado de fábrica tres tipos de alarmas:

- Alarma menor: Una alarma menor nos indica que hay algún otro problema con el software o hardware del controlador.
- Alarma mayor: Una alarma mayor nos indica que la tarjeta CPU no tiene comunicación.
- Alarma crítica: La alarma crítica nos indica que existe una falla de energía en alguno de los reguladores que alimentan las tarjetas del controlador.

¹ **SCSI**: Small Computer System Interface, es un conjunto de estándares para la conexión física y la transferencia de datos entre ordenadores y dispositivos periféricos.

El administrador de red para detectar estas alarmas cuenta con la facilidad de visualización de leds que indican el grado de alarma, ámbar menor, amarilla mayor y roja crítica.

1.3.1.2 CONMUTADOR DE AUDIO

También llamado AEB², en este equipo permite establecer los enlaces de radio extendida con los distintos sitios de repetición en todo el país, además tiene conexión directa con el banco de canales (Multiplexor), con las consolas de despacho y con el controlador de zona.

El conmutador de audio AEB tiene tres tipos de tarjetas:

1.3.1.2.1 TARJETA AMBASSADOR AMB

Es la que se encarga de administrar los tipos de enlaces que usa el sistema, admite enlaces con las características de comunicación de E1 o T1, de acuerdo el uso del sistema. El conmutador de audio que posee el sistema SmartZone tiene 3 tarjetas AMB.

1.3.1.2.2 TARJETA DE RELOJ

Cumple con una función primordial dentro del conmutador de audio, brinda sincronismo a las señales de audio de entrada y salida del sistema. El conmutador de audio posee 2 tarjetas instaladas, una trabaja y la otra está en modo espera, brindando seguridad y fiabilidad al sistema.

1.3.1.2.3 TARJETA ZAMBI

Esta tarjeta es la que permite la comunicación con el controlador de zona MCZ3000, a través de ella se envía las ordenes generadas y procesadas por el controlador de zona, para que sean ejecutadas por el conmutador de audio.

1.3.1.3 GESTIÓN DEL CONTROLADOR MAESTRO

La gestión del controlador maestro se realiza mediante software instalados en varios servidores que se detallan a continuación, además existe un usuario individual para la administración de toda la red. La característica primordial de los servidores que se

² **AEB:** Ambassador Electronic Bank, conmutador de audio Motorola troncalizado.

encuentran en controlador maestro es que procesan datos en tiempo real, motivo por el cual la comunicación tiene un periodo de retraso mínimo.

El usuario que tiene el acceso como administrador de red se encarga de tener correctamente actualizadas las bases de datos, tiene a la gran responsabilidad de aumentar o quitar sitios de repetición, administrar las frecuencias de operación del sistema, entre otras.

1.3.1.4 SERVIDORES DEL CONTROLADOR MAESTRO

Los servidores que están instalados en el controlador maestro son de dos tipos, servidores a nivel de zona y a nivel de sistema principal, la Policía Nacional posee los siguientes tipos de servidores:

1.3.1.4.1 SERVIDORES A NIVEL DE ZONA

La Policía Nacional presenta servidores de zona únicamente en las provincias que ya poseen el sistema troncalizado compatible con el estándar Astro P25, como son: Pichincha, Guayas, Manabí, Azuay, Cañar, Santo Domingo de los Tsáchilas y Santa Elena.

La provincia de Imbabura aún no posee su servidor de zona, por lo que en la actualidad aún no tiene su nueva red de radiocomunicación troncalizada.

Los servidores a nivel de zona que presenta el sistema SmartZone son los siguientes:

- **Servidor de base de datos de zona ZDS**

El servidor de base de datos de zona tiene la información de los siguientes elementos:

- Sitios de repetición
- Canales existentes en cada sitio
- Conexión de los multiplexores al conmutador de audio
- Unidad de interfaz digital (DIU)
- Convertidores digitales y analógicos

El ZDS tiene las siguientes funcionalidades:

- Maneja la configuración de la base de datos

- Administra las licencias de las aplicaciones
- Autentica a los administradores de la red.

El software instalado en el servidor es el MCZ³ Manager, el cual posee una interfaz amigable y es de fácil operación, por medio de este software se puede agregar o quitar sitios de repetición a la red troncal.

- **Servidor de enrutador de tráfico en el aire ATR**

El ATR es un servidor que cumple con la función de enrutar todo el tráfico que presenta el sistema SmartZone, lo realiza a través de su software Zone Watch y Radio Control Manager, esta última aplicación puede restringir el servicio a un equipo de radio policial determinado.

- **Servidor de estadísticas de zona**

El servidor de estadísticas de zona tiene instalado el software Historical Reports, como su nombre lo indica es el encargado de cuantificar y almacenar el inventario de todo lo ocurrido en la zona a su cargo, por ejemplo el número de llamadas, colas de espera, los mensajes de alerta, etc.

Este servidor está configurado para almacenar estos eventos de acuerdo a la importancia para la Policía Nacional, este almacenamiento puede ser de horas, días, meses y en ocasiones cuando son de gran importancia años.

- **Servidor de visión total INM**

El servidor de visión total permite obtener información de las alarmas que generan los dispositivos del sistema, como servidores, controladores de zona, sitios de repetición, además permite presentar la información de cada uno de los registros mediante representaciones gráficas, en forma de reportes.

1.3.1.5 SERVIDORES A NIVEL DE SISTEMA PRINCIPAL

Al ser un servidor a nivel de sistema principal se encuentra ubicado en la Dirección Nacional de Comunicación de la Policía Nacional, en este servidor reposa la base de datos de los controladores de cada zona a nivel nacional.

³ **MCZ:** Zone Configuration Manager , es el software para la configuración de la zona del sistema SmartZone

La versión SmartZone 4.1 del sistema de radio troncalizada policial tiene dos servidores de zona a nivel principal, estos son los siguientes:

1.3.1.5.1 SERVIDOR DE CONFIGURACIÓN DE USUARIOS UCS

El sistema SmartZone que posee la Policía Nacional posee un solo UCS, este servidor tiene instalado el software User Configuration Server, la función principal es de almacenar la base de datos y realizar los procesos requeridos por el sistema, además permite autenticar todos los equipos terminales mediante su ID y contiene la información de los grupos de conversación policiales. Toda esta información es recopilada y actualizada de cada uno de los servidores de base de datos de las zonas.

El software permite la administración de terminales nuevos o antiguos, también permite la creación de uno o más grupos de conversación, definir sus propiedades y su rango de cobertura para la realización de llamadas, este trabajo es realizado por el usuario de administración del sistema.

1.3.1.5.2 SERVIDOR DE ESTADÍSTICAS DEL SISTEMA SSS

El servidor de estadísticas del sistema es el encargado de cuantificar y almacenar todo lo ocurrido en el sistema principal, luego mediante un inventario se procesa estos eventos y el administrador gestiona cada uno de ellos.

1.3.1.6 MULTIPLEXOR

El multiplexor es un banco de canales, es el equipo que recibe las señales de audio y de control, emitidas por los sitios remotos hacia el controlador de zona, además sirve como interface entre el conmutador de audio y las unidades de interfaces digitales.

Las funciones principales del multiplexor en el sistema SmartZone son las siguientes:

- Ejecuta la multiplexación y demultiplexación de los E1s enviados y recibidos al sitio principal.
- Efectúa la conexión de la señal de audio que llega hacia el AEB del sistema, esta conexión es cruzada entre slots de los E1s.
- Realiza la codificación y decodificación de las señales de datos y audio en E1s, para esto el multiplexor ocupa la modulación por impulsos codificados PCM, esta técnica le permite transformar una señal analógica en una secuencia de bits, señal digital.

- Digitaliza las señales de audio y las coloca dentro de un canal de formato E1, para ello usa la técnica de acceso múltiple por división de tiempo TDM, mediante esta técnica se puede transmitir señales digitales de audio por un solo canal, desde el sitio principal SmartZone a los sitios remotos a nivel nacional.
- Selecciona la información que contienen los slots de cada E1 enviada por los sitios remotos, así el multiplexor sabrá por qué ruta tiene que ser transmitida, esta ruta previamente se encuentra configurada para cada zona y almacenada en el UCS.

El multiplexor SmartZone está compuesto de las siguientes tarjetas:

1.3.1.6.1 TARJETA DE CONTROL CPU

La tarjeta CPU es la encargada de controlar las operaciones que cumple el multiplexor, brinda permisos y restricciones para cada proceso requerido. En el sistema de la policía cuenta con dos tarjetas CPU para brindar seguridad a la red.

1.3.1.6.2 TARJETA WAN

La tarjeta WAN es la que gestiona todo el tráfico generado por los E1s del sistema, estas tarjetas están formadas por módulos CEPT.

Los módulos CEPT son los que permiten la conexión de un E1 a 2 Mbps, la tarjeta WAN instalada en el sistema SmartZone tiene la capacidad de albergar a dos módulos, logrando tener una capacidad de 2 E1s, si fuese necesario.

1.3.1.6.3 TARJETA SRU

La tarjeta SRU es el adaptador de sistema, permite la interconexión de equipos que trabajan a distintas capacidades de velocidad, presenta diez puertos donde se conectan los enlaces de sitio al sitio principal, junto con los canales de repetición de audio digital.

1.3.1.6.4 TARJETA DE 4 HILOS

La tarjeta de 4 hilos está formada por ocho puertos, tiene la función de convertir la señal analógica de voz en formato digital de E1, para realizar esta transformación usa modulación PCM, obteniendo señales digitales de 64 Kbps.

1.3.1.6.5 TARJETA ADPCM

Esta tarjeta ADPCM⁴ sirve para comprimir la voz analógica en digital o viceversa (modo mixto), usa modulación PCM para reducir el tamaño de bits de 64000 a 40000, logrando así ocupar menos canales de transmisión.

1.3.1.6.6 TARJETA DE INTERFAZ

La tarjeta de interfaz como su nombre lo indica sirve de conexión física y funcional entre los elementos internos y externos del sistema SmartZone, alberga las conexiones finales de los E1 y guarda la configuración principal del multiplexor.

1.3.1.7 SERVIDOR TERMINAL

Su función principal es brindar acceso remoto al sitio principal por parte del usuario que administra la red, está formado por modems con terminales RS232 conectados a su vez a una línea telefónica, que se convierte en el medio de transmisión de gestión en caso de que sea necesario.

1.3.2 SITIOS DE REPETICIÓN EN IMBABURA

El sistema de radio troncalizado de la Policía Nacional en Imbabura tiene instalado un sitio de repetición configurado en modo de área extendida enlazada a través de la repetidora Cruz Loma ubicada en Pichincha, en Imbabura la repetidora troncalizada Cotacachi se encuentra ubicada en un lugar estratégico de la provincia como se muestra en la figura 1.3 a continuación.

⁴ **ADPCM**: Adaptive Differential pulse code modulation, es la adaptación del código de modulación en pulsos codificados.



FIGURA 1.3: Sitios de Repetición en Imbabura

Fuente: Adaptada de la Información otorgada por Dirección Nacional de Comunicación

La ubicación exacta del sitio y el número de canales están distribuidos de la siguiente manera:

TABLA 1.2: Sitio de repetición en Imbabura

LUGAR	UBICACIÓN	CANALES
Cotacachi	Cerro	5

Fuente: Dirección Nacional de Comunicaciones.

El sitio de repetición en Imbabura está configurado en modo de operación de área extendida y está formado de los siguientes equipos que se detallan a continuación:

TABLA 1.3: Equipos en los sitios de repetición troncalizada de Imbabura

EQUIPO	MARCA	COTACACHI
Rectificador	Delta	1
Controlador	Delta	1
Multiacopladores	RFC	1
Repetidor	Motorola Quantar	1
Multiacoplador	Motorola	1
Combinador	Motorola	1
Radio	Huawei RTN 910	1
Router	Motorola	1
Switch	Motorola	1
Antenas	Harris	2
	Andrew	2
Aire Acondicionado	Liebert	1
Banco de baterías	Fulmen	2
Generador	Kohler	1

Fuente: RG1, Corporación Nacional De Telecomunicaciones, EP. y DNC.

De todo este conjunto de equipos que se encuentran instalados en los sitios de repetición troncalizada, los más relevantes son los siguientes:

1.3.2.1 EQUIPOS MULTIPLEXORES.

El multiplexor cumple la función de recibir las señales de control y audio enviadas por los equipos terminales, procesarlas y convertirlas en formato digital E1, para luego enviarlas al controlador de zona principal en la ciudad de Quito.

1.3.2.2 REPETIDOR DE SITIO INTELIGENTE QUANTAR

Los equipos repetidores inteligentes cumplen la función de trabajar como controladores de sitio remoto, debido a que cuentan con un módulo llamado Intellirepeater de alto procesamiento, este módulo es exclusivo de fabricante Motorola compatible con SmartZone.

La función de este módulo es convertir a uno de los repetidores en controlador de sitio, dejando a los otros repetidores como canales de voz, en caso de falla del sitio de control, automáticamente el Intellirepeater designa a otro repetidor como controlador, así la comunicación es permanente y segura.

1.3.3 EQUIPOS TERMINALES

En Imbabura la Policía Nacional cuenta con equipos terminales de radio, estos son de tipo portátil, radios móviles y estaciones base.

A continuación se describirá los tipos de radio existentes:

1.3.3.1 RADIOS PORTÁTILES

Los radios portátiles son equipos terminales que los miembros policiales transportan manualmente, existen diferentes tipos, entre los más usados están radio Astro XTS 1500.



FIGURA 1.4: Radio XTS 1500

Fuente: Tomada de MOTOROLA, *XTS®1500 Portable Radio*, USA.

1.3.3.2 RADIOS MÓVILES

Los radios móviles son equipos terminales que se instalan en los vehículos policiales, para la conexión toman el suministro de energía de la batería de los autos y ubican la antena Tx/Rx en el techo del mismo, el modelo de equipo que se está usando en la actualidad es el Motorola MCS 2000.



FIGURA 1.5: Radio MCS2000

Fuente: Tomada de MOTOROLA, *MCS 2000 VHF/UHF 800/900 MHz, USA.*

1.3.3.3 ESTACIONES BASE

Las estaciones base son equipos terminales fijos, para su instalación se coloca una antena exterior mediante un mástil y se conecta a la energía asegurada todo el sistema, el equipo que se usa actualmente es el radio Motorola MCS2000.

1.4 FUNDAMENTOS

Los fundamentos teóricos permiten sustentar el diseño brindando un punto de referencia para elaborar un modelo científico que se ajuste a los objetivos planteados en la investigación.

A continuación se detallan los fundamentos más importantes que aportan a la realización de la investigación:

1.4.1 SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIÓN

Un servicio de radiocomunicación se basa en la transmisión/recepción de ondas electromagnéticas con la finalidad de transmitir y recibir cierta información, para la cobertura de necesidades de telecomunicación, científicas, industriales o militares.

Los servicios se clasifican en tres formas, según el tipo de radiocomunicación:

1. Servicio Fijo: Su comunicación se realiza entre puntos fijos determinados, servicio punto a punto.
2. Servicio Móvil: Se realiza con estaciones móviles entre sí o con una o más estaciones fijas, servicio punto a zona.
3. Servicio de Radiodifusión: Caracterizado por sus emisiones se destinan a la recepción directa con el público en General, servicio punto a zona.

1.4.1.1 SERVICIO MÓVIL

La UIT⁵ define el servicio móvil como un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrestres fijas para transmitir cualquier tipo de información, como: voz, datos, fax, video, telemandos, etc.

Los sistemas de radiocomunicaciones móviles permiten la transmisión entre terminales móviles a bordo de vehículos o transportados por personas, ya sea directamente a través de un medio de transmisión radioeléctrica o vía Red Telefónica Conmutada.

La UIT clasifica en tres clases de servicios móviles:

1. Servicio móvil terrestre.
2. Servicio móvil marítimo.
3. Servicio móvil aeronáutico.

1.4.1.1.1 SERVICIO MÓVIL TERRESTRE

Las redes móviles terrestres se iniciaron en ámbitos restringidos, para el establecimiento de comunicaciones en tareas de despacho para la gestión de las actividades de flotas de vehículos en aplicaciones tales como: servicios de policía, mantenimiento de servicios públicos de distribución de gas, agua, electricidad, servicios de emergencia, ambulancias, protección civil, bomberos, control de tráfico, etc.

⁵ **UIT**: Unión Internacional de Telecomunicaciones

Estas aplicaciones han dado lugar a los sistemas llamados PMR⁶ (Private Mobile Radio), que se caracterizan por tener una cobertura básicamente local y no están conectados a la red telefónica pública conmutada. En la figura 1.6 se representa un esquema conceptual de un sistema PMR configurado como una red. Dentro de la red puede haber comunicaciones en que estén involucrados únicamente algunos terminales, se dice que estos terminales forman un CUG⁷ (Closer User Group). (RABANOS, *Transmisión por Radio*, 2013).

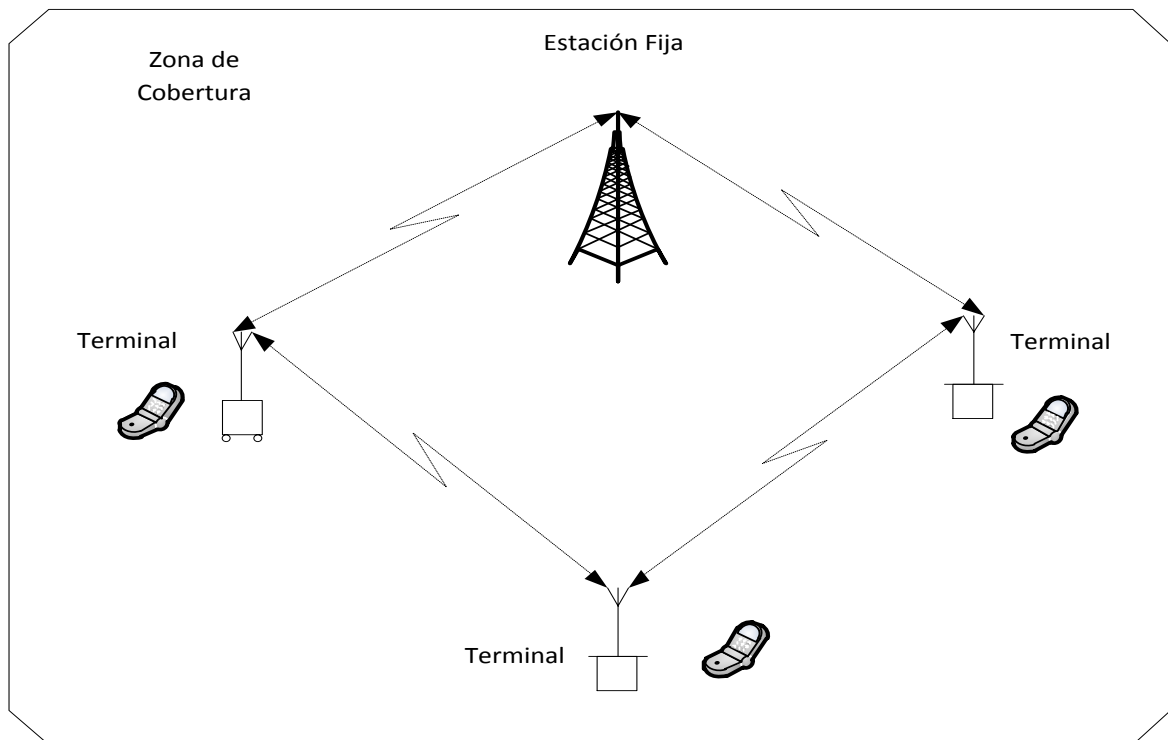


FIGURA 1.6: Esquema de un sistema PRM

Fuente: Adaptado de HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). *Ingeniería de Sistemas Trunking* (p. 14). Madrid: Editorial Síntesis.

1.4.1.2 ZONA DE COBERTURA

La Zona de cobertura es la superficie geográfica dentro de la cual los terminales pueden establecer comunicaciones con la estación fija y entre sí.

⁶ **PMR:** Radio Móvil Privada, es un sistema convencional de radio

⁷ **CUG:** Grupo Cerrado de Usuarios

En consecuencia los sistemas de comunicaciones móviles se diseñan de tal manera que pueda realizarse enlaces desde cualquier lugar de la zona de cobertura. Por este motivo la estación fija debe ubicarse en un punto estratégico referencial.

Una estación fija de radio bien situada puede proporcionar cobertura de servicio a un gran número de terminales. Con una o más frecuencias portadoras, constituyen el recurso necesario para el establecimiento de un sistema de comunicaciones móviles al que han de acceder los usuarios de la red.

Varias redes pueden compartir las frecuencias e instalaciones de una estación fija, por su estratégica ubicación permite una amplia zona de cobertura, de la misma manera compartir frecuencias sin interferencias mutuas es posible gracias al empleo señalización selectiva, mediante tonos que permiten la entrega de los mensajes a los usuarios respectivos; a este tipo de señalización se conoce como una estación de repetición comunitaria. Debido a la escasez, cada vez mayor, de frecuencias para el servicio móvil en redes con un número elevado de terminales, se utilizan técnicas avanzadas de múltiple acceso, que se basan en compartir las frecuencias. A estos sistemas se les denomina Sistemas Troncalizados o mejor conocidos como sistemas Trunking.

La principal característica de los Sistemas Troncalizados, es su sistema de control basado en señalización digital, que permite brindar el servicio de comunicaciones móviles a una región extensa y gran cantidad de usuarios. (RABANOS, *Transmisión por Radio*, 2013).

1.4.2 COMPOSICIÓN DE UN SISTEMA DE RADIO MÓVIL

Todo sistema de radio comunicaciones móviles consta de los siguientes elementos:

- Estaciones fijas (FS).
- Estaciones móviles (MS).
- Equipos de control.

1.4.2.1 ESTACIONES FIJAS

Es una estación radioeléctrica que va a permanecer en un lugar específico y estratégico.

Hay diversas categorías de estaciones fijas en el servicio móvil:

- Estación base (BS).
- Estación de Control (CS).
- Estación repetidora (RS).

1.4.2.1.1 ESTACIÓN BASE

Una estación base es una estación radioeléctrica fija, cuyo funcionamiento se controla directamente desde una unidad de control situada en un punto específico. El control puede ser local o remoto, mediante líneas telefónicas o radio enlaces. Las estaciones base tienen como característica primordial ser fuentes y sumideros de tráfico, tanto de información como de señalización. Están constituidas por equipos transceptores, sistemas radiantes y elementos de acoplo entre unos y otros.

1.4.2.1.2 ESTACIÓN DE CONTROL

Una estación de control es una estación fija, cuyas transmisiones se utilizan para controlar automáticamente las emisiones o el funcionamiento de otra estación de radio en un emplazamiento específico. Las estaciones de control se emplean generalmente para controlar una estación base o una repetidora de sistemas PMR.

1.4.2.1.3 ESTACIONES REPETIDORAS

Son estaciones fijas que retransmiten las señales recibidas y permiten la ampliación del radio de acción, además genera caminos alternativos para el transporte de la señal. En PMR las estaciones repetidoras se destinan al logro de una gran cobertura radioeléctrica, por lo que suelen ubicarse en sitios altos.

1.4.2.2 ESTACIONES MÓVILES

Una estación móvil es una estación radioeléctrica que cambia de posición geográfica habitualmente dentro de la red. El término incluye a los equipos portátiles o de mano, que son aquellos que acompañan al usuario y pueden instalarse temporalmente en vehículos o ser transportados manualmente.

La estación móvil suele llamarse también terminales móviles o equipos de usuario, estos se conectan a la red a través de las BS del subsistema de acceso.

1.4.2.3 EQUIPOS DE CONTROL

El conjunto de equipos de control forman los dispositivos necesarios para la regulación por parte del gobierno a las estaciones base, la generación y recepción de llamadas, localización e identificación de vehículos, transferencia de llamadas a la red telefónica privada, señalización de canales, etc. (RABANOS, *Transmisión por Radio*, 2013).

1.4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RADIO MÓVIL

Los sistemas de radiocomunicaciones móviles se clasifican de acuerdo a una diversidad de criterios, a continuación se detallan los más comunes:

1.4.3.1 POR EL TIPO DE CONEXIÓN Y APLICACIÓN

- Sistemas PMR o PAMR⁸: aquellos que no están conectados a la red telefónica pública conmutada.
- Sistemas de Telefonía Móvil Pública, PMT⁹: Es una red telefónica con sus elementos de transmisión y conmutación, que se denomina PLMN¹⁰ (Public Land Mobile Network).

1.4.3.2 POR LA BANDA DE FRECUENCIAS UTILIZADA.

Se utilizan las bandas:

- Bandas VHF, son frecuencias del espectro electromagnético asignados a diferentes usos como televisión, comunicaciones con aviones, telefonía móvil marítima, telefonía terrestre y radioaficionados.
- Bandas UHF, son frecuencias del espectro electromagnético asignados a diferentes usos como comunicaciones por microondas, radioastronomía, telefonía móvil, redes inalámbricas, bluetooth, zigBee y GPS.

1.4.3.3 POR EL TIPO DE COMUNICACIÓN

- Sistemas símplex, son los que utilizan la misma frecuencia para cada sentido de transmisión.

⁸ **PAMR**: Public Access Mobile Radio

⁹ **PMT**: Telefonía Móvil Pública

¹⁰ **PLMN**: Public Land Mobile Network

- Sistemas dúplex, son los que mantienen una comunicación bidireccional, enviando y recibiendo mensajes de forma simultánea.
- Sistemas semidúplex, en este tipo de sistemas la estación de base funciona en dúplex y los móviles en símplex.

1.4.3.4 POR LA TÉCNICA DE MULTIACCESO

- Sistemas FDMA, aquí el acceso es múltiple por división de frecuencia.
- Sistemas TDMA, aquí el acceso es múltiple por división de tiempo.
- Sistemas CDMA, aquí el acceso es múltiple por división de código.

1.4.3.5 POR EL TIPO DE MODULACIÓN

- Sistemas analógicos, son los que usan modulación FM.
- Sistemas digitales, son los que usan modulaciones de tipos FSK y PSK.

1.4.4 TIPOS DE COMUNICACIÓN

Los sistemas de radiocomunicación utilizan cualquiera de los tres tipos de modalidad de explotación para su comunicación: simplex, semidúplex y dúplex. El tipo de canal radioeléctrico para comunicarse depende de aspectos importantes como el número de usuarios, alcance requerido y del tipo de equipos disponibles.

A continuación se describe estos tres tipos de canales radioeléctricos:

1.4.4.1 CANALES SÍMPLEX

Los canales símplex utilizan la misma frecuencia f_1 para cada sentido de transmisión. La transmisión y la recepción se efectúan en forma secuencial, en un sentido cada vez. Cuando se pulsa el mando PTT¹¹ de la estación radioeléctrica el conmutador de antena conecta el transmisor a la antena y desconecta el receptor de ésta. Como solamente se utiliza una frecuencia, las transmisiones son del tipo línea compartida (party-line) y cualquier equipo puede oír y hablar con cualquier otro dentro de la zona de cobertura. (RABANOS, *Transmisión por Radio*, 2013).

¹¹ **PTT:** Push to talk / pulsar para hablar

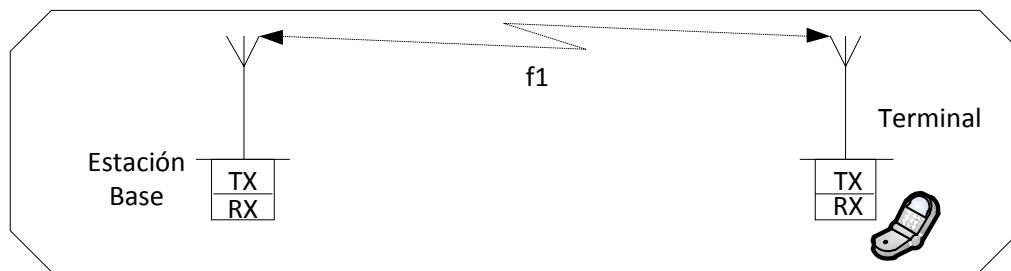


FIGURA 1.7: Comunicación Simplex

Fuente: Propia del Autor

La desventaja principal de este tipo de comunicación es que posee un alcance limitado debido al trazado topográfico del terreno, si existe una distancia muy grande entre los usuarios, no habrá comunicación. Para que exista comunicación entre usuarios la mayor parte de la zona de Fresnel debe estar despejada, sin ningún obstáculo.

1.4.4.2 CANALES SEMIDÚPLEX

Para lograr la comunicación en los canales simplex, la estación de base funciona en dúplex y los móviles en simplex. A este tipo de circuitos, que son simplex en un extremo y dúplex en otro se les denomina semidúplex. En la Figura 1.8 se representa el esquema de este tipo de comunicación.

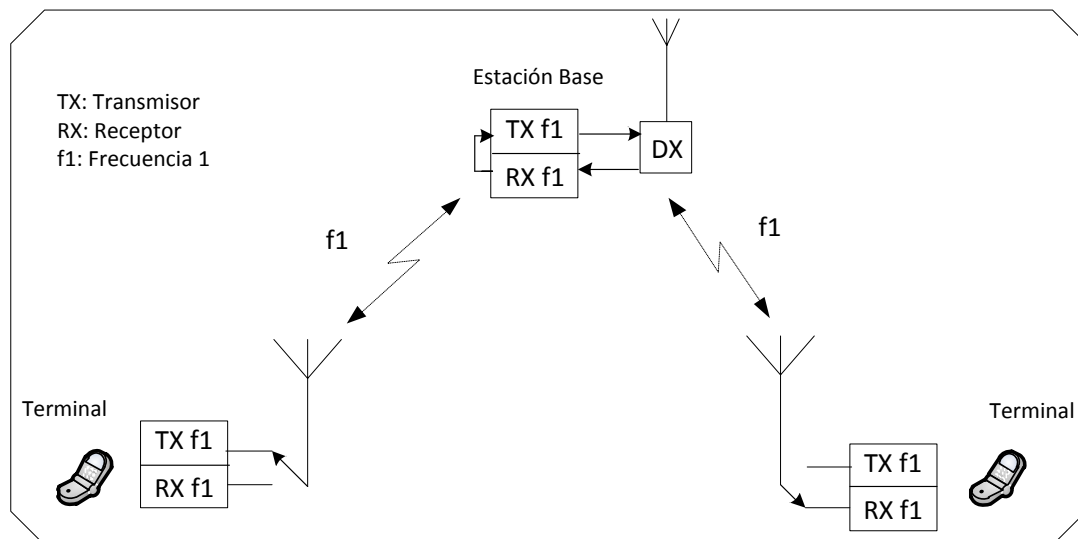


FIGURA1.8: Comunicación Semidúplex

Fuente: Adaptado de HERNANDO RABANOS, J., RIERA, J., MENDO, T. (2013). *Transmisión por Radio* (p. 493). Madrid: Centro de estudios Ramón Aceres.

1.4.4.3 CANALES DÚPLEX

En estos sistemas, la estación base transmite en f_1 y recibe en $f'1$ y la móvil transmite en $f'1$ y recibe en f_1 , tanto la estación base como las móviles disponen de duplexores para permitir la transmisión y recepción simultáneas. Para este tipo de comunicación se requiere un radiocanal con una pareja de frecuencias diferente, para enlazar cada móvil con la estación base, la cual debe ser Multicanal, es decir, constar de tantos transceptores¹² como canales se hayan establecido.

En este sistema tampoco es posible la comunicación directa móvil a móvil sin pasar por la base. A fin de que el duplexor móvil funcione satisfactoriamente, se requiere una separación de frecuencias mayor o igual a unos 3 MHz.

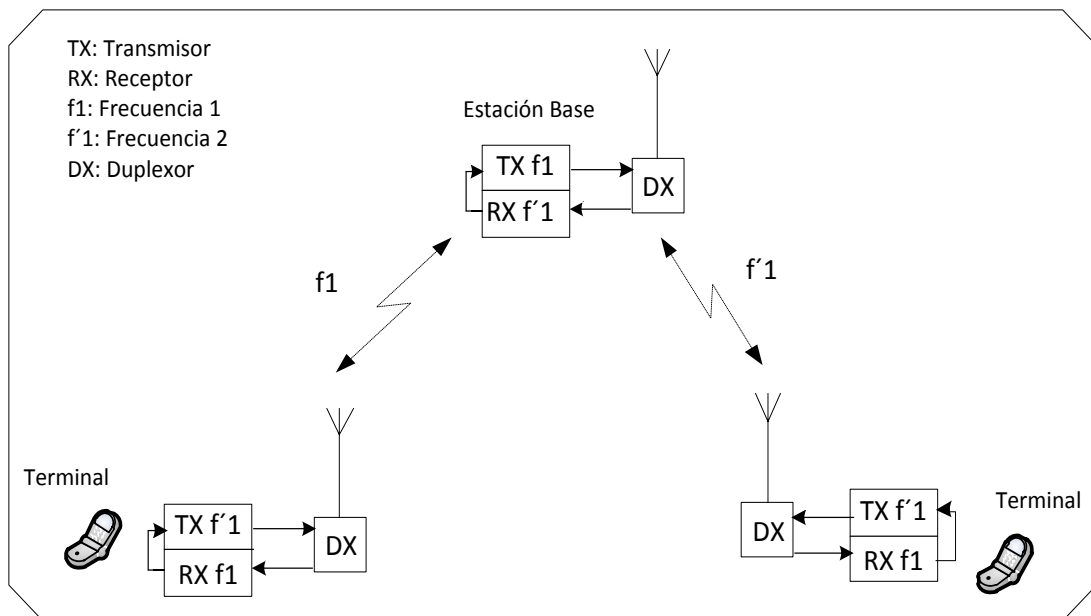


FIGURA 1.9: Comunicación Dúplex

Fuente: Adaptado de HERNANDO RABANOS, J., RIERA, J., MENDO, T. (2013). *Transmisión por Radio* (p. 494). Madrid: Centro de estudios Ramón Aceres.

¹² **Transceptor:** Dispositivo que cuenta con un transmisor y un receptor que comparten parte de la circuitería o se encuentran dentro de la misma caja.

1.5 SISTEMA DE RADIO TRONCALIZADO

Una de las características básicas de los Sistemas de Telecomunicaciones es el principio de concentración, donde un número limitado de recursos, se pone a disposición de un número elevado de potenciales usuarios de esos recursos. (RÁBANOS, 2013).

En estos sistemas, el tráfico generado por un grupo de usuarios móviles se ofrece a un conjunto de varios canales, esto permite que la asignación de frecuencias a los usuarios no sea rígida sino dinámica. Un canal es asignado solamente cuando existe demanda, permitiendo así minimizar el tiempo de desocupación, ya que cada usuario ocupa el canal solo el tiempo de conversación, cuando esta concluye el canal automáticamente se libera, devolviéndose a la reserva para que pueda ser asignado a otro usuario, como muestra la siguiente figura:

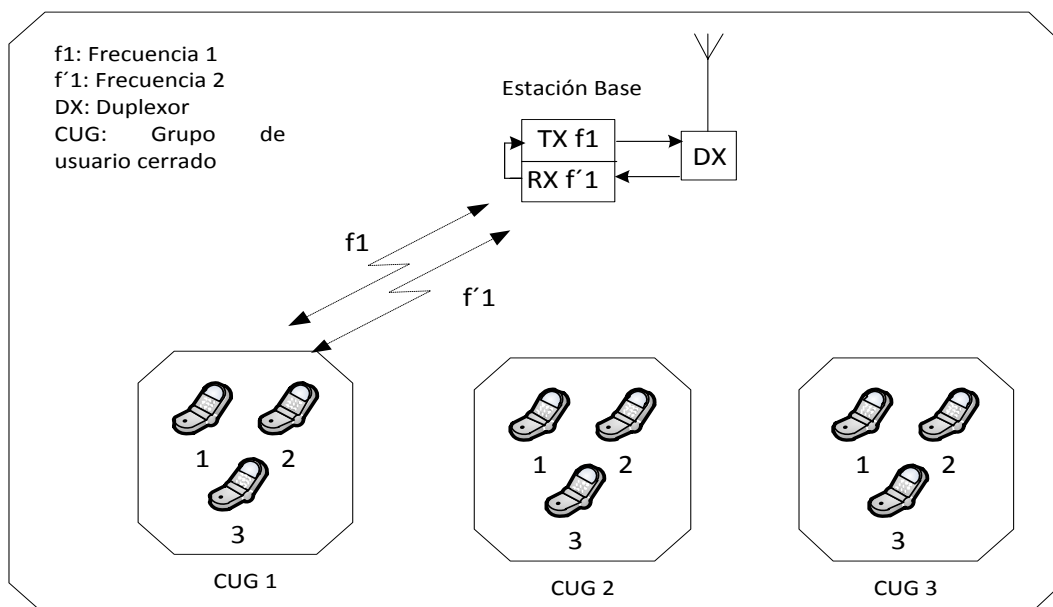


FIGURA 1.10: Sistema troncal por grupo de usuarios.

Fuente: Propia del Autor

En los sistemas troncales se ponen las llamadas en una cola de espera, las cuales van saliendo de acuerdo al orden de llegada o de prioridades, a medida que se libera los canales. (RABANOS, *Transmisión por Radio*, 2013). Si uno de los canales está siendo utilizado por un grupo determinado, otro canal estará disponible para un segundo grupo como se muestra en la siguiente figura, por este motivo estos sistemas se ocupan cuando existe un gran número elevado de usuarios, como es el caso de la Policía Nacional.

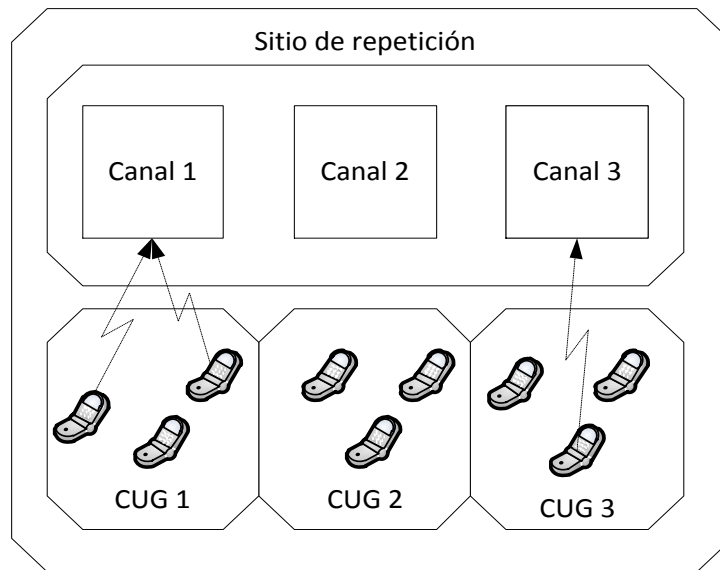


FIGURA 1.11: Acceso de Usuarios a un sitio de repetición troncalizado

Fuente: Propia del autor.

1.5.1 TIPOS DE SISTEMAS TRONCALES

Existen tres modalidades de realización de los sistemas troncales:

- a) Asignación por mensaje ("Message Trunking"): Con este método se asigna un canal al usuario durante toda la comunicación hasta que ésta finalice, aunque haya pausas intermedias en las cuales el canal no se utilice.
- b) Asignación por transmisión ("Transmission Trunking"): En este caso, el canal se asigna para cada sentido de transmisión símplex, detectado en el sistema de control mediante la señalización del pulsador PTT. De este modo no se desperdicia tiempo de canal en las pausas de la conversación, aunque la señalización y el control se hacen más complejos. Otro inconveniente es la posibilidad de que se interrumpa una comunicación en curso cuando, al intentar una nueva asignación, no haya canales libres.
- c) Asignación mixta ("euasi-Transmission Trunking"): Es una solución intermedia entre las dos anteriores, en la cual se aplica la asignación por transmisión pero dejando un período de tiempo tras la activación del PTT, asegurando así la continuidad de asignación del canal a una comunicación en curso y solventando el inconveniente asociado a la técnica anterior de posibilidad de interrupción de alguna comunicación establecida. (RABANOS, *Ingeniería de Sistemas Trunking*, 2010).

1.5.1.1 CARACTERÍSTICAS

La troncalización ofrece muchos beneficios, entre ellos se puede enumerar las más importantes:

- Eficiencia en la frecuencia y en el uso de los recursos (canales).
- Confiabilidad del sistema, todos los canales de comunicación están disponibles para todos los usuarios.
- Integración de diferentes tareas administrativas como: status, prioridades, limitaciones, etc.
- Privacidad de la comunicación.
- Seguridad en la comunicación, a través del controlador del sistema, el mismo que asigna un canal de tráfico únicamente a las partes implicadas en la conversación, los demás usuarios no pueden escuchar la conversación.
- Operación muy simple para establecer la comunicación, los usuarios sólo tienen que seleccionar el grupo o individuo que quieren llamar y oprimir el botón de PTT. El sistema se encarga de ubicar automáticamente los miembros del grupo, establecer las conexiones de audio, enviar la señalización apropiada, optimizar el enlace y completar la llamada.
- Fiabilidad en la comunicación, cuando un canal se bloquea mientras se está realizando el proceso de transmisión la comunicación no se interrumpe debido a que el tráfico que pasa por ese canal es desviado y distribuido al resto de canales.
- Control automático de la asignación de canales, por lo que existe disponibilidad de comunicación.
- División flexible del sistema en grupos y subgrupos.
- Diferente tipo de llamadas: grupo, subgrupo, privada, emergencia, etc.

1.5.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA TRONCALIZADO

El sistema troncalizado posee elementos de control que permiten detectar rápidamente las fallas que presenta el sistema durante su funcionamiento, cada fabricante elabora mecanismos automáticos para evitar que el sistema falle completamente en caso de que algún componente quede fuera de servicio.

El sistema incluye todo el hardware y software necesario para su operación, administración y mantenimiento, este dato hay que tomar en cuenta en el diseño, puesto que cada fabricante es propietario del software con el que funciona su sistema.

1.5.2.1 EQUIPOS DE INFRAESTRUCTURA

Son los equipos que se requieren para garantizar el cubrimiento del área deseada, estos son:

- Repetidores

- Radios microondas de enlaces

- Torres

- Antenas

- Equipos de control.

Los elementos que se detallan anteriormente se instalan en los lugares de mayor elevación dentro del área cobertura, denominándose cada lugar de estos, sitio de repetición. La cantidad de sitios de repetición depende de extensión de la zona que se desea cubrir y de su topografía.

Una zona geográfica con un relieve geográfico elevado, requerirá más sitios de repetición. A su vez, la cantidad de equipos repetidores que se requieren en cada uno de estos sitios, depende de la cantidad de usuarios y del tráfico de comunicación que se curse. (RABANOS, Ingeniería de Sistemas Trunking, 2010)

1.5.2.2 EQUIPOS DE USUARIO

Los equipos de usuarios son los terminales que va a ocupar cada beneficiario de nuestro sistema, estos pueden ser:

- Fijos
- Móviles
- Portátiles

1.5.2.2.1 EQUIPOS FIJOS

Los equipos fijos son los que se instalan en un sitio fijo y están conformados de la siguiente manera:

- Equipo de radio transmisor/ receptor, con alimentación de energía de la red pública.
- Micrófono de mano.
- Antena.
- Torre para la antena o mástil.
- Líneas de transmisión.
- Protecciones contra descargas eléctricas, pararrayos.

1.5.2.2.2 EQUIPOS MÓVILES

Los equipos móviles son los que se instalan en los vehículos, estos equipos están formados por:

- Transmisor/receptor, con alimentación de energía de la batería del vehículo.
- Micrófono.
- Antena vehicular.

1.5.2.2.3 EQUIPOS PORTÁTILES

Los equipos portátiles son los que portan las personas que requieren comunicación desde cualquier lugar. Son unidades compactas que están básicamente formadas por los siguientes componentes:

- Transmisor/ receptor, con alimentación de batería recargable.
- Antena flexible.
- Cargador y un adaptador de energía.

1.5.2.3 SEÑALIZACIÓN DEL SISTEMA

El sistema troncalizado, provee una red de datos que unifica y organiza su operación. La red de datos del sistema troncalizado utiliza un formato de señalización digital que contiene toda la información necesaria para que el controlador maestro se comunique apropiadamente con todas las unidades suscriptoras y viceversa.

El controlador maestro interpreta y analiza la información que le brinda esta señalización, y genera los comandos digitales necesarios para indicar a las unidades suscriptoras que se sintonicen automáticamente a los canales de voz apropiados para poder realizar sus conversaciones. (RABANOS, *Ingeniería de Sistemas Trunking*, 2010).

1.5.2.4 CONTROLADOR DE SITIO

El controlador de sitio es una computadora que se encuentra conectada físicamente a todos los canales de repetición, es la encargada de procesar señales de entrada y salida, asigna repetidores como canales de voz, monitorea y mantiene el orden del sistema.

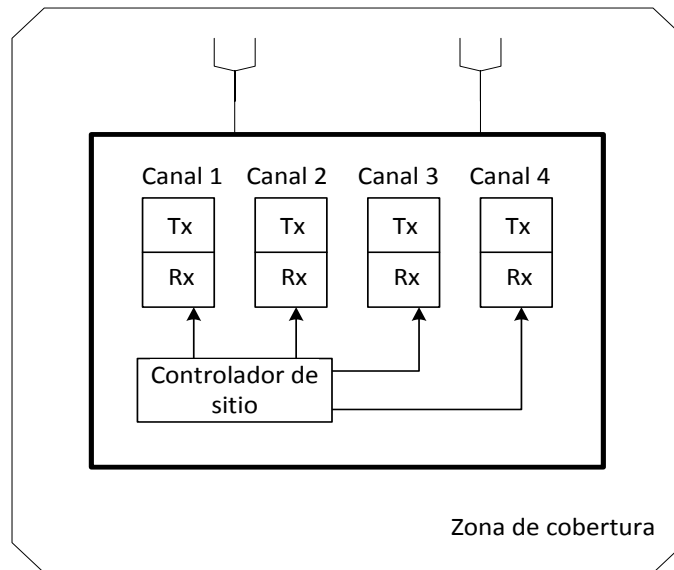


FIGURA 1.12: Esquema del controlador de sitio

Fuente: Propia del autor

Las funciones principales del controlador de sitio son las siguientes:

- Mantener una base de datos que contiene las identificaciones de cada uno de los equipos de radio dentro del sistema (ID de radio) y de cada grupo de conversación en el cual el radio se encuentra afiliado.
- Revisar los privilegios de las llamadas, por ejemplo una llamada de emergencia tiene prioridad sobre una llamada de grupo.
- Mantener la lista de espera. Cuando no hay canales disponibles, los usuarios son registrados en una lista en espera de que se desocupe un canal. Los usuarios obtendrán el canal disponible en el mismo orden en que se registran.
- Seleccionar y asignar los canales de voz.

1.5.2.5 CANAL DE CONTROL

El canal de control del sistema troncalizado es el encargado de soportar la señalización y el responsable de enlazar los terminales móviles con el controlador de sitio, este canal es utilizado para enviar mensajes de control del sistema y señalización de establecimiento de llamada a los terminales móviles.

Para la señalización del canal de control, se usan dos frecuencias, una en sentido descendente, que transmite la señalización de la estación a los terminales móviles, y otra ascendente o de retorno, en la que los terminales móviles emiten la señalización de respuesta a la estación. (RABANOS, *Ingeniería de Sistemas Trunking*, 2010).

Los terminales deben por lo tanto sintonizarse a dicho canal, siempre que no estén realizando una comunicación. Existen dos estrategias diferentes para la asignación del canal de control:

1.5.2.5.1 CANAL DE CONTROL DEDICADO.

Se usa uno de los canales del sistema de forma exclusiva para soportar la señalización.

1.5.2.5.2 CANAL DE CONTROL NO DEDICADO O DISTRIBUIDO.

En este caso el canal de control puede ser cualquiera de los que forma el grupo de frecuencias, los equipos de usuario al finalizar la comunicación deben realizar una búsqueda del canal de control para sintonizarse al mismo, este método de control es adecuado en sistemas con pocos canales, ya que el canal de control puede utilizarse como canal de tráfico y viceversa.

1.5.3 SISTEMA TRONCALIZADO SMARTZONE

1.5.3.1 OPERACIÓN DEL SISTEMA

La operación del sistema troncalizado SmartZone tiene varios procesos para su ejecución y funcionamiento, a continuación se detalla cada uno de estos para una fácil comprensión y análisis.

1.5.3.2 EJECUCIÓN DE UNA LLAMADA

Todo proceso de llamada posee un protocolo de comunicación y una adecuada señalización entre su transmisor- controlador maestro y receptor - equipos terminales, en el sistema SmartZone que posee la Policía Nacional funcionan los siguientes:

1.5.3.2.1 AFILIACIÓN Y PETICIÓN DE LLAMADA

El usuario presiona el botón PTT de su radio móvil. El radio envía una señal digital de datos en forma de una palabra de señalización que se conoce como ISW¹³ – Inbound Signalling Word, sobre el canal de control hacia el controlador de sitio.

La ISW contiene el ID del radio, la identificación del grupo al cual pertenece, el tipo de llamada que desea realizar y hacia quién se dirige.

¹³ **ISW:** Señalización de pedido de asignación de canal de voz para la llamada.

El controlador de sitio envía a su vez este requerimiento al controlador maestro, el cual busca y verifica en su base de datos que este registrado el ID de la unidad para confirmar si pertenece a la institución policial y si puede realizar o no el tipo de llamada requerida, como se muestra en la siguiente figura:

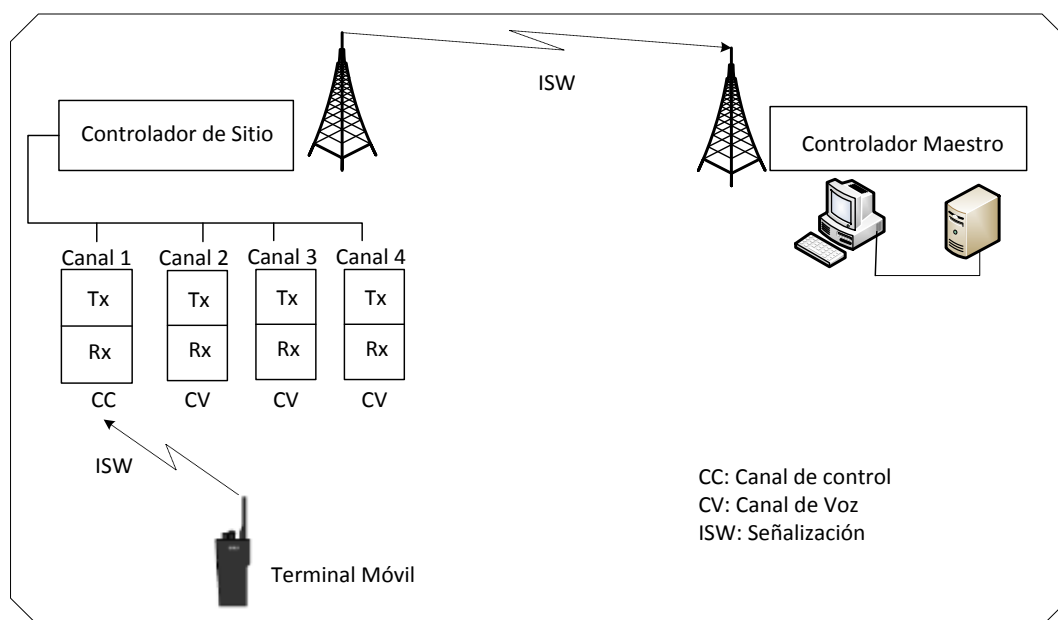


FIGURA 1.13: Afiliación y petición de llamada

Fuente: Propia del Autor

Lo mismo ocurre con las otras unidades móviles cuando encienden sus radios en los otros sitios de repetición. El controlador maestro recibe toda la información enviada a través del ISW sobre el terminal móvil y almacena toda esta información en una base de datos que es continuamente actualizada. (RABANOS, *Ingeniería de Sistemas Trunking*, 2010).

1.5.3.2.2 ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA

El Controlador maestro al autenticar que el móvil si pertenece a la institución policial mediante el ISW recibido, asigna una estación repetidora comenzando a procesar la petición y envía como respuesta la palabra de señalización OSW¹⁴ Outbound Signalling Word al canal de control, para que de esta manera todos los radios reciban la señalización y gestionen si les corresponde o no a la identificación de su grupo de conversación dentro de la institución.

¹⁴ **OSW:** Una palabra de datos que contiene las asignaciones de canal y otra información de servicio para los radios terminales.

La OSW contiene la información del grupo de conversación para la llamada, la asignación del canal de voz, y las identificaciones de los radios que estarán involucrados en esta conversación. (RABANOS, *Ingeniería de Sistemas Trunking*, 2010).

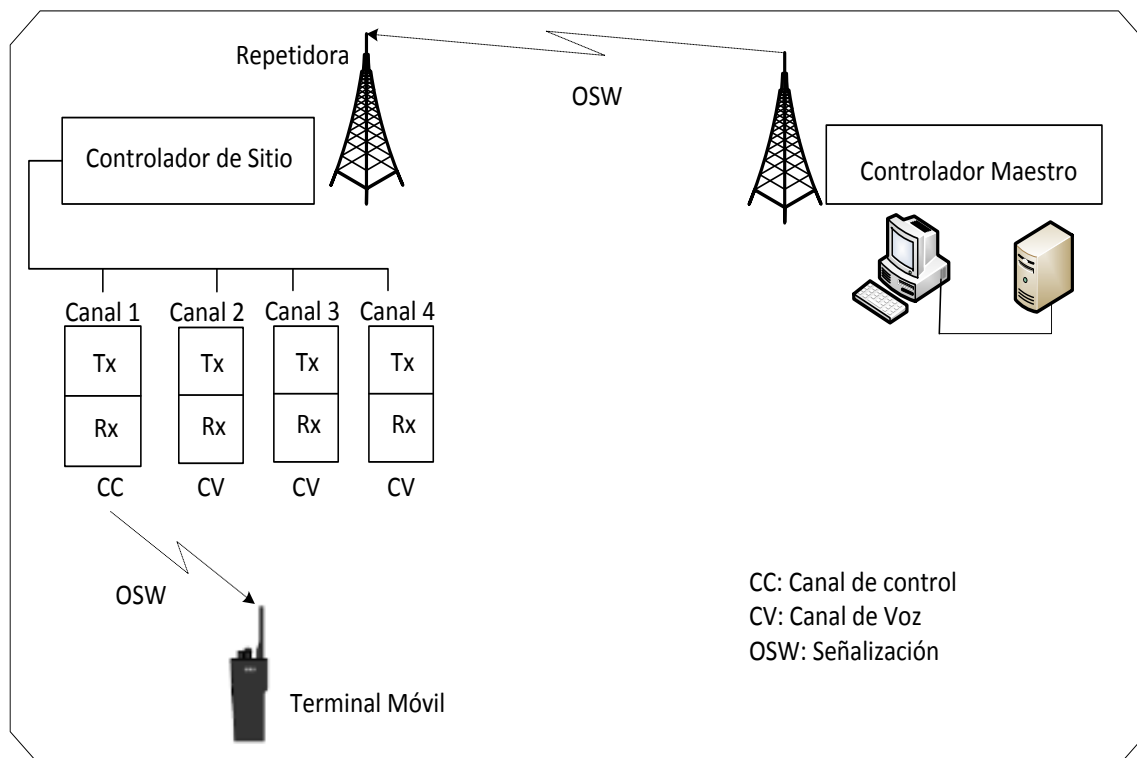


FIGURA 1.14: Autenticación de llamada

Fuente: Propia del Autor

Los radios que pertenecen al grupo de conversación asociado en la OSW conmutan a la frecuencia del canal de voz asignado, cuando todos se encuentran agrupados en el canal correspondiente el controlador envía una palabra de señalización LSHS¹⁵ Low-Speed Handshake Signal, por el canal de voz asignado para realizar la conexión de la llamada. Los radios que se encuentran dentro del canal de voz asignado reciben la LSHS, esta señal permite habilitar el parlante de los equipos de radio para recibir la transmisión entrante, como se muestra en la siguiente figura:

¹⁵ **LSHS:** Una palabra de datos transmitida por los repetidores de radio para permitir la comunicación sin interrupciones.

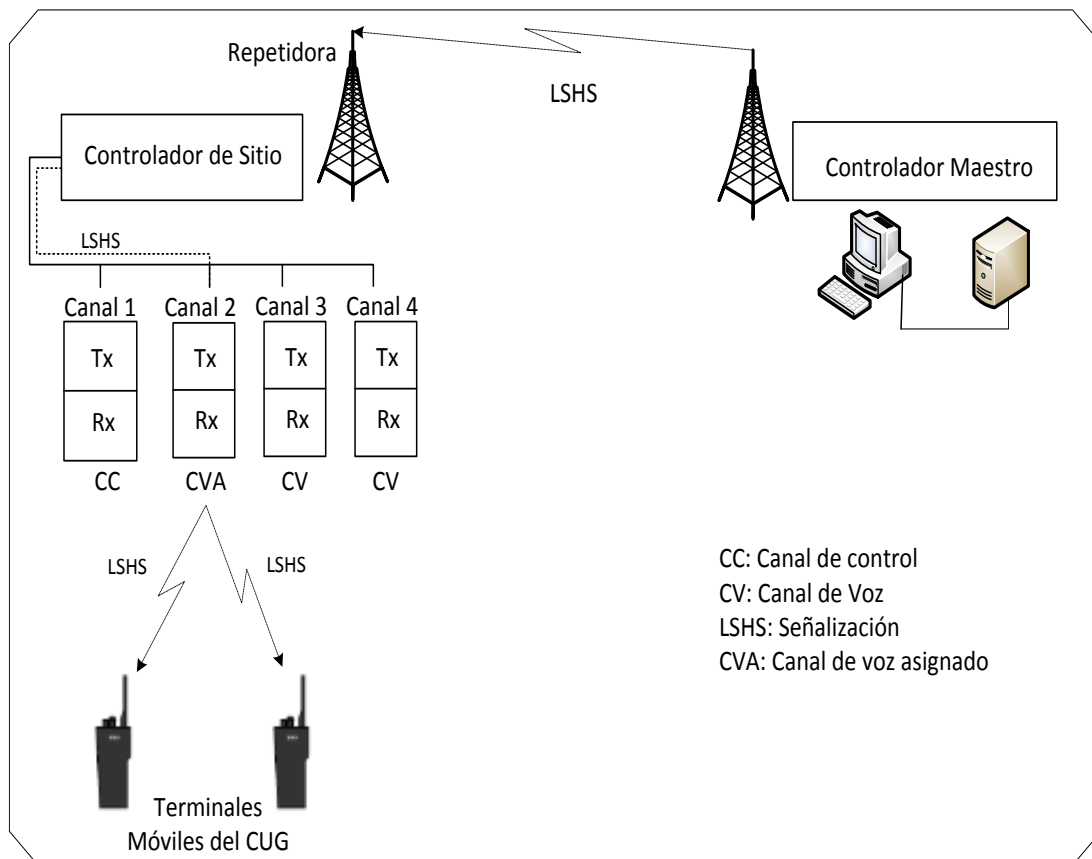


FIGURA 1.15: Establecimiento de llamada

Fuente: Propia del Autor

1.5.3.2.3 TRANSMISIÓN DEL MENSAJE

El radio que inicio la llamada es el encargado de transmitir el audio de voz de la conversación, además de una señalización en forma de tono de conexión, este tono es mínimo lo cual es imperceptible y no interfiere en la comunicación.

El tono de conexión es usado para informar al controlador maestro que el canal sigue en uso, al recibir esta señalización este continúa emitiendo la señal LSHS en el canal de voz asignado durante la duración de la transmisión, esto permite que los equipos de radio asociados al grupo de conversación continúen en el canal de voz asignado y con su receptor abierto escuchando al información. A continuación en la figura siguiente se muestra este proceso:

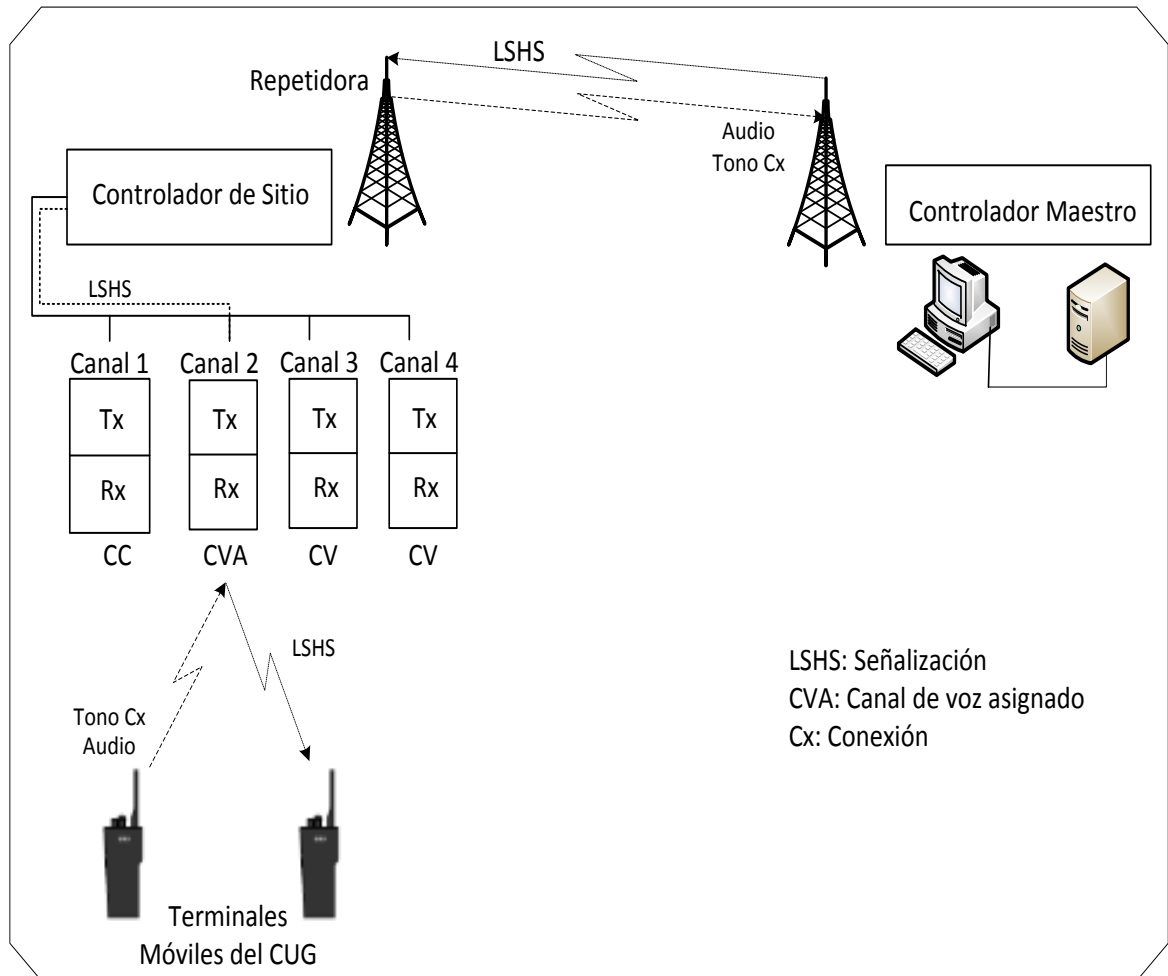


FIGURA 1.16: Transmisión de audio

Fuente: Propia de Autor

1.5.3.2.4 FINALIZACIÓN DE LA LLAMADA

Cuando el radio usuario libera el botón de transmisión, el radio transmite otra señalización llamada tono de desconexión, el cual indica que la transmisión ha terminado y la llamada se ha completado, los radios en el grupo de conversación conmutan a la frecuencia del canal de control. El canal de voz previamente asignado queda disponible para otras llamadas. (RABANOS, *Ingeniería de Sistemas Trunking*, 2010).

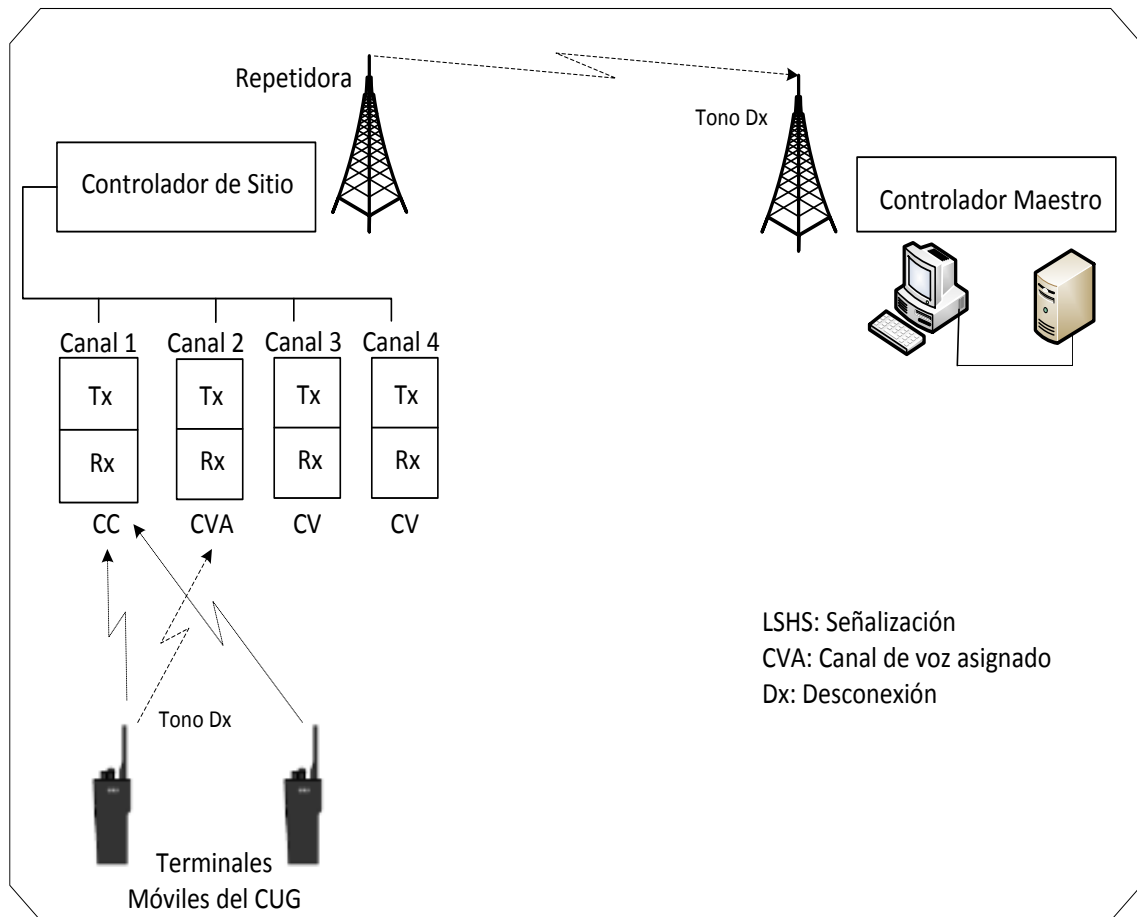


FIGURA 1.17: Finalización de la llamada

Fuente: Propia de Autor

1.5.4 PROTOCOLO DE LOS SISTEMAS TRONCALIZADOS DIGITALES

1.5.4.1 APCO

APCO se trata de un estándar de comunicaciones digitales por radio. Esta tecnología es un estándar de TIA (Telecommunications Industry Association) y está apoyada por APCO (Association of Public-Safety Communications Officials-International), se usa en Estados Unidos y Canadá.

Este estándar de radio troncalizado es de arquitectura abierta, creado para incrementar las bondades y facilidades en los servicios de radios móviles, permite trabajar en operación analógica y digital, solucionando de esta manera las necesidades del mercado de comunicaciones, especialmente en el área de la seguridad pública.

1.6 MARCO REGULATORIO DE LOS SISTEMAS TRONCALIZADOS EN EL ECUADOR

En nuestro país todo sistema de comunicaciones que sea de servicio público o privado está diseñado bajo las normas de la Ley Especial de Telecomunicaciones difundida el 30 de agosto de 1995 con vigencia hasta la actualidad, donde los organismos encargados del control del cumplimiento de esta ley son el CONATEL¹⁶, la SENATEL¹⁷ y la SUPERTEL¹⁸, pero desde que se publicó el Decreto Ejecutivo N°8 el 13 de agosto del 2009, el órgano regulador cambia con la creación del Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la información.

Este ministerio se transforma en el órgano regulador de las TIC¹⁹, que incluyen a las telecomunicaciones y el uso del espectro radioeléctrico.

1.6.1 ASPECTOS DE REGULACIÓN

Con resolución No. 264-13-CONATEL-2000 publicada en el registro Oficial No. 139 del 11 de agosto del 2000, el CONATEL expidió el Reglamento y Norma Técnica para los sistemas troncalizados en el Ecuador, donde el inciso No. ST-94-028 contiene el reglamento para la Explotación de los Sistemas Troncalizados y el inciso No. ST-94-029, expide la Norma Técnica y Plan de Distribución de Frecuencias para este tipo de sistemas.

En vista de esto el CONATEL necesita expedir un nuevo Reglamento y Norma Técnica para los Sistemas Troncalizados, acorde con las nuevas disposiciones legales y técnicas para satisfacer las necesidades de comunicaciones en el país.

1.6.2 REGLAMENTO DE SISTEMAS TRONCALIZADOS

El Régimen Legal contempla la instalación, operación y explotación de Sistemas Troncalizados contenida en la Ley Especial de Telecomunicaciones, Ley Reformativa a la Ley Especial de Telecomunicaciones, Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, Reglamento General de Radiocomunicaciones, Reglamento de Tarifas por el Uso de Frecuencias. El reglamento y norma técnica son expedidos por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).

¹⁶ **CONATEL**: Consejo nacional de telecomunicaciones

¹⁷ **SENATEL**: Secretaría nacional de telecomunicaciones

¹⁸ **SUPERTEL**: Súper intendencia de telecomunicaciones

¹⁹ **TIC**: Tecnologías de la información y comunicación.

El Tipo de Tráfico para operar Sistemas Troncalizados es fundamentalmente para transmisión y recepción de tráfico de despacho. Se establece la libre y leal competencia entre los Concesionarios de Sistemas Troncalizados. Para la operación de Sistemas Troncalizados se requiere de la concesión del servicio, otorgado por la SNT, previa autorización del CONATEL. Las concesiones se legalizarán mediante contrato elevado a escritura pública, que será suscrito por el Secretario y el Concesionario.

La Policía Nacional es una entidad de seguridad pública, ellos no requieren cumplir todo los trámites de concesión de frecuencia, para lo cual solamente debe presentar los siguientes requisitos:

- Información Técnica y Operativa
- Autorización de uso de frecuencia

1.6.2.1 INFORMACIÓN TÉCNICA Y OPERATIVA

Memoria técnica del sistema, elaborada y suscrita por un Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, en el que se indicará entre otros los siguientes aspectos:

- Descripción de los servicios que ofrecerá, con los detalles de las facilidades y limitaciones del sistema.
- El proyecto técnico, identificando el área de cobertura, la capacidad de abonados del sistema, el plazo de puesta en operación del sistema, características de los equipos a instalar, etc.
- Análisis económico de factibilidad para la implementación del sistema.
- Procedimientos de administración, operación, mantenimiento y gestión del sistema que se propone instalar.
- Descripción del sistema de facturación y atención al cliente que se propone instalar.
- Descripción de los procedimientos que propone, para facilitar el control técnico que la SUPTEL debe realizar.

Estos requisitos deben ser presentados para la operación inicial del sistema. En caso de requerir sistemas auxiliares como enlaces radioeléctricos, la autorización de las frecuencias necesarias para la operación de estos sistemas, las solicitará siguiendo el trámite regular, conforme a los respectivos reglamentos y normas vigentes.

1.6.2.2 AUTORIZACIÓN DE USO DE FRECUENCIA

La Autorización es un acto jurídico mediante el cual la SNT por delegación del CONATEL suscribe un contrato de autorización de uso de frecuencias para que la persona natural o jurídica opere Sistemas de Radiocomunicaciones.

Las personas autorizadas podrán celebrar contratos de autorización de uso de frecuencias para operar Sistemas Troncalizados, las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, que tengan capacidad jurídica para hacerlo, expresen su consentimiento y cumplan con los requisitos previstos en el Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, Reglamento General de Radiocomunicaciones, Reglamento de Tarifas por el Uso de Frecuencias, en el presente reglamento y norma técnica, y en los planes y resoluciones expedidos sobre la materia por el CONATEL, previa la suscripción del contrato de concesión.

Para los grupos de frecuencias el CONATEL a través de la SNT podrá autorizar a una misma persona natural o jurídica, la operación de uno o más grupos de frecuencias, los que podrán estar interconectados entre sí.

La solicitud para la autorización de la operación y explotación del sistema troncalizado debe suscribir el respectivo contrato de autorización de uso de frecuencias con la SNT.

Para obtener la autorización de uso de frecuencias para Sistemas Troncalizados, el solicitante deberá presentar a la SNT los siguientes requisitos:

- Solicitud dirigida al Secretario.
- Estudio técnico del sistema elaborado en formulario disponible en la SNT y suscrito por un Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, inscrito en una de las filiales del Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Ecuador (CIEEE).
- Copia certificada de la escritura de constitución y reformas en caso de haberlas. (Para personas jurídicas).
- Copia certificada del nombramiento del representante legal debidamente inscrito en el Registro Mercantil. (Para personas jurídicas)
- Copia de la cédula de ciudadanía. (Para personas jurídicas, del representante legal).

- Copia del certificado de votación del último proceso electoral. (Para personas jurídicas, del representante legal).
- Certificado actualizado de cumplimiento de obligaciones y existencia legal conferido por la Superintendencia de Compañías o Superintendencia de Bancos según el caso. (Para personas jurídicas)
- Copia del Registro Único de Contribuyentes
- Fe de presentación al Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas para que otorgue el certificado de antecedentes personales del solicitante. (Para personas jurídicas, del representante legal).
- Otros documentos que la SNT solicite por escrito.

1.6.2.3 DURACIÓN DEL CONTRATO DE AUTORIZACIÓN

Los contratos de autorización de uso de frecuencias para los Sistemas Troncalizados tendrán una duración de cinco (5) años, renovables previa solicitud del Concesionario dentro de los noventa (90) días anteriores a su vencimiento. Dichas autorizaciones tendrán garantía de renovación mientras dure la concesión.

1.6.2.4 MODIFICACIONES DEL CONTRATO DE AUTORIZACIÓN

Cualquier ampliación o modificación que requiera hacer el Concesionario y que afecte al contrato, requerirá de una nueva autorización por parte de la SNT.

1.6.2.5 TERMINACIÓN DEL CONTRATO

Los contratos de autorización de uso de frecuencias celebrados por la SNT pueden legalmente terminar además de las causales establecidas en el artículo 14 aplicables a los contratos de autorización, por las siguientes causas:

- Incumplimiento de los plazos establecidos en el contrato de autorización, respecto a la operación e instalación del sistema
- Mora en el pago a la SNT por más de noventa (90) días, de las obligaciones económicas que le corresponda
- Terminación del contrato de concesión.

1.6.2.6 TERMINACIÓN UNILATERAL DEL CONTRATO DE AUTORIZACIÓN

La SNT podrá declarar terminados, anticipada y unilateralmente los contratos de autorización de uso de frecuencias en los siguientes casos:

- En caso de incumplimiento del Concesionario de una o más cláusulas contractuales o disposiciones legales, expresamente indicadas en el contrato, previo informe de la SUPTEL.
- Mora en el pago a la SNT por más de noventa (90) días, de las obligaciones económicas que le corresponda.
- Quiebra o insolvencia del Concesionario
- Traspasar, ceder, arrendar o enajenar total o parcialmente a terceras personas, los derechos establecidos en el contrato, sin previa autorización de la SNT.
- Incumplimiento en la instalación dentro del plazo concedido en el contrato.
- No utilizar o suspender las operaciones por un período de seis (6) meses consecutivos, sin autorización de la SNT
- Violación comprobada del secreto de las comunicaciones por parte del Concesionario.
- Por las causas establecidas en el Reglamento General de Radiocomunicaciones y contrato de autorización.
- Cuando el interés público lo exija.

1.6.2.7 NOTIFICACIÓN DE LA TERMINACIÓN UNILATERAL DEL CONTRATO DE AUTORIZACIÓN

Antes de proceder a la terminación unilateral, la SNT notificará al Concesionario, con la anticipación prevista en el contrato, sobre su decisión de terminarlo. Junto con la notificación, se remitirán los informes técnico, económico, jurídico, y el informe de la SUPTEL, referentes al cumplimiento de las obligaciones contractuales con la SNT.

La notificación señalará específicamente el incumplimiento en que ha incurrido el Concesionario y se advertirá que de no remediarlo en el plazo señalado, se dará por terminado unilateralmente el contrato mediante resolución del CONATEL, lo que será comunicado por escrito.

1.6.2.8 REQUISITOS PARA LA RENOVACIÓN DEL CONTRATO DE AUTORIZACIÓN

Los requisitos, debidamente actualizados, para solicitar la renovación de los contratos de autorización de uso de frecuencias son los mismos que para la autorización inicial. Las características técnicas del Sistema Troncalizado deberán ser actualizadas en el formulario correspondiente.

1.6.3 OPERACIONES SIN CONCESIÓN

Art. 31.- Autorización.- El solicitante cumplirá con todos los requisitos exigidos para celebrar el contrato de autorización de uso de frecuencias. Los valores que cobrará la SNT al beneficiario por la operación de estos sistemas se establecen en el Reglamento de Tarifas por el Uso de Frecuencias.

1.6.3.1 EXONERACIÓN DE REQUISITOS

Las FF.AA. y la Policía Nacional no requieren celebrar contratos de concesión para la operación de Sistemas Troncalizados.

Por lo tanto la Policía Nacional solo tiene la obligación de cumplir con los requisitos que la CONATEL DISPONE en el art. 31, para elaborar el contrato de autorización para uso de frecuencias, con la finalidad de que queden legalmente registradas en la SENATEL.

El CONATEL a dispuesto un conjunto de bandas asignadas para el uso de sistemas de comunicación por parte de la policía y fuerzas armadas, estas son las siguientes:

TABLA 1.4: Frecuencias asignadas a la Policía Nacional

Banda	Unidad
26,18 – 27,5	MHz
29,7 – 37,5	MHz
40 - 40,9	MHz
41 - 50	MHz
72 - 73	MHz
74,6 – 74,8	MHz
75,2 - 76	MHz
138 - 144	MHz
150 - 174	MHz
248 - 272	MHz
300 – 328,6	MHz

387 – 399,9	MHz
410 – 417,5	MHz
430 - 440	MHz
460 - 512	MHz
806 - 824	MHz
851 - 869	MHz
2300 - 2500	MHz
4,4 - 5	GHz
12,75 – 13,25	GHz

Fuente: CONATEL. Plan Nacional de Frecuencias 2012

Art. 30.- Operación.-Para la operación de los Sistemas Troncalizados sin concesión se requerirá de la autorización del CONATEL.

Art. 32.- Sanciones.-Los Sistemas Troncalizados que operen bajo estas condiciones, serán para uso exclusivo de la institución beneficiada y en ningún caso podrán ceder o alquilar a terceros, caso contrario serán sancionados de acuerdo a los reglamentos pertinentes.

1.6.3.2 INSTALACIÓN Y OPERACIÓN

Art. 33.- Los Sistemas Troncalizados serán instalados y puestos en operación en todas las áreas autorizadas, dentro del plazo de 180 días establecidos en los contratos de concesión y autorización, prorrogables por el mismo período y por una sola vez, previa solicitud del Concesionario. Si cumplido el plazo, no han iniciado la operación, las frecuencias serán revertidas al Estado.

El Concesionario deberá certificar el inicio de operación del servicio, mediante la firma de un acta de puesta en operación conjuntamente con la SUPTEL, Los funcionarios técnicos que designe la SUPTEL debidamente identificados, tendrán libre acceso a todas las instalaciones del sistema incluyendo a la unidad de control central y su programación.

Art. 35.- Interferencias.- El Concesionario será el único responsable por las interferencias radioeléctricas o por daños que puedan causar sus instalaciones a otros Sistemas de Radiocomunicaciones o a terceros, por lo cual está obligado a solucionarlos a su costo y en el tiempo que determine la SUPTEL.

1.6.3.3 DERECHOS Y OBLIGACIONES

Los derechos y obligaciones que deben tener los sistemas troncalizados en el Ecuador están orientados a los dueños de las concesiones, donde abarcan elementos importantes relacionados con la instalación, operación y mantenimiento de sus servicios.

1.6.3.3.1 DERECHOS DEL CONCESIONARIO

Art. 37.- La persona natural o jurídica que tenga contrato de concesión y autorización de uso de frecuencias para operar Sistemas Troncalizados tiene los siguientes derechos:

- Recibir trato equitativo e igualitario en la gestión de concesiones y en el derecho de uso del espectro radioeléctrico.
- Solicitar a la SNT, con la firma del representante legal, el incremento o disminución de estaciones y cualquier modificación técnica que requiera.
- Solicitar a la SUPTEL el monitoreo de las frecuencias que tiene autorizadas y en caso de que exista interferencia solicitar la solución al problema.

1.6.3.3.2 OBLIGACIONES DEL CONCESIONARIO

Art. 38.- La persona natural o jurídica que tenga contrato de concesión y autorización de uso de frecuencias para operar Sistemas Troncalizados tiene las siguientes obligaciones:

- Instalar, operar, comercializar y mantener el servicio de Sistemas Troncalizados, conforme a lo establecido en los contratos de concesión y de autorización de uso de frecuencias, en los reglamentos pertinentes y en las normas técnicas vigentes.
- Operar los Sistemas Troncalizados en las frecuencias que la SNT le autorice para tal efecto. Las frecuencias asignadas no podrán ser modificadas sin previa autorización de la SNT.
- Prestar el servicio en la zona de cobertura autorizada, sin sobrepasar ésta, caso contrario el concesionario se sujetará a las sanciones correspondientes.
- Proporcionar gratuitamente el servicio y asistencia a las instituciones y organizaciones pertinentes en casos de guerra o conmoción interna, así como de

emergencia nacional, regional o local declarada por el Presidente de la República, mientras éstos duren.

- Establecer y mantener sistemas de medición y control que determinen la calidad del servicio, cuyos registros deben ser confiables y de fácil verificación. Estos sistemas y registros estarán a disposición de la SUPTEL para el control correspondiente.
- Prestar todas las facilidades a la SUPTEL para que conjuntamente con un representante del Concesionario, inspeccione y realice las pruebas necesarias para evaluar la precisión y confiabilidad del sistema.
- Utilizar tecnologías modernas, con las máximas facilidades y ventajas técnicas que garanticen la optimización del uso del espectro radioeléctrico, la privacidad en las comunicaciones y la calidad del servicio.
- Precautelar los intereses de los abonados mediante la asignación de códigos de seguridad a cada una de las estaciones de abonado.
- Informar a sus abonados sobre los mecanismos que dispone el sistema para mantener el secreto y la privacidad de las comunicaciones de conformidad con las características del servicio.
- Prestar el servicio a las personas que lo soliciten, dentro del área de servicio autorizada, en condiciones equitativas sin establecer discriminaciones.
- Celebrar un contrato de prestación de servicios con cada uno de sus abonados, en el que se establezcan las condiciones generales del servicio. Dicho contrato no podrá ser contrario a las disposiciones del presente reglamento y norma técnica y el contrato de concesión.
- Instalar y operar los Sistemas Troncalizados en los plazos estipulados en el contrato de autorización.
- Presentar y mantener las garantías que se establezcan en los contratos de concesión.
- Presentar toda la información financiera, contable y de cualquier otra índole que la SNT considere procedente.
- Homologar en la Secretaría los equipos que utilice el sistema.
- Usar sus estaciones de radiocomunicación debidamente autorizadas por la SNT, conforme los reglamentos y normas técnicas pertinentes.

- Disponer las medidas necesarias para la operación del Sistema Troncalizado conforme a las normas técnicas y más disposiciones expedidas por el CONATEL.
- Notificar a la SUPTEL el listado de radios robados, para evitar la activación de los mismos en otros Sistemas Troncalizado.
- Cumplir las demás obligaciones contempladas en los reglamentos pertinentes.

1.6.4 NORMA TÉCNICA PARA LOS SISTEMAS TRONCALIZADOS EN EL ECUADOR

La norma técnica impartida por el CONATEL para los sistemas troncalizados en el Ecuador consta de tres capítulos, en su contenido se detalla con exactitud las características técnicas, el plan de canalización de bandas y el plan de frecuencias al que deben regirse este tipo de sistemas.

A continuación se hace un análisis de lo más relevante que contiene esta norma técnica.

1.6.4.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El área de cobertura de un Sistema Troncalizado se halla definida por un límite de la intensidad del campo eléctrico nominal utilizable sea de 38,5 dB uV/m.

La protección del área de cobertura es de 24 dB para sistemas analógicos y de 17 dB para sistemas digitales, en consecuencia, la intensidad de las señales interferentes cocanal en dicho contorno, no podrá exceder de 5,3 uV/m.

Las antenas que se van a instalar deben tener el direccionamiento correcto, con el fin de no causar interferencias en otros sistemas, si esto ocurre con la instalación de un nuevo Sistema Troncalizado o una nueva estación fija de un sistema existente, este nuevo sistema o estación no podrá continuar en funcionamiento mientras no se solucionen las incompatibilidades técnicas.

Un aspecto a tomar en cuenta es que la instalación de las antenas en estos sistemas debe cumplir con las regulaciones de la Dirección General de Aviación Civil en materia de ubicación y señalización para protección de la aeronavegación.

1.6.4.2 PLAN DE CANALIZACIÓN DE BANDAS

El Plan establece las bandas de frecuencias para los Sistemas Troncalizados, la canalización y distribución de frecuencias para asignación y uso en el territorio nacional en concordancia con el Plan Nacional de Frecuencias.

Para la instalación y operación de los Sistemas Troncalizados se establecen las siguientes bandas, atribuidas a título primario a los Servicios Fijo y Móvil Terrestre:

TABLA 1.5: Plan de canalización de bandas para sistemas troncalizados en el Ecuador

Banda (Mhz)	Tecnología	Ancho de banda del canal (KHz)
806-811/851-855	Digital	25
811-824/856-869	Analógica	25
896-898/935-937	Digital	25
902-904/932-934	Digital	25

Fuente: CONATEL, Reglamento y norma técnica para los sistemas troncalizados

- Bandas de 806-811 MHz y 851-856 MHz

Las bandas de frecuencias de 806-811 MHz y 851-856 MHz, se dividen en 200 canales tanto para transmisión como para recepción, con separación entre transmisión y recepción de 45 MHz.

La banda de 806-811 MHz será utilizada para transmisión y la banda de 851-856 MHz será utilizada para recepción en la estación de abonado o estación terminal.

- Bandas de 811-824 MHz y 856-869 MHz

Las bandas de frecuencias de 811 - 824 MHz y 856 - 869 MHz, se dividen en 500 canales tanto para transmisión como para recepción, con separación entre transmisión y recepción de 45 MHz.

La banda de 811 - 824 MHz será utilizada para transmisión y la banda de 856 - 869 MHz será utilizada para recepción en la estación de abonado o estación terminal.

- Bandas de 896-898 MHz y 935-937 MHz

Las bandas de frecuencias de 896 - 898 MHz y 935 - 937 MHz, se dividen en 80 canales tanto para transmisión como para recepción, con separación entre transmisión y recepción de 39 MHz.

La banda de 896 - 898 MHz será utilizada para transmisión y la banda de 935 - 937 MHz será utilizada para recepción en la estación de abonado o estación terminal.

- Bandas de 902-904 MHz y 932-934 MHz

Las bandas de frecuencias de 902 - 904 MHz y 932 - 934 MHz, se dividen en 80 canales tanto para transmisión como para recepción, con separación entre transmisión y recepción de 30 MHz.

La banda de 902 - 904 MHz será utilizada para transmisión y la banda 932 - 934 MHz será utilizada para recepción en la estación de abonado o estación terminal.

1.6.4.3 PLAN DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

Las frecuencias para operar Sistemas Troncalizados están conformadas por bloques, cada uno de los cuales posee cuatro grupos, cada grupo tiene cinco canales radioeléctricos y cada canal se forma con dos frecuencias.

En las bandas de 800 MHz y 900 MHz.- Para la distribución de estas frecuencias se conforman 44 bloques.

Para los Sistemas Troncalizados Digitales, la separación entre canales de un mismo grupo es de 25 kHz y 125 kHz entre grupos, se destinan los bloques del 1 al 10 y del 37 al 44 con los pares de frecuencias del No. 1 al No. 200 y del No. 721 al No. 880, que corresponden a las bandas de: 806-811 MHz y 851-856 MHz; 896-898 MHz y 935-937 MHz; y, 902-904 MHz y 932-934 MHz.

Para los Sistemas Troncalizados Analógicos, la separación entre canales de un mismo grupo es de 1 MHz y 250 KHz entre grupos, se destinan los bloques del 11 al 36 con los pares de frecuencias del No. 201 al No. 720 que corresponden a la banda 811-824 MHz y 856-869 MHz.

CAPÍTULO II

2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO

En el presente capítulo se realiza un análisis de los sitios geográficos donde la Policía Nacional presenta actualmente inconvenientes o no existe cobertura de la red de radio troncalizada, para esto se ejecuta pruebas de intensidad de la señal en las frecuencias que trabaja la policía actualmente, permitiendo especificar los lugares de la provincia afectados. Además se determina los requerimientos básicos que se necesita para el diseño de la nueva red de radio troncalizada.

2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN GEOGRÁFICA

En la provincia de Imbabura existen determinados lugares donde la señal de la radio troncalizada de la Policía Nacional presenta inconvenientes, como potencia de recepción baja o nula, esto debido a la situación geográfica que rodea a determinadas lugares de la provincia.

2.1.1 PRUEBAS DE COBERTURA

Para determinar los lugares en la provincia de Imbabura afectados, se realizó pruebas de cobertura en sitio, mediante el uso del analizador de espectros, específicamente en lugares en la zona norte, sur, centro, este y oeste de la provincia.

Para iniciar las pruebas de cobertura se debe verificar las frecuencias que actualmente usa la Policía Nacional en sus canales de comunicación emitidas por la repetidora de Cotacachi, para realizar esta prueba se usó el analizador de espectro Aeroflex 3920 OPT 201, este analizador de espectro se usa para elaboración de pruebas específicamente en aplicaciones de seguridad pública, como la policía y los sistemas de comunicación de emergencia crítica bomberos, cruz roja, etc.

2.1.1. DESARROLLO DE LA PRUEBA DE COBERTURA

La prueba consiste en conectar el radio portátil Motorola XTS 1500 al analizador de espectros Aeroflex 3920 OPT 201 como muestra la siguiente figura, con la finalidad de constatar en que frecuencias está operando la red troncalizada de la policía en Imbabura.



FIGURA 2.1: Conexión del Aeroflex 3920 OPT 201

Fuente: Pruebas de cobertura de la radio troncalizada en Imbabura

2.1.1.1.1 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Los pasos de conexión y calibración del Aeroflex 3920 OPT 201, son los que se detallan a continuación:

1. La conexión parte de la radio portátil, se retira la antena receptora del XTS 1500 y se conecta uno de los extremos del adaptador de pruebas en esa posición, el otro extremo se conecta a la entrada T/R Connector del Aeroflex 3920 OPT 201, esta entrada tiene la funcionalidad de permitir el ingreso y salida de señales de radio frecuencia. Aquí va a ingresar la señal en la cual funciona la radio portátil Motorola de la policía en Imbabura.
2. Seguido de esto se conecta el adaptador de audio del Motorola XTS 1500 hacia el conector de entrada de audio del Aeroflex 3920 OPT 201, esto para permitir escuchar la comunicación en proceso, que se realiza dentro del sistema troncalizado actual.

Luego de realizar las conexiones principales se empieza la calibración del analizador de espectros, con la finalidad de obtener las frecuencias principales en las cuales trabaja la radio troncalizada y su aérea de cobertura dentro de la provincia.

3. EL primer paso para la calibración del Aeroflex es escoger el protocolo en el que se va a trabajar, en este caso APCO 16, debido a que es el más semejante al SmartZone por sus características, además se debe seleccionar el rango de frecuencias de 800 MHz, que es el que posee la policía en Imbabura.
4. A continuación se configura la pantalla del analizador de espectros, se empieza con la calibración del RBW (Bandwidth Resolution), resolución del ancho de banda, para esto se presiona el botón BW / Media y nos despliega una ventana donde se puede ingresar a que frecuencia se quiere la resolución del ancho de banda, hay que tomar en cuenta que un gran RBW puede mostrar una sola señal, pero si reducimos el RBW puede mostrarse en la pantalla otra señal adyacente a la principal. El botón AUTO permite seleccionar automáticamente el RBW, si se desea. Para distinguir correctamente las frecuencias de la Policía se calibró el Aeroflex con una resolución de ancho de banda en 30 KHz.
5. Luego se configura el VBW (Bandwidth Video), permite ajustar el ancho de banda del video. Esto modifica la señal en pantalla, eliminando el ruido que existe, así permite distinguir o rescatar señales de escasa amplitud. Para distinguir correctamente las frecuencias de la Policía se calibró el Aeroflex con una resolución de ancho de banda del video en 30 KHz.
6. A continuación se modifica el valor de la magnitud de la escala vertical y el nivel de referencia de la señal. Para la realización de las pruebas de cobertura se tomó una escala de 5 db/div, parámetro mínimo para la detección de las frecuencias de la radio troncalizada.
7. Configuración Ref Level, admite controlar el nivel de amplitud y el nivel de referencia de la señal, el valor que se ingresa al ref level es el principal y se visualiza en la parte superior de la pantalla, el Ref Level calibrado para realizar las pruebas es de -15.6 dbm.
8. RF In: aquí se configuró el T / R conector para la entrada de radio frecuencia, esta disposición se utiliza típicamente para el pruebas de radios móviles, usando una única conexión directa a la señal que capta el equipo Motorola XTS 1500.
9. A continuación se configura el modo de barrido en la opción de Mode, aparece las opciones Center Span, Start Stop Span y Zero Span, su función es usar el valor de frecuencia central del barrido para definir el rango de frecuencias del tramo. El valor máximo de la pantalla es de 5 MHz. Para realización de las pruebas elegimos el modo Center Span.

10. Al elegir el modo Center Span se debe escoger una frecuencia central de operación, para esto se pulsa el botón frecuencia, este permite que el menú de frecuencia aparezca en el pantalla, aquí se puede seleccionar la frecuencia central CF junto con las frecuencias de inicio y parada si se desea, para realizar esta configuración se selecciona los valores numéricos girando el mando de control, pulsando las flechas arriba / abajo, o introduciendo el valor con el teclado numérico. La frecuencia central calibrada es CF: 867.4625 MHz, elegida debido a que el repetidor Cotacachi de radio troncalizada policial trabaja actualmente en ese rango de operación.

11. Como se mencionó anteriormente el Span máximo es de 5 MHz, esto permitirá definir el margen de frecuencias que se desea visualizar en la pantalla.

12. Para las pruebas realizadas se eligió Marker: 6, son 6 marcadores que van a señalar las deltas de las frecuencias en la pantalla, logrando una mayor exactitud en la adquisición de los datos.

13. A continuación se selecciona el Botón Trk, aquí aparecerá el menú desplegable Trk, elegimos la opción Gen, de esta manera se activará el generador de seguimiento de frecuencias dentro del rango calibrado.

14. Finalmente se calibra el Avg: 10, esta función completa el promedio de lectura dentro del límite establecido.

2.1.1.1.2 ELECCIÓN DE ZONAS PARA PRUEBA DE COBERTURA

La primera zona elegida para realizar las pruebas de cobertura fue el centro de la ciudad de Ibarra dirección calle Sucre 456 y García Moreno, se escogió esta zona porque Ibarra es la capital de Imbabura donde la radio troncalizada funciona de manera correcta. Al configurar el analizador de espectros con los parámetros anteriormente mencionados, se empieza a realizar una llamada desde la radio Motorola XTS 1500 pulsando el botón PTT, el proceso de la llamada se realiza de la forma que se describió en el capítulo dos, automáticamente se recibe respuesta del grupo al cual está asignado nuestra radio portátil.

En el transcurso de la llamada el analizador detectó las frecuencias y el canal que asignó el controlador maestro MCZ3000 a través del SmartZone de área extendida, como se muestra en el siguiente gráfico.

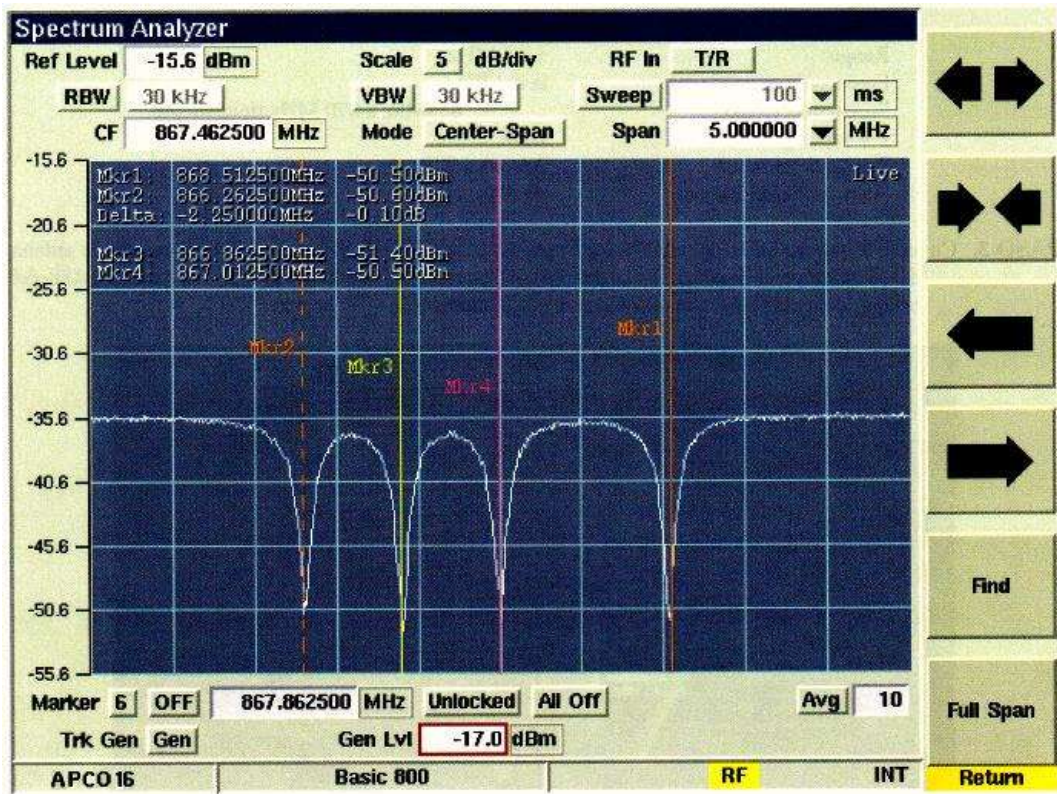


FIGURA 2.2: Frecuencias detectadas por el Aeroflex 3920 OPT 201 en Ibarra

Fuente: Pruebas de cobertura de la radio troncalizada en Imbabura

Las frecuencias detectadas en el Aeroflex 3920 OPT 201 son los que actualmente tiene configurada la radio Troncalizada de la Policía en Imbabura. Las frecuencias encontradas se detallan en la siguiente tabla:

TABLA 2.1: Frecuencias del repetidor Cotacachi

REPETIDOR COTACACHI		
Canal	TX (MHz)	RX (MHz)
1	866,26250	821,26250
2	866,86250	821,86250
3	867,01250	822,01250
4	867,61250	822,61250
5	868,51250	823,51250

Fuente: Dirección Nacional de Comunicación, Frecuencias Troncalizadas en Imbabura.

Además de la ciudad de Ibarra se eligió otros lugares para probar cobertura de la radio troncalizada, los lugares elegidos para realizar la siguiente prueba quedaron determinados de la siguiente manera:

TABLA 2.2: Lugares seleccionados para la prueba de cobertura

Noreste		Noroeste		Sureste		Suroeste	
Lugar	Ubicación	Lugar	Ubicación	Lugar	Ubicación	Lugar	Ubicación
Pimampiro	Flores 1021 y García Moreno.	Lita	Vía San Lorenzo Km 110.	Angocha	Galo Plaza al Estadio.	Apuela	Chinchinal a parte alta del pueblo.

Fuente: Pruebas de cobertura de la radio troncalizada en Imbabura

En todos los lugares expuestos en la tabla anterior la prueba se realizó de la misma manera que la ciudad de Ibarra, usando el Aeroflex 3920 OPT 201 y detectando si existe o no cobertura de red, los resultados arrojados en las cuatro ciudades fue el siguiente:

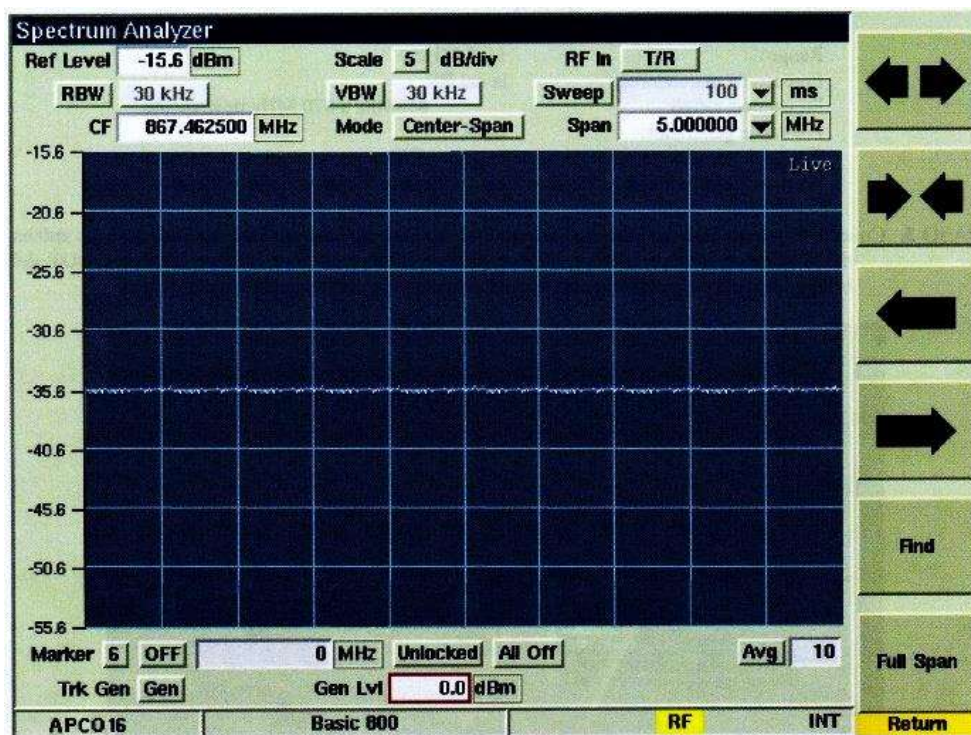


FIGURA 2.3 Frecuencias detectadas por el Aeroflex 3920 OPT 201 en Pimampiro, Lita, Angochagua y Apuela.

Fuente: Pruebas de cobertura de la radio troncalizada en Imbabura

De la misma manera se hizo la prueba de cobertura en todas las ciudades descritas en la tabla 2.2 con el equipo Motorola XTS 1500 intentando realizar una llamada de área extendida sin obtener respuesta alguna. En vista de los resultados obtenidos con las dos pruebas que se realizó, se determina que la señal de la radio troncalizada en las ciudades y pueblos de la zona Noreste, Noroeste, Sureste y Suroeste de Imbabura no poseen cobertura de red.

2.1.2 LUGARES DE LA PROVINCIA DE IMBABURA SIN COBERTURA DE RED TRONCALIZADA

Para realizar el diseño de la nueva red de radiocomunicaciones troncalizada de la Policía Nacional en Imbabura, se realizó pruebas de verificación de cobertura, determinando de esta manera los siguientes lugares que se detallan a continuación por zonas:

TABLA 2.3: Sitios sin cobertura de radio troncalizada

ZONAS DE LA PROVINCIA IMBABURA	LUGARES SIN COBERTURA
<p>Noroeste</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ San Pedro ▪ Tumbes ▪ La Carolina ▪ Jijón y Caamaño ▪ El Oso ▪ El Guadual ▪ Naranjito ▪ Buenos Aires ▪ La Concepción ▪ La Florida ▪ Chinchivi ▪ Lita
<p>Noreste</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ambuquí ▪ Juncal ▪ Piquiucho ▪ Carpuela ▪ Paragachi ▪ Pimampiro

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chuga ▪ San Francisco de Sigsipamba ▪ Chaupi Guaranguí ▪ Mariano Acosta
Suroeste	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plaza Gutiérrez ▪ Peñaherrera ▪ El Palmal ▪ Los Corrales ▪ Junín ▪ Chalguayacu ▪ Palma Real ▪ Vacas Galindo ▪ Llurimagua ▪ Gualiman ▪ Baratillo ▪ Cielo Verde ▪ Cuellaje ▪ El Rosario ▪ Apuela
Sureste	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Urcusiqui ▪ Tangali ▪ Eugenio Espejo ▪ San Rafael ▪ González Suarez ▪ San Pablo ▪ Pijal ▪ Angochagua. ▪ El Topo ▪ Cajas

Fuente: Reporte de pruebas de verificación de la señal troncalizada.

El diseño de la nueva red de radiocomunicación troncalizada para la Policía Nacional debe solventar el problema de cobertura en estos sitios mencionados con anterioridad, debido a que la Policía Nacional tiene a su personal en cada uno de estos lugares brindando su contingente en caso de ser requeridos, por lo cual es imprescindible la necesidad de comunicación en estas zonas alejadas de la provincia.

2.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Los requerimientos de diseño se fundamentan en la norma técnica para sistemas troncalizados emitida por el CONATEL mediante resolución 264-13-CONATEL-2000 para sistemas troncalizados en el Ecuador, dentro de esta resolución se considera parámetros como características técnicas del sistema, el plan de canalización de bandas y el plan de frecuencias.

El principal requerimiento en nuestro diseño es la ampliación de cobertura de la radio troncalizada de la Policía Nacional en Imbabura, para lo cual se integrará nuevos sitios remotos de la radio troncalizada en lugares estratégicos donde no hay cobertura de red, tomando en cuenta que los sitios nuevos deben lograr la interconexión con las repetidoras ya existentes en la actualidad.

El siguiente requerimiento planteado es que las frecuencias asignadas para cada canal deben estar dentro del rango de 800 a 900 MHz, que son las otorgadas por el CONATEL, estipuladas en la Norma Técnica de Sistemas Troncalizados, Título II.

Otro aspecto fundamental del diseño es que los equipos que se va a utilizar para la instalación de los sitios de repetición troncalizados sean basados en el estándar SmartZone del fabricante Motorola, debido a que toda la red troncalizada de la policía usa este estándar y protocolos propios de interconexión, los cuales no son compatibles con otras marcas en el mercado.

2.2.1 UBICACIÓN DE LOS SITIOS REMOTOS

La provincia de Imbabura presenta una superficie terrestre con diferentes tipos de relieve, lo cual dificulta la trasmisión de señales electromagnéticas, en vista de la necesidad de brindar una cobertura total de la radio troncalizada se ha realizado el estudio de los lugares con mayor elevación a nivel del mar y que presenten una excelente línea de vista para ubicar los nuevos sitios de repetición, estos lugares elegidos para nuestro diseño cuentan con los requisitos necesarios como vías de acceso y servicio eléctrico público.

2.2.1.1 ELEVACIONES CONSIDERADAS

A continuación se detallan las características que presentan las elevaciones optadas para la ubicación de los sitios de repetición de la nueva red radiocomunicación troncalizada de la Policía Nacional.

2.2.1.1.1 ELEVACIÓN COTACACHI

La elevación de Cotacachi es el primer sitio de repetición troncalizado en la actualidad, este posee las siguientes características:

TABLA 2.4: Características de la elevación Cotacachi

Nombre	Provincia	Ubicación		Altura	Acceso	Energía Eléctrica
		Latitud	Longitud			
Cotacachi	Imbabura	0° 19' 57,34" N	78° 20' 24,57" O	4030 m	Vía de segundo orden	Si

Fuente: Instituto Geográfico Militar



FIGURA 2.4: Elevación Cotacachi

Fuente: Obtenida de Google Earth



FIGURA 2.5: Sitio troncalizado de Cotacachi en la actualidad.

Fuente: Repetidor Cotacachi radio troncalizada policial.

2.2.1.1.2 ELEVACIÓN EL HABRA

Esta elevación presenta excelentes características para la instalación de un sitio de repetición troncalizado, logrará brindar cobertura a la zona noroeste de Imbabura.

En la siguiente tabla se detallan las características geográficas y técnicas que presenta esta elevación:

TABLA 2.5: Características de la elevación el Habra

Nombre	Provincia	Ubicación		Altura	Acceso	Energía Eléctrica
		Latitud	Longitud			
El Habra	Carchi	0° 39' 49,22" N	78° 04' 35,05" O	3440 m	Vía de tercer orden	Si

Fuente: Instituto Geográfico Militar

La imagen que se muestra a continuación, enseña la ubicación de la elevación en un mapa cartográfico dimensionado, basado en la fotografía satelital.



FIGURA 2.6: Elevación el Habra

Fuente: Obtenida de Google Earth



FIGURA 2.7: Sitio propuesto para repetidora el Habra

Fuente: Elevación el Habra

2.2.1.1.3 ELEVACIÓN CABRAS

Esta elevación presenta excelentes características para la instalación de un sitio de repetición troncalizado, logrará brindar cobertura a la zona noreste de Imbabura.

En la siguiente tabla se detallan las características geográficas y técnicas que presenta esta elevación:

TABLA 2.6: Características de la elevación Cabras

Nombre	Provincia	Ubicación		Altura	Acceso	Energía Eléctrica
		Latitud	Longitud			
Cabras	Carchi	0° 28' 16,77" N	77° 57' 52,09" O	2840 m	Vía de tercer orden	Si

Fuente: Instituto Geográfico Militar

En la siguiente figura se muestra la ubicación de la elevación en un mapa cartográfico dimensionado, basado en la fotografía satelital.



FIGURA 2.8: Elevación Cabras

Fuente: Obtenida de Google Earth



FIGURA 2.9: Sitio propuesto para repetidora Cabras

Fuente: Elevación Cabras

2.2.1.1.4 ELEVACIÓN TABACOLOMA

Esta elevación presenta excelentes características para la instalación de un sitio de repetición troncalizado, logrará brindar cobertura a la zona suroeste de Imbabura.

En la siguiente tabla se detallan las características geográficas y técnicas que presenta esta elevación:

TABLA 2.7: Características de la elevación Tabacoloma

Nombre	Provincia	Ubicación		Altura	Acceso	Energía Eléctrica
		Latitud	Longitud			
Tabacoloma	Imbabura	0° 15' 20,12" N	78° 28' 01,26" O	3490 m	Vía de tercer orden	Si

Fuente: Instituto Geográfico Militar

En la siguiente figura se muestra la ubicación de la elevación en un mapa cartográfico dimensionado, basado en la fotografía satelital.



FIGURA 2.10: Elevación Tabacoloma

Fuente: Obtenida de Google Earth



FIGURA 2.11: Sitio propuesto para repetidora Tabacoloma

Fuente: Elevación Tabacoloma

2.2.1.1.5 ELEVACIÓN CERRO BLANCO

Esta elevación presenta excelentes características para la instalación de un sitio de repetición troncalizado, logrará brindar cobertura a la zona sureste de Imbabura.

En la siguiente tabla se detallan las características geográficas y técnicas que presenta esta elevación:

TABLA 2.8: Características de la elevación Cerro Blanco

Nombre	Provincia	Ubicación		Altura	Acceso	Energía Eléctrica
		Latitud	Longitud			
Cerro Blanco	Imbabura	0° 12' 34,09" N	78° 20' 16,24" O	3500 m	Vía de tercer orden	Si

Fuente: Instituto Geográfico Militar

En la siguiente figura se muestra la ubicación de la elevación en un mapa cartográfico dimensionado, basado en la fotografía satelital.

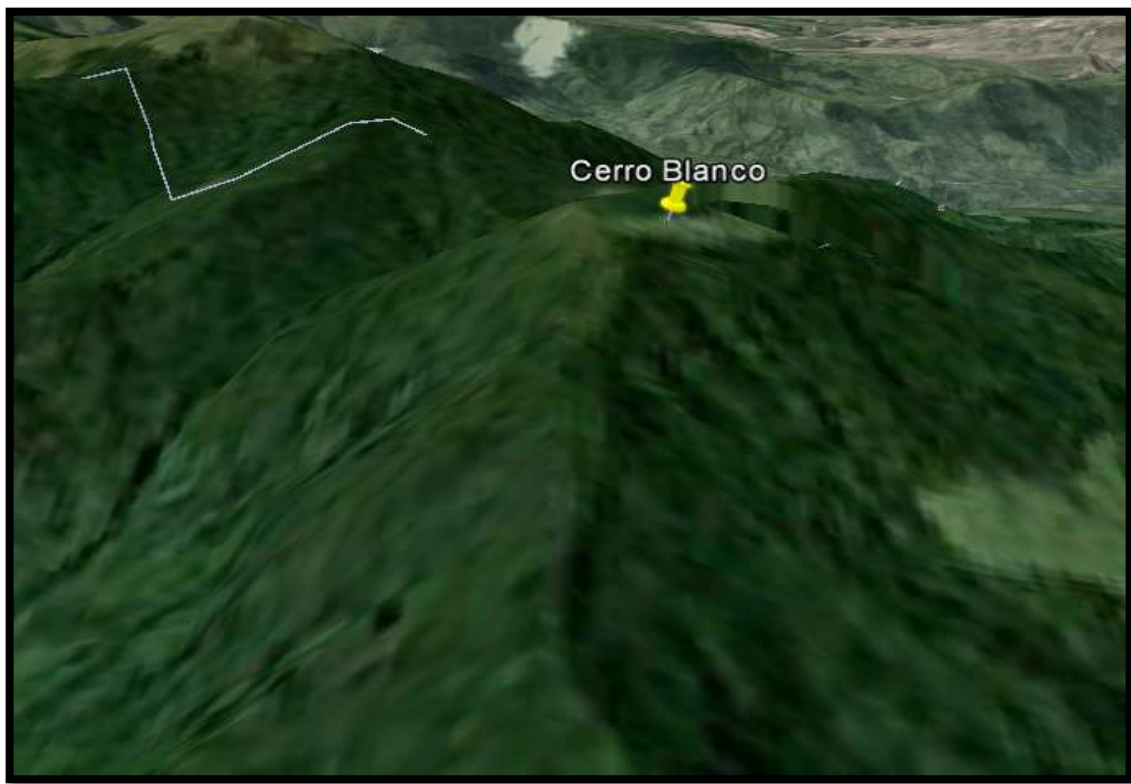


FIGURA 2.12: Elevación Cerro Blanco

Fuente: Obtenida de Google Earth



FIGURA 2.13: Sitio propuesto para repetidora Cerro Blanco
Fuente: Elevación Cerro Blanco

Las elevaciones expuestas con anterioridad para la ubicación de sitios de repetición troncalizados quedan distribuidas de la siguiente manera dentro de la provincia, con la finalidad de brindar cobertura a las zonas deseadas.



FIGURA 2.14: Elevaciones consideradas para la provincia de Imbabura
Fuente: Obtenida de Google Earth

2.2.2 ZONAS DE COBERTURA

En las elevaciones de mayor altitud en Imbabura, se ubicarán los sitios de repetición nuevos de la radio troncalizada de la Policía Nacional, estos sitios constan de elementos como cuarto de equipos propio, instalaciones eléctricas adecuadas, torres de nivel, ODU e IDU, antenas de transmisión y recepción, etc.

A continuación se describirá los sitios de repetición y las zonas donde se necesita brindar cobertura de red:

2.2.2.1 REPETIDOR EL HABRA

El repetidor el Habra estará diseñado para ofrecer cobertura a la zona noroeste de la provincia de Imbabura, brindando servicio a lugares como: San Pedro, Tumbes, la Carolina, Jijón y Caamaño, Oso, el Guadual, Guadua, Naranjito, Buenos Aires, La Concepción, la Florida, Chinchivi.

2.2.2.2 REPETIDOR CABRAS

El repetidor de Cabras estará diseñado para ofrecer cobertura a la zona noreste de la provincia de Imbabura, brindando servicio a lugares como: Ambuquí, el Juncal, Piquiucho, Carpuela, Paragachi, Pimampiro, Chuga, San Francisco de Sigsipamba, Chaupi Guaranguí y Mariano Acosta.

2.2.2.3 REPETIDOR CERRÓ BLANCO

El repetidor de Cerro Blanco estará diseñado para ofrecer cobertura a la zona sureste de la provincia de Imbabura, brindando servicio a lugares como: Urcusiqui, Tangali, Otavalo, Eugenio Espejo, San Rafael, Gonzales Suarez, San Pablo, Pijal, Angochagua, el Topo y Cajas.

2.2.2.4 REPETIDOR TABACOLOMA

El repetidor de Tabacoloma estará diseñado para ofrecer cobertura a la zona suroeste de la provincia de Imbabura, brindando servicio a lugares como: Plaza Gutiérrez, Peñaherrera, el Palmal, los Corrales, Junín, Chalguayacu, Palma Real, Vacas Galindo, Llurimagua, Gualiman, Baratillo, Cielo Verde, Cuellaje, el Rosario y Apuela.

2.2.2.5 REPETIDOR COTACACHI

El repetidor de Cotacachi está diseñado para ofrecer cobertura a la zona centro de la provincia de Imbabura, brinda servicio en la actualidad a lugares como: Cotacachi, Ilumán, Atuntaqui, Natabuela, Chaltura, San Antonio, Ibarra, Esperanza, Urcuquí, Yachay, Tumbabiro, Salinas y Cahuasqui.

La provincia de esta manera quedará con cobertura total de la red de radio troncalizada policial, en el siguiente gráfico se muestra la cobertura de todos los sitios de repetición propuesto en el nuevo diseño.

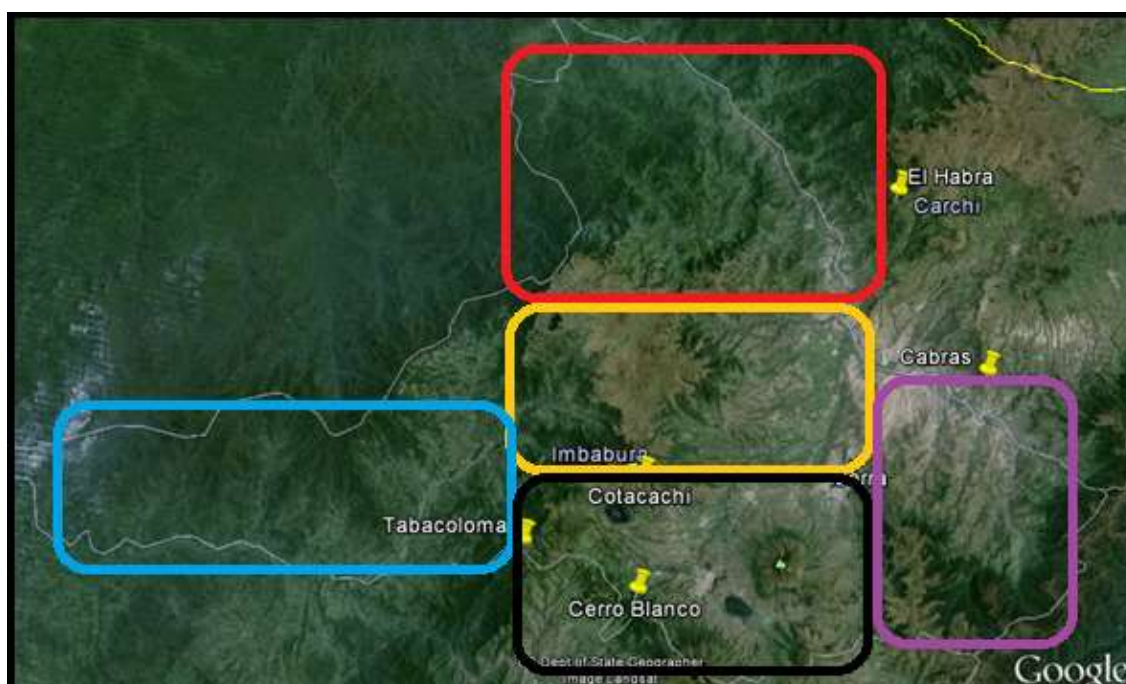


FIGURA 2.15: Futuras zonas de cobertura de la radio troncalizada

Fuente: Adaptada de google earth

2.2.3 CALCULO DE CANALES

El sistema troncalizado SmartZone funciona en régimen de espera, cuando un móvil desea hacer una llamada y encuentra el canal ocupado, aguarda hasta que se libera y su petición pueda ser atendida, por tal motivo se aplica la distribución Agner Krarup Erlang para calcular la cantidad de canales necesarios en el diseño planteado.

El dimensionamiento se enfoca en el grado de calidad de servicio GOS, el cual debe conjugar la probabilidad de que una llamada sea bloqueada y se envíe a una cola de espera para ser despachada en la hora de más carga para el sistema.

El GOS es el parámetro habitual de calidad en los sistemas móviles con espera. Los valores objetivos de GOS suelen variar entre el 5 y el 10%, para que un sistema troncal sea aceptable. (RABANOS, *Ingeniería de Sistemas Trunking*, 2010).

La fórmula para calcular el tráfico ofrecido de un sistema troncalizado es la siguiente:

$$A = \frac{M * N * H}{3600} Erlang$$

Ecuación 2.1: Tráfico de Erlang

Dónde:

A: Tráfico ofrecido.

M: Número de móviles.

N: Número de llamadas por móvil en la hora de carga.

H: Duración media de la llamada (s).

Al obtener el valor del tráfico que puede soportar el sistema de acuerdo al número de equipos terminales y la duración de cada llamada, se usa la calculadora de Erlang para conocer los canales que se necesita para dimensionar el sistema.

2.2.3.1 REPETIDOR EL HABRA:

Para calcular el número de canales necesarios en este repetidor se usa la fórmula de Erlang con los siguientes datos:

$$A = \frac{M * N * H}{3600} Erlang$$

Ecuación 2.2: Tráfico de Erlang

Los datos de número de móviles, el estimado del número de llamadas por hora y la duración de las mismas fueron otorgados por la Policía Nacional de acuerdo a la zona de afectación, la probabilidad de bloqueo se tomó de referencia el 10%, considerando las peores condiciones de saturación del sistema trunking, este parámetro está dentro del rango aceptable para un sistema troncalizado.

TABLA 2.9: Datos repetidor el Habra

FÓRMULA DE ERLANG	DATOS
M: Número de móviles.	130
N: Número de llamadas por móvil en la hora de carga.	12
H: Duración media de la llamada (s).	8
GOS : Probabilidad de bloqueo	10%
A: Tráfico ofrecido (Erlang)	3,46

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking (p. 35). Madrid: Editorial Síntesis.

Obtenido el tráfico ofrecido A, se usa la ayuda de la calculadora Teligent Erlang, con esta herramienta se calcula el número de canales necesarios para soportar el tráfico en el repetidor el Habra.

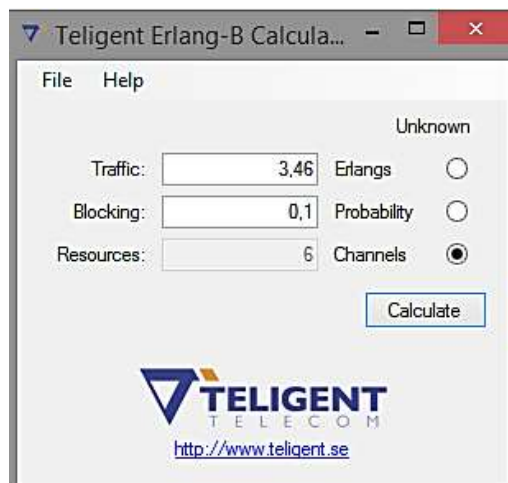


FIGURA 2.16: Resultado de calculadora Teligent Erlang, repetidor el Habra.

Fuente: <http://www.teligent.se/download-form-erlang-calculator.html>

El resultado obtenido de la calculadora Teligent Erlang es de 6 canales de comunicación en el repetidor el Habra, con la finalidad de brindar un excelente servicio del sistema troncalizado.

2.2.3.2 REPETIDOR CABRAS

Para calcular el número de canales necesarios en este repetidor se usa la fórmula de Erlang con los siguientes datos:

$$A = \frac{M * N * H}{3600} Erlang$$

Ecuación 2.3: Tráfico de Erlang

Los datos de número de móviles, el estimado del número de llamadas por hora y la duración de las mismas fueron otorgados por la Policía Nacional de acuerdo a la zona de afectación, la probabilidad de bloqueo se tomó de referencia el 10% que es lo aceptable para un sistema troncalizado.

TABLA 2.10: Datos repetidor Cabras

FÓRMULA DE ERLANG	DATOS
M: Número de móviles.	90
N: Número de llamadas por móvil en la hora de carga.	6
H: Duración media de la llamada (s).	8
GOS : Probabilidad de bloqueo	10%
A: Tráfico ofrecido (Erlang)	1,2

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking (p. 35). Madrid: Editorial Síntesis.

Obtenido el tráfico ofrecido A, se usa la ayuda de la calculadora Teligent Erlang, con esta herramienta se calcula el número de canales necesarios para soportar el tráfico en el repetidor Cabras.

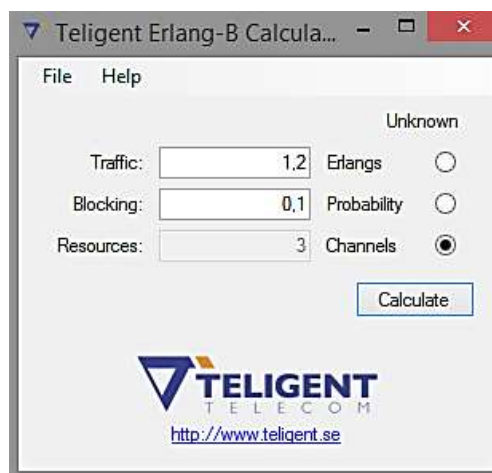


FIGURA 2.17: Resultado de calculadora Teligent Erlang, repetidor Cabras.

Fuente: <http://www.teligent.se/download-form-erlang-calculator.html>

El resultado obtenido de la calculadora Teligent Erlang es de 3 canales de comunicación en el repetidor Cabras, con la finalidad de brindar un excelente servicio del sistema troncalizado.

2.2.3.3 REPETIDOR TABACOLOMA

Para calcular el número de canales necesarios en este repetidor se usa la fórmula de Erlang con los siguientes datos:

$$A = \frac{M * N * H}{3600} Erlang$$

Ecuación 2.4: Tráfico de Erlang

Los datos de número de móviles, el estimado del número de llamadas por hora y la duración de las mismas fueron otorgados por la Policía Nacional de acuerdo a la zona de afectación, la probabilidad de bloqueo se tomó de referencia el 10% que es lo aceptable para un sistema troncalizado.

TABLA 2.11: Datos repetidor Tabacoloma

FÓRMULA DE ERLANG	DATOS
M: Número de móviles.	90
N: Número de llamadas por móvil en la hora de carga.	5
H: Duración media de la llamada (s).	8
GOS : Probabilidad de bloqueo	10%
A: Tráfico ofrecido (Erlang)	1

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking (p. 35). Madrid: Editorial Síntesis.

Obtenido el tráfico ofrecido A, se usa la ayuda de la calculadora Teligent Erlang, con esta herramienta se calcula el número de canales necesarios para soportar el tráfico en el repetidor Tabacoloma.

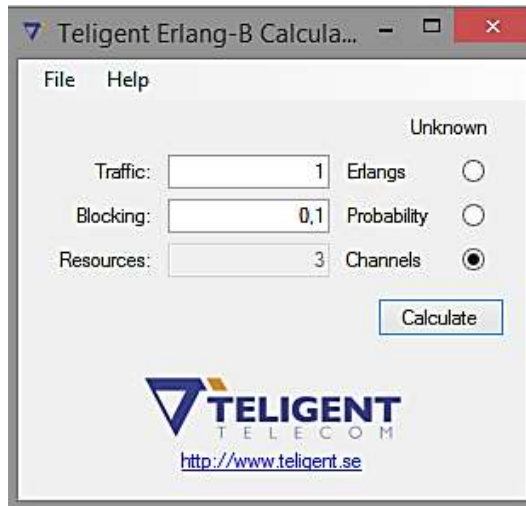


FIGURA 2.18: Resultado de calculadora Teligent Erlang, repetidor Tabacoloma.

Fuente: <http://www.teligent.se/download-form-erlang-calculator.html>

El resultado obtenido de la calculadora Teligent Erlang es de 3 canales de comunicación en el repetidor Tabacoloma, con la finalidad de brindar un excelente servicio del sistema troncalizado.

2.2.3.4 REPETIDOR CERRÓ BLANCO

Para calcular el número de canales necesarios en este repetidor se usa la fórmula de Erlang con los siguientes datos:

$$A = \frac{M * N * H}{3600} Erlang$$

Ecuación 2.5: Tráfico de Erlang

Los datos de número de móviles, el estimado del número de llamadas por hora y la duración de las mismas fueron otorgados por la Policía Nacional de acuerdo a la zona de afectación, la probabilidad de bloqueo se tomó de referencia el 10% que es lo aceptable para un sistema troncalizado.

TABLA 2.12: Datos repetidor Cerro Blanco

FÓRMULA DE ERLANG	DATOS
M: Número de móviles.	115
N: Número de llamadas por móvil en la hora de carga.	8
H: Duración media de la llamada (s).	8
GOS : Probabilidad de bloqueo	10%
A: Tráfico ofrecido (Erlang)	2,04

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking (p. 35). Madrid: Editorial Síntesis.

Obtenido el tráfico ofrecido A, se usa la ayuda de la calculadora Teligent Erlang, con esta herramienta se calcula el número de canales necesarios para soportar el tráfico en el repetidor Cerro Blanco.

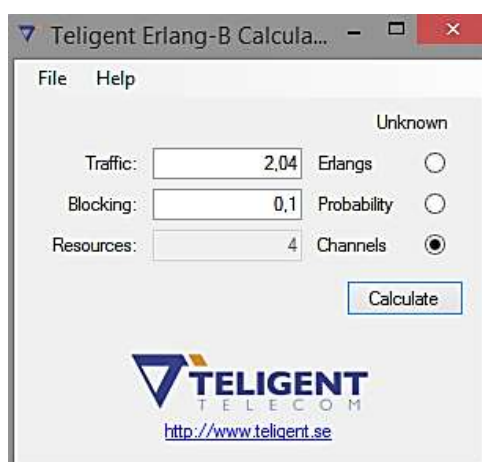


FIGURA 2.19: Resultado de calculadora Teligent Erlang, repetidor Cabras.

Fuente: <http://www.teligent.se/download-form-erlang-calculator.html>

El resultado obtenido de la calculadora Teligent Erlang es de 4 canales de comunicación en el repetidor Cabras, con la finalidad de brindar un excelente servicio del sistema troncalizado.

2.2.4 FRECUENCIAS ASIGNADAS

Las estaciones repetidoras del sistema troncalizado según su área de cobertura dentro de la provincia tendrán determinadas frecuencias de operación, las mismas que son otorgadas por la SENATEL.

La banda elegida por las características del sistema SmartZone para la distribución de frecuencias, es la de 856-869 MHz utilizada para transmisión y 811-824 MHz utilizada para recepción, se dividen en 500 canales tanto para transmisión como para recepción, con separación entre transmisión y recepción de 45 MHz.

Los canales están formados por pares de frecuencias, el canal de tráfico funciona en el tipo semidúplex y en dúplex para el canal de control. Las frecuencias asignadas a los canales de los sitios de repetición en Imbabura se muestran en las siguientes tablas:

2.2.4.1 REPETIDOR EL HABRA

TABLA 2.13: Frecuencias del repetidor el Habra

REPETIDOR EL HABRA		
Canal	TX (MHz)	RX (MHz)
1	865,01125	820,01125
2	865,61125	820,61125
3	866,21125	821,21125
4	866,81125	821,81125
5	867,41125	822,41125
6	868,01125	823,01125

Fuente: Conatel, Reglamento Y Norma Técnica Para Los Sistemas Troncalizados, Capítulo Ii, Del Plan De Canalización De Bandas.

2.2.4.2 REPETIDOR CABRAS

TABLA 2.14: Frecuencia del repetidor Cabras

REPETIDOR CABRAS		
Canal	TX (MHz)	RX (MHz)
1	866,01325	821,01325
2	866,61325	821,61325
3	867,21325	822,21325

Fuente: Conatel, Reglamento Y Norma Técnica Para Los Sistemas Troncalizados, Capítulo Ii, Del Plan De Canalización De Bandas.

2.2.4.3 REPETIDOR CERRO BLANCO

TABLA 2.15: Frecuencias del repetidor Cerro Blanco

REPETIDOR CERRO BLANCO		
Canal	TX (MHz)	RX (MHz)
1	864,01525	819,01525
2	864,61525	819,61525
3	865,21525	820,21525
4	865,81525	820,81525

Fuente: Conatel, Reglamento Y Norma Técnica Para Los Sistemas Troncalizados, Capítulo Ii, Del Plan De Canalización De Bandas.

2.2.4.4 REPETIDOR COTACACHI

TABLA 2.16: Frecuencias del repetidor Cotacachi

REPETIDOR		COTACACHI	
Canal	TX (MHz)	RX (MHz)	
1	866,26250	821,18325	
2	866,86250	821,78325	
3	867,01250	822,01875	
4	867,61250	822,61875	
5	868,51250	823,01875	

Fuente: Dirección Nacional De Comunicación, Frecuencias Troncalizadas En Imbabura.

2.2.4.5 REPETIDOR TABACOLOMA

TABLA 2.17: Frecuencias del repetidor Tabacoloma

REPETIDOR		TABACOLOMA	
Canal	TX (MHz)	RX (MHz)	
1	868,61125	823,61125	
2	869,21125	824,21125	
3	869,81125	824,81125	

Fuente: Conatel, Reglamento Y Norma Técnica Para Los Sistemas Troncalizados, Capítulo Ii, Del Plan De Canalización De Bandas.

La provincia de Imbabura en su nueva red troncalizada, contará con cuatro sitios de repetición nuevos y uno existente de la red anterior, los cuales tendrán una totalidad de 16 frecuencias asignadas, con la finalidad de brindar una mejor cobertura y permitir la interconexión con el sistema integrado de seguridad ciudadana del Ecuador.

CAPÍTULO III

3 DISEÑO DE LA RED DE RADIO TRONCALIZADA

El nuevo diseño de la red de radio comunicación troncalizada en Imbabura, se basa en el sistema trunking APCO25, los sitios remotos a implementarse deben constar con la arquitectura de la red, equipos de telecomunicaciones, sistemas de energía eléctrica, sistemas de radiación, cálculos de la propagación y los servicios que ofrecerá la red diseñada.

Los sitios de repetición deben poseer las mismas características físicas y técnicas, tanto en equipos como en infraestructura por motivos de estandarización, con excepción de las torres de transmisión que dependerá del enlace a diseñarse.

3.1 ARQUITECTURA DE LA RED

La red de radiocomunicación troncalizada estará formada por cinco sitios de repetición ubicados estratégicamente en la provincia, los cuales están comunicados a través de enlaces de radio a una frecuencia de 5 GHz, el repetidor principal se encuentra ubicado en Cotacachi, siendo este el encargado de comunicarse con el controlador maestro ubicado en Quito, específicamente en la Dirección Nacional de Comunicaciones de la policía.

En el siguiente gráfico se detalla la red general propuesta para el diseño de la radio troncalizada en Imbabura.

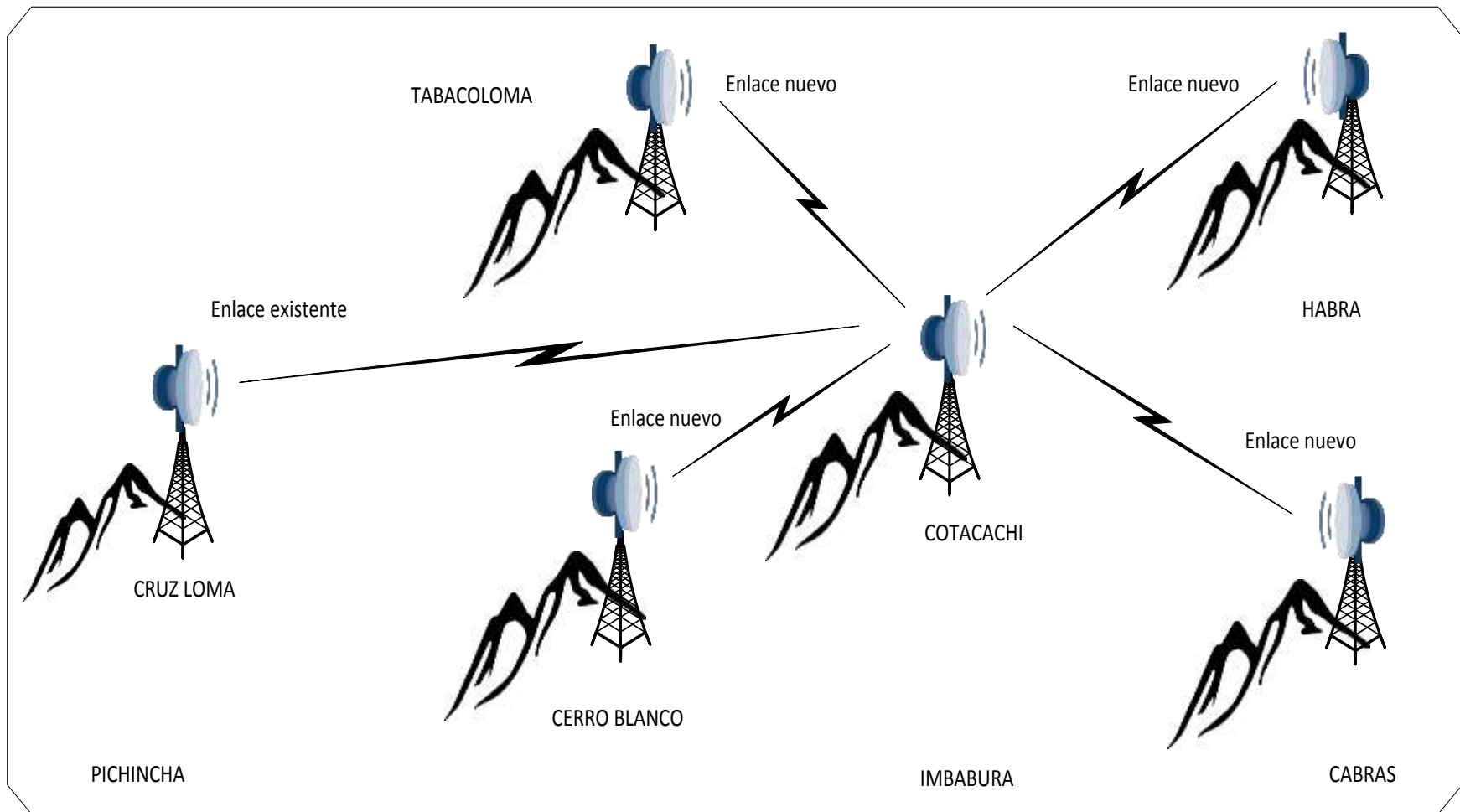


FIGURA 3.1: Arquitectura propuesta Red Troncalizada.

Fuente: Propia del autor.

3.2 SITIOS DE REPETICIÓN

Los sitios de repetición en Imbabura deben poseer las mismas características físicas y técnicas, donde se detalla con énfasis los siguientes sistemas esenciales para su funcionamiento.

- Infraestructura física.
- Equipos de red.
- Sistema de radiofrecuencia.
- Enlaces de radio.
- Sistema de energía eléctrica.

3.2.1 INFRAESTRUCTURA FÍSICA

La Infraestructura física en cada sitio de repetición debe permitir albergar a todos los equipos de telecomunicaciones y de energía, además debe brindar seguridad tanto de la delincuencia como de las condiciones climáticas presentes.

3.2.1.1 Cuarto de Telecomunicaciones

El diseño del cuarto de telecomunicaciones está basado en la norma ANSI/TIA/EIA-569-A, el cual comprende una área de $15,19 m^2$, donde se construirá un cuarto de bloque y hormigón con estructuras de hierro de 4,90 m de largo y 3,10 m de ancho, estas medidas son estandarizadas por parte de la Ingeniería de infraestructura de la CNT EP para cuartos de telecomunicaciones.

A continuación se presenta la vista del cuarto de telecomunicaciones de la planta cubierta, la parte frontal, la parte lateral y la parte posterior.

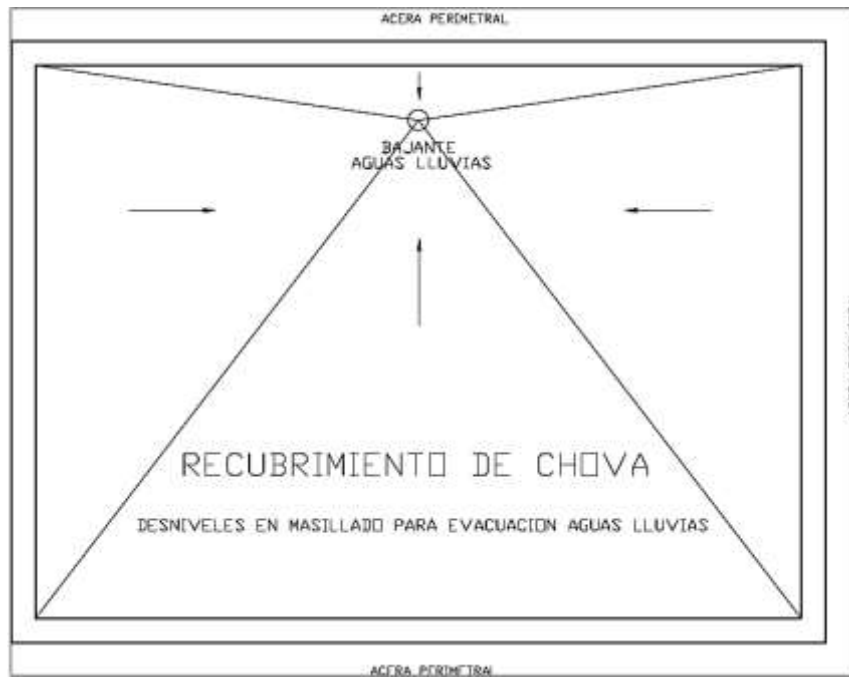


FIGURA 3.2: Planta Cubierta

Fuente: Ingeniería de Infraestructura CNT EP.

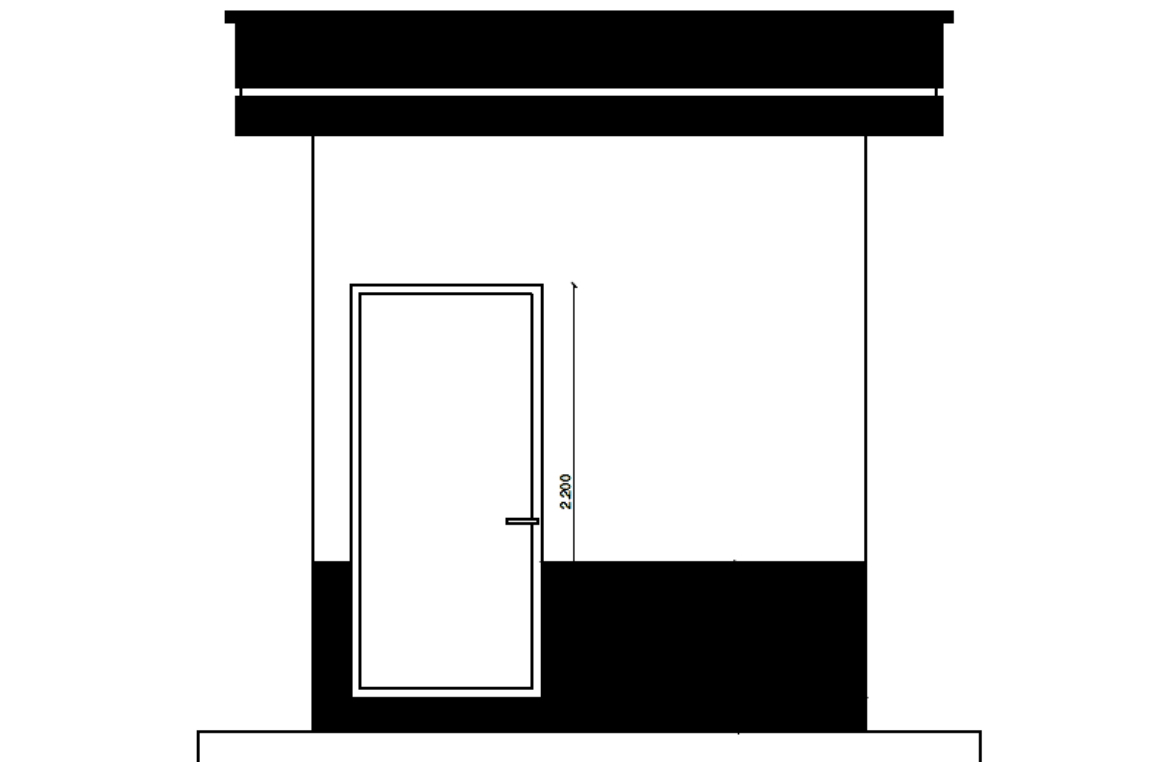


FIGURA 3.3: Fachada Principal

Fuente: Ingeniería de Infraestructura CNT EP.

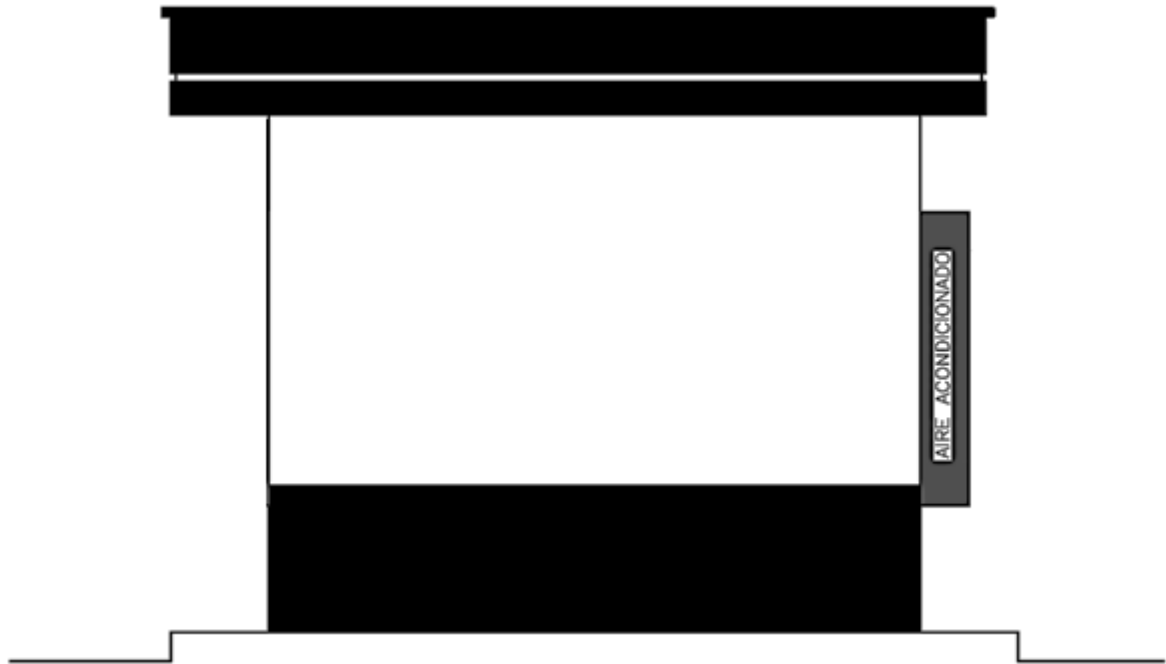


FIGURA 3.4: Fachada lateral

Fuente: Ingeniería de Infraestructura CNT EP.

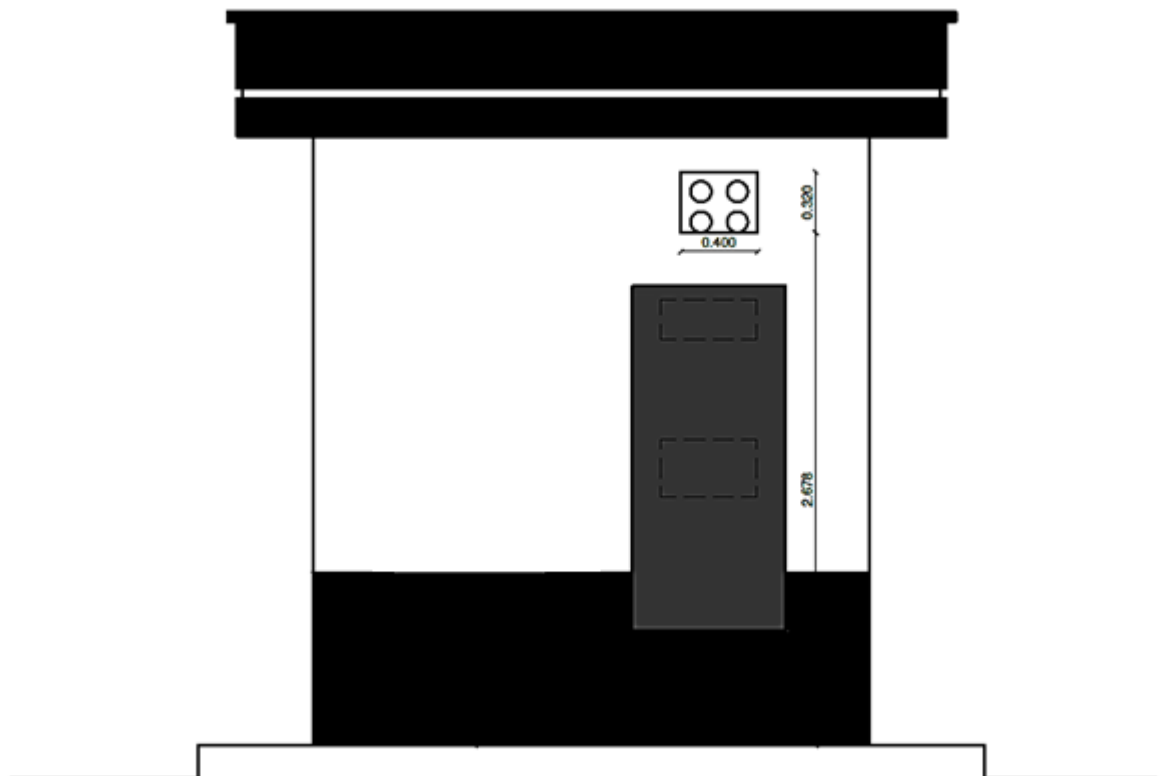


FIGURA 3.5: Fachada posterior

Fuente: Ingeniería de Infraestructura CNT EP.

3.2.1.2 TORRES DE TRANSMISIÓN

Las torres de transmisión van a ser de tipo auto soportadas en los sitios de repetición, deben estar basadas en los estándares vigente en el país como son ASIC ASD-2005 y AISI ASD-96, deben soportar antenas de los enlaces, antenas de radio troncalizada, equipos para telecomunicaciones y los soportes para el tendido de cables de transmisión.

Su diseño debe permitir el acceso por el interior de la torre, mediante una escalera que debe contar con anillos y cable o riel de seguridad ubicados a cierta distancia durante todo el trayecto de la escalera, con la finalidad de proteger al personal que tenga que trabajar en ella.

Las características más importantes que debe poseer la torre auto soportada según las normas ASIC ASD-2005 y AISI ASD-96, son las siguientes:

- Base con sección triangular totalmente galvanizada en caliente.
- Forma troncocónica de sección variable.
- Estructura de acero según la norma A37-24ES y galvanizada según norma ASTM A 123M-97A.
- Soldaduras AWS D 1.1:2000
- Patas en cañería basada en la norma ISO 65 SL II, ASTM A 53 y A 106.
- Barras diagonales y horizontales en ángulos laminados.
- Unión entre módulos mediante flanches atiesados.
- Pernos ASTM A 325 en unión de módulos.
- Pernos SAE G5 en diagonales y horizontales.
- Esquema de pintura en base a primer epóxico especial para acero con terminación en base a esmalte epóxico.

Para el diseño se eligió torres auto soportadas de 20 m, en base al estándar vigente en el país, el cual admite ubicar este tipo de torre a partir de un requerimiento de altura de 20 m, además en estas elevaciones donde se van a colocar los sitios de repetición se produce fuertes vientos que alcanzan más de 100 Km/h, por lo cual este tipo de torre soporta estas condiciones climáticas sin poner en peligro toda la infraestructura de la red.

En la siguiente figura se muestra la torre elegida para la radio troncalizada.

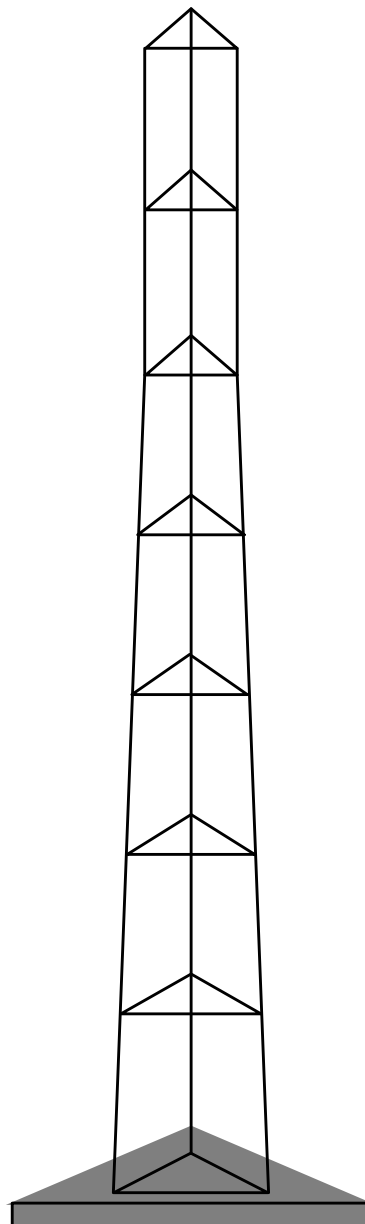


FIGURA 3.6: Torre autoportada de Radio troncalizada

Fuente: Propia del Autor

En cada sitio troncalizado las torres instaladas serán las siguientes:

TABLA 3.1: Características de la Torres

SITIO	TIPO	ALTURA (m)
El Habra	Autosoportada	20
Cabras	Autosoportada	20
Tabacoloma	Autosoportada	20
Cerro Blanco	Autosoportada	20

Fuente: Propia del autor.

3.2.2 EQUIPOS DE RED

En los sitios de repetición de la radio troncalizada la red va a estar estructurada con un equipo de radio para los enlaces principales y un equipo repetidor de marca Motorola para difundir la señal de la radio troncalizada, el equipo trunking es de marca Motorola debido a que se busca la estandarización de la red troncalizada a nivel nacional.

Los equipos elegidos se detallan a continuación:

TABLA 3.2: Equipos para repetidor trunking

Equipo	Marca	Detalle	Unidad	Total
AL PLUS2 1RU 1+1	SIAE	IDU	1	5
ODU ASN6L SB=1H	SIAE	ODU	2	10
HP4-57W	Andrew	Antena parabólica	1	4
TXO-5758-12	TXPRO	Antena omnidireccional	1	1
Rack GTR ESS	Motorola	6 Canales	1	4
Rack de equipos Auxiliares 7'	Motorola	Multifunción	1	4
Rack de energía	Motorola	Equipos de energía	1	4
Rack de microondas	Motorola	Equipos de microondas	1	4
PDU	Motorola	Energía segura	1	4
Fuente	Motorola	Alimentación AC/DC	1	16

TTA 428B-83H-01-T	Bird		Amplificador de torre 796-824 MHz	1	4
CMU 428B-83H-01-C	Bird		Módulo de monitoreo TTA	1	4
GTR 8000 T7054A	Motorola		Expandible subsistema de sitio	1	4
GTR 8000 T7039A	Motorola		Radio Base Trunking	1	16
GCP8000 T7038A	Motorola		Controlador de sitio	1	4
GCM8000 T7321A	Motorola		Comparador	1	4
Multiacoplador	Motorola		Filtro de señales RF	1	4
Combinador	Motorola		6 Canales	1	4
Amplificadores	Motorola		C/U por canal	1	16
POLYPHASER DSXL-D-MA	DIN	Polyphaser	Protección contra sobretensiones de RF	1	4
POLYPHASER 0501W-A	109	Polyphaser	Protección contra sobretensiones de RF	2	8
Antena BMR10-O-B1	Andrew		Antena Omnidireccional TX- RX	2	8
GGM8000	Motorola		Router de sitio	1	4
Switch	SIAE		24 puertos	1	4
Equipos terminales portátiles	Motorola		XTS 2500	1	600
Equipos terminales móviles	Motorola		XTL 2500	1	150

Fuente: Adaptado del Manual de instalación GTR8000 ESS Motorola

Los equipos expuestos en el cuadro anterior son los necesarios para instalar el sitio remoto, los más relevantes se detallan a continuación.

3.2.2.1 GTR8000 SITIO REPETIDOR

La Base Radio GTR8000 es un equipo repetidor marca Motorola con características para ser configurado como zona de área extendida en base a estaciones, consiste en un módulo transceptor, el módulo amplificador de potencia, el módulo ventilador, y una fuente de alimentación, todos están integrados en un solo rack o gabinete de fábrica para facilitar su instalación.

El módulo transceptor realiza funciones tanto de envío como de recepción de señales, por medio del transmisor, el receptor y la estación de control, además controla el software de radio base, configuración y gestión de la red, así como manejo de tráfico entrante y saliente, todo esto se realiza a través de este módulo transceptor.

El amplificador de potencia amplifica la señal de RF modulada de bajo nivel desde el módulo de transceptor hasta la antena de transmisión. La fuente de alimentación es compatible con los módulos transceptores y amplificadores de potencia.

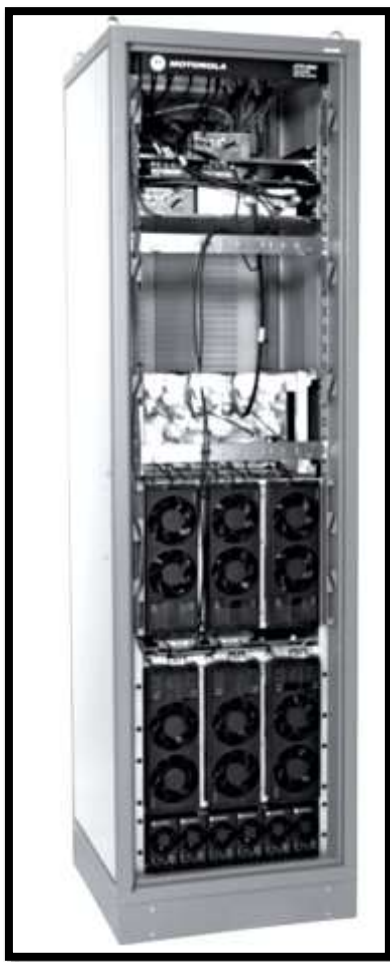


FIGURA 3.7: Equipo GTR8000 Sitio repetidor

Fuente: G-Series Site Equipment for ASTRO 25 systems

3.2.2.2 GTR8000 BASE RADIO

En cada sitio remoto, el número total de canales del sistema GTR8000 no puede exceder de seis; por lo tanto para cada canal le corresponde una base de radio, el máximo canales por rack es de seis, en caso de necesidad de incrementar canales se agrega máximo seis bases de radio más acoplado al rack principal.



FIGURA 3.8: Equipo GTR8000 Base radio

Fuente: G-SERIES SITE EQUIPMENT FOR ASTRO 25 SYSTEMS.

3.2.2.3 GCP 8000 CONTROLADOR DE SITIO

El GCP 8000 es la interfaz de control entre el transmisor y receptor del sitio remoto con el controlador de zona MCZ3000. El GCP8000 posee la configuración de controlador de sitio redundante; un módulo de controlador de sitio actúa como módulo activo, y el segundo módulo actúa como una de espera. La redundancia minimiza la posibilidad de un único punto de fallo en el sitio.

El GCP8000 proporciona las siguientes funciones:

- Gestiona los canales para maximizar el rendimiento y la disponibilidad de canales.
- Administra las solicitudes de activación de registro y de contexto.
- Monitorea estaciones base y equipos de distribución de radio frecuencia.
- Administrador de dispositivos para facilitar alarma centralizada y monitoreo de control.
- Proporciona control del sitio redundante.
- Proporciona una señal de referencia de tiempo y frecuencia a las estaciones base.
- Proporciona capacidad de transmisión simultánea IP.

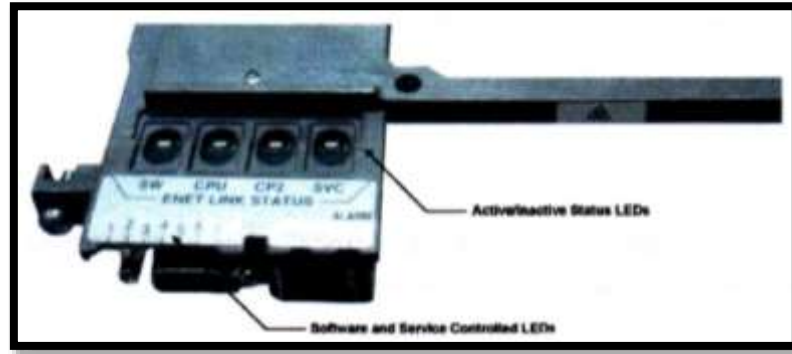


FIGURA 3.9: Equipo GCP8000 Controlador de sitio

Fuente: Adaptado del Manual de instalación GTR8000 ESS Motorola

3.2.2.4 GCM 8000 COMPARADOR

El GCM8000 garantiza la emisión de la mejor señal de voz posible, mediante la combinación de las mejores partes de una única señal que ha sido recibida por múltiples sitios en un sistema de varios sitios remotos.

El comparador cuenta con una metodología de votación digital: selecciona la trama de datos o señales con la más baja tasa de error (BER) y lo reenvía. Mediante el uso de las mejores piezas de cada señal de entrada, el resultado es la mejor señal compuesta posible.



FIGURA 3.10: Equipo GCM8000 Comparador

Fuente: Adaptado del Manual de instalación GTR8000 ESS Motorola

3.2.2.5 GGM8000 ROUTER

Es un router de acceso al sub-sitio (sitio remoto), proporcionan las interfaces de enrutamiento de red IP entre el primer sitio y todos los sub-sitio.

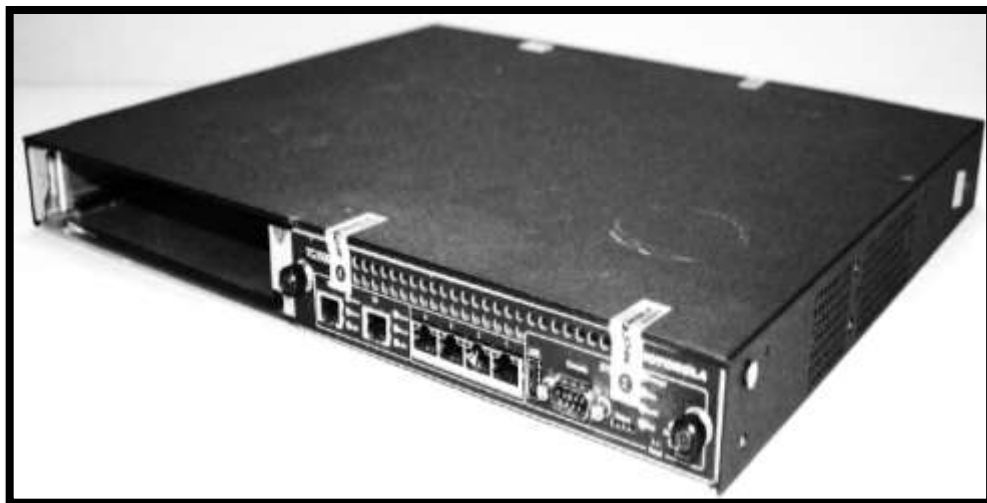


FIGURA 3.11: Equipo GGM8000 Router

Fuente: Motorola GGM 8000 Gateway Security Policy

3.2.2.6 TTA/ TOWER SYSTEM AMPLIFICADOR TOP

El TTA está diseñado para aumentar el rendimiento de una estación transceptora base, asegurando al mismo tiempo fiabilidad en la comunicación específicamente para aplicaciones críticas de seguridad pública. Su ubicación tiene que ser lo más cerca posible de la antena de recepción, permitiendo así manejar y amplificar la señal. Este aumento en la sensibilidad, frecuentemente mayor a 10 dB puede compensar el desequilibrio entre llamadas de los usuarios móviles consiguiendo minimizar las pérdidas.

El sistema de TTA consta de dos componentes: el amplificador de torre de montaje superior cerca de la antena y la unidad de control de base. Para reducir el tamaño de la TTA y al mismo tiempo proporcionar 120 dB de aislamiento de una portadora de TX, el filtrado se ha dividido entre el TTA y la unidad base.



FIGURA 3.12: Equipo TTA

Fuente: Installation and Operation Manual for Compact Tower-Top Amplifier System Models 429-83H-01-M/T and 429-83H-01-M-48.

3.2.2.7 CMU

El sistema CMU se utiliza para compensar las pérdidas ocasionadas por los cables y todos los elementos en la línea de recepción. Este equipo se encarga de visualizar alarmas y la corriente continua de +12VDC que alimenta al amplificador del TTA.

El CMU presenta un microcontrolador principal el cual se encarga de visualizar alarmas en la línea de recepción. El objetivo es el de verificar el correcto funcionamiento de los cables de la línea de RX.



FIGURA 3.13: Equipo CMU

Fuente: Installation and Operation Manual for Compact Tower-Top Amplifier System Models 429-83H-01-M/T and 429-83H-01-M-48

3.2.2.8 COMBINADOR

Un combinador de potencia de RF simplemente combina diversas señales (suma) en una sola salida. El combinador no hace ningún tipo de transformación o cambio de la señal. Simplemente combina todas las señales en una sola salida.

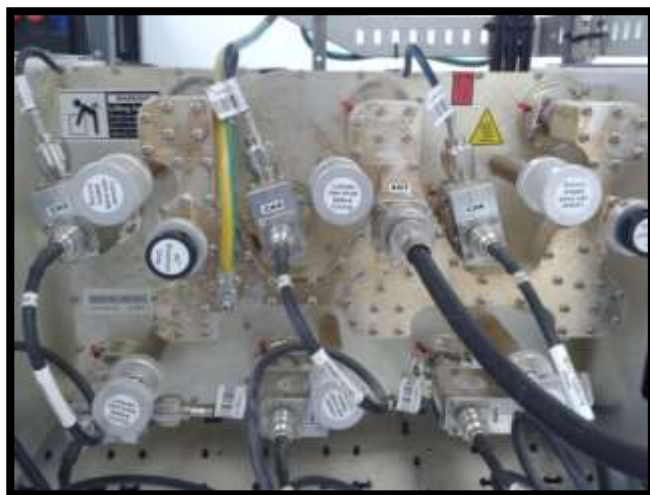


FIGURA 3.14: Equipo combinador GTR8000

Fuente: G-Series Site Equipment For Astro 25 Systems.

3.2.2.9 MULTIACOPLADOR

Es un equipo que permite que las señales recibidas por la antena puedan ser dirigidas a la base de radio específico de acuerdo a la portadora que fue asignada para la transmisión del GTR8000. Su configuración permite usar una sola antena de recepción conectada a los canales (radios) que posee el GTR ESS.

Usar el multiacoplador brinda la facilidad de que todos los radios portátiles y móviles pueden comunicarse al sitio remoto mediante una sola antena receptora que segrega el destino específico.



FIGURA 3.15: Equipo Multiacoplador GTR8000

Fuente: G-Series Site Equipment For Astro 25 Systems

3.2.2.10 ACCESORIOS

Para realizar la conexión de los equipos GTR ESS es necesario contar con todos los accesorios para su instalación, los elementos de comunicación primordiales son la línea de transmisión, línea de recepción y línea de test. Para conectar cada uno de estos elementos son necesarios los siguientes componentes.

3.2.2.10.1 LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Está formada por la conexión de los equipos desde el GTR8000 hacia el equipo Polyphaser y de aquí a la antena de transmisión troncalizada, para realizar la conexión de estos equipos es necesario los siguientes accesorios:

TABLA 3.3: Kit Conexión - Línea de Transmisión

ACCESORIOS TX
CONECTOR N MACHO PS PARA ½ EN LDF4-50A
CONECTOR DIN MACHO 7-16 PS PARA ½ EN LDF4-50A
CONECTOR HEMBRA 7-16 DIN PS DE 1-1 / 4 EN AVA
CONECTOR HEMBRA 7-16 DIN PS DE 1-1 / 4 EN AVA
PCS MICRO FILTRO PROTECTOR 800MHZ
KIT GROUNDSTRAP-DIN
CONECTOR DIN MACHO 7-16 PS PARA ½ EN LDF4-50
CONECTOR 1-1 / 4 "GRIP APOYO PARA LEVANTAR
KIT DE 1-1 / 4 "SEGURO DE TIERRA
SEGURO DE ENTRADA PARA 1-1 / 4
ADAPTADOR ANGULAR DE HIERRO MONTAJE 10 PK

Fuente: Manual de instalación GTR8000 ESS

3.2.2.10.2 LÍNEA DE RECEPCIÓN

La línea de recepción está formada por la conexión de la parte externa formada por la antena de RX trunking de aquí se conecta al equipo TTA y baja hacia la parte interna formada por el equipo Polyphaser luego se dirige hacia el equipo CMU y finalmente se conecta al GTR8000, módulo RX.

Para realizar la conexión son necesarios los siguientes accesorios:

TABLA 3.4: Kit Conexión - Línea de Recepción

ACCESORIOS RX
CONECTOR 7/8 "TIPO N masculino
CONECTOR 7/8 "TIPO N FEMENINO POSITIVO STOP C
CONECTOR 1/2 "TIPO N MACHO
CONECTOR 1/2 "TIPO N MACHO
CONECTOR 7/8 " PARA PERCHA DE ACERO, 10 PK
CONECTOR 7/8 "GRIP APOYO PARA LEVANTAR
KIT DE TIERRA PARA 7/8" COAXIAL
ADAPTADOR ANGULAR DE HIERRO MONTAJE 10 PK

Fuente: Manual de instalación GTR8000 ESS

3.2.2.10.3 LÍNEA DE TEST

Sirve para verificar el correcto funcionamiento de la línea de recepción, está formado por el equipo TTA, el Polyphaser y el equipo CMU.

Para realizar la conexión son necesarios los siguientes accesorios:

TABLA 3.5: Kit Conexión –Línea Test

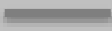





ACCESORIOS TEST
TIPO DE CONECTOR N MACHO PS PARA 1/2 EN LDF4-50A
TIPO DE CONECTOR N MACHO PS PARA 1/2 EN LDF4-50A
RF SUPRESOR 700-1000MHZ
CONECTOR 1/2 "TIPO N MACHO
CONECTOR 1/2 "TIPO N MACHO
KIT 1/2 SEGURO DE TIERRA
ADAPTADOR ANGULAR DE HIERRO MONTAJE 10 PK

Fuente: Manual de instalación GTR8000 ESS

3.2.2.11 CABLEADO

Los cables que hacen parte del sistema GTR ESS para un sitio de repetición trunking Motorola deben contar con las características eléctricas de amperaje y de transmisión óptima de radio frecuencia para el adecuado funcionamiento del sistema, en la tabla siguiente se detallan los cables a utilizar en el diseño.

TABLA 3.6: Cables de Conexión radio troncalizada

Tipo	Categoría	Normativa	Cantidad (m)
UTP	5e		200
Cable AVA 6-50 Helix	1 ¼"		100
Cable AVA 5-50 Helix	7/8"		120
Cable LDF4-50 Helix	½"		100
Cable FSJ4-50 Superflex	½"		120
Cable Coaxial	RG58		100

Fuente: Adaptado del Manual de instalación GTR8000 ESS Motorola

Cada uno de estos cables que se eligió deben estar conectados de acuerdo al diagrama ubicado en el sistema radio frecuencia de transmisión y recepción, además se debe instalar los conectores nuevos en cada una de las puntas del cable.

Posteriormente cuando ya estén ubicados los conectores se debe realizar las pruebas de certificación del cable, esto incluye principalmente la verificación de continuidad, si no existe ningún inconveniente se realiza la instalación dejando seguros los cables con amarras así se tendrá un cableado seguro y estéticamente correcto.

Todos los cables y conectores deben estar conectados de acuerdo a la siguiente matriz a continuación detallada:

TABLA 3.7: Matriz de conexión de cables GTR8000

DESDE				HACIA		
Equipo	Nombre Puerto	Tipo Conector	Tipo Cable	Equipo	Nombre del Puerto	Tipo de conector
ANTENA TX	ANT PORT	NM	LDF4-50A Heliac ½"	LINEA 1/14"	N/A	DIN M 7/16
Jumper Ant. TX	Parte inferior	DIN H 7/16	AVA 6-50 Heliac 1-1/4"	POLYPHASER 01 TX	SURGE	DIN H 7/16
POLYPHASER TX	PROTECTED	DIN M 7/16	LDF4-50A Heliac ½"	GTR8000 ESS 01	TX	DIN M 7/16
ANTENA RX	ANT PORT	NM	LDF4-50A Heliac ½"	TTA	ANT	NM
TTA	MAIN	NM	AVA 5-50 Heliac 7/8"	POLYPHASER 01 RX	SURGE	NH
POLYPHASER RX	PROTECTED	NM	FSJ4-50 Superflex 1/2"	CMU	TRANS	NM
CMU	RF OUT	NM	FSJ4-50 Superflex ½"	GTR 8000 ESS 01	BRANCH A	N M
TTA	TEST	NM	LDF4-50A Heliac ½"	POLYPHASER 01 TEST	SURGE	NH
POLYPHASER TEST	PROTECTED	NM	LDF4-50A Heliac ½"	CMU	TEST	NM
GTR 8000 ESS	Gateway A	RJ45 M	UTP Cat. 5e	GGM8000 01	LAN 1	RJ45M
GGM8000 01	LAN 1	RJ45 M	UTP Cat. 5e	Switch	Pto. 1	RJ45M

Fuente: Propia del Autor

3.2.2.12 NORMATIVA

Dentro del cuarto de telecomunicaciones la normativa interna designada para detallar los equipos y el cableado a utilizar en el diseño será la siguiente:



FIGURA 3.16: Normativa para descripción de equipos

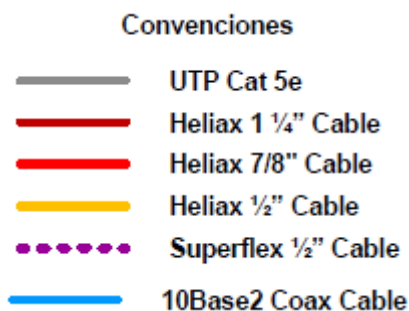


FIGURA 3.17: Normativa para la conexión de cableado

Fuente: Adaptado del Manual de instalación GTR8000 ESS Motorola

3.2.2.13 CONEXIÓN DE EQUIPOS DEL REPETIDOR TRUNKING

El sistema consta de dos partes bien diferenciadas, la parte de la comunicación con otros sitios de repetición remotos junto con el controlador maestro, y la segunda parte la conforma la red troncalizada que está formada del equipo GTR ESS de Motorola.

La comunicación con los otros sitios de repetición está formada por enlaces de radio que están dentro del rango de 5 GHz, frecuencia asignada por la SENATEL a la CNT EP. Región 1 para la realización de la radio troncalizada, este sistema está formado por el radio SIAE AL PLUS2 1RU 1+1 y con la ODU ASN6L SB=1H, este radio se conecta a una antena direccional la cual se encarga de enviar y recibir las señales emitidas por el sitio de repetición hacia el controlador maestro, permitiendo a todos los sitios remotos tener comunicación entre sí.

La segunda parte contiene un repetidor Motorola GTR8000, que se basa en el estándar APCO P25 para seguridad pública adoptada por el Ecuador para todo el sistema integrado de seguridad ciudadana, el repetidor es el administrador de la comunicación de la radio troncalizada dentro de la zona asignada, está conectado hacia un router de sitio GGM8000 que es el encargado de direccionar las peticiones realizadas por los terminales móviles o fijos hacia cualquier lugar de la provincia o del Ecuador si fuese necesario, esto se da previa autenticación y reconocimiento del equipo GTR8000. El router se conecta hacia un switch el cual se enlaza al radio SIAE con la finalidad de enviar la información cuando la comunicación está destinada hacia un terminal de otro sitio remoto o viceversa cuando proviene de otro sitio remoto hacia un terminal local.

Además del repetidor GTR8000 se conecta la parte de radiación del sistema, el cual está formado por la antena de transmisión y recepción, las cuales se conectan a los equipos como el TTA que amplifica la señal que llega a la antena de recepción y al equipo polyphaser que sirve de protección contra sobretensiones de RF.

En los siguientes gráfico se puede observar el diagrama de bloques de cómo están interconectados los equipos del sistema repetidor y su ubicación dentro del cuarto de telecomunicaciones.

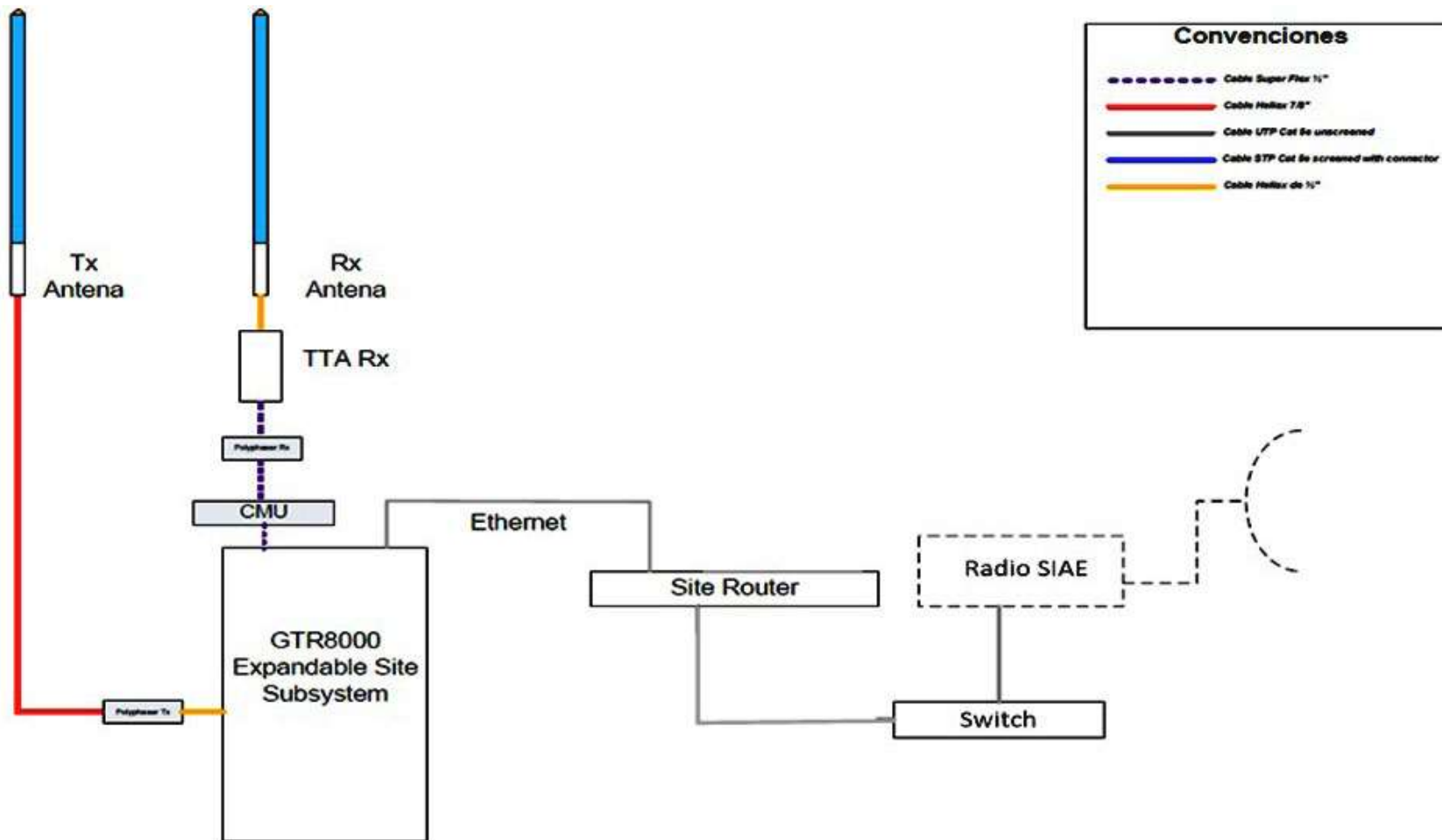
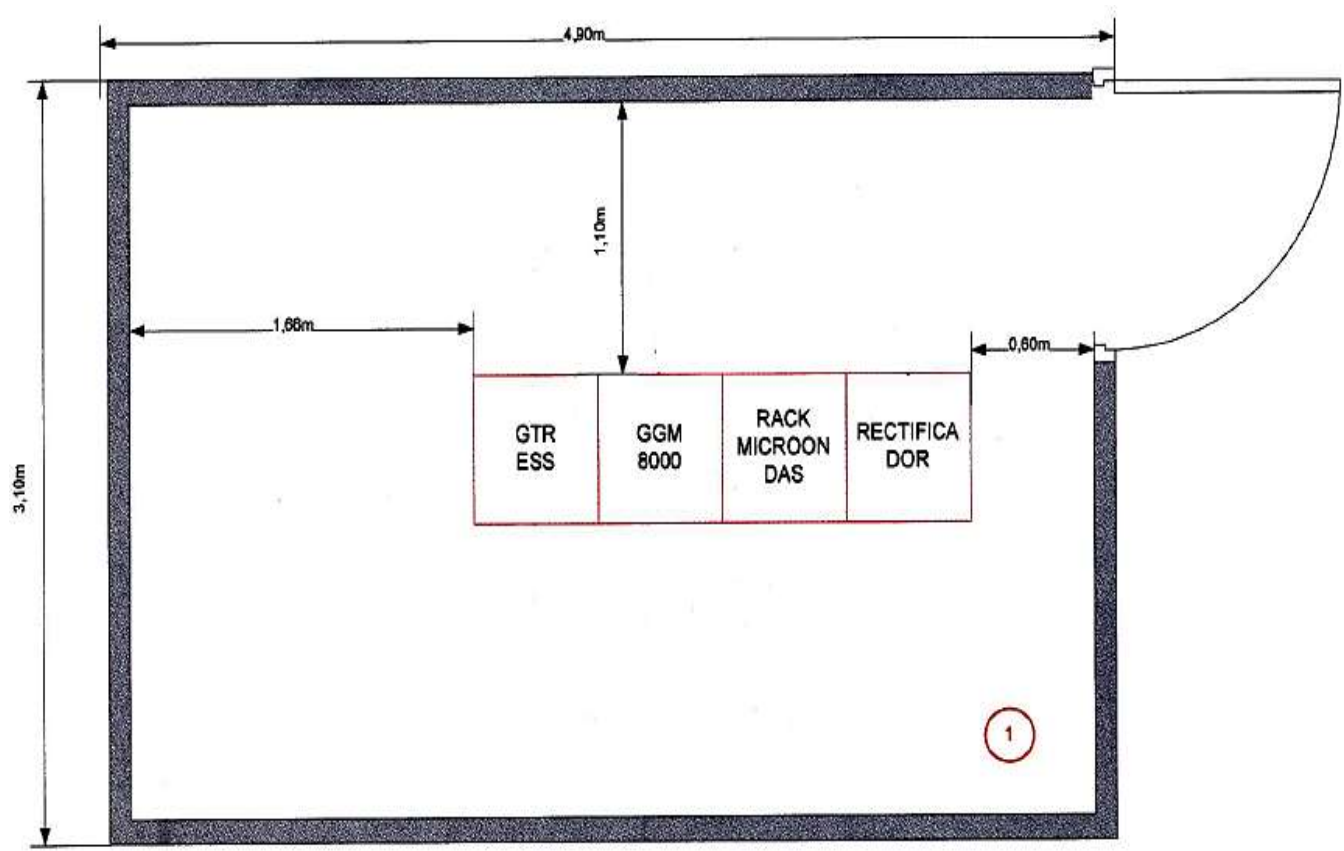


FIGURA 3.18: Diagrama de bloques conexión repetidor trunking

Fuente: Adaptado del Manual de instalación GTR8000 ESS Motorola



Convenciones

- 1 Cuarto Equipos
- ↓ ↓ ↑ ↑ Pasamuros
- / / / / Breaker Baterias
- / / / / Tablero AC entrada
- TVSS
- MGB-I
Master Ground Bar Internal
- MGB-E
Master Ground Bar External
- = = = Lámpara fluorescente
- ❄ A/C
v.o. Aire Acondicionado tipo ventana outdoor 39.2KBTU
- | | | | Escalerilla bajante 20cm
- | | | | Bandeja portacables tipo escalera 40cm
- | | | | Bandeja portacables tipo canastilla 20cm
- | Canaleta 10cm

FIGURA 3.19: Ubicación de equipos – cuarto de telecomunicaciones
Fuente: Adaptado del Manual de instalación GTR8000 ESS Motorola

El rack No. 1 es del equipo troncalizado (GTR ESS 6CH) viene previamente instalado de fábrica con todos los equipos que hacen parte del sistema trunking, en el rack No. 2 (equipos auxiliares) se instala los componentes adicionales del sistema GTR ESS &CH, en nuestro proyecto está previsto para la ampliación a futuro del sistema troncalizado, en el rack No. 3 va a contener equipos del sistema de microondas y finalmente el rack No. 4 está designado para el equipo rectificador.

3.2.3 SISTEMA DE RADIOFRECUENCIA TRONCALIZADA

El sistema de radio frecuencia troncalizado es el encargado de transmitir y recibir las señales de radio entre el repetidor GTR8000 y los equipos terminales móviles, está formado por el sistema de RF transmisor y el RF receptor que trabajan con varios canales de comunicación para brindar un mejor servicio.

3.2.3.1 TRANSMISIÓN TRUNKING RF

El sistema de Transmisión RF empieza por la ANTENNA 806-869 OMNI N-FE, la cual se interconecta mediante el conector N hembra de antena al conector N macho ubicado al extremo del cable de ½" LDF Helix Poly JKT, de la misma manera este se conecta por medio de los conectores hembra y macho DIN7-16 al cable de ¼" AVA6-50, el cual se recomienda ser protegido mediante el uso de manguera corrugada, debido a que en su instalación presenta el recorrido desde la antena hasta el protector POLYPHASER DIN DSXL-D-MA, haciendo el recorrido más largo de todos, alrededor de 15 m por repetidor, este elemento tiene la función de proteger al GTR 8000 de sobretensiones de radio frecuencias que se generan en el proceso de comunicación.

El polyphaser se conecta al GTR 8000 puerto TX a través del conector DIN7-16 y el cable de ½" LDF Helix Poly KKT, a continuación el circuito se conecta la filtro de TX donde se filtra las señales en la frecuencia de 800 MHZ, este a su vez va conectado al arnés CA01058AA permitiendo este elemento conectar 2 combinadores en una sola antena de transmisión, propuesto en nuestro diseño para ampliaciones futuras de todos las repetidoras con más canales de comunicación, finalmente el arnés se conecta al combinador de 6 canales mediante dos conectores hembras DIN 7/16. En el siguiente gráfico se muestra en detalle la conexión del sistema de TX del GTR800 ESS:

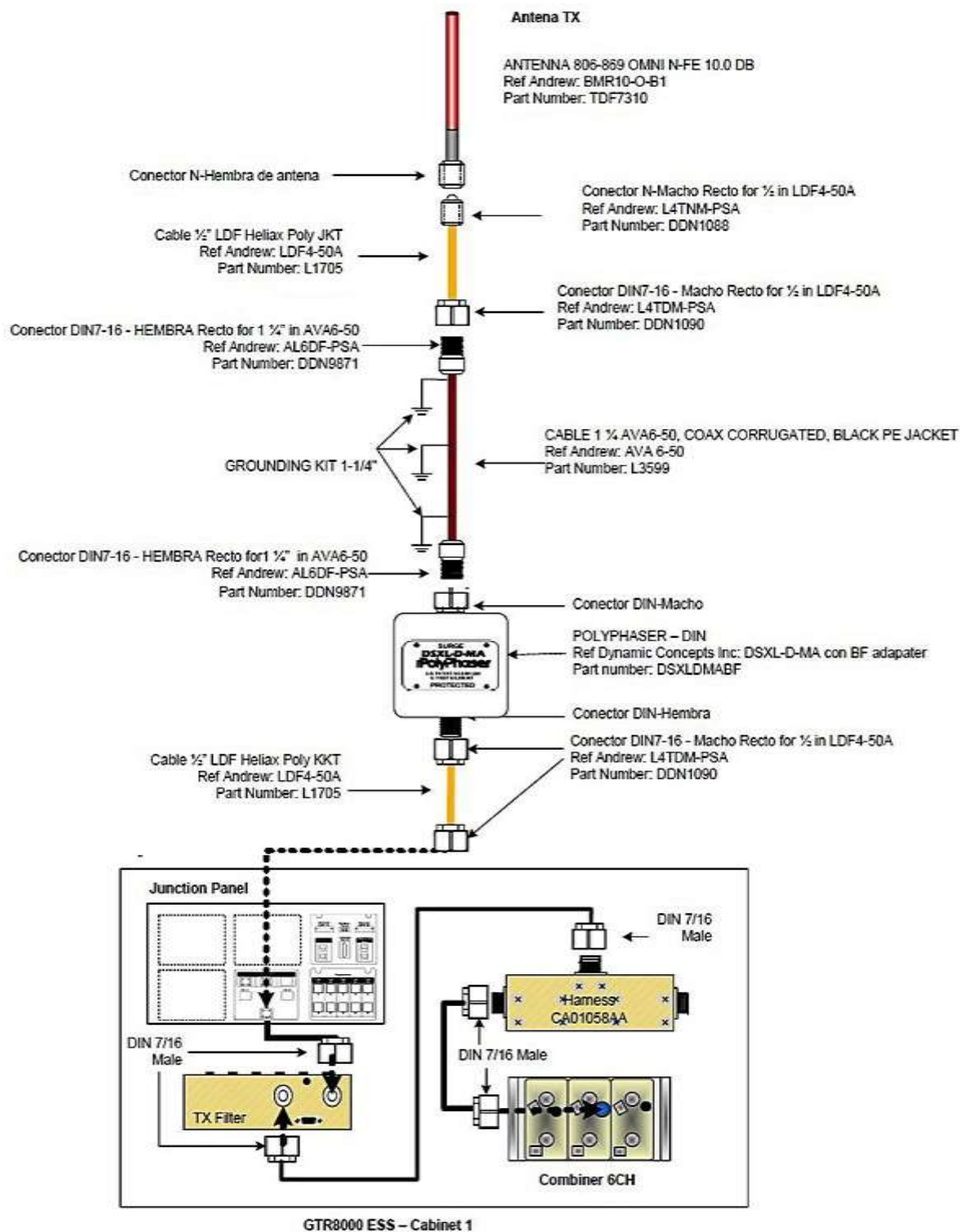


FIGURA 3.20: Sistema de TX troncalizada GTR8000 ESS
Fuente: Adaptado del Manual de instalación GTR8000 ESS Motorola

3.2.3.2 RECEPCIÓN TRUNKING RF

El sistema de radio frecuencia de recepción empieza con la ANTENNA 806-869 OMNI N-FE encargada de recibir las señales, esta se conecta al TTA mediante el cable de ½" LDF Heliax Poly KKT y los conectores N-Macho y hembra recto para cable de ½" LDF4-50a.

El TTA es el COMPACT AUTO QUAD 792-824 MHz, permite amplificar la señal que recibe la antena de los usuarios móviles, está conformado por una entrada y dos salidas, la entrada va conectada a la antena de recepción trunking, la primera salida es la principal donde envía las señales recibidas y la otra sirve para realizar un test que indica a cada instante el correcto funcionamiento del TTA.

La primera salida MAIN y la segunda salida TEST van conectadas a los Polyphaser 109-0501W-a para proteger a los equipos de sobrecargas de RF, estos se conectan a través de Cable Ava Heliax de 7/8" PolyJKT y Cable de ½" LDF Heliax Poly KKT respectivamente. A continuación se conectan al CMU mediante Cable Superflex de ½" con la finalidad de compensar las pérdidas ocasionadas por los cables, conectores y todos los elementos en la línea de recepción, del CMU se conecta al panel del GTR8000 al puerto Branch A mediante el cable superflex de ½" .

En el siguiente gráfico se muestra en detalle la conexión del sistema de RX del GTR800 ESS:

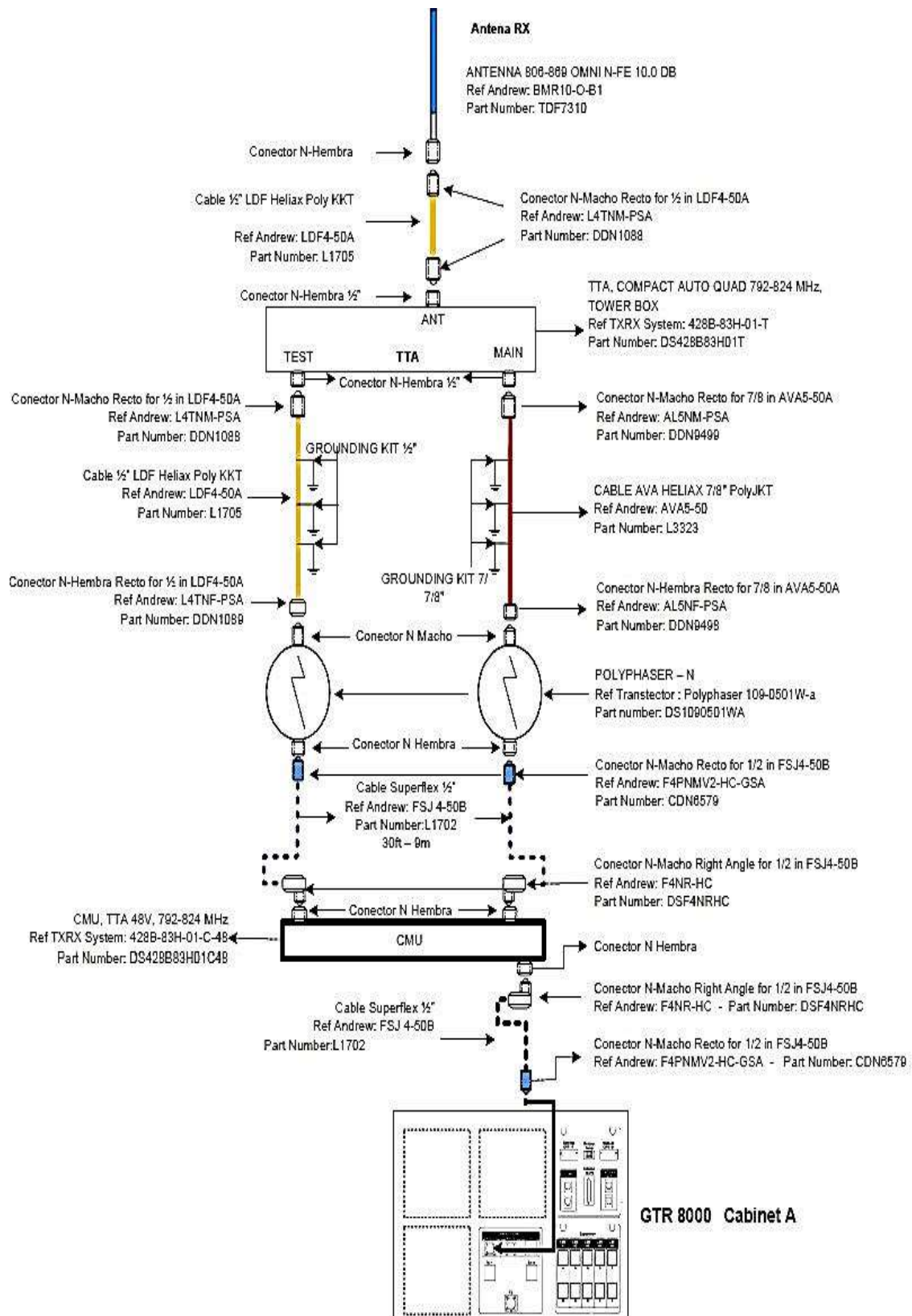


FIGURA 3.21: Sistema de RX troncalizada GTR8000 ESS
Fuente: Adaptado del Manual de instalación GTR8000 ESS Motorola

Los sistemas de radio trunking tanto TX y RX deben instalarse en la torre de transmisiones junto con el cableado de energía y comunicación que deben ingresar al cuarto de telecomunicaciones para conectar los equipos GTR ESS, en la siguiente figura se muestra como queda la arquitectura descrita anteriormente:

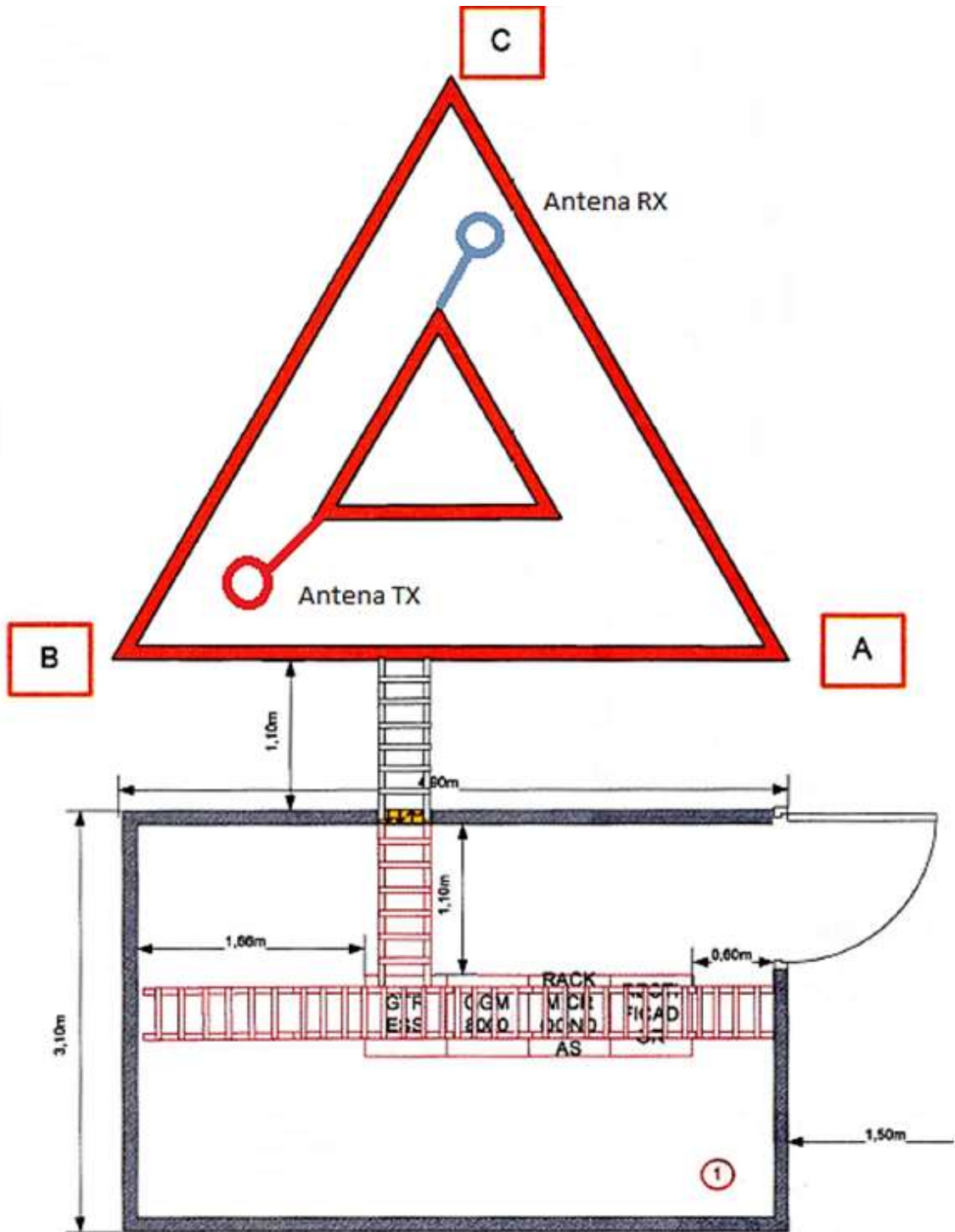


FIGURA 3.22: Arquitectura cuarto de telecomunicaciones y torre de transmisión.

Fuente: Adaptado del Manual de instalación GTR8000 ESS Motorola

2.3.4 ENLACES DE RADIO

La red troncalizada para la provincia de Imbabura cuenta en la actualidad con un sitio de repetición que es el de Cotacachi, debido al incremento de miembros policiales en la provincia y la necesidad de brindar un mejor servicio a la comunidad se plantea ampliar la red con cuatro nuevos sitios remotos troncalizados, estos necesitan incorporarse a la red actual que tiene la policía en otras provincias, para ello es necesario un medio de transmisión que permita enlazar todos los sitios remotos con el controlador maestro.

En el diseño planteado se eligió el medio de transmisión de radio microondas, debido a que se puede transmitir gran cantidad de datos y el precio es bajo con respecto a los otros medios de transmisión.

Todos los sitios de repetición nuevos tienen línea de vista hacia el repetidor Cotacachi, por lo cual no es necesario realizar varios saltos de microondas para enlazarlos con el sitio principal en este caso el repetidor Cotacachi.

3.2.4.1 ENLACE EXISTENTE

Los enlaces de radio existentes son:

Cotacachi – Cruz Loma: Enlace que permite comunicar el sitio remoto existente en Imbabura con el controlador maestro MCZ3000 ubicado en la DNC en Quito, este sitio de repetición trabaja en zona de área extendida, la información que emiten los radios de la policía troncalizada llegan al controlador maestro a través del sitio remoto Cruz Loma.

Las características del enlace que actualmente existen se muestran en el siguiente gráfico:

	COTACACHI	CRUZ LOMA
Elevación (m)	4030	3939.87
Latitud	00 19 57.34 N	00 11 15.40 S
Longitud	078 20 24.57 W	078 32 08.70 W
Azimuth Verdadero (°)	206.96	26.96
Ángulo Vertical (°)	0.44	-0.76
Modelo de Antena	HP4-57W	HP4-57W
Altura de Antena (m)	20.00	20.00
Ganancia de Antena (dBi)	35.00	35.00
Pérdidas Misceláneas (dB)	1.70	1.70
Frecuencia (MHz)	6425.00	
Polarización	Vertical	
Longitud de la Trayectoria (km)	48.54	
Pérdidas de Espacio Libre (dB)	142.04	
Pérdidas de Absorción Atmosférica (dB)	0.42	
Pérdidas Netas del Enlace (dB)	75.86	75.86
Modelo de Radio	RTN 910 16QAM	RTN 910 16QAM
Potencia de Transmisión (w)	0.40	0.40
Potencia de Transmisión (dBm)	26.00	26.00
PIRE (dBm)	59.30	59.30
Designador de Emisor	28M00D7WET	28M00D7WET
Criterio de Umbral de Recepción	BER 10-6	BER 10-6
Nivel de Umbral (dBm)	-79.00	-79.00
Señal Recibida (dBm)	-49.86	-49.86
Margen de Desv. - Térmico (dB)	29.14	29.14
Factor Geoclimático	3.55E-06	
Inclinación del Trayecto (mr)	10.49	
Fade occurrence factor (Po)	6.94E-03	
Temperatura Anual Promedio (°C)	28.00	
Fuera de Servicio del Peor Mes por Multitrayecto (%)	99.99908	99.99908
(sec)	24.24	24.24
Fuera de Servicio Anual por Multitrayecto (%)	99.99965	99.99965
(sec)	109.07	109.07
(% - sec)	99.99931	- 218.15
Región de Precipitación	ITU Region N	
0.01% Intensidad de Lluvia (mm/hr)	95.00	
Margen de Desv. - Plano por Lluvia (dB)	29.14	
Intensidad de Lluvia (mm/hr)	719.70	
Atenuación por Lluvia (dB)	29.14	
Fuera de Servicio Anual por Lluvia (%-seg)	100.00000 - 0.00	
Total Anual (%-seg)	99.99931 - 218.15	

FIGURA 3.23: Enlace Cotacachi-Cruz Loma

Fuente: CNT EP - DNC

3.2.4.1.1 ACTUALIZACIÓN REPETIDOR COTACACHI –CRUZ LOMA

El sistema de microondas existente de la radio troncalizada en Imbabura actualmente consta de un enlace de radio en un rango de frecuencia de 6,4 GHz, formado por una antena Andrew HP4-57W y por un radio RTN 910, de esta manera permite el enlace hacia el sitio maestro a través del repetidor Cruz Loma.

El sistema trunking está formado por dos antenas Harris TX/RX que se conectan al Repetidor Quantar que se encarga de administrar la radio troncalizada mediante el módulo Intellirepeater.

Para el diseño propuesto se necesita instalar en el repetidor de Cotacachi los siguientes equipos nuevos:

TABLA 3.8: Equipos nuevos repetidor Cotacachi

EQUIPO	MARCA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
AL PLUS2 1RU 1+1	SIAE	IDU	1
ODU ASN6L SB=1H	SIAE	ODU	2
TXO-5758-12	TXPRO	Antena omnidireccional	1

Fuente: Propia del Autor

Los equipos nuevos que van hacer instalados en el repetidor Cotacachi deben conectarse al router de sitio, este es el encargado de enrutar las peticiones mediante la asignación de las direcciones IP provenientes de cada sitio remoto nuevo.

Las IP fueron asignadas por la DNC que es la encargada de administrar la red troncalizada a nivel nacional, en la siguiente tabla se muestran las IP²⁰ para la elaboración del proyecto en Imbabura:

TABLA 3.9: IP- sitios remotos trunking

EQUIPOS	SITIOS REMOTOS TRUNKING			
	EL HABRA	CABRAS	CERRO BLANCO	TABACOLOMA
Red IP	10.101.54.0/24	10.101.53.0/24	10.101.52.0/24	10.101.51.0/24
GGM 8000	10.101.54.253/30	10.101.53.253/30	10.101.52.253/30	10.101.51.253/30
Switch	10.101.54.254/30	10.101.53.254/30	10.101.52.254/30	10.101.51.254/30
IDU	10.101.54.50/30	10.101.53.50/30	10.101.52.50/30	10.101.51.50/30
	10.101.54.1/24	10.101.53.1/24	10.101.52.1/24	10.101.51.1/24
	10.101.54.2/24	10.101.53.2/24	10.101.52.2/24	10.101.51.2/24

²⁰ IP: Las Ip asignadas por la Dirección Nacional de Comunicaciones fueron modificadas en la entrega del trabajo de grado, debido a ser un proyecto de seguridad pública no pueden ser conocidas por terceros.

Canales	10.101.54.3/24	10.101.53.3/24	10.101.52.3/24	10.101.51.3/24
	10.101.54.4/24		10.101.52.4/24	
	10.101.54.5/24			
	10.101.54.6/24			

Fuente: Adaptado de la DNC – CNT EP

3.2.4.2 ENLACES NUEVOS

Los enlaces nuevos que van a ser instalados en Imbabura para la nueva red troncalizada son los siguientes:

- Cotacachi – EL Habra
- Cotacachi – Cabras
- Cotacachi – Tabacoloma
- Cotacachi – Cerro Blanco

Todos los enlaces nuevos tienen que converger hacia Cotacachi, este repetidor remoto se encargará de recibir todas las peticiones de comunicación de los radios portátiles de la Policía Nacional en Imbabura, analiza la información de identificación, la procesa y selecciona que tipo de comunicación desea realizar el usuario.

La comunicación dentro de la radio troncalizada va hacer de dos tipos, el primero es interno, si el usuario desea comunicarse dentro de la provincia y el segundo es externo, se realizará la comunicación con otra provincia del país.

En el caso de que la comunicación sea de tipo externa la información del usuario se dirige hacia el controlador maestro MCZ3000, este equipo es el encargado de enviar la información de comunicación hacia otro sitio remoto dentro del país.

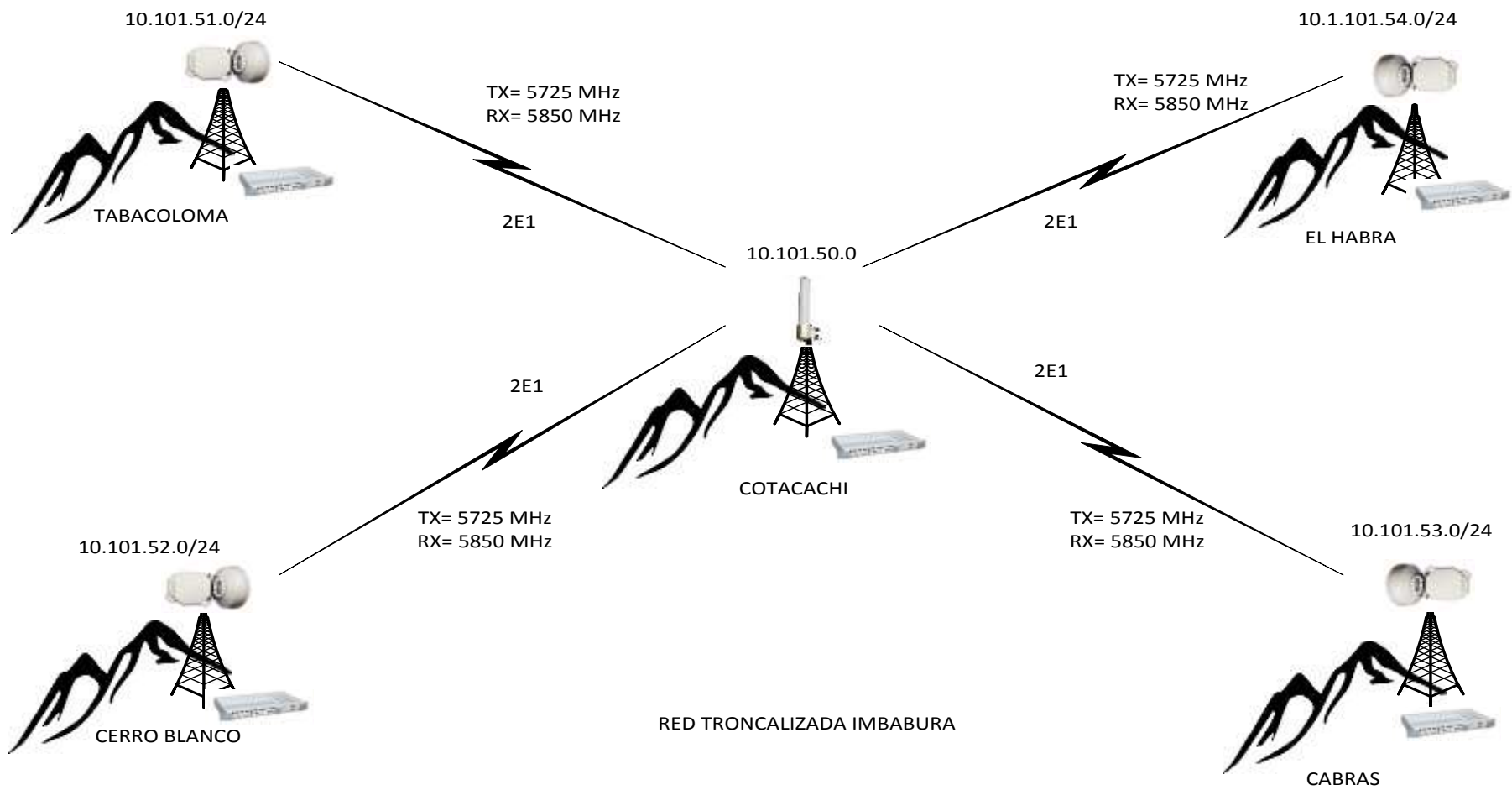


FIGURA 3.24: Enlaces nuevos de microondas

Fuente: Propia del Autor

A continuación se describe cada uno de los radioenlaces microondas nuevos:

3.2.4.2.1 COTACACHI – EL HABRA

La información que se requiere para el diseño del radio enlace es el siguiente:

Sitio A:

TABLA 3.10: Datos geográficos Cotacachi

Nombre	Latitud	Longitud	Altura torre (m)	Elevación (m)
Cotacachi	0° 39' 49,2" N	78° 4' 35,5" O	20	4008

Fuente: Instituto Geográfico Militar

Sitio B:

TABLA 3.11: Datos geográficos El Habra

Nombre	Latitud	Longitud	Altura torre (m)	Elevación (m)
El Habra	0° 19' 57,3" N	78° 20' 24,6" O	20	3466

Fuente: Instituto Geográfico Militar

Para ingresar las coordenadas de los sitios que elegimos se usa mapas digitales mediante el software Radio Mobile, obteniendo la ubicación exacta de los sitios mencionados.

En siguiente gráfico se muestra la ubicación de los sitios dentro de los mapas digitales.

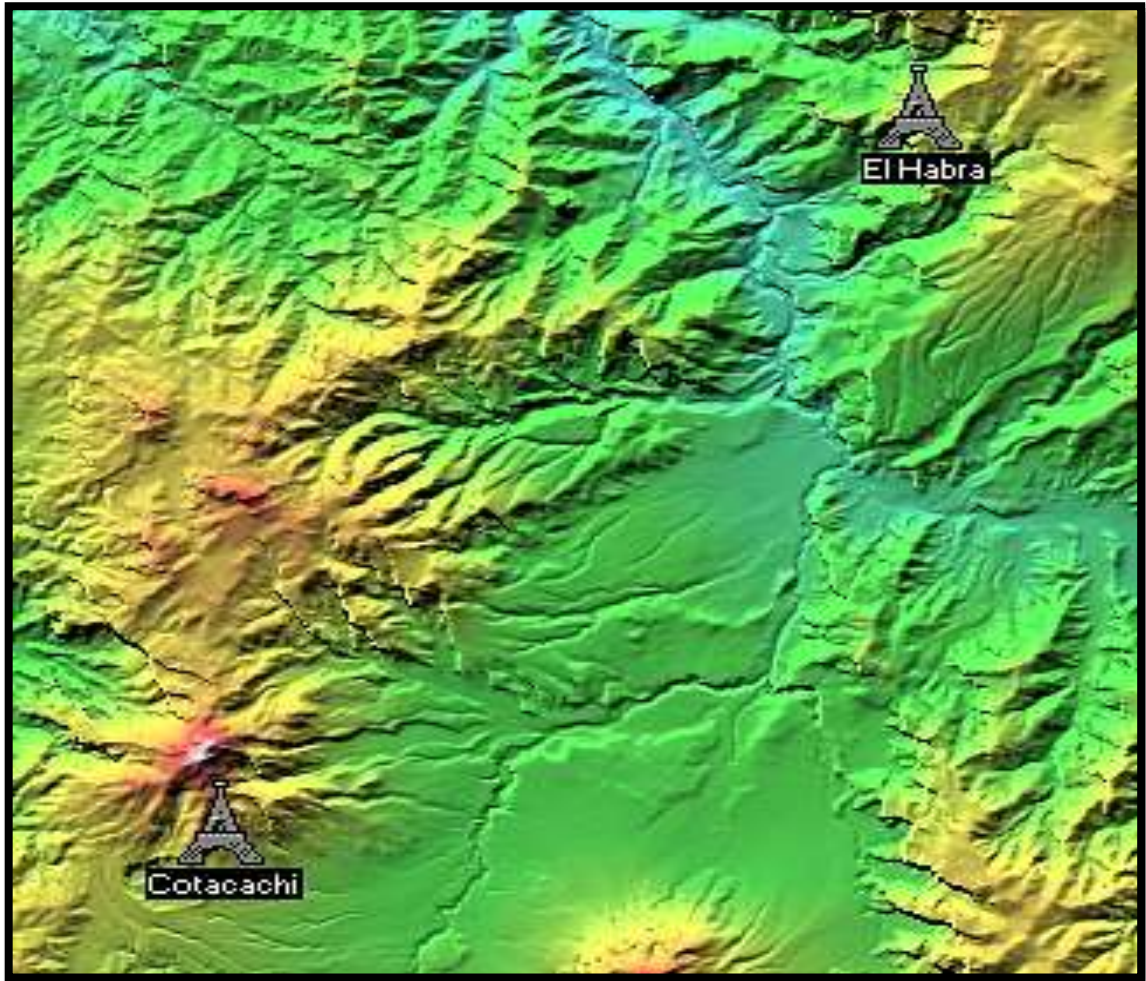


FIGURA 3.25: Ubicación coordenadas enlace Cotacachi – El Habra

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

Los parámetros para el enlace Cotacachi – El Habra que posee el diseño, son tomados de las características de los equipos que se escogió con antelación, la finalidad es brindar las características óptimas de transmisión, los valores son los siguientes:

TABLA 3.12: Parámetros de configuración enlace Cotacachi – El Habra

Parámetro	Referencia
Frecuencia de Operación	5725 MHz a 5780 MHz
Polarización	Vertical
Clima	Continental templado
Refractividad Superficie	300
Conductividad del suelo	0,005

Permitividad relativa del suelo	15
Potencia de Tx	60 W
Umbral receptor	7,8 uV
Perdidas de la línea TX	1 db
Ganancia Antena	12 dbi
Tipo Antena	Omnidireccional
Altura antena	20 m
Modulación	4 – 256 QAM

Fuente: Propia del Autor

Al momento que se ingresa los parámetros de la tabla anterior dentro del software Radio Mobile se obtiene los siguientes resultados del enlace.

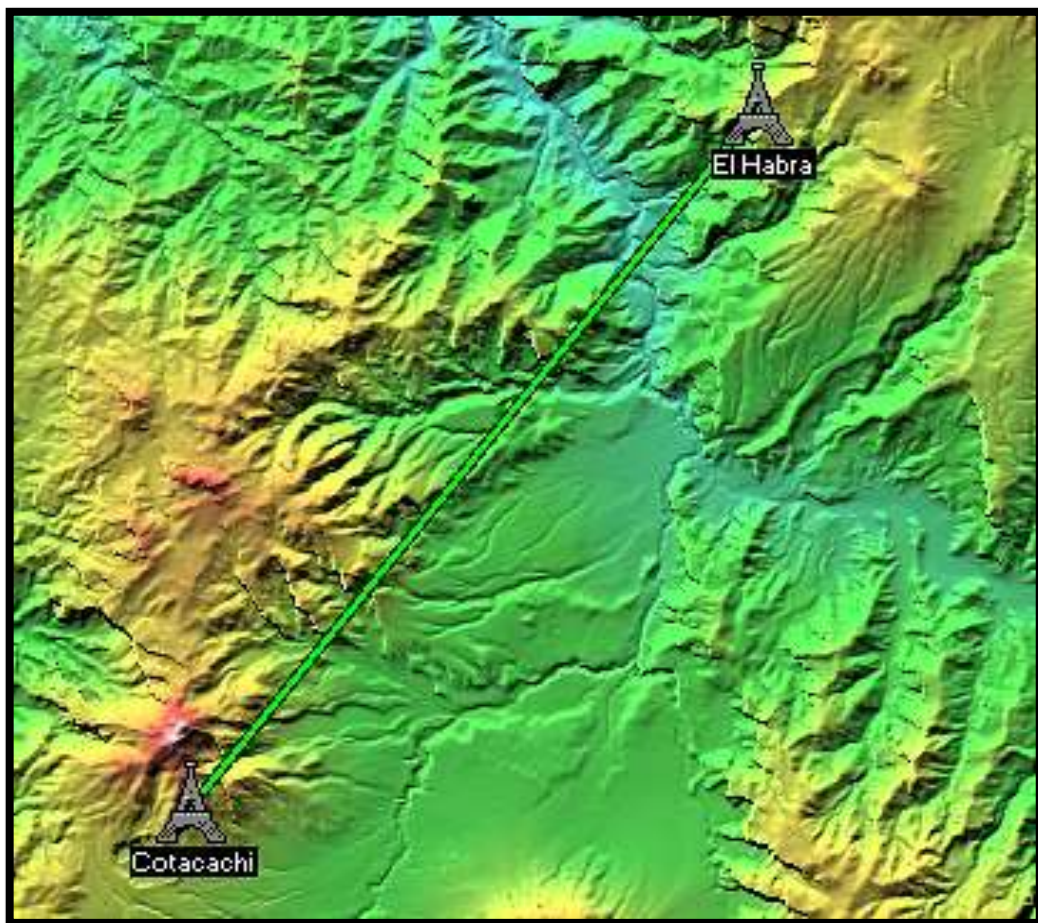


FIGURA 3.26: Enlace Cotacachi – El Habra

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

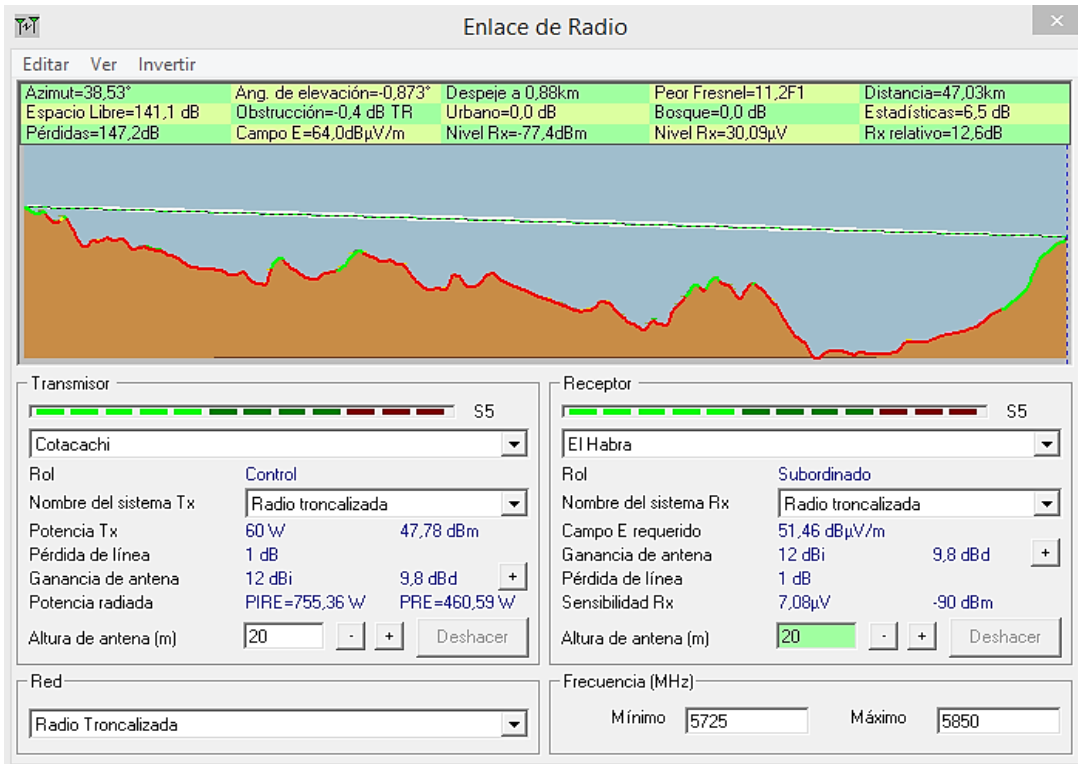


FIGURA 3.27: Enlace Cotacachi – El Habra
Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

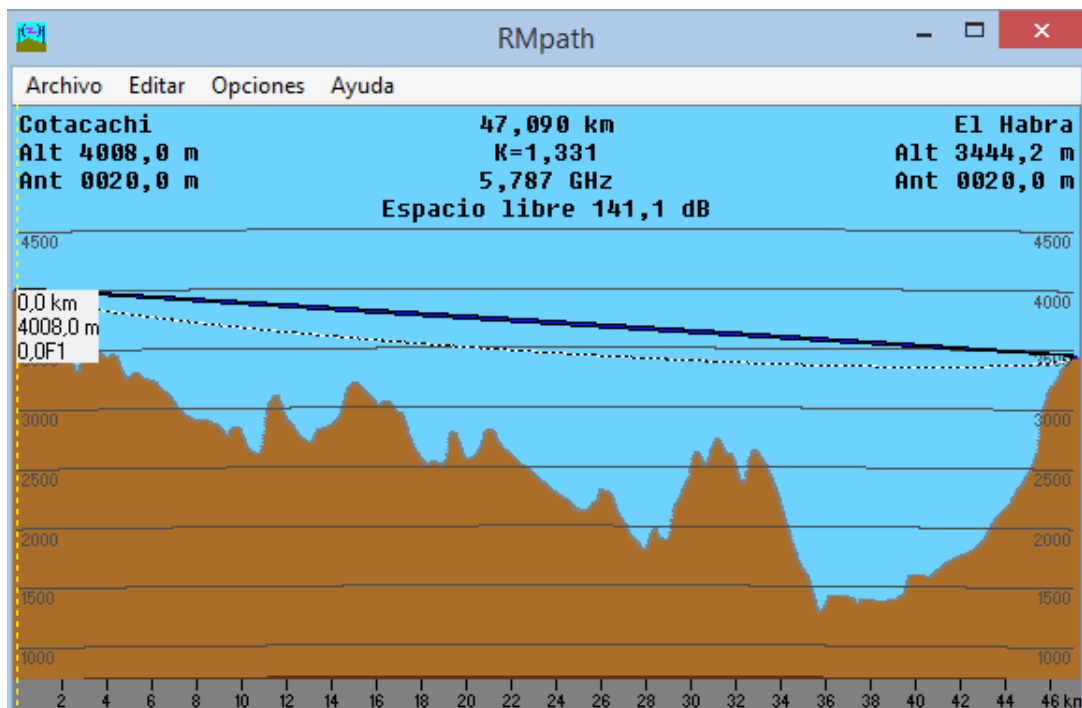


FIGURA 3.28: Enlace Cotacachi- El Habra, despeje de la primera zona de Fresnel
Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

El resultado del radio enlace obtenido con los parámetros anteriores establecidos es el siguiente:

TABLA 3.13: Resultado enlace Cotacachi – El Habra

Detalle	Resultado
Azimut	38,53°
Angulo de elevación	0,873°
Distancia	47,090 Km
Espacio Libre	141,1 dB
Nivel de Recepción	-77,4 dBm

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

3.2.4.2.2 COTACACHI - CABRAS

Cotacachi - Cabras

La información que se requiere para el diseño del radio enlace es el siguiente:

Sitio A:

TABLA 3.14: Datos geográficos Cotacachi

Nombre	Latitud	Longitud	Altura torre (m)	Elevación (m)
Cotacachi	0° 39' 49,2" N	78° 4' 35,5" O	20	4008

Fuente: Instituto Geográfico Militar

Sitio B:

TABLA 3.15: Datos geográficos Cabras

Nombre	Latitud	Longitud	Altura torre (m)	Elevación (m)
Cabras	0° 28' 11" N	77° 58' 10,4" O	20	2873

Fuente: Instituto Geográfico Militar

De la misma forma que el enlace anterior para ingresar las coordenadas de los sitios elegidos se usa mapas digitales mediante el software Radio Mobile, obteniendo la ubicación exacta de los sitios mencionados.

En siguiente gráfico se muestra la ubicación de los sitios dentro de los mapas digitales.

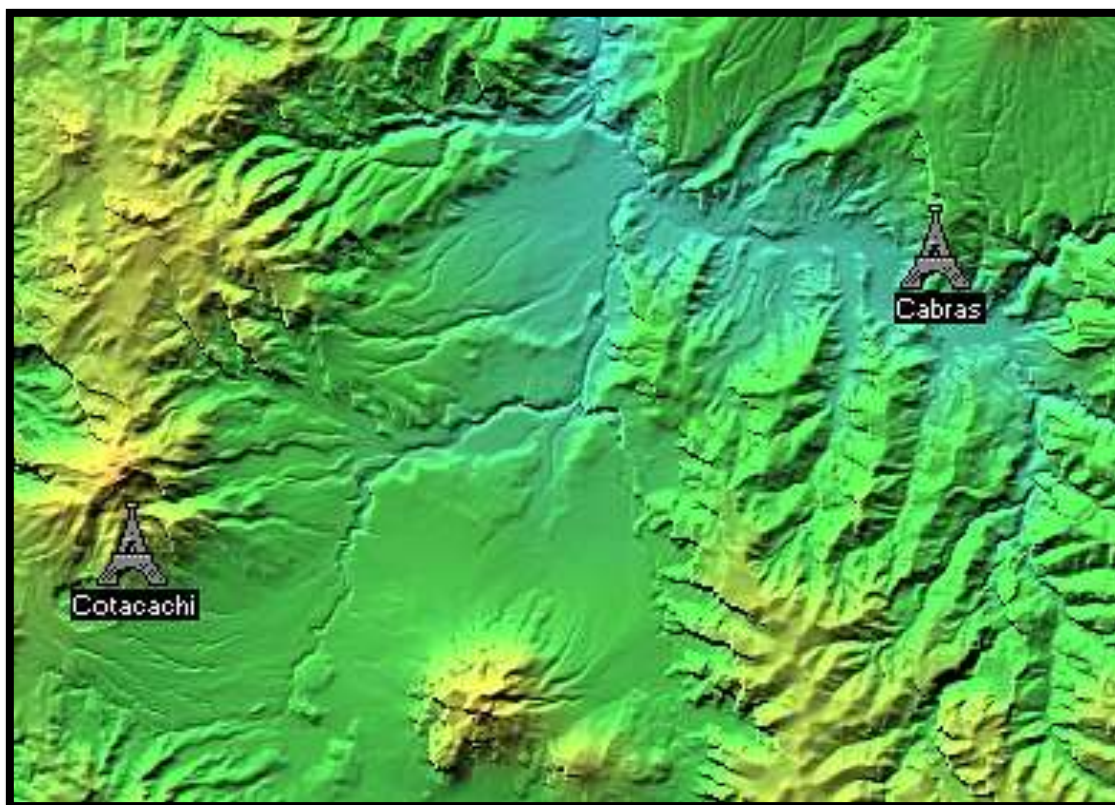


FIGURA 3.29: Ubicación coordenadas enlace Cotacachi – Cabras

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

Los parámetros para el enlace Cotacachi – Cabras que posee el diseño, son tomados de las características de los equipos que se escogió con antelación, la finalidad es brindar las características óptimas de transmisión, los valores son los siguientes:

TABLA 3.16: Parámetros de configuración enlace Cotacachi – Cabras

Parámetro	Referencia
Frecuencia de Operación	5725 MHz a 5780 MHz
Polarización	Vertical
Clima	Continental templado
Refractividad Superficie	300
Conductividad del suelo	0,005
Permitividad relativa del suelo	15

Potencia de Tx	60 W
Umbral receptor	7,8 uV
Perdidas de la línea TX	1 db
Ganancia Antena	12 dbi
Tipo Antena	Omnidireccional
Altura antena	20 m
Modulación	4 – 256 QAM

Fuente: Propia del Autor

Al momento que se ingresa los parámetros de la tabla anterior dentro del software Radio Mobile se obtiene los siguientes resultados del enlace.

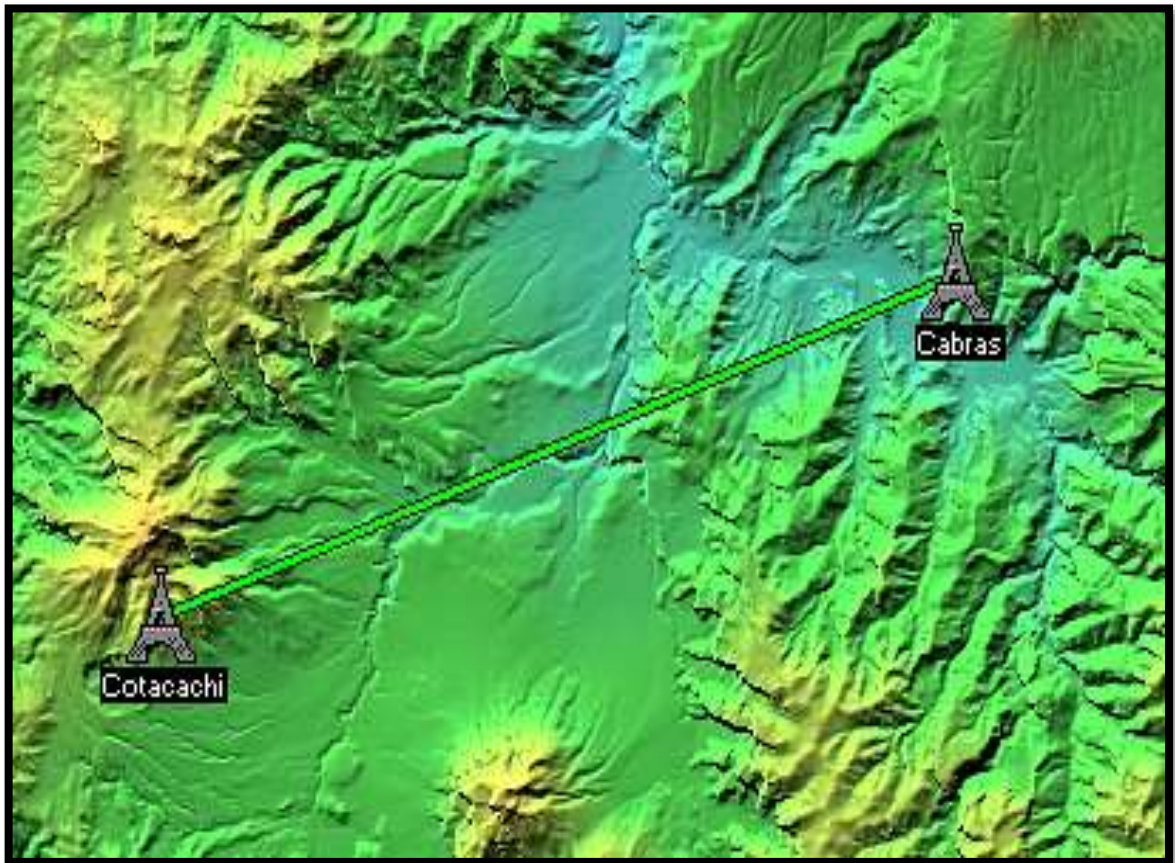


FIGURA 3.30: Enlace Cotacachi – Cabras

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

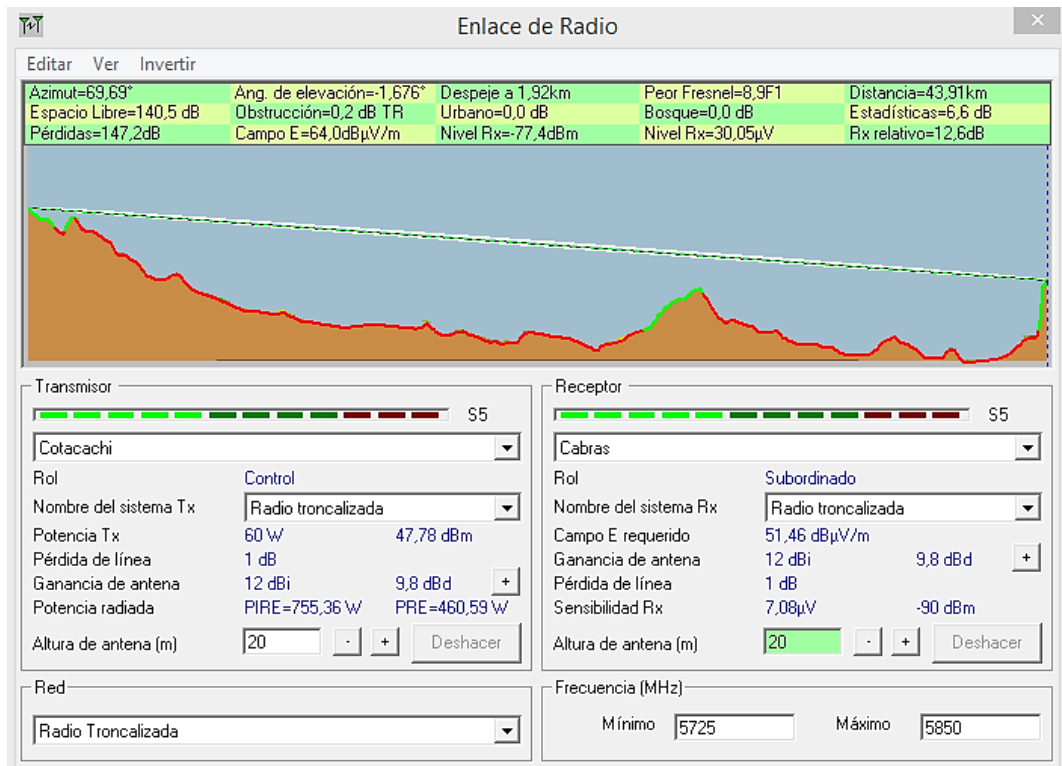


FIGURA 3.31: Enlace Cotacachi – Cabras
Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

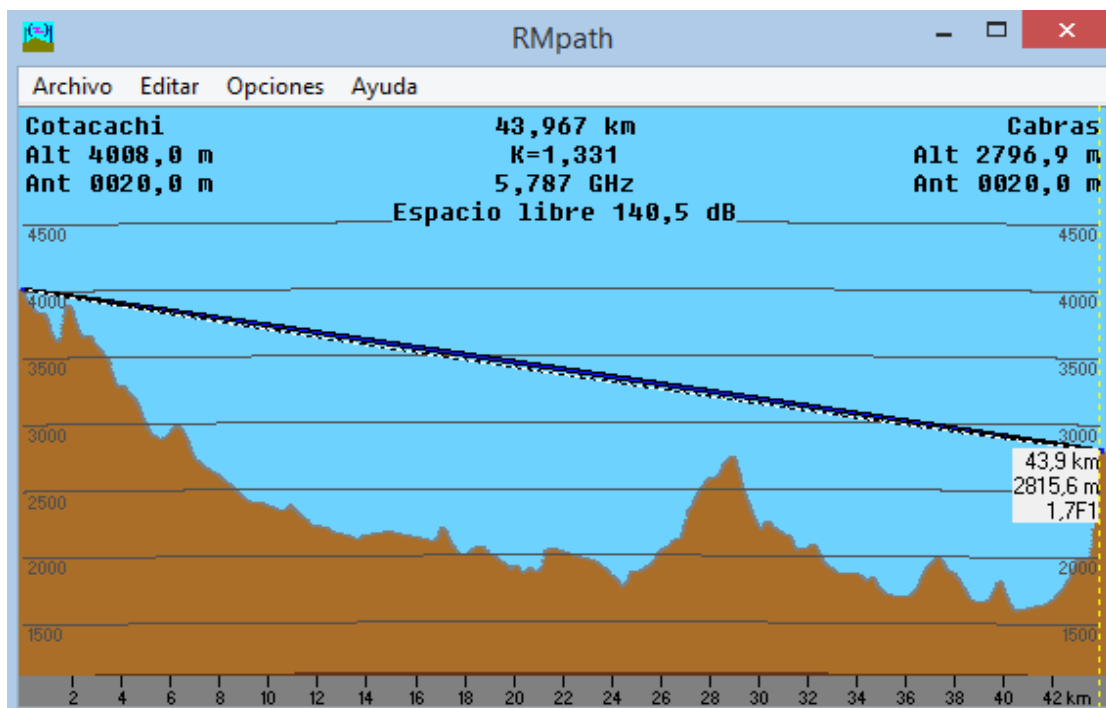


FIGURA 3.32: Enlace Cotacachi- Cabras, despeje de la primera zona de Fresnel
Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

El resultado del radio enlace obtenido con los parámetros anteriores establecidos es el siguiente:

TABLA 3.17: Resultado enlace Cotacachi – Cabras

Detalle	Resultado
Azimut	69,69°
Angulo de elevación	1,676°
Distancia	43,97 Km
Espacio Libre	140,5 dB
Nivel de Recepción	-77,4 dBm

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

3.2.4.2.3 COTACACHI - TABACOLOMA

La información que se requiere para el diseño del radio enlace es el siguiente:

Sitio A:

TABLA 3.18: Datos geográficos Cotacachi

Nombre	Latitud	Longitud	Altura torre (m)	Elevación (m)
Cotacachi	0° 39' 49,2" N	78° 4' 35,5" O	20	4008

Fuente: Instituto Geográfico Militar

Sitio B:

TABLA 3.19: Datos geográficos Tabacoloma

Nombre	Latitud	Longitud	Altura torre (m)	Elevación (m)
Tabacoloma	0° 15' 20,1" N	78° 28' 1,2" O	20	2873

Fuente: Instituto Geográfico Militar

De la misma forma que el enlace anterior para ingresar las coordenadas de los sitios elegidos se usa mapas digitales mediante el software Radio Mobile, obteniendo la ubicación exacta de los sitios mencionados.

En siguiente gráfico se muestra la ubicación de los sitios dentro de los mapas digitales.



FIGURA 3.33: Ubicación coordenadas enlace Cotacachi – Tabacoloma

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

Los parámetros para el enlace Cotacachi – Tabacoloma que posee el diseño, son tomados de las características de los equipos que se escogió con antelación, la finalidad es brindar las características óptimas de transmisión, los valores son los siguientes:

TABLA 3.20: Parámetros de configuración enlace Cotacachi – Tabacoloma

Parámetro	Referencia
Frecuencia de Operación	5725 MHz a 5780 MHz
Polarización	Vertical
Clima	Continental templado
Refractividad Superficie	300

Conductividad del suelo	0,005
Permitividad relativa del suelo	15
Potencia de Tx	60 W
Umbral receptor	7,8 uV
Perdidas de la línea TX	1 db
Ganancia Antena	12 dbi
Tipo Antena	Omnidireccional
Altura antena	20 m
Modulación	4 – 256 QAM

Fuente: Propia del Autor

Al momento que se ingresa los parámetros de la tabla anterior dentro del software Radio Mobile se obtiene los siguientes resultados del enlace.

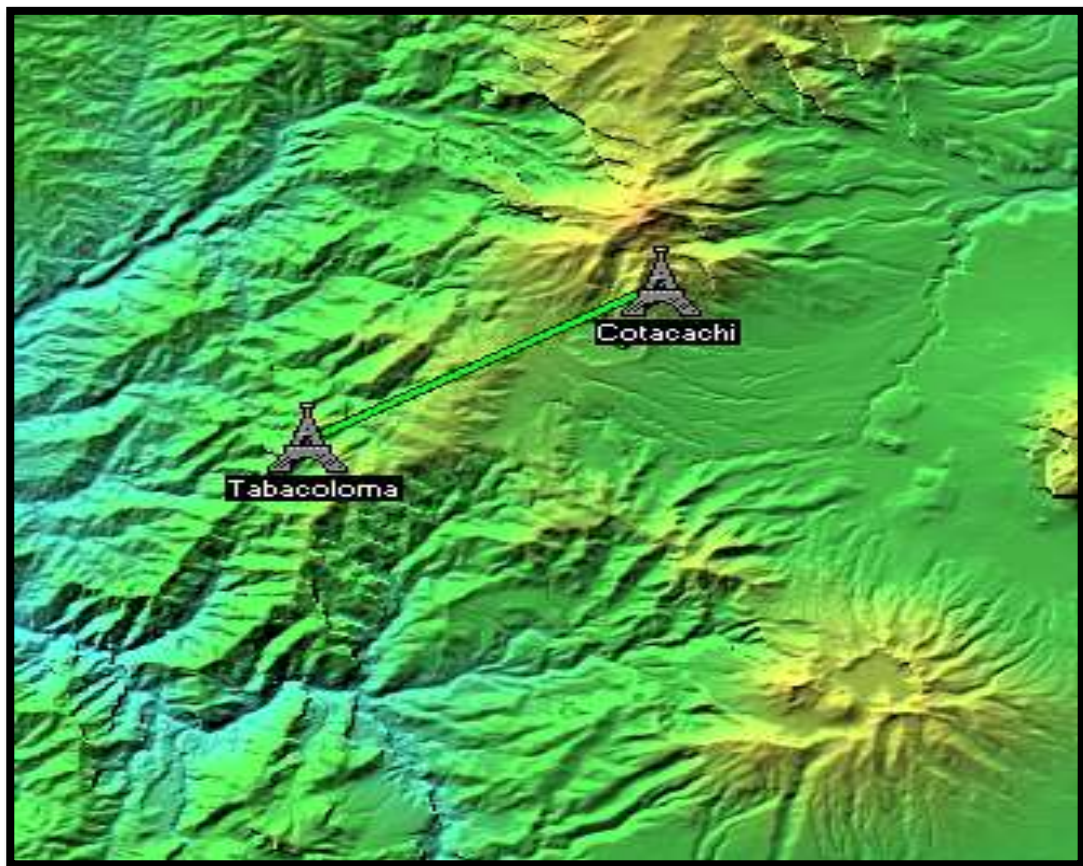


FIGURA 3.34: Enlace Cotacachi – Tabacoloma

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

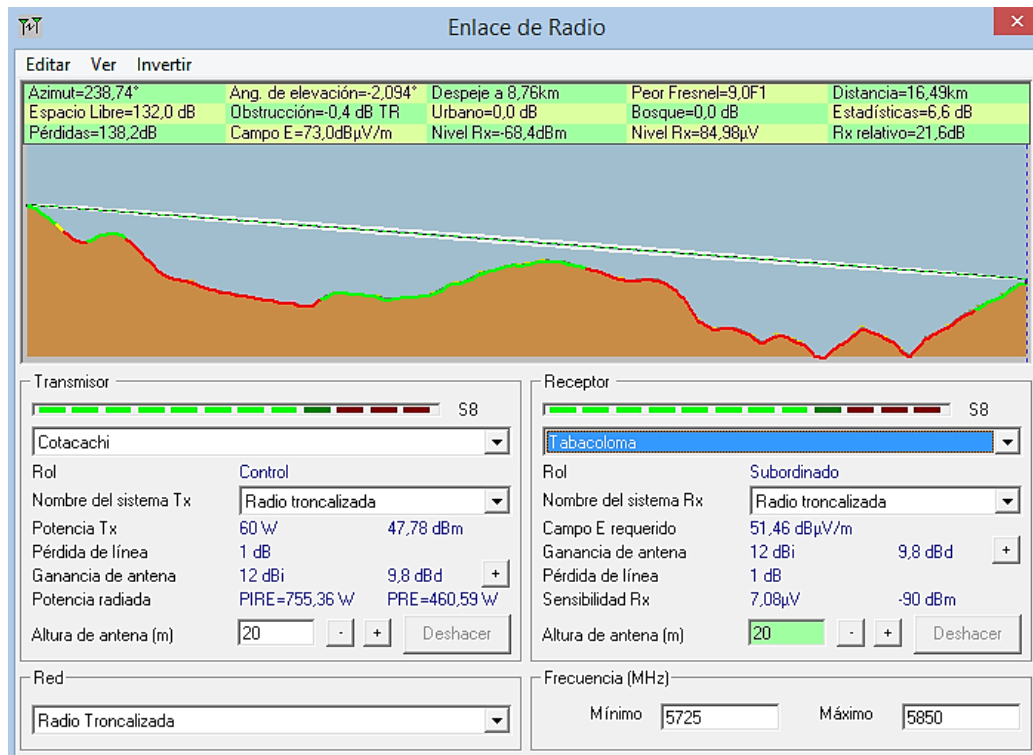


FIGURA 3.35: Enlace Cotacachi – Tabacoloma
Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

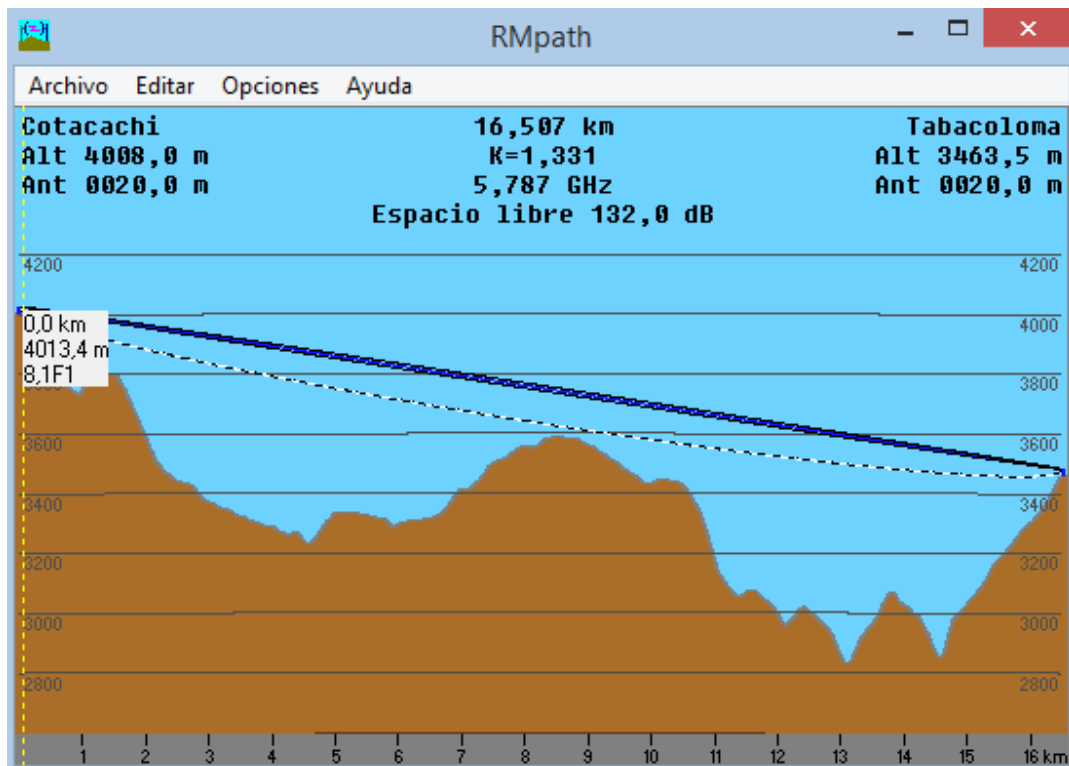


FIGURA 3.36: Enlace Cotacachi- Tabacoloma, despeje de la primera zona de Fresnel
Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

El resultado del radio enlace obtenido con los parámetros anteriores establecidos es el siguiente:

TABLA 3.21: Resultado enlace Cotacachi – Tabacoloma

Detalle	Resultado
Azimut	238,74°
Angulo de elevación	2,094°
Distancia	16,507 Km
Espacio Libre	132 dB
Nivel de Recepción	-68,4 dBm

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

3.2.4.2.4 COTACACHI – CERRO BLANCO

La información que se requiere para el diseño del radio enlace es el siguiente:

Sitio A:

TABLA 3.22: Datos geográficos Cotacachi

Nombre	Latitud	Longitud	Altura torre (m)	Elevación (m)
Cotacachi	0° 39' 49,2" N	78° 4' 35,5" O	20	4008

Fuente: Instituto Geográfico Militar

Sitio B:

TABLA 3.23: Datos geográficos Cerro Blanco

Nombre	Latitud	Longitud	Altura torre (m)	Elevación (m)
Cerro Blanco	0° 12' 34,1" N	78° 20' 16,2" O	20	3529

Fuente: Instituto Geográfico Militar

De la misma forma que el enlace anterior para ingresar las coordenadas de los sitios elegidos se usa mapas digitales mediante el software Radio Mobile, obteniendo la ubicación exacta de los sitios mencionados.

En siguiente gráfico se muestra la ubicación de los sitios dentro de los mapas digitales.

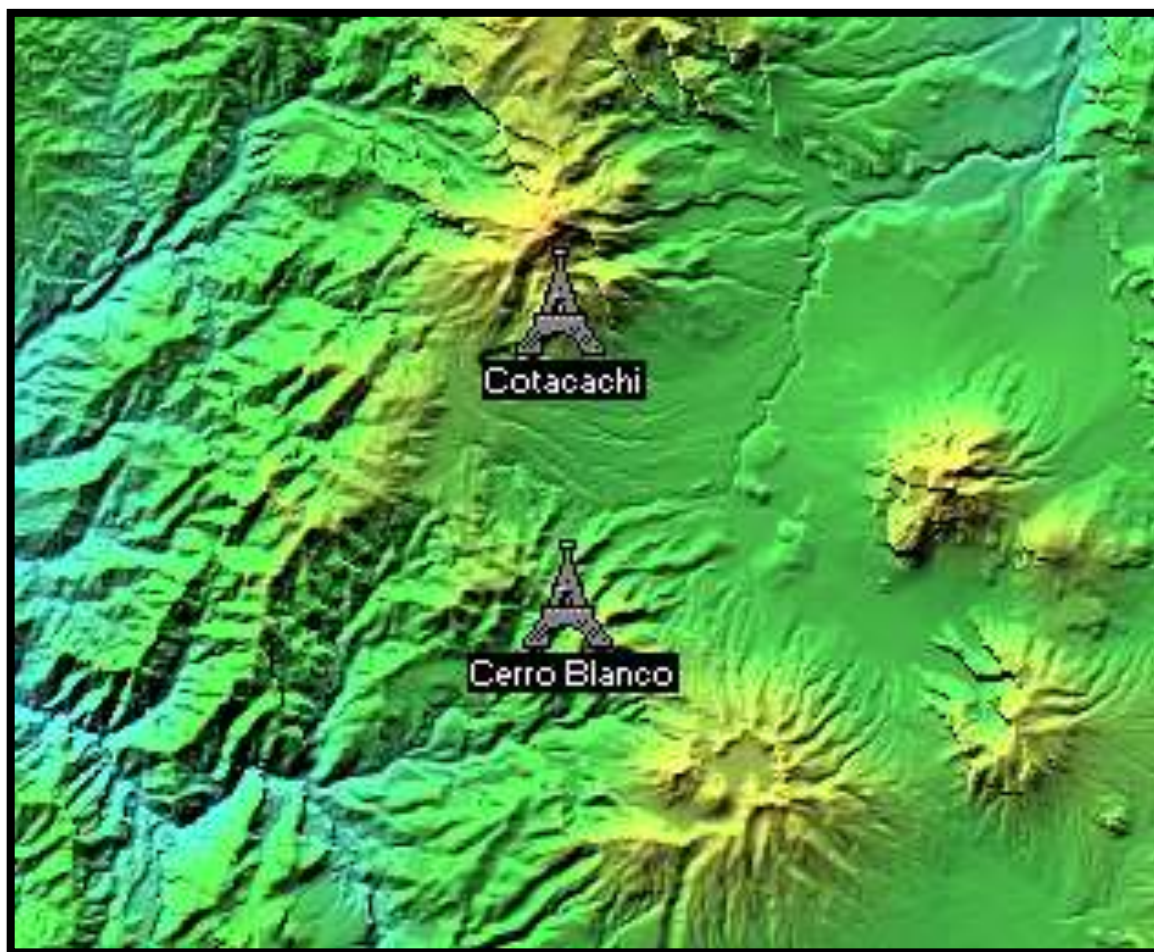


FIGURA 3.37: Ubicación coordenadas enlace Cotacachi – Cerro Blanco

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

Los parámetros para el enlace Cotacachi – Cerro Blanco que posee el diseño, son tomados de las características de los equipos que se escogió con antelación, la finalidad es brindar las características óptimas de transmisión, los valores son los siguientes:

TABLA 3.24: Parámetros de configuración enlace Cotacachi – Cerro Blanco

Parámetro	Referencia
Frecuencia de Operación	5725 MHz a 5780 MHz
Polarización	Vertical
Clima	Continental templado
Refractividad Superficie	300

Conductividad del suelo	0,005
Permitividad relativa del suelo	15
Potencia de Tx	60 W
Umbral receptor	7,8 uV
Perdidas de la línea TX	1 db
Ganancia Antena	12 dbi
Tipo Antena	Omnidireccional
Altura antena	20 m
Modulación	4 – 256 QAM

Fuente: Propia del Autor

Al momento que se ingresa los parámetros de la tabla anterior dentro del software Radio Mobile se obtiene los siguientes resultados del enlace.



FIGURA 3.38: Enlace Cotacachi – Cerro Blanco

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

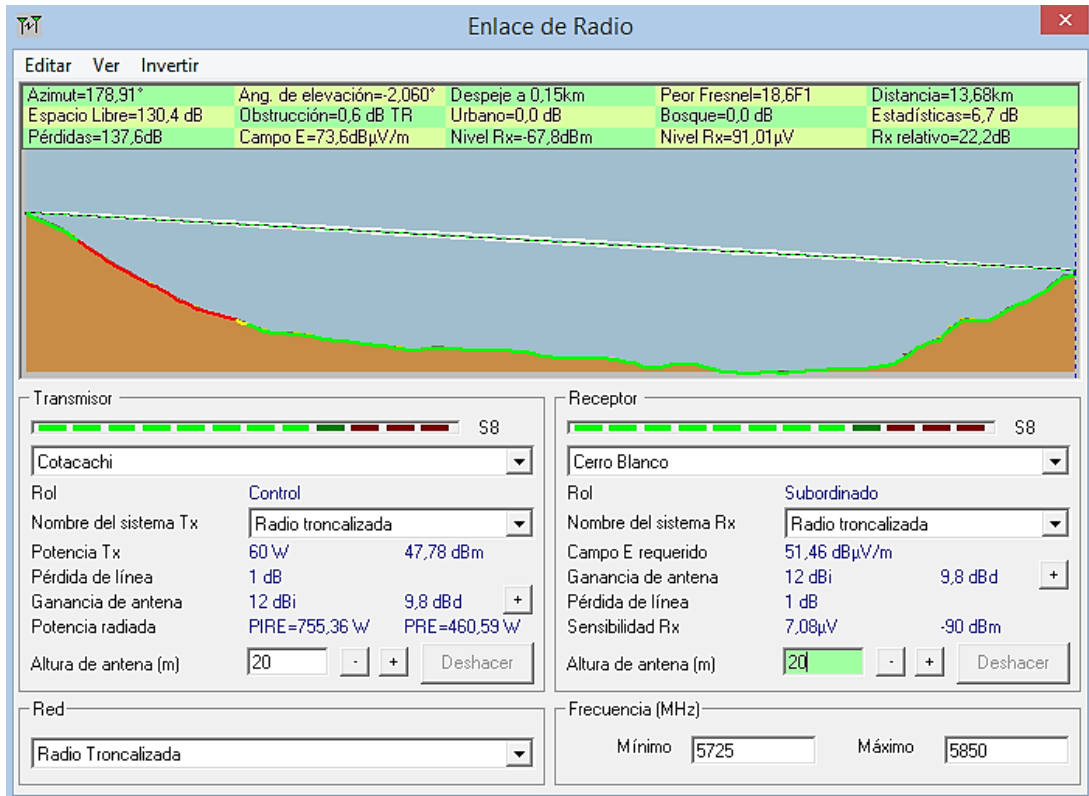


FIGURA 3.39: Enlace Cotacachi – Cerro Blanco

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

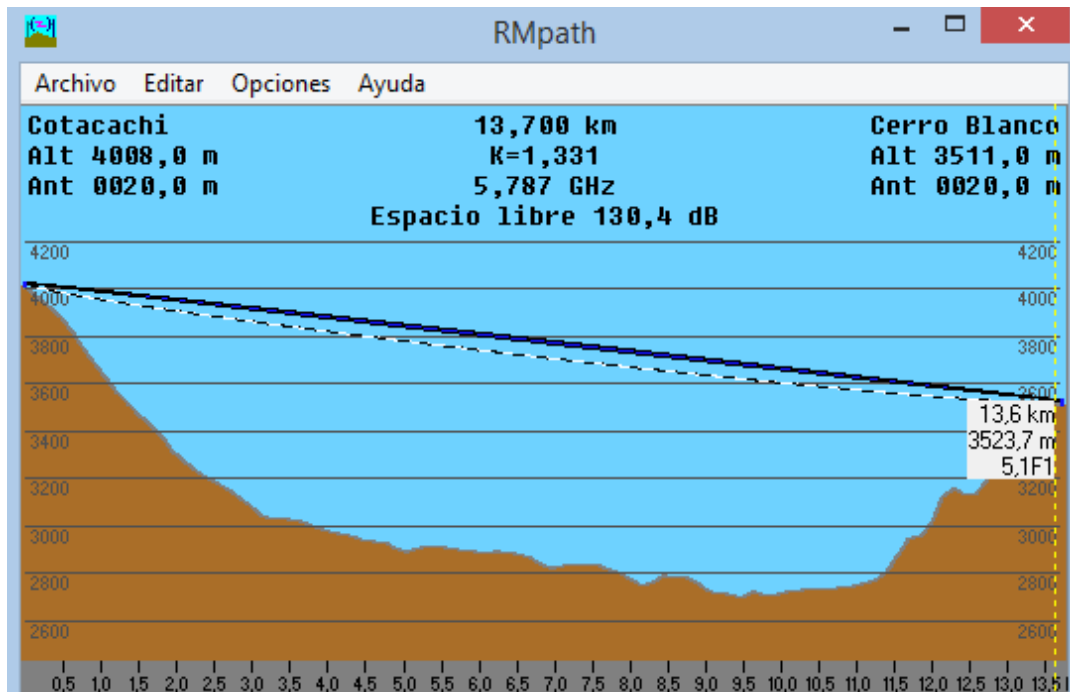


FIGURA 3.40: Enlace Cotacachi- Cerro Blanco, despeje de la primera zona de Fresnel

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

El resultado del radio enlace obtenido con los parámetros anteriores establecidos es el siguiente:

TABLA 3.25: Resultado enlace Cotacachi – Cerro Blanco

Detalle	Resultado
Azimut	178,91°
Angulo de elevación	2,060°
Distancia	13,7 Km
Espacio Libre	130,4 dB
Nivel de Recepción	-67,8 dBm

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

Luego de haber realizado los enlaces para los nuevos sitios repetidores de la radio troncalizada en Imbabura y asociados al repetidor existente, el diseño de la red queda constituida de la siguiente manera.

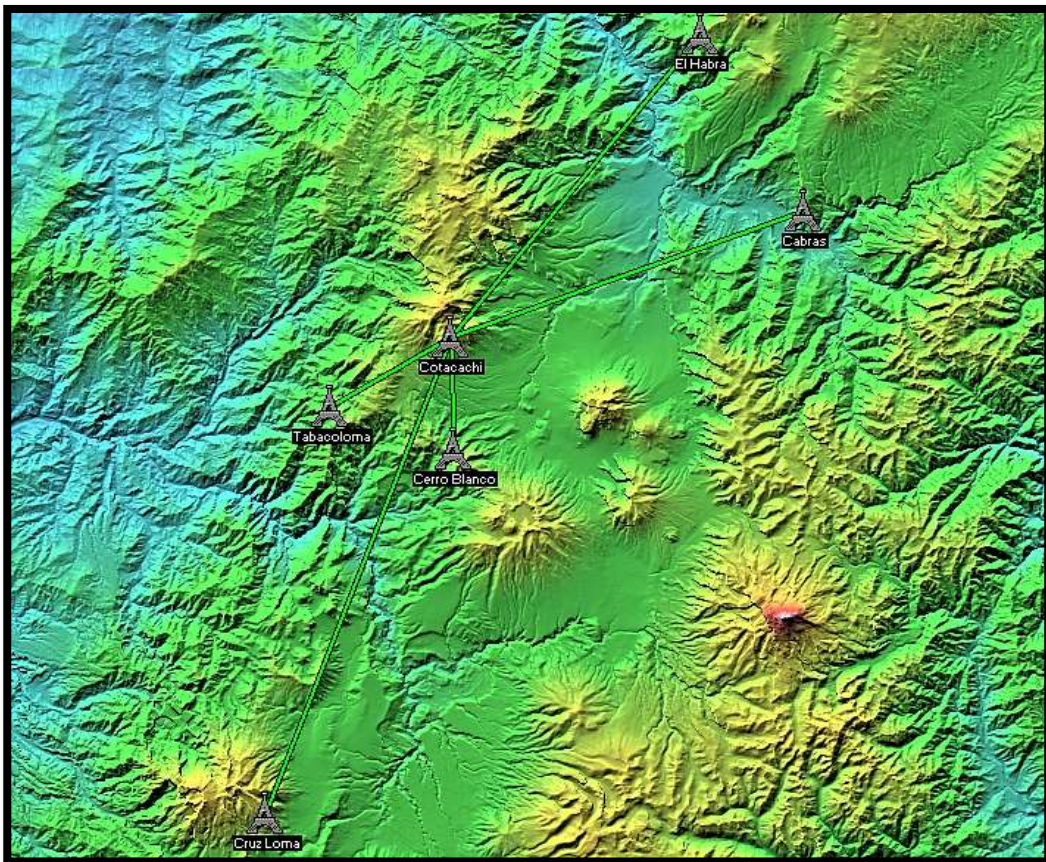


FIGURA 3.41: Enlaces microondas radio troncalizada en Imbabura

Fuente: Modificado de Software Radio Mobile

3.2.5 SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Las estaciones remotas de la radio troncalizada para la provincia de Imbabura entran en la denominación de un sistema de telecomunicaciones crítico, debido a su importancia y la información que va a transmitir la red trunking.

En vista de esta característica el suministro de energía debe tener la confiabilidad necesaria de un sistema de carga crítica, donde la seguridad y disponibilidad eléctrica para el correcto funcionamiento de la estación repetidora esté asegurada, así como la tolerancia a las fallas en casos de emergencia.

3.2.5.1 CÁLCULO DE LA CARGA ELÉCTRICA

La estación remota de la red troncalizada va a consumir las siguientes cargas dentro de su operación en corriente continua y corriente alterna, los valores se presentan a continuación en las siguientes tablas:

TABLA 3.26: Cargas de corriente continúa

Equipo	Voltaje DC	Corriente A
AL PLUS2 1RU 1+1	48	2
ODU ASN6L SB=1H	48	2
CMU 428B-83H-01-C	48	3
GTR 8000 T7054A	48	15
GTR 8000 T7039A	48	69,5
GGM8000	48	2
Switch	48	1,5
Multiacoplador	48	0,5
Total		95,5

Fuente: Propia del Autor

Los equipos del sistema trunking GTR8000 ESS y del sistema de microondas en cada sitio remoto van a consumir 95,5 A en corriente continua, a este consumo hay que añadir que cada sistema tiene más de una unidad T7039A, lo cual llegará a un consumo máximo de 300 A en casos extremos.

TABLA 3.27: Cargas de corriente alterna

Elementos	Cantidad	Consumo unitario (W)	Consumo total (W)
Iluminación interior	2	100	200
Iluminación exterior	2	100	200
Rectificador	1	3200	3200
Baliza	1	100	100
Aire Acondicionado	1	2000	2000
Tomacorrientes	4	300	1200
TOTAL			6900

Fuente: Propia del Autor

El detalle de las instalaciones eléctricas que son necesarias en cada estación repetidora troncalizada muestra que se consumirá 6,9 KW en completo funcionamiento de todos sus servicios, equipos de energía, climatización y alarmas externas.

Para solventar este consumo de energía AC se necesita ubicar un transformador de 15 KVA, quedando un margen de capacidad para futuras instalaciones de ser necesario.

De la misma manera en caso de la energía eléctrica comercial falle se debe tener un respaldo de baterías para que se mantengan en funcionamiento los equipos como fuente de energía asegurada, para esto es necesario contar con un banco de baterías de 1200 A, la carga de los equipos DC es de 95,5 A, lo cual permitirá brindar un respaldo de 12 horas de funcionamiento continuo, hasta solucionar el fallo energético que será prioridad principal y de emergencia en cualquier cantón donde se encuentre el sitio remoto.

Con los valores que se detallan en la tabla 3.25 y 3.26 se escogieron los equipos necesarios para solventar las necesidades de un sistema de telecomunicaciones crítico, como es el de la nueva red troncalizada de Imbabura, en la siguiente tabla se detallan los equipos de energía eléctrica.

3.2.5.2 EQUIPOS DE ENERGÍA

TABLA 3.28: Equipos de energía eléctrica

Equipo	Marca	Modelo
Rectificador	EMERSON	B2AB34806/05051
Módulo rectificador	EMERSON	R48 3200 W
Módulo rectificador	EMERSON	R48 3200 W
Módulo rectificador	EMERSON	R48 3200 W
Módulo rectificador	EMERSON	R48 3200 W
Módulo rectificador	EMERSON	R48 3200 W
Módulo rectificador	EMERSON	R48 3200 W
ACU	EMERSON	M800D
2 BANCOS DE BATERÍAS	NARADA	600 AH
Inversor	COTEK	SR 1000-124
Tablero de Distribución General	Fabricación local	TDG-10
Tablero de Distribución de Equipos	Fabricación local	TDG-10
Transformador	RYMEL TIPO AUTOPROTEGIDO	15 KVA, CSP, 13200/7620V- 13800/7960V-240/120V
SIST. Monitoreo de baterías – SIMBAT	EMERSON	SM-BAT
Aire Acondicionado	LIEBERT	ET0247RP0AT6956

Fuente: Propia del Autor

3.3 SERVICIOS QUE OFRECERÁ LA RED TRONCALIZADA

El servicio que ofrecerá la red troncalizada a los miembros de la Policía Nacional, se basa en funcionalidades propias del protocolo APCO 25 del fabricante Motorola, a continuación se detallan las principales funciones que brinda el equipo GTR8000 ESS.

3.3.1 LLAMADA EN GRUPO

El grupo es el nivel primario de organización para un sistema Troncalizado de radio comunicaciones. Los radios con la capacidad de llamada de grupo serán capaces de comunicarse con otros miembros del mismo grupo. Esto proporciona el efecto de un canal asignado a nivel de grupo. Las llamadas de grupo iniciadas por un usuario de radio sólo serán escuchadas por los usuarios del sistema que tengan seleccionado el mismo grupo. Al igual que con otros tipos de llamadas, las llamadas de grupo se puede realizar desde cualquier parte del sistema.

3.3.2 LLAMADAS PRIVADAS

La llamada privada es una llamada selectiva que permite a un usuario de radio realizar una comunicación uno a uno que sólo puede ser escuchada por las dos partes involucradas. Los radios que reciben una llamada privada emiten tonos de alerta. Al igual que con otros tipos de llamadas, las llamadas privadas se puede realizar desde cualquier parte del sistema.

3.3.3 LLAMADA DE ALERTA

La llamada de alerta es un tono de llamada que permite a un usuario alertar selectivamente otra unidad de radio. El radio que inicio la llamada de alerta recibirá una notificación desde el sistema troncalizado para saber si el llamado fue o no recibido por el radio de destino. Las unidades que reciben un llamado de Alerta sonarán con un tono de alerta. Como en otros tipos de llamadas, las llamadas de alerta se pueden realizar desde cualquier lugar del sistema.

3.3.4 CONTINUIDAD DE ASIGNACIONES

Cuando a una llamada de grupo se le asigna un canal de voz, el controlador del sitio continua transmitiendo la asignación de canal por el canal de control por todo el tiempo que dure la llama de grupo, de modo que los radios que comienzan a entrar en operación en ese grupo se unen a la llamada de grupo automáticamente.

3.3.5 ALARMA Y LLAMADA DE EMERGENCIA, MODO PRIMERO EN LA LISTA DE ESPERA

En situaciones de riesgo para la vida, el miembro de la policía puede utilizar el botón de emergencia del radio para enviar inmediatamente una señal al despachador y será

asignado al próximo canal de voz disponible. Las llamadas de emergencia pueden configurarse para operación primero en la lista de espera (Top of Queue) o para asignación forzada (Ruthless Preemption). Para realizar esto se iniciará una alarma y llamada de emergencia desde un radio móvil, esta señal será recibida por los móviles afiliados en cualquier sitio dentro del sistema.

3.3.6 LLAMADA MULTIGRUPO

Esta característica de trunking permite que un usuario de radio transmita un anuncio a varios grupos en forma simultánea. La llamada multigrupo puede configurarse para modo de espera en la base de datos del Administrador de Configuraciones de Usuario (User Configuration Manager UCM) obligando de esta forma a que todos los grupos asociados finalicen el llamado en curso antes que el sistema trunking procese el llamado multigrupo.

El sistema no permite que los grupos asociados inactivos comiencen llamadas de grupo durante el tiempo de espera. Como en otros tipos de llamadas, las llamadas multigrupo se pueden realizar desde cualquier lugar del sistema.

3.3.7 REAGRUPACIÓN DINÁMICA

A través de la reagrupación dinámica el RCM permite reagrupar a radios que se encuentran en diferentes grupos de llamadas. El reagrupamiento es una herramienta que le permite al supervisor o Administrador del sistema reagrupar diferentes radios que necesiten comunicarse en situaciones especiales.

Cuando el radio recibe el comando de reagrupación, el radio ignorará su selección de llamada de grupo y se moverá a la reagrupación en el grupo de llamada que haya sido definido por este comando. Si el supervisor no ha utilizado el comando LOCK, el usuario de radio puede cambiarse de la reagrupación, seleccionado otro grupo de llamada en el radio.

Si hay radios que están reagrupados y reciben otro comando de reagrupación, estos cambiarán al nuevo grupo de reagrupación y perderán toda la información de la reagrupación anterior. Para volver el radio a operación normal se puede utilizar la cancelación de reagrupación o reverso (Cancel Regroup o Revert).

3.3.8 CANAL DE CONTROL REDUNDANTE

La configuración de un sitio de repetición remoto permite tener un canal de control (GTR 8000) activo con prioridad 1 y un segundo canal con la funcionalidad de entrar a operar como canal de control prioridad 2.

El canal de control uno (BR I) se encuentra siempre activo y transmitiendo, y es el canal de RF para que el controlador de zona y los controladores de sitio se comunican con los usuarios para permitir o no la afiliación al sitio, y asignar un canal de voz al radio que está operando bajo su cobertura.

En el evento de falla del repetidor que opera como canal de control, el segundo canal configurado entrará en operación y asumirá la función de transmitir y recibir la información de control entre los radios y el sistema.

3.3.9 TRONCALIZACIÓN LOCAL

Cuando un sitio pierde comunicación con el sitio maestro, entra en un modo de operación llamado Troncalización Local. Cuando esto sucede, uno de los controladores de sitio toma la tarea de controlador remoto (ACTIVE) y maneja el procesamiento de llamadas y asignación de repetidores en ese sitio.

En este caso los radios asociados con este sitio mantienen comunicaciones troncalizadas en este sitio únicamente. La base de datos utilizada por el sitio es la última recibida del Controlador de Zona ASTRO 25. Los usuarios de radio son informados de este modo de operación mediante un mensaje intermitente en la pantalla del radio indicando "Site Trunking".

CAPÍTULO IV

4 PRUEBAS DE DISEÑO

En este capítulo se realiza las pruebas de funcionamiento mediante los cálculos de disponibilidad de los enlaces de radio, la simulación de la cobertura de la radio troncalizada, junto con la interpretación de los resultados obtenidos.

4.1 DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA DE MICROONDAS

En el capítulo anterior se realizó el diseño de los radioenlaces del sistema de microondas de la red troncalizada en Imbabura, para verificar que los radioenlaces brinden la disponibilidad correcta en su funcionamiento se realizará los cálculos correspondientes de cada enlace para probar su operatividad.

4.1.1 FÓRMULAS DE DISPONIBILIDAD DEL ENLACE

Las fórmulas que permiten demostrar la correcta disponibilidad del sistema microondas son las que a continuación se van a detallar en los siguientes subtemas.

4.1.1.1 PÉRDIDA DEL ESPACIO LIBRE: L_{EL} (DB)

PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE = $32,5+20*\text{LOG}$ (FRECUENCIA DEL ENLACE1)+ $20*\text{LOG}$ (LONGITUD DEL ENLACE1)

$$L_{el}(dB) = 32,5 + 20 \log f (MHz) + 20 * \log d (km)$$

Ecuación 4.1: Perdidas del espacio libre

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking. Madrid: Editorial Síntesis.

Dónde:

f es la frecuencia del enlace

d es la longitud del enlace

4.1.1.2 PÉRDIDAS EN LA LÍNEA DE TX: L (DB)

PERDIDAS EN LA LÍNEA DE TX=LONGITUD DE LA LÍNEA DE TX DEL ENLACE1 * LONGITUD DE LA LÍNEA DE TX DEL ENLACE2/100+ PERDIDAS EN LA LÍNEA DE TX DEL ENLACE1* PERDIDAS EN LA LÍNEA DE TX DEL ENLACE2/100

$$L = \frac{\lambda_1 * \lambda_2}{100} + \frac{L_1 * L_2}{100} \text{ (dB)}$$

Ecuación 4.2: Pérdida en la línea de Tx

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking. Madrid: Editorial Síntesis.

Donde

λ = Longitud de la línea de Tx

L = Pérdida en la línea de Tx

4.1.1.3 PÉRDIDAS TOTALES: L_{TOTAL} (DB)

PERDIDAS TOTALES= PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE + PERDIDAS EN LA LÍNEA DE TX + PERDIDAS EN LOS BRANCHING + PERDIDAS EN RADOMO DE ANTENA + PERDIDAS POR ALINEAMIENTO + PERDIDAS POR OBSTRUCCION + ABSORCIÓN ATMOSFERICA

$$L_{Total} = L_{el} + L + L_{branching} + L_{radomo\ de\ antena} + L_{alineamiento} + L_{obstrucción} \text{ (dB)}$$

Ecuación 4.3: Pérdidas totales

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking. Madrid: Editorial Síntesis.

4.1.1.4 POTENCIA DE TRANSMISIÓN: PT (DB)

POTENCIA DE TRANSMISION =10*LOG (POTENCIA DE TRANSMISION *1000)

$$Pt = 10 * \text{Log}(Pt' * 1000)$$

Ecuación 4.4: Potencia de Tx

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking. Madrid: Editorial Síntesis.

Donde

Pt'= Potencia de transmisión en w

4.1.1.5 GANANCIA DE ANTENAS: GA (DB)

GANANCIA DE ANTENAS=GANANCIA DE ANTENA DEL ENLACE E1+ GANANCIA DE ANTENA DEL ENLACE E2

$$Ga = \text{Ganancia de antena del enlace 1} + \text{Ganancia de antena del enlace 2}$$

Ecuación 4.5: Ganancia de antenas

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking. Madrid: Editorial Síntesis.

4.1.1.6 GANANCIAS TOTALES: GT (DB)

GANANCIAS TOTALES= POTENCIA DE TRANSMISIÓN + GANANCIA DE ANTENAS

$$GT = \text{Potencia de transmisión} + \text{Ganancia de antenas}$$

Ecuación 4.6: Ganancias Totales

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking. Madrid: Editorial Síntesis.

4.1.1.7 NIVEL DE PORTADORA RECIBIDA: N (DBM)

NIVEL DE PORTADORA RECIBIDA= PERDIDAS TOTALES - GANANCIAS TOTALES

$$N = \text{Pérdidas totales} + \text{Ganancias totales}$$

Ecuación 4.7: Nivel de portadora recibida

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking. Madrid: Editorial Síntesis.

4.1.1.8 Margen de desvanecimiento: M (dB)

MARGEN DE DESVANECIMIENTO= NIVEL DE PORTADORA RECIBIDA - UMBRAL DE RECEPTOR

$$M = \text{Nivel de portadora recibida} + \text{Umbral de receptor}$$

Ecuación 4.8: Margen de desvanecimiento

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking. Madrid: Editorial Síntesis.

4.1.1.9 CONFIABILIDAD DEL ENLACE: C (%)

CONFIABILIDAD DEL ENLACE = $(1 - \text{TIPO DE TERRENO} * \text{CLIMA} * 2,5 * 10^{-6}) * (\text{FRECUENCIA DEL ENLACE} / 1000) * \text{LONGITUD DEL ENLACE}^3 * 10^{(-\text{MARGEN DE DESVANECIMIENTO} / 10)}$ * 100

$$C = 1 - T * C * 2,5 * 10^{-6} * \frac{f}{1000} * 3 * d^3 * 10^{-\frac{M}{10}} * 100$$

Ecuación 4.9: Confiabilidad del enlace

Fuente: HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking. Madrid: Editorial Síntesis.

Dónde

T = Tipo de terreno

C = Clima

f = Frecuencia del enlace

d = Longitud del enlace

M = Margen de desvanecimiento

4.1.2 COMPROBACIÓN DE DISPONIBILIDAD DEL ENLACE

Los cálculos correspondientes de la disponibilidad de los enlaces nuevos se realizan mediante las fórmulas de ganancia, pérdida y confiabilidad, para lo cual se recurrirá al software Microsoft Excel.

Esta aplicación informática permite evitar posibles errores de cálculo y una optimización correcta del tiempo en su realización, para lograr esto se ingresa las fórmulas en las hojas de Excel obteniendo un cálculo automático de la disponibilidad de todos los enlaces de manera correcta.

A continuación sea realiza los cálculos de disponibilidad para cada uno de los enlaces nuevos, el resultado obtenido de confiabilidad del enlace mostrará un valor objetivo y verídico de operatividad del sistema de microondas de la red troncalizada.

4.1.2.1 DISPONIBILIDAD ENLACE COTACACHI – EL HABRA

TABLA 4.1: Disponibilidad del enlace Cotacachi – El Habra

**CÁLCULOS DE DISPONIBILIDAD ENLACE DE MICROONDAS
ENLACE: COTACACHI - EI HABRA**

SITIOS DE TX Y RX	Cotacachi	El Habra
LONGITUD	78° 4' 35,5" W	78° 20' 24,6" W
LATITUD	0° 39' 49,2" N	0° 19' 57,3" N
ALTURA DEL TERRENO (mts)	4008	3466
ALTURA DE ANTENAS (mts)	20	20
TIPO DE ANTENA	Omnidireccional	Parabólica
TAMAÑO DE ANTENA (pies)	2	4
GANACIA DE ANTENA (dBi)	12,00	35,00
AZIMUTH DE LA ANTENA (°)	38,53	218,53
INCLINACION DE LA ANTENA (°)	-0,873	0,450
TIPO DE LINEA DE TRANSMISION	LDF4-50A	LDF4-50A
LONGITUD DE LA LINEA DE TX (mts)	25	22
PERDIDAS EN LA LINEA DE TX (dB/100m)	1	1
FRECUENCIA DEL ENLACE (MHz)	5725	
LONGITUD DEL ENLACE (Km)	47,03	
PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE	141,10	
PERDIDAS EN LA LÍNEA DE TX	1,00	
PERDIDAS EN LOS BRANCHING (dB)	0,5	
PERDIDAS EN RADOMO DE ANTENA	0	
PERDIDAS POR ALINEAMIENTO	0,2	
PERDIDAS POR OBSTRUCCION	0	
ABSORCION ATMOSFERICA	0	
PERDIDAS TOTALES	142,80	
POTENCIA DE TRANSMISION (W)	60	
POTENCIA DE TRANSMISION (dB)	47,78	
GANANCIA DE ANTENAS (dB)	47,00	
GANANCIAS TOTALES (dB)	94,78	
NIVEL DE PORTADORA RECIBIDA (dBm)	-48,02	
UMBRAL DE RECEPTOR (dBm)	-85	
MARGEN DE DESVANECIMIENTO (dB)	36,98	
TIPO DE TERRENO Parámetro a	0,25	
CLIMA Parámetro b	0,125	
CONFIABILIDAD DEL ENLACE (%)	99,9991	

Fuente: Propia del Autor

4.1.2.2 DISPONIBILIDAD ENLACE COTACACHI – CABRAS

TABLA 4.2: Disponibilidad del enlace Cotacachi – Cabras

CÁLCULOS DE DISPONIBILIDAD ENLACE DE MICROONDAS

ENLACE: COTACACHI - CABRAS

SITIOS DE TX Y RX	Cotacachi	Cabras
LONGITUD	78° 4' 35,5" W	77° 58' 10,4" W
LATITUD	0° 39' 49,2" N	0° 28' 11" N
ALTURA DEL TERRENO (mts)	4008	2873
ALTURA DE ANTENAS (mts)	20	20
TIPO DE ANTENA	Omnidireccional	Parabólica
TAMAÑO DE ANTENA (pies)	2	4
GANACIA DE ANTENA (dBi)	12,00	35,00
AZIMUTH DE LA ANTENA (°)	38,53	249,7
INCLINACION DE LA ANTENA (°)	-0,873	1,281
TIPO DE LINEA DE TRANSMISION	LDF4-50A	LDF4-50A
LONGITUD DE LA LINEA DE TX (mts)	25	22
PERDIDAS EN LA LINEA DE TX (dB/100m)	1	1
FRECUENCIA DEL ENLACE (MHz)	5725	
LONGITUD DEL ENLACE (Km)	43,91	
PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE	140,51	
PERDIDAS EN LA LÍNEA DE TX	1,00	
PERDIDAS EN LOS BRANCHING (dB)	0,5	
PERDIDAS EN RADOMO DE ANTENA	0	
PERDIDAS POR ALINEAMIENTO	0,2	
PERDIDAS POR OBSTRUCCION	0	
ABSORCION ATMOSFERICA	0	
PERDIDAS TOTALES	142,21	
POTENCIA DE TRANSMISION (W)	60	
POTENCIA DE TRANSMISION (dB)	47,78	
GANANCIA DE ANTENAS (dB)	47,00	
GANANCIAS TOTALES (dB)	94,78	
NIVEL DE PORTADORA RECIBIDA (dBm)	-47,43	
UMBRAL DE RECEPTOR (dBm)	-85	
MARGEN DE DESVANECIMIENTO (dB)	37,57	
TIPO DE TERRENO Parámetro a	0,25	
CLIMA Parámetro b	0,125	
CONFIABILIDAD DEL ENLACE (%)	99,9993	

Fuente: Propia del Autor

4.1.2.3 DISPONIBILIDAD ENLACE COTACACHI – TABACOLOMA

TABLA 4.3: Disponibilidad del enlace Cotacachi – Tabacoloma

CÁLCULOS DE DISPONIBILIDAD ENLACE DE MICROONDAS

ENLACE: COTACACHI - TABACOLOMA

SITIOS DE TX Y RX	Cotacachi	Tabacoloma
LONGITUD	78° 4' 35,5" W	78° 28' 1,2" W
LATITUD	0° 39' 49,2" N	0° 15' 20,1" N
ALTURA DEL TERRENO (mts)	4008	2873
ALTURA DE ANTENAS (mts)	20	20
TIPO DE ANTENA	Omnidireccional	Parabólica
TAMAÑO DE ANTENA (pies)	2	4
GANACIA DE ANTENA (dBi)	12,00	35,00
AZIMUTH DE LA ANTENA (°)	38,53	58,74
INCLINACION DE LA ANTENA (°)	-0,873	1,945
TIPO DE LINEA DE TRANSMISION	LDF4-50A	LDF4-50A
LONGITUD DE LA LINEA DE TX (mts)	25	22
PERDIDAS EN LA LINEA DE TX (dB/100m)	1	1
FRECUENCIA DEL ENLACE (MHz)	5725	
LONGITUD DEL ENLACE (Km)	16,49	
PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE	132,00	
PERDIDAS EN LA LÍNEA DE TX	1,00	
PERDIDAS EN LOS BRANCHING (dB)	0,5	
PERDIDAS EN RADOMO DE ANTENA	0	
PERDIDAS POR ALINEAMIENTO	0	
PERDIDAS POR OBSTRUCCION	0	
ABSORCION ATMOSFERICA	0	
PERDIDAS TOTALES	133,50	
POTENCIA DE TRANSMISION (W)	60	
POTENCIA DE TRANSMISION (dB)	47,78	
GANANCIA DE ANTENAS (dB)	47,00	
GANANCIAS TOTALES (dB)	94,78	
NIVEL DE PORTADORA RECIBIDA (dBm)	-38,72	
UMBRAL DE RECEPTOR (dBm)	-85	
MARGEN DE DESVANECIMIENTO (dB)	46,28	
TIPO DE TERRENO Parámetro a	0,25	
CLIMA Parámetro b	0,125	
CONFIABILIDAD DEL ENLACE (%)	99,999995	

Fuente: Propia del Autor

4.1.2.4 DISPONIBILIDAD ENLACE COTACACHI – CERRO BLANCO

TABLA 4.4: Disponibilidad del enlace Cotacachi – Cerro Blanco

CÁLCULOS DE DISPONIBILIDAD ENLACE DE MICROONDAS

ENLACE: COTACACHI - CERRO BLANCO

SITIOS DE TX Y RX	Cotacachi	Cerro Blanco
LONGITUD	78° 4' 35,5" W	78° 20' 16,2" W
LATITUD	0° 39' 49,2" N	0° 12' 34,1" N
ALTURA DEL TERRENO (mts)	4008	3529
ALTURA DE ANTENAS (mts)	20	20
TIPO DE ANTENA	Omnidireccional	Parabólica
TAMAÑO DE ANTENA (pies)	2	4
GANACIA DE ANTENA (dBi)	12,00	35,00
AZIMUTH DE LA ANTENA (°)	38,53	358,91
INCLINACION DE LA ANTENA (°)	-0,873	1,937
TIPO DE LINEA DE TRANSMISION	LDF4-50A	LDF4-50A
LONGITUD DE LA LINEA DE TX (mts)	25	22
PERDIDAS EN LA LINEA DE TX (dB/100m)	1	1
FRECUENCIA DEL ENLACE (MHz)	5725	
LONGITUD DEL ENLACE (Km)	13,68	
PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE	130,38	
PERDIDAS EN LA LÍNEA DE TX	1,00	
PERDIDAS EN LOS BRANCHING (dB)	0,5	
PERDIDAS EN RADOMO DE ANTENA	0	
PERDIDAS POR ALINEAMIENTO	0,2	
PERDIDAS POR OBSTRUCCION	0	
ABSORCION ATMOSFERICA	0	
PERDIDAS TOTALES	132,08	
POTENCIA DE TRANSMISION (W)	60	
POTENCIA DE TRANSMISION (dB)	47,78	
GANANCIA DE ANTENAS (dB)	47,00	
GANANCIAS TOTALES (dB)	94,78	
NIVEL DE PORTADORA RECIBIDA (dBm)	-37,30	
UMBRAL DE RECEPTOR (dBm)	-85	
MARGEN DE DESVANECIMIENTO (dB)	47,70	
TIPO DE TERRENO Parámetro a	0,25	
CLIMA Parámetro b	0,125	
CONFIABILIDAD DEL ENLACE (%)	99,999998	

Fuente: Propia del Autor

4.2 COBERTURA DE LA RADIO TRONCALIZADA

Los sitios remotos propuestos en el diseño de la radio troncalizada para la provincia de Imbabura, deben cubrir las áreas propuestas en el diseño descrito en el capítulo tres. Para determinar el área de cobertura en la provincia se va a utilizar el software Radio Mobile, los mapas digitales que presenta permitirá detallar con exactitud la cobertura total dentro de una determinada área.

4.2.1 UBICACIÓN DE LOS ESTACIONES REMOTAS DE LA RADIO TRONCALIZADA

Los sitios de repetición de la red troncalizada para Imbabura se encuentran ubicados en lugares estratégicos, con la finalidad de cubrir todos los sitios que mediante pruebas se determinó que la red no llega efectivamente, debido a su ubicación geográfica y por el complejo sistema montañoso de Imbabura.

TABLA 4.5: Ubicación sitios remotos radio troncalizada

Nombre	Provincia	Ubicación		Altura	Acceso
El Habra	Carchi	0° 39' 49,22" N	78° 04' 35,05" O	3440 m	Vía de tercer orden
Cabras	Carchi	0° 28' 16,77" N	77° 57' 52,09" O	2840 m	Vía de tercer orden
Tabacoloma	Imbabura	0° 15' 20,12" N	78° 28' 1,26" O	3490 m	Vía de tercer orden
Cerro Blanco	Imbabura	0° 12' 34,09" N	78° 20' 16,24" O	3500 m	Vía de tercer orden

Fuente: Instituto Geográfico Militar

En el siguiente gráfico se puede observar la distribución de los sitios remotos dentro de la provincia:



FIGURA 4.1: Distribución de los sitios remotos Imbabura

Fuente: Adaptada de Google Earth

4.2.2 PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN DE LOS SITIOS REMOTOS

Los repetidores trunking van hacer configurados con los siguientes parámetros de acuerdo a la norma técnica para los sistemas troncalizados en el ecuador, estos se detallan a continuación:

TABLA 4.6: Parámetros de configuración sitios remotos

Parámetro	Referencia
Frecuencia de Operación	820 MHz a 869 MHz
Clima	Continental templado
Refractividad Superficie	301
Conductividad del suelo	0,005
Permitividad relativa del suelo	15
Potencia de Tx	50 W
Umbral receptor	0,25 uV
Perdidas de la línea TX	1 db
Ganancia Antena	12,1 dbi
Tipo Antena	Omnidireccional
Altura antena	20 m

Fuente: Propia del Autor

4.2.3 PRUEBAS DE COBERTURA POR SITIO REMOTO

Las pruebas de cobertura se realizan por cada sitio remoto, tomando como referencia las localidades afectadas que se desea cubrir para su análisis respectivo.

4.2.3.1 REPETIDOR EL HABRA

El repetidor el Habra tiene el objetivo de difundir el servicio de la red troncalizada para la Policía Nacional en la zona noroeste de la provincia de Imbabura, donde debe cubrir las siguientes localidades.

4.2.3.1.1 LOCALIDADES SIN COBERTURA

TABLA 4.7: Localidades sin cobertura zona Noroeste

ZONA DE LA PROVINCIA IMBABURA	LUGARES SIN COBERTURA
Noroeste	<ul style="list-style-type: none"> ▪ San Pedro ▪ Tumbez ▪ La Carolina ▪ Jijón y Caamaño ▪ El Oso ▪ El Guadual ▪ Naranjito ▪ Buenos Aires ▪ La Concepción ▪ La Florida ▪ Chinchivi ▪ Lita

Fuente: Pruebas de cobertura radio troncalizada

Para dar solución a los lugares sin cobertura de la red troncalizada se eligió cinco sitios de muestra de la tabla 4.7, los lugares seleccionados se encuentran en zonas geográficas montañosas, siendo los más difíciles de brindar el servicio de radio. Los demás sitios están dentro del rango de cobertura del repetidor el Habra.

TABLA 4.8: Lugares elegidos zona noroeste

Nombre	Ubicación		Altura
La Concepción	0° 36' 18,37" N	78° 7' 33,84" O	1449 m
Buenos Aires	0° 37' 55,53" N	78° 17' 55,38" O	2574 m
El Oso	0° 41' 56,14" N	78° 17' 55,98" O	2439 m
Carolina	0° 47' 25,50" N	78° 17' 37,76" O	859 m
Lita	0° 52' 28,84" N	78° 27' 59,85" O	684 m

Fuente: Instituto Geográfico Militar

Las coordenadas geográficas de cada zona seleccionada tienen que ser ingresados en el software Radio Mobile, junto con los parámetros técnicos de configuración del sitio remoto.

En la figura siguiente se observa el ingreso de todos los repetidores junto con las localidades que no poseen cobertura de red troncalizada.

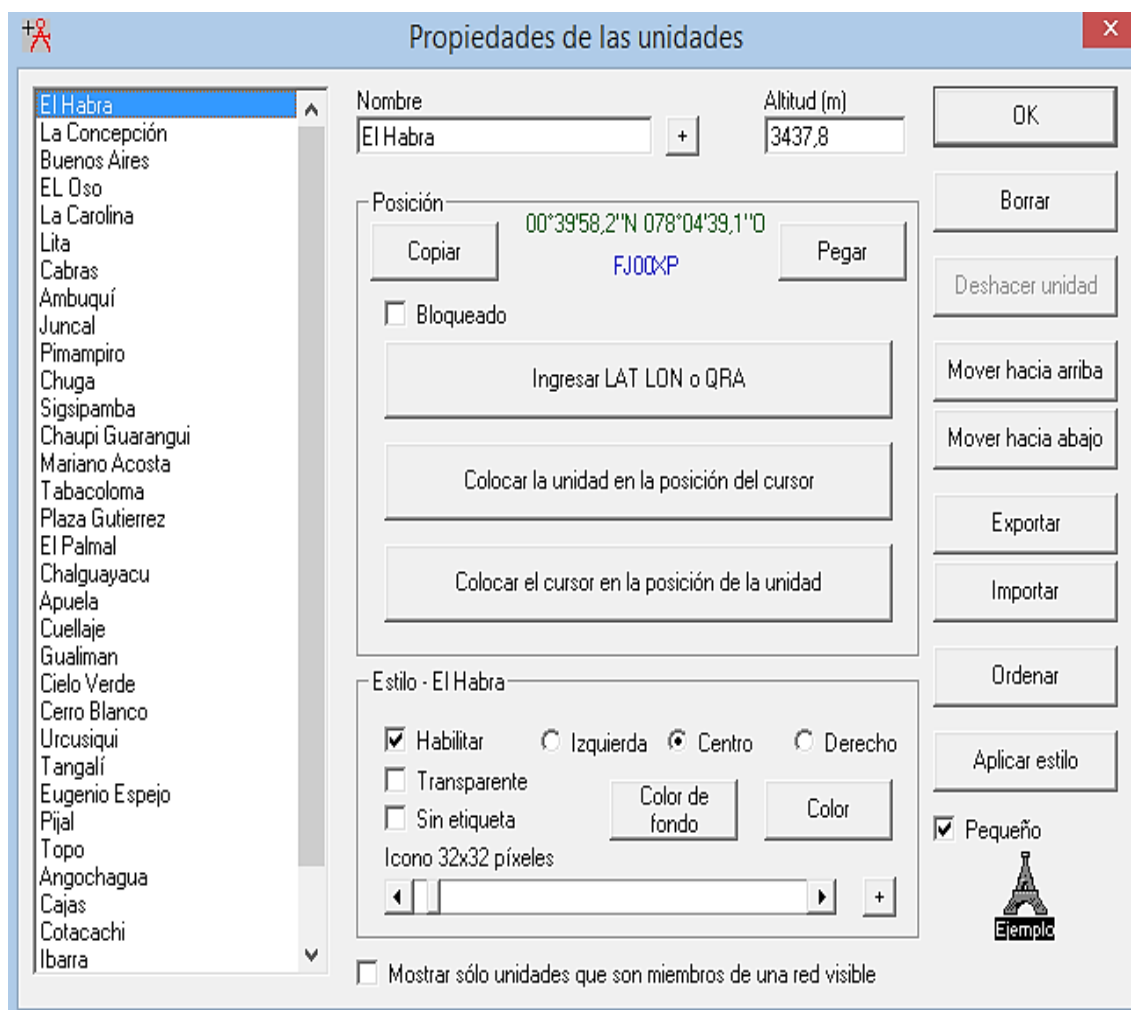


FIGURA 4.2: Ingreso del repetidor el Habra

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

Seguido de haber ingresado las coordenadas del repetidor y los lugares sin cobertura de la zona noroeste de la provincia, se configura la red del repetidor el Habra, con los parámetros técnicos establecidos en la tabla 4.6.

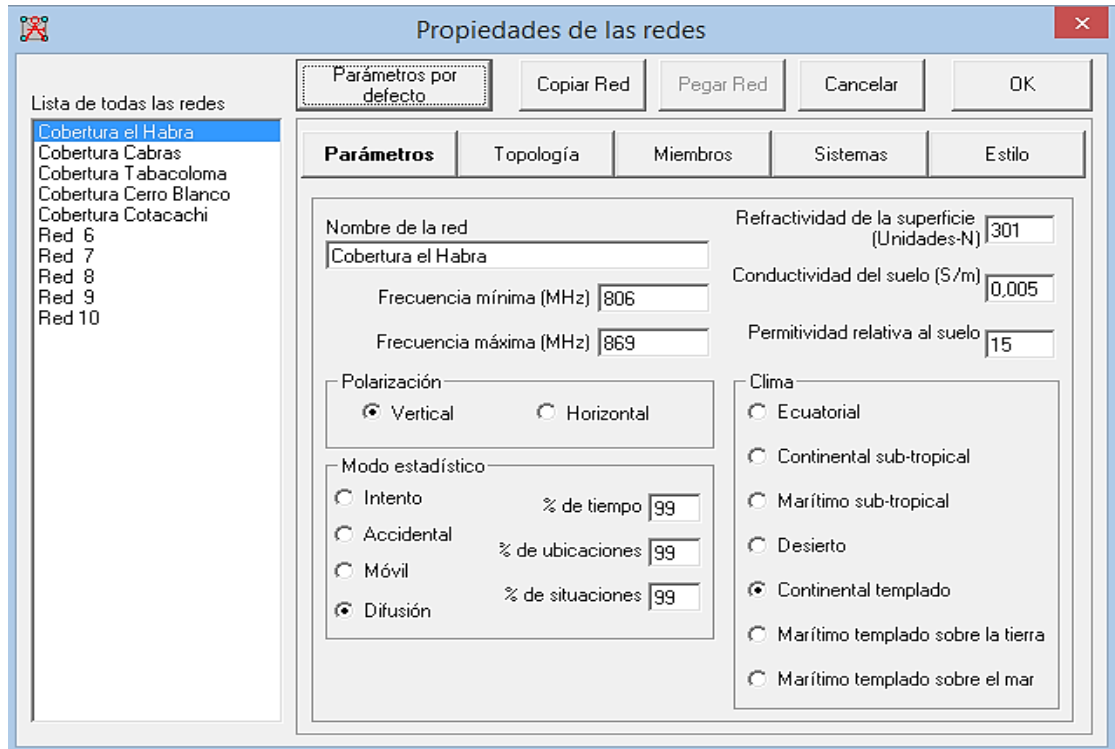


FIGURA 4.3: Parámetros de la red cobertura el Habra

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

Después de haber configurado los parámetros técnicos, se selecciona el repetidor junto con las localidades que se pretende brindar cobertura en la zona noroeste.

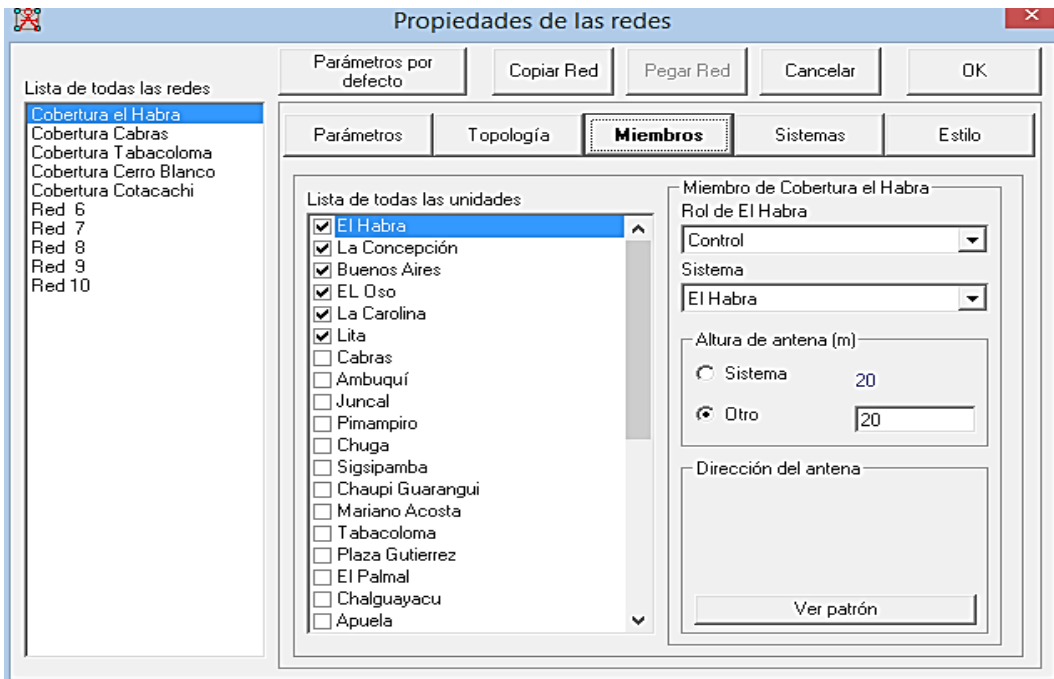


FIGURA 4.4: Miembros de red cobertura el Habra

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

En propiedades de red se configura el sistema denominado el Habra, donde se ingresa parámetros como potencia de transmisión del enlace, pérdidas en los conectores, ganancia, altura y tipo de antena a usarse para la difusión de la red.

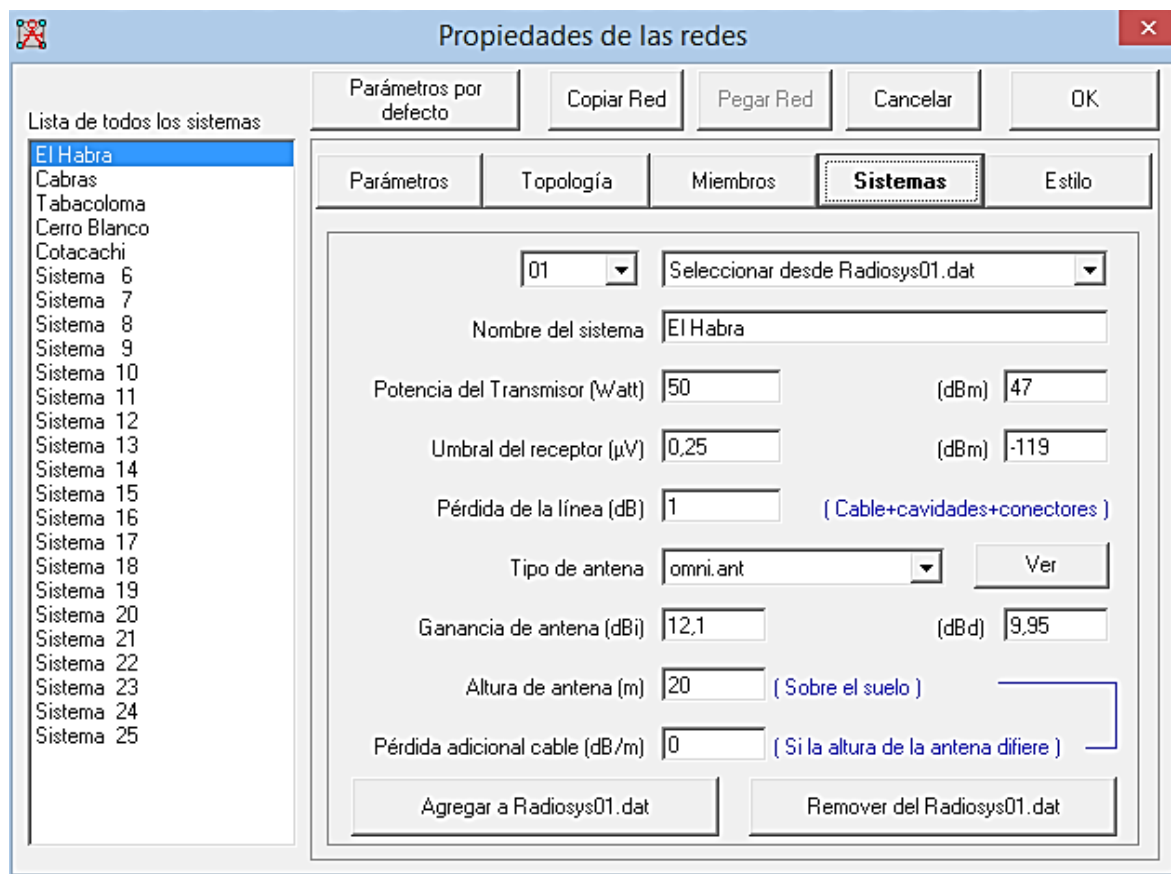


FIGURA 4.5: Configuración del repetidor trunking

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

Finalmente para observar todo el rango de cobertura que presenta el repetidor el Habra se hace uso de la opción cobertura de radio cartesiana, aquí permite observar la calidad de señal que ofrece el sistema, la siguiente figura muestra el resultado alcanzado.

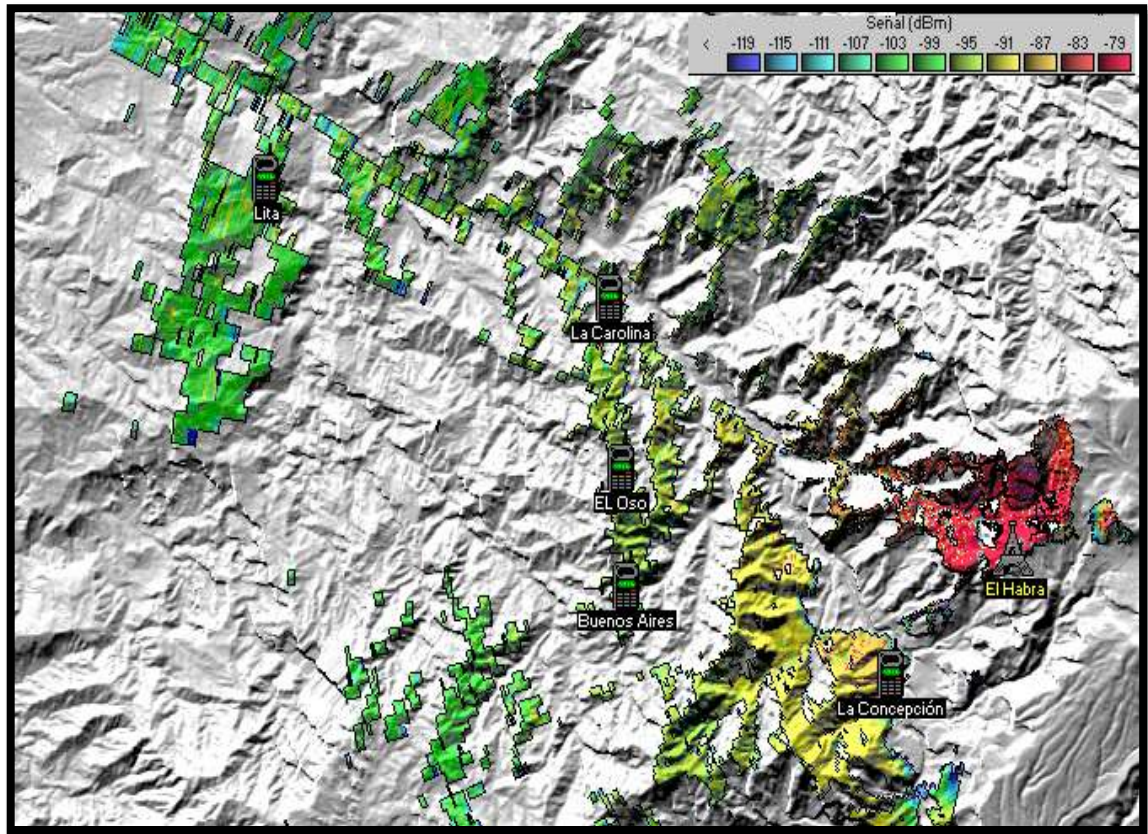


FIGURA 4.6: Cobertura radio troncalizada repetidor El Habra.

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

La figura 4.6 muestra las áreas de cobertura de color azul, verde, amarillo y rojo de acuerdo al nivel de señal emitida por el repetidor, la escala que permite evaluar va desde -67 hasta -107 dBm, como conclusión se puede determinar que el sistema trunking ofrece una señal de -83 dBm a -99 dBm, brindando cobertura donde existen poblaciones importantes de la provincia, el repetidor ofrece niveles de señal suficientes para brindar una correcta comunicación de voz y mensajes usados por la Policía Nacional de Imbabura.

4.2.3.2 REPETIDOR CABRAS

El repetidor el Cabras tiene el objetivo de difundir el servicio de la red troncalizada para la Policía Nacional en la zona noreste de la provincia de Imbabura, donde debe cubrir las siguientes localidades.

4.2.3.2.1 LOCALIDADES SIN COBERTURA

TABLA 4.9: Localidades sin cobertura zona noreste

ZONA DE LA PROVINCIA IMBABURA	LUGARES SIN COBERTURA
Noreste	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ambuquí ▪ Juncal ▪ Piquiucho ▪ Carpuela ▪ Paragachi ▪ Pimampiro ▪ Chuga ▪ San Francisco de Sigspamba ▪ Chaupi Guaranguí ▪ Mariano Acosta

Fuente: Pruebas de cobertura radio troncalizada

Para dar solución a los lugares sin cobertura de la red troncalizada se eligió siete sitios, los cuales se encuentran en poblaciones geográficas montañosas, siendo los más difíciles de brindar el servicio de radio. Los demás sitios están dentro del rango de cobertura del repetidor.

TABLA 4.10: Lugares elegidos zona noreste

Nombre	Ubicación		Altura
Ambuquí	0° 26' 47,51" N	78° 0' 18,71" O	1713 m
Juncal	0° 25' 38,7" N	77° 57' 50,01" O	1697 m
Pimampiro	0° 23' 25,27" N	77° 56' 26,91" O	2159 m
Chuga	0° 23' 1,1" N	77° 53' 59,63" O	2501 m
Sigspamba	0° 19' 0,19" N	77° 55' 0,49" O	2267 m
Chaupi Guaranguí	0° 22' 1,27" N	78° 1' 0,39" O	2508 m
Mariano Acosta	0° 18' 20,14" N	77° 58' 58,43" O	2922 m

Fuente: Instituto Geográfico Militar

Las coordenadas geográficas de cada zona elegida tienen que ser ingresados en el software Radio Mobile, junto con los parámetros técnicos de configuración del sitio remoto.

En la figura siguiente se observa el ingreso de todos los repetidores junto con las localidades que no poseen cobertura de red troncalizada.

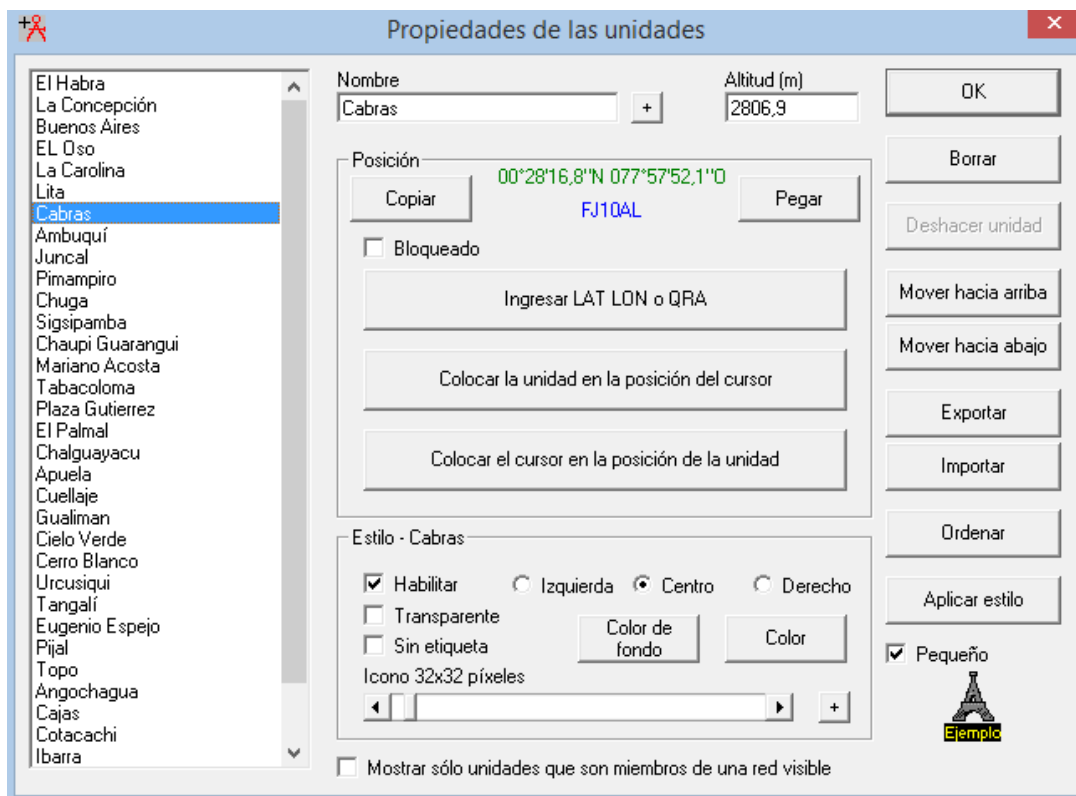


FIGURA 4.7: Ingreso del repetidor Cabras

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

Luego de haber ingresado las coordenadas del repetidor y los lugares sin cobertura de la zona noreste de la provincia, se configura la red del repetidor Cabras, con los parámetros técnicos establecidos en la tabla 4.6.

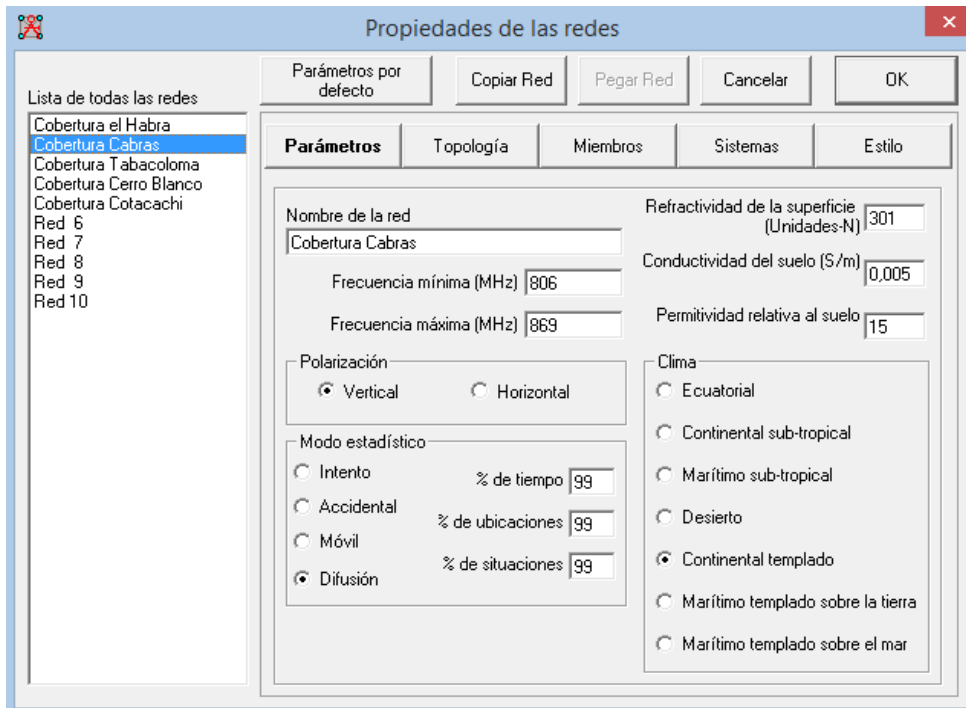


FIGURA 4.8: Parámetros de la red cobertura Cabras

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

Después de haber configurado los parámetros técnicos, se selecciona el repetidor junto con las localidades que se pretende dar cobertura en la zona noreste.

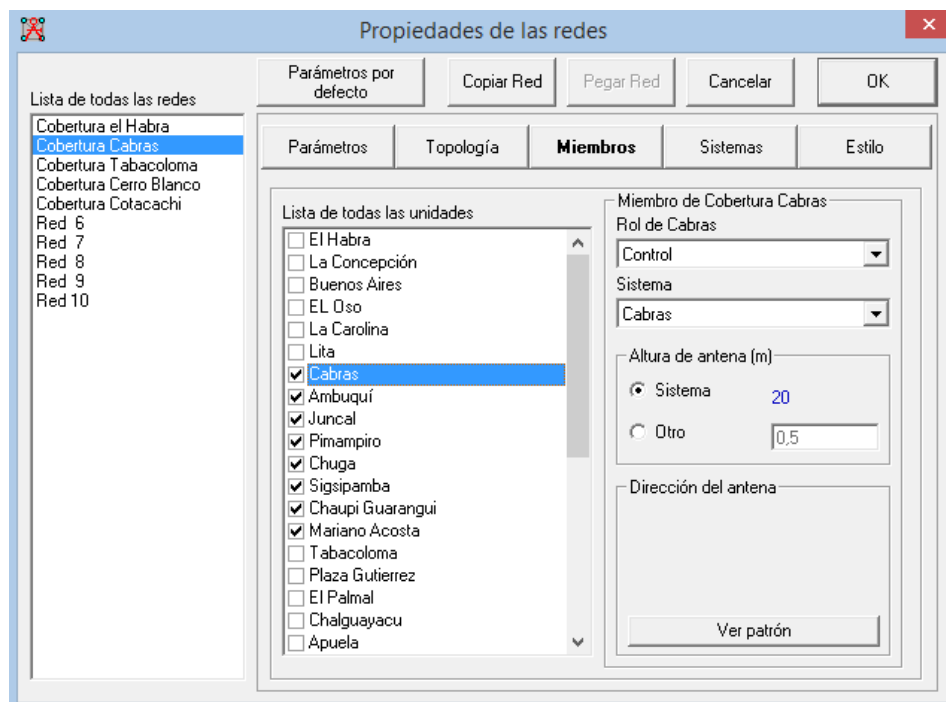


FIGURA 4.9: Miembros de red cobertura Cabras

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

En propiedades de red se configura el sistema denominado Cabras, donde se ingresa parámetros como potencia de transmisión del enlace, pérdidas en los conectores, ganancia, altura y tipo de antena a usarse para la difusión de la red.

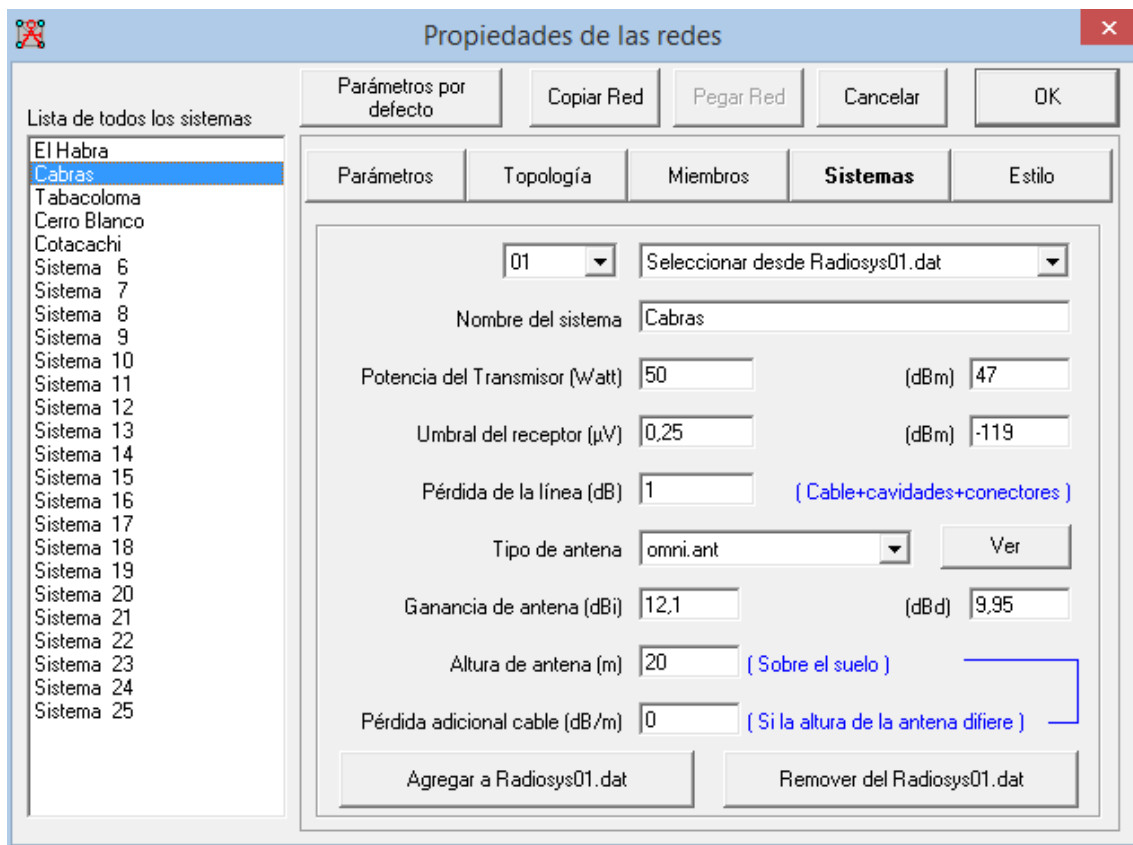


FIGURA 4.10: Configuración del repetidor trunking

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

Finalmente para observar todo el rango de cobertura que presenta el repetidor Cabras se hace uso de la opción cobertura de radio cartesiana, esta permite observar la calidad de señal que ofrece el sistema, la siguiente figura muestra el resultado alcanzado.

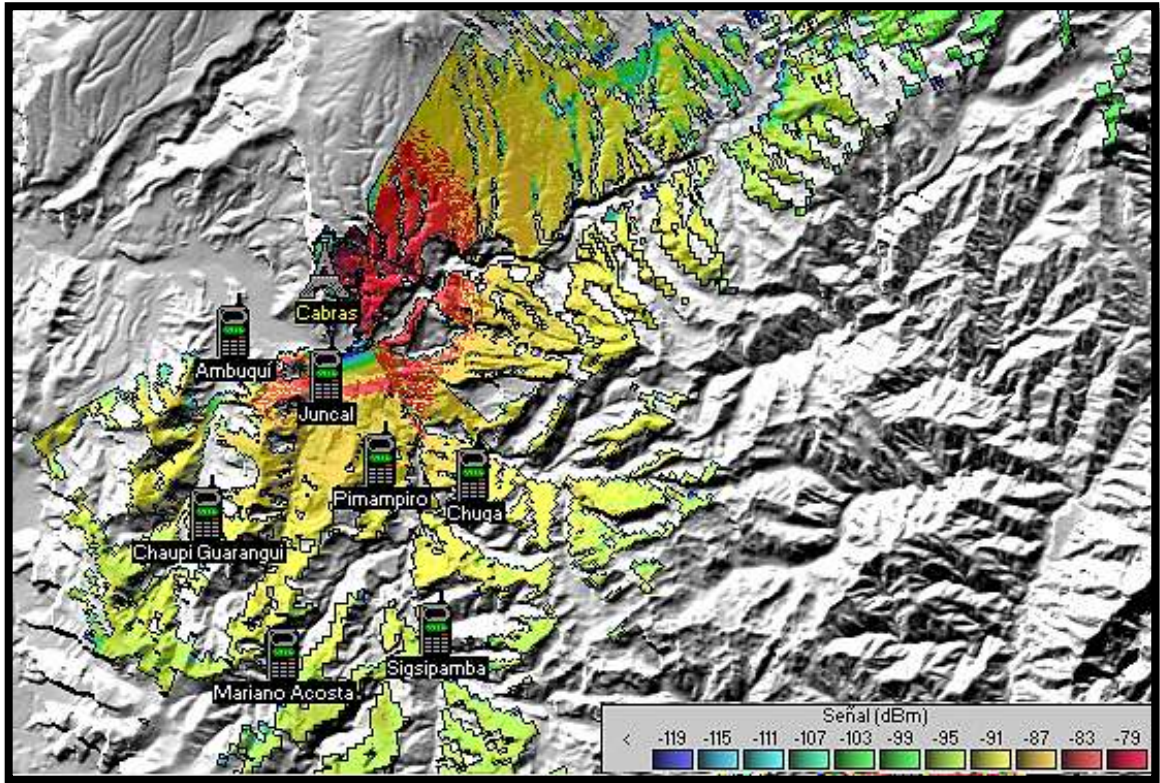


FIGURA 4.11: Cobertura radio troncalizada repetidor Cabras.

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

La figura 4.11 muestra las áreas de cobertura de color azul, verde, amarillo y rojo de acuerdo al nivel de señal emitida por el repetidor, la escala que permite evaluar va desde -67 hasta -107 dBm, como conclusión se puede determinar que el sistema trunking ofrece una señal de -83 dBm a -91 dBm, brindando cobertura donde existen poblaciones importantes de la provincia, el repetidor ofrece niveles de señal suficientes para brindar una correcta comunicación de voz y mensajes usados por la Policía Nacional de Imbabura.

4.2.3.3 REPETIDOR TABACOLOMA

El repetidor el Tabacoloma tiene el objetivo de difundir el servicio de la red troncalizada para la Policía Nacional en la zona suroeste de la provincia de Imbabura, donde debe cubrir las siguientes localidades.

4.2.3.3.1 LOCALIDADES SIN COBERTURA

TABLA 4.11: Localidades sin cobertura zona suroeste

ZONA DE LA PROVINCIA IMBABURA	LUGARES SIN COBERTURA
Suroeste	<ul style="list-style-type: none">▪ Plaza Gutiérrez▪ Peñaherrera▪ El Palmal▪ Los Corrales▪ Junín▪ Chalguayacu▪ Palma Real▪ Vacas Galindo▪ Llurimagua▪ Gualiman▪ Baratillo▪ Cielo Verde▪ Cuellaje▪ El Rosario▪ Apuela

Fuente: Pruebas de cobertura radio troncalizada

Para dar solución a los lugares sin cobertura de la red troncalizada se eligió siete sitios, los cuales se encuentran en ubicadas en lugares montañosos, siendo los más difíciles de brindar el servicio de radio. Los demás sitios están dentro del rango de cobertura del repetidor.

TABLA 4.12: Lugares elegidos zona suroeste

Nombre	Ubicación		Altura
Plaza Gutierrez	0° 20' 59,64" N	78° 29' 31,42" O	1912 m
El Palmal	0° 17' 17,20" N	78° 35' 55,18" O	1734 m
Chalguayacu	0° 15' 10,88" N	78° 40' 28,82" O	1077 m
Apuela	0° 21' 32,15" N	78° 30' 41,60" O	1549 m
Cuellaje	0° 24' 4,02" N	78° 31' 1,27" O	1943 m
Gualiman	0° 20' 25,47" N	78° 47' 59,33" O	2564 m
Cielo Verde	0° 18' 8,25" N	78° 52' 55,97" O	1527 m

Fuente: Instituto Geográfico Militar

Las coordenadas geográficas de cada zona elegida tienen que ser ingresados en el software Radio Mobile, junto con los parámetros técnicos de configuración del sitio remoto.

En la figura siguiente se observa el ingreso de todos los repetidores junto con las localidades que no poseen cobertura de red troncalizada.

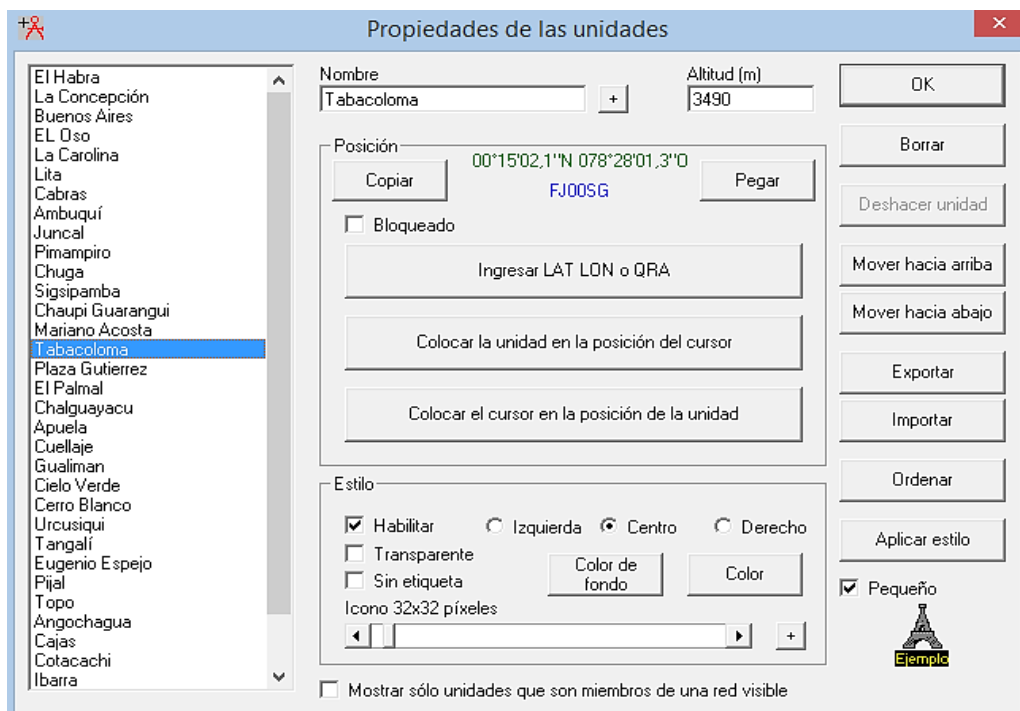


FIGURA 4.12: Ingreso del repetidor Tabacoloma

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

Luego de haber ingresado las coordenadas del repetidor y los lugares sin cobertura de la zona suroeste de la provincia, se configura la red del repetidor Tabacoloma, con los parámetros técnicos establecidos en la tabla 4.6.

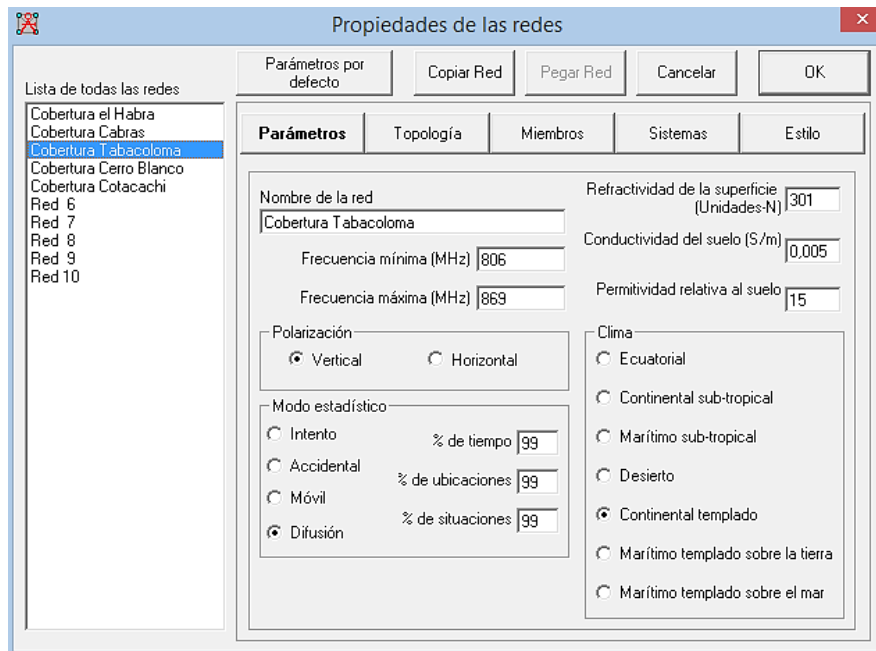


FIGURA 4.13: Parámetros de la red cobertura Tabacoloma

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

Después de haber configurado los parámetros técnicos, se selecciona el repetidor junto con las localidades que se pretende dar cobertura en la zona suroeste.

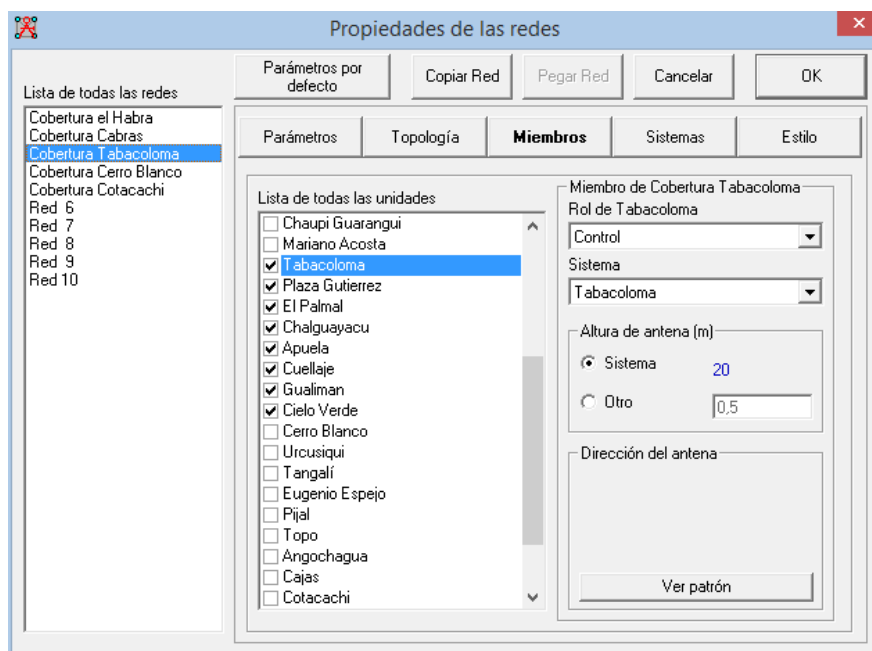


FIGURA 4.14: Miembros de red cobertura Tabacoloma

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

En propiedades de red se configura el sistema denominado Tabacoloma, donde se ingresa parámetros como potencia de transmisión del enlace, pérdidas en los conectores, ganancia, altura y tipo de antena a usarse para la difusión de la red.

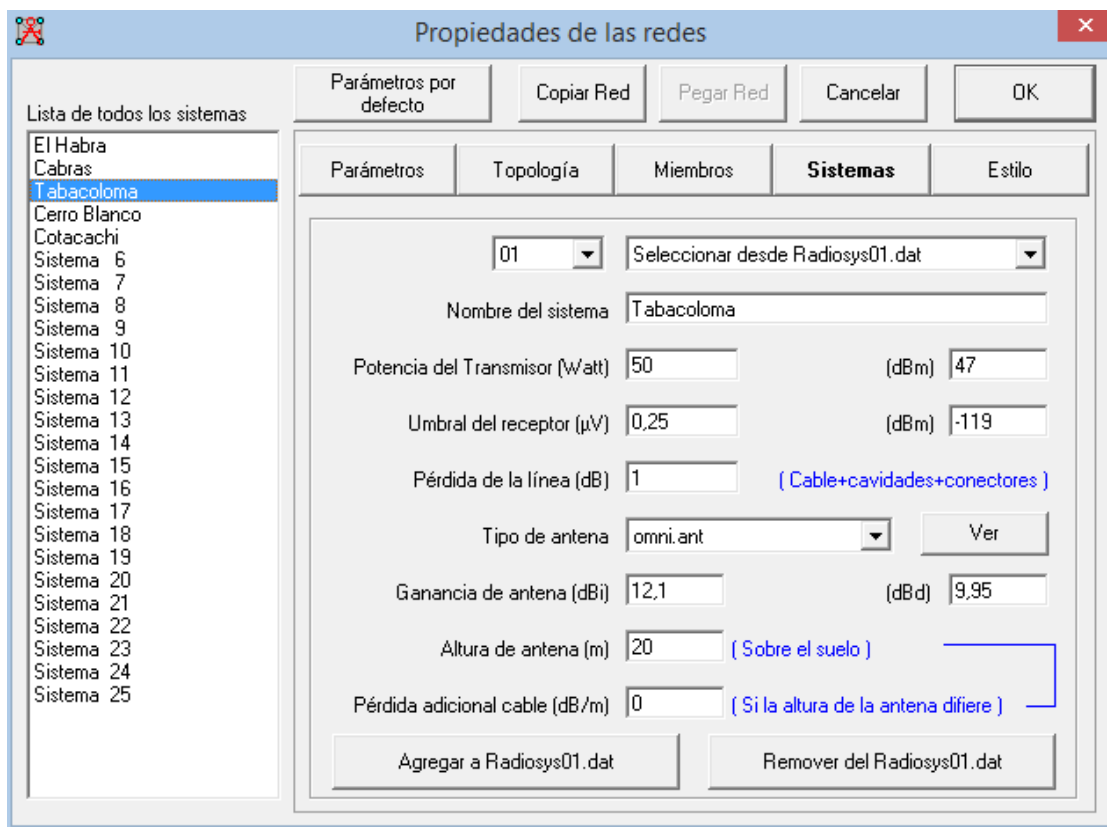


FIGURA 4.15: Configuración del repetidor trunking

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

Finalmente para observar todo el rango de cobertura que presenta el repetidor Tabacoloma se hace uso de la opción cobertura de radio cartesiana, está permite observar la calidad de señal que ofrece el sistema, la siguiente figura muestra el resultado alcanzado.

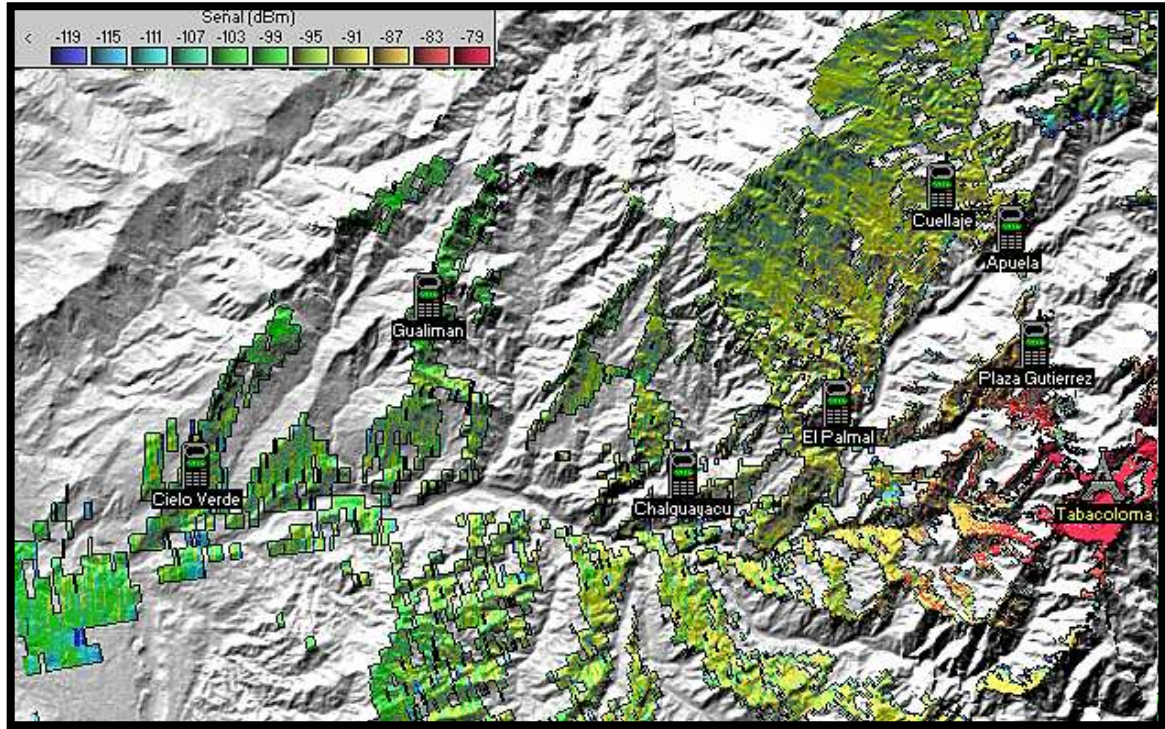


FIGURA 4.16: Cobertura desde Tabacoloma, radio troncalizada.

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

La figura 4.16 muestra las áreas de cobertura de color azul, verde, amarillo y rojo de acuerdo al nivel de señal emitida por el repetidor, la escala que permite evaluar va desde -67 hasta -107 dBm, como conclusión se puede determinar que el sistema trunking ofrece una señal de -83 dBm a -103 dBm, brindando cobertura donde existen poblaciones importantes de la provincia, el repetidor ofrece niveles de señal suficientes para brindar una correcta comunicación de voz y mensajes usados por la Policía Nacional de Imbabura.

4.2.3.4 REPETIDOR CERRO BLANCO

El repetidor el Cerro Blanco tiene el objetivo de difundir el servicio de la red troncalizada para la Policía Nacional en la zona sureste de la provincia de Imbabura, donde debe cubrir las siguientes localidades.

4.2.3.4.1 LOCALIDADES SIN COBERTURA

TABLA 4.13: Localidades sin cobertura zona sureste

ZONA DE LA PROVINCIA IMBABURA	LUGARES SIN COBERTURA
Sureste	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Urcusiqui ▪ Tangali ▪ Eugenio Espejo ▪ San Rafael ▪ González Suarez ▪ San Pablo ▪ Pijal ▪ Angochagua. ▪ El Topo ▪ Cajas

Fuente: Pruebas de cobertura radio troncalizada

Para dar solución a los lugares sin cobertura de la red troncalizada se eligió siete sitios, estos son los más difíciles de brindar el servicio de radio por su ubicación geográfica. Los demás sitios están dentro del rango de cobertura del repetidor.

TABLA 4.14: Lugares elegidos zona Sureste

Nombre	Ubicación		Altura
Urcusiqui	0° 17' 2,1" N	78° 23' 1,7" O	3195 m
Tangalí	0° 14' 40,55" N	78° 20' 46,62" O	2096 m
Eugenio Espejo	0° 12' 32,24" N	78° 15' 2,82" O	2688 m
Pijal	0° 10' 25,15" N	78° 11' 32,6" O	2759 m
Topo	0° 13' 26,42" N	78° 8' 13,01" O	3615 m
Angochagua	0° 14' 44,97" N	78° 5' 2,09" O	2707 m
Cajas	0° 8' 1" N	78° 11' 8,37" O	2503 m

Fuente: Instituto Geográfico Militar

Las coordenadas geográficas de cada zona elegida tienen que ser ingresados en el software Radio Mobile, junto con los parámetros técnicos de configuración del sitio remoto.

En la figura siguiente se observa el ingreso de todos los repetidores junto con las localidades que no poseen cobertura de red troncalizada.

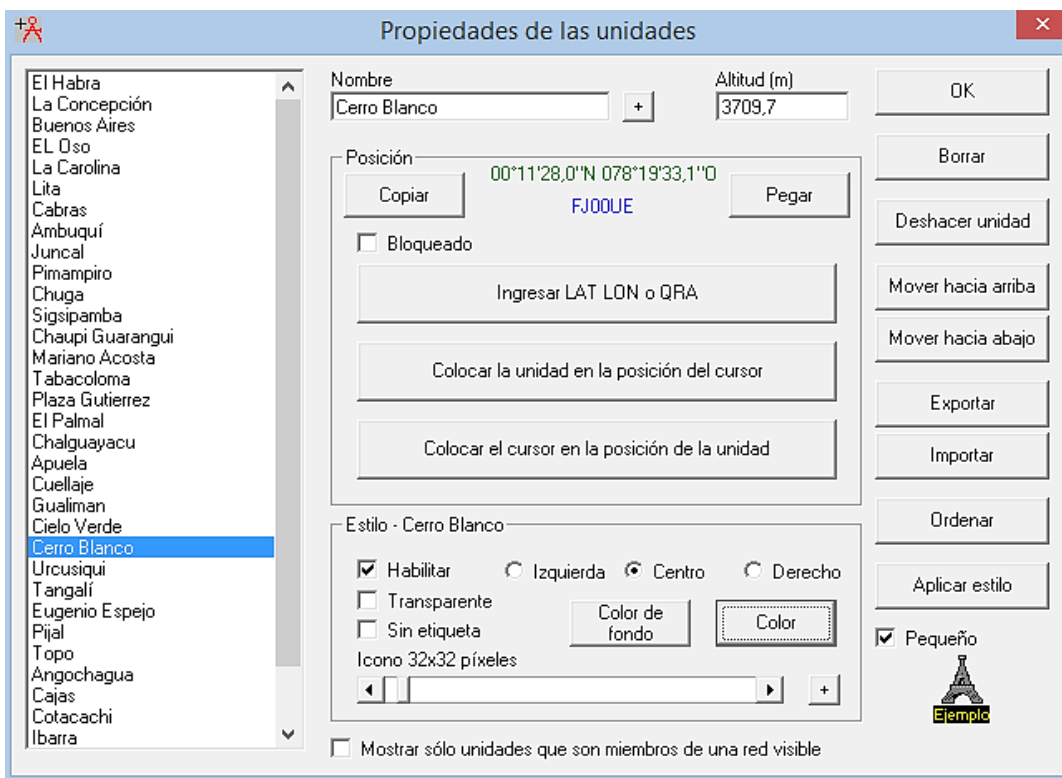


FIGURA 4.17: Ingreso del repetidor Cerro Blanco

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

Luego de haber ingresado las coordenadas del repetidor y los lugares sin cobertura de la zona sureste de la provincia, se configura la red del repetidor Cerro Blanco, con los parámetros técnicos establecidos en la tabla 4.6.

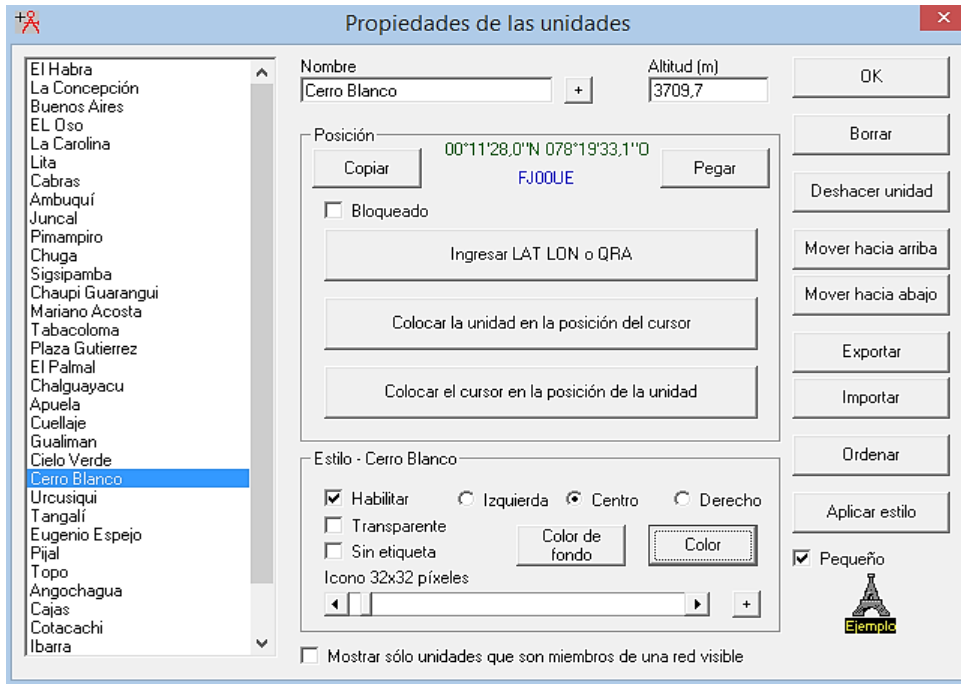


FIGURA 4.18: Parámetros de la red cobertura Cerro Blanco

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

Después de haber configurado los parámetros técnicos, se selecciona el repetidor junto con las localidades que se pretende dar cobertura en la zona sureste.

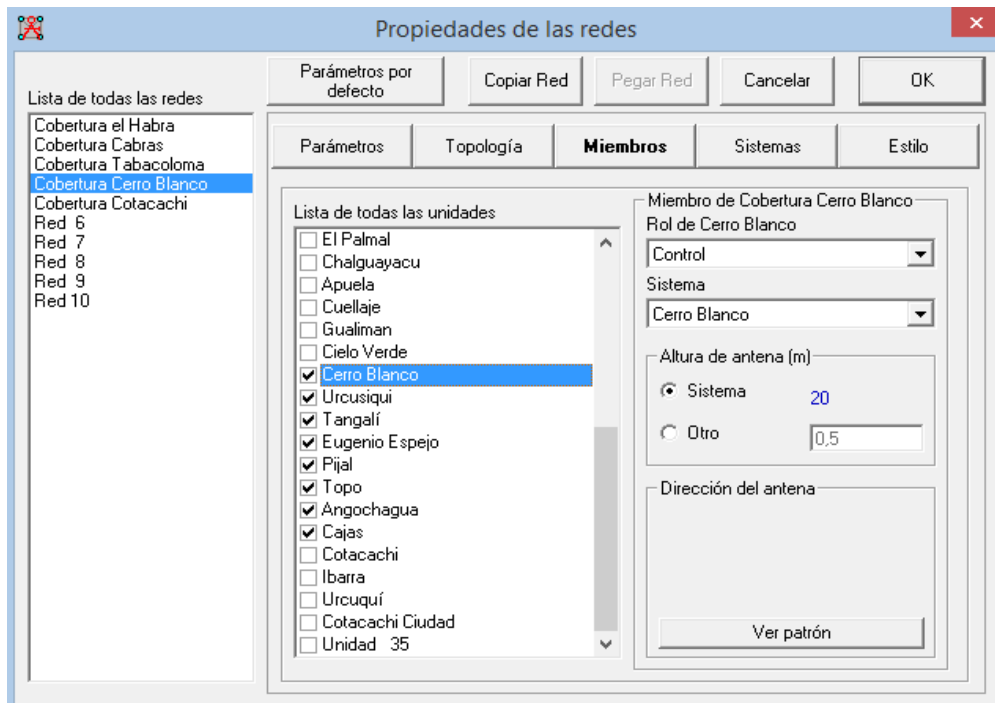


FIGURA 4.19: Miembros de red cobertura Cerro Blanco

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

En propiedades de red se configura el sistema denominado Cerro Blanco, donde se ingresa parámetros como potencia de transmisión del enlace, pérdidas en los conectores, ganancia, altura y tipo de antena a usarse para la difusión de la red.

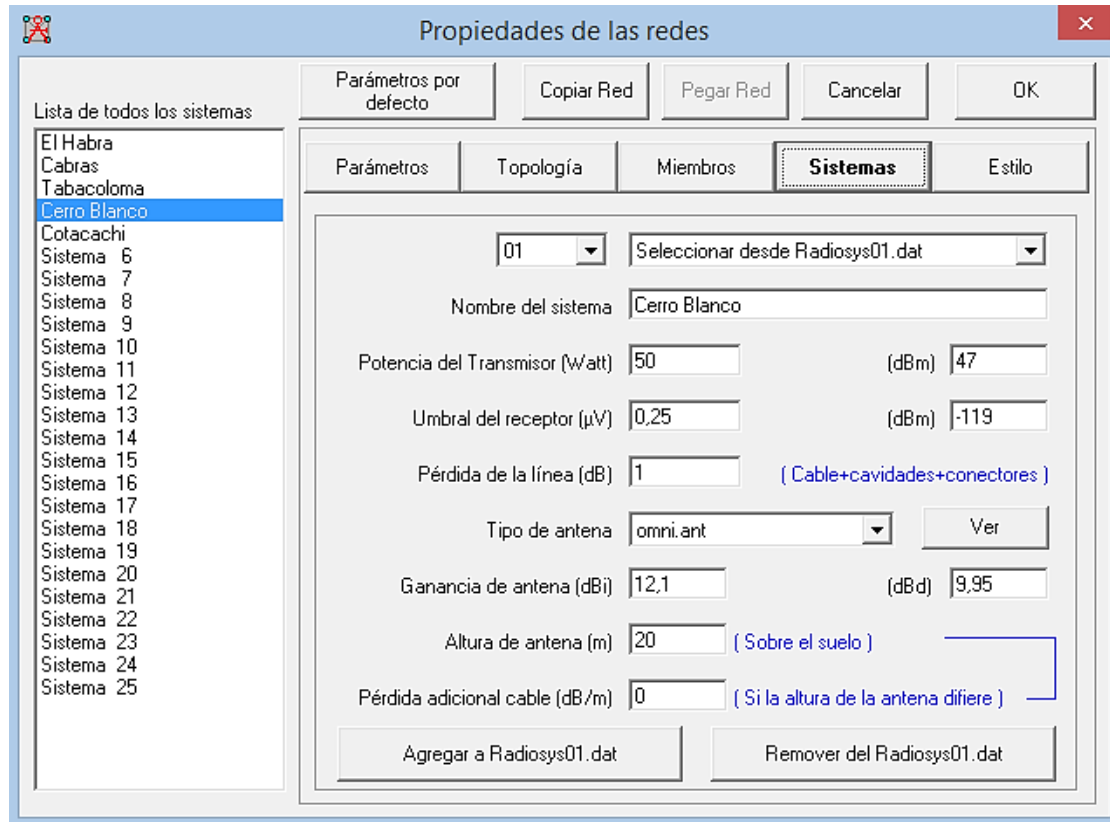


FIGURA 4.20: Configuración del repetidor trunking

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

Finalmente para observar todo el rango de cobertura que presenta el repetidor Cerro Blanco se hace uso de la opción cobertura de radio cartesiana, esta permite observar la calidad de señal que ofrece el sistema, la siguiente figura muestra el resultado alcanzado.

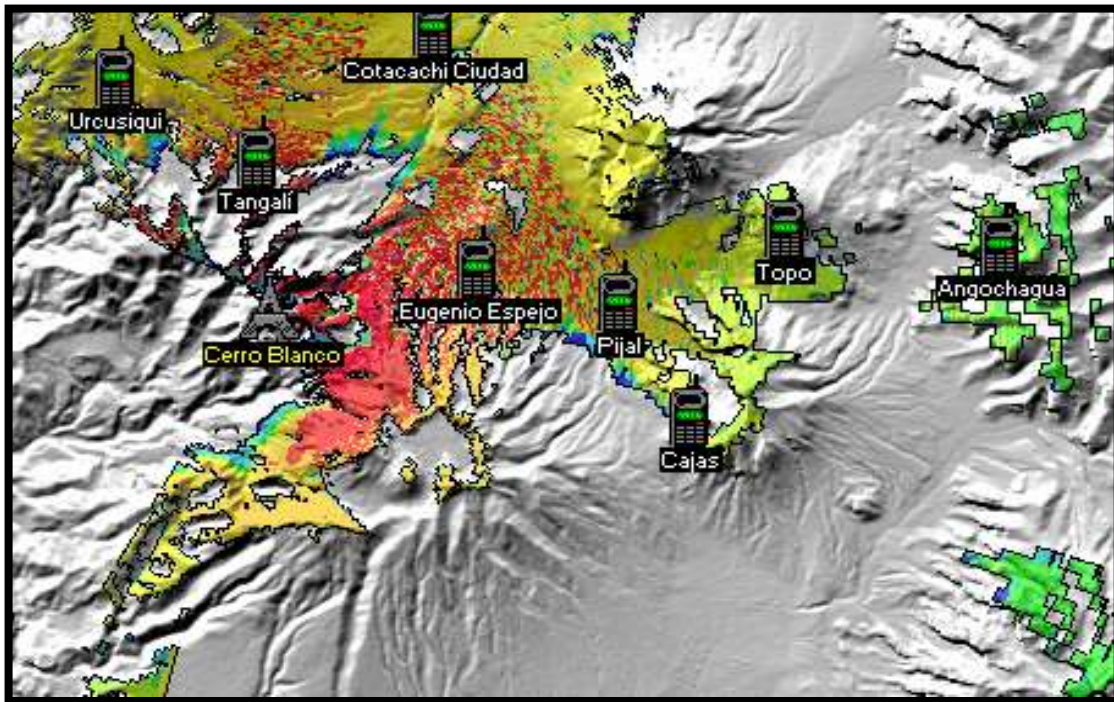


FIGURA 4.21: Cobertura radio troncalizada repetidor Cerro Blanco.

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

En la figura 4.21 muestra las áreas de cobertura de color azul, verde, amarillo y rojo de acuerdo al nivel de señal emitida por el repetidor, la escala que permite evaluar va desde -67 hasta -107 dBm, como conclusión se puede determinar que el sistema trunking ofrece una señal de -83 dBm a -99 dBm, brindando cobertura donde existen poblaciones importantes de la provincia, el repetidor ofrece niveles de señal suficientes para brindar una correcta comunicación de voz y mensajes usados por la Policía Nacional de Imbabura.

Las pruebas de cobertura mediante el software de Radio Mobile realizadas en cada repetidor trunking permiten determinar que el diseño propuesto brinda el servicio de la radio troncalizada a todas las localidades sin cobertura descritas anteriormente.

En la siguiente figura se puede visualizar el diagrama completo de cobertura de todos los repetidores trunking de Imbabura.

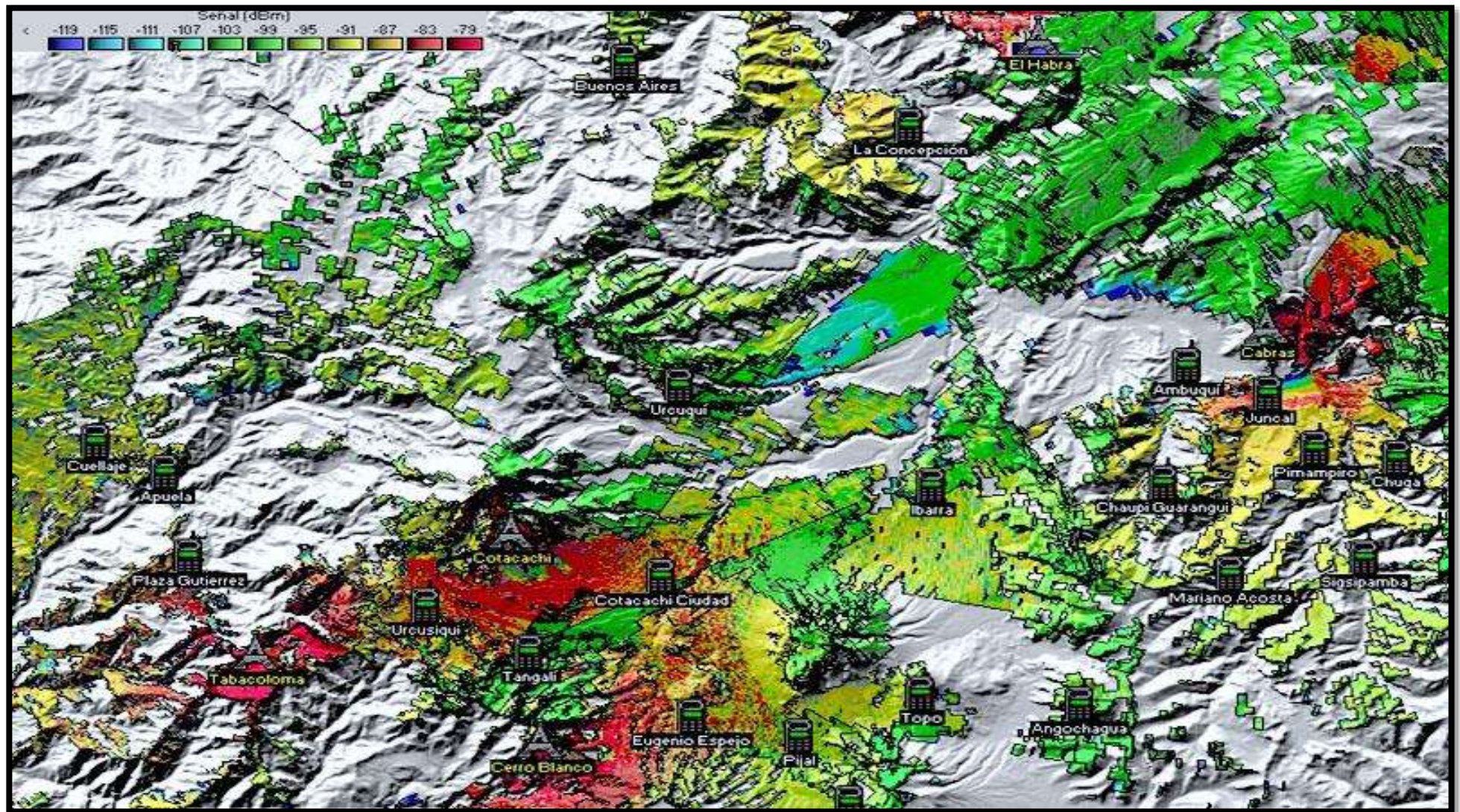


FIGURA 4.22: Cobertura total Radio Troncalizada en Imbabura

Fuente: Adaptado de Radio Mobile

CAPÍTULO V

5 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Al análisis costo beneficio en el proyecto realizado corresponde al presupuesto referencial de los equipos a utilizar en el diseño, además del análisis de costos para la implementación y de los beneficios que brindará el proyecto.

5.1 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

El crecimiento de la tecnología va de la mano con las necesidades de las entidades públicas como privadas, como es el caso de la Policía Nacional del Ecuador, la institución con el objetivo de brindar las mejores herramientas de trabajo a sus miembros a observado la necesidad de mejorar sus comunicaciones mediante una red actual, confiable y totalmente operativa que pueda integrarse al sistema integrado de seguridad ciudadana del Gobierno Nacional del Ecuador.

En vista de esto se realiza el diseño de la nueva red de radiocomunicaciones para la interconexión troncalizada del sistema integrado de seguridad ciudadana en la provincia de Imbabura, la red diseñada valida parámetros de infraestructura al menor costo y mayor rendimiento. Por lo cual es necesario estimar los costos totales de implantación del presente proyecto permitiendo tener una idea clara de la factibilidad del mismo.

5.1.1 COSTOS DE EQUIPOS

La estimación de costos de los equipos que se presentan a continuación, se refieren a costos referenciales investigados en el mercado de las telecomunicaciones tomando en cuenta los equipos que cumplen con los requerimientos de la red.

Los costos podrán variar entre los diferentes proveedores de este tipo de tecnología, dependiendo de los equipos con los que cuenten para entrar a licitación en un proyecto con este tipo de características. Los costos necesarios del proyecto se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 5.1: Costo de equipos para la Red Troncalizada

EQUIPO	UNIDAD	TOTAL	PRECIO U \$	PRECIO TOTAL
AL PLUS2 1RU 1+1	1	5	12000.00	60000
ODU ASN6L SB=1H	2	10	3200.00	32000
HP4-57W	1	4	1500.00	6000
TXO-5758-12	1	1	2200.00	2200
Rack GTR ESS	1	4	540.00	2160
Rack de equipos Auxiliares 7'	1	4	445.50	1782
Rack de energía	1	4	250.00	1000
Rack de microondas 7'	1	4	350.00	1400
PDU	1	4	891.00	3564
Fuente	1	16	1980.00	31680
TTA 428B-83H-01-T	1	4	8891.00	35564
CMU 428B-83H-01-C	1	4	3240.00	12960
GTR 8000 T7054A	1	4	5400.00	21600
GTR 8000 Base Radio	1	16	10170.00	162720
GCP8000	1	4	4250.00	17000
GCM8000	1	4	4250.00	17000
Multiacoplador	1	4	3200.00	12800
Combinador	1	4	7560.00	30240
Amplificadores	1	16	2354.00	37664
POLYPHASER DIN DSXL-D-MA	1	4	120.00	480
POLYPHASER 109 0501W-A	2	8	160.00	1280
Antena BMR10-O-B1	2	8	350.00	2800
GGM8000	1	4	3780.00	15120
Switch	1	4	1130.00	4520
Equipos terminales	1	600	985.00	591000
Equipos terminales	1	150	1100.00	165000

KIT CONEXIÓN				
Kit Conexión Línea de Transmisión GTR800	1	4	2200.00	8800
Kit Conexión Línea de Recepción GTR8000	1	4	2200.00	8800
Kit Conexión Línea de Test GTR8000	1	4	1500.00	6000
CABLES				
Cable UTP	200	1	139.00	139
Cable AVA 6-50 Heliax	100	1	1100.00	1100
Cable AVA 5-50 Heliax	120	1	1600.00	1600
Cable LDF4-50 Heliax	100	1	1018.00	1018
Cable FSJ4-50 Superflex	120	1	1400.00	1400
Cable Coaxial	100	1	359.00	359
Cable Energía	300	1	140.00	140
ENERGÍA				
Rectificador R48 3200	1	4	1566.00	6264
BANCOS DE BATERÍAS/ 12 cu.	24	96	360.00	34560
Inversor	1	4	262.00	1048
Tablero de Distribución General	1	4	40.00	160
Tablero de Distribución de Equipos	1	4	45.00	180
Transformador	1	4	12500.00	50000
SIST. Monitoreo de baterías – SIMBAT	1	4	64.00	256
Aire Acondicionado	1	4	4000.00	16000
OBRA CIVIL				
Cuarto Telecomunicaciones	1	4	35000.00	140000
Torre auto soportada 20m	1	4	25000.00	100000
Cerramiento	1	4	4980.00	19920
TOTAL				1'667.278

Fuente: Motorola Inc. y CNT EP

5.1.2 COSTOS DE INGENIERÍA

Los costos de ingeniería se refieren al diseño del proyecto y la documentación legal de la red propuesta. Para el cálculo de éste costo se toma en cuenta el 2% del costo total de la inversión, este valor es en base a la características que la CNT EP. Presenta en cada diseño.

Dentro de este valor es importante tomar en cuenta el pago de los honorarios al ingeniero a cargo de la realización del estudio de campo dentro de la zona de cobertura. Hay que tomar en cuenta que el estudio de campo conlleva la verificación de infraestructura existente de red de telecomunicaciones en la zona de estudio, además de la factibilidad de acceso a las estaciones repetidoras, sin olvidar la toma de datos necesarios para el diseño de la red.

TABLA 5.2: Costos de Ingeniería

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO [USD]	PRECIO TOTAL [USD]
1	Diseño y documentación	33.345,56	33.345,56
TOTAL [USD]			33.345,56

Fuente: Propia del autor

5.1.3 COSTOS TOTALES DE INSTALACIÓN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los costos de instalación de los equipos se modifican de acuerdo a la facilidad de acceso a los lugares donde se ubicara las repetidoras, además de las características de instalación de los mismos, el personal que a cargo cobra un valor de \$ 20 dólares por equipo instalado y un estimado de 50 dólares por cada equipo de las estaciones de radio, costos que se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 5.3: Costos de Instalación

INSTALACIÓN EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [USD]	PRECIO TOTAL [USD]
GTR 8000 Base Radio	16	50	800,00
Terminal Radio portátil XTS 2500	600	20	12000,00
Terminal Radio móvil XTL 2500	150	20	3000,00
TOTAL [USD]			15.800,00

Fuente: Propia del autor

Es importante tomar en cuenta los costos de operación y mantenimiento de la red a implementarse, que tendrá que ser destinado mensualmente por la CNT. EP, durante todo el tiempo de vida útil del sistema.

Los costos de operación y mantenimiento de los equipos en un sistema de transmisión, está por lo general entre el 9 % y 10 %, de los costos totales. En la presente propuesta se considera un promedio del 9,5 %, valor que corresponde a \$150.254.19, del total de los costos de equipos.

El tiempo de vida útil de los equipos de telecomunicaciones es de 10 años se puede decir que se destina el 10 % de este valor para el mantenimiento anual del sistema, como se observa en la siguiente tabla.

TABLA 5.4: Costos de Operación y Mantenimiento

DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL	COSTO ANUAL
Costo de operación y mantenimiento	158.391.41	15.839,41
COSTO TOTAL ANUAL		15.839,41

Fuente: Propia del autor

5.1.4 COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN

Una vez indicados los costos de los equipos, implementación y el estudio de ingeniería, en la siguiente tabla se presenta una síntesis de los costos totales a invertir, con lo cual se obtendrá los costos totales del diseño propuesto para la red.

TABLA 5.5: Costos totales de implementación

DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL [USD]
Costos de Equipos	1'667.278,00
Costos de Ingeniería	33.345,56
Costos Totales de Instalación	15.800,00
COSTO TOTAL	1'716.423,56

Fuente: Propia del autor

5.2 ESTUDIO FINANCIERO

En esta parte se encuentra la información financiera como: inversiones, ingresos, costos, gastos, los cuales son la base para aplicar la respectiva evaluación y determinar si el proyecto es factible, cuyos resultados ayudan a la correcta toma de decisiones, para lo cual se tomará en cuenta algunos evaluadores de viabilidad que más adelante se detallan.

5.2.1.1 RELACIÓN COSTO – BENEFICIO (B/C)

En el desarrollo de cualquier proyecto que se ejecute, es fundamental realizar una evaluación con el fin de verificar si es rentable, lo que en definitiva determina si la propuesta es viable o no.

Debido a que el presente proyecto es netamente social, los beneficios generados son subjetivos y difíciles de cuantificar ya que son beneficios sociales los mismos que no pueden tener un valor, pero hay que mencionar que no por este aspecto la propuesta deja de ser productiva, tomando en cuenta que los más beneficiados van a ser los ciudadanos de los lugares en los que se prestara el servicio de la red troncalizada de la Policía Nacional.

Hay que tener en cuenta que la presente propuesta de la red troncalizada en la provincia de Imbabura para la interconexión troncalizada a nivel nacional brindará, alta capacidad, disponibilidad y confiabilidad las 24 horas del día, los 365 días del año, con un costo inicial relativamente alto pero con mínimos gastos de mantenimiento mensual, llegando a constituir una excelente estrategia operativa para la seguridad de la ciudadanía.

5.2.1.2 CÁLCULO COSTO-BENEFICIO DE LA ADQUISICIÓN DE EQUIPOS TERMINALES

Para la realizar este cálculo es necesario considerar los costos generales del proyecto a ejecutarse frente a los valores que se puede obtener de la ejecución del mismo. Para este caso se calculará el retorno de la inversión (ROI), que permite conocer el beneficio que se obtiene por cada unidad monetaria invertida en tecnología durante un período de tiempo, y viene dado por la siguiente fórmula.

$$ROI = \frac{Beneficio}{Costos} * 100$$

Ecuación 5.1: Retorno de la inversión

TABLA 5.6: Presupuesto de la compra de equipos terminales.

EQUIPO	UNIDAD	TOTAL	PRECIO U \$	PRECIO TOTAL
Equipos terminales	1	600	985.00	591.000,00
Equipos terminales	1	150	1100.00	165.000,00
Total				756.000,00

Fuente: Propia del autor

Para obtener el factor de beneficios se puede destacar los siguientes parámetros:

- Movilidad
- Simplicidad y rapidez de instalación
- Flexibilidad en la instalación XTS 2500
- Flexibilidad en la instalación XTL 2500

Se establece estos factores debido a que el equipo brinda las bondades de movilidad porque puede ser transportable fácilmente, flexibilidad debido a que puede ser operativo en cualquier sitio geográfico, además es fácil de configurar debido a que están direccionados mediante un ID que contiene una IP asignada por el repetidor al cual están enganchados, facilitando su conectividad.

TABLA 5.7: Cálculo beneficio equipos terminales

Beneficio	Valor Beneficio
Movilidad	150.000,00
Simplicidad y rapidez de instalación	100.000,00
Flexibilidad en la instalación XTS 2500	100.000,00
Flexibilidad en la instalación XTL 2500	26.130,00
Total	376.130,00

Fuente: Dicoms S.A (Rubro referencial)

En base a los datos obtenidos de costos generales del proyecto de adquisición de equipos terminales frente a los beneficios que generaría el proyecto se tiene el siguiente cálculo:

$$ROI = \frac{376.130,00}{756.000,00} * 100$$

$$ROI = 49.75\%$$

Los valores que se muestran en la tabla anterior se toman considerando costos como:

- Movilidad, valor que representa el ahorro por la movilización de cada equipo en el sector a operar durante una jornada normal, de aproximada de 30 Km.
- En simplicidad y rapidez de la instalación se refiere al tiempo y complejidad de la instalación y configuración del equipo terminal.
- En flexibilidad se implica los cambios que se puede tener por configuración de la red, los mismos que son sencillos de hacerlos debido a su direccionamiento IP, funcionando en cualquier punto de la provincia sin incurrir con mayores gastos.
- En cuanto a los costos de propiedad se toman en cuenta posibles costos que puedes incluir la adquisición de repuestos y mantenimiento.

5.3 ANÁLISIS COSTO – EFICIENCIA

En los proyectos que no es posible realizar una evaluación cuantitativa debida a que no se puede justificar el esfuerzo mediante beneficios monetarios, se procede a expresarlos mediante indicadores de eficiencia para así demostrar porque se debe culminar con dicho proyecto y alcanzar todos los objetivos planteados.

Para este tipo de evaluación de proyectos se usa los siguientes indicadores denominados Costo – Eficiencia.

- Valor actual de costo (VAC)
- Valor actual de costos por unidad de beneficio
- Costo anual equivalente (CAE)
- Costo anual equivalente por unidad de beneficio

5.3.1 VALOR ACTUAL DE COSTO (VAC)

Se denomina valor actual de costos, es un indicador para las alternativas del proyecto en términos de calidad y cantidad promedio por período.

La fórmula que se presenta a continuación permite realizar el cálculo del VAC en el presente proyecto.

$$VAC = \sum_{t=0}^{t=n} \left[\frac{C_t}{(1 + DT)^t} \right]$$

Ecuación 5.2: Valor actual de costo

En donde:

- Ct : Costos del proyecto incurridos en el período “t”
- TD: Tasa de descuento para transformar los beneficios y costos de cada período, en valores equivalentes del período actual.
- n: período de vida útil del proyecto, 10 años se considera para un sistema de telecomunicaciones de vida útil.

$$VAC = \sum_{t=0}^{t=10} \left[\frac{1716423,56}{(1 + 17)^{10}} \right]$$

$$VAC = 2'030.430,00$$

TABLA 5.8: Valor Actual De Costo

Estadísticas	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	1716423,56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costos de Operación y Mantenimiento	0	15839,14	31678,28	47517,42	63356,56	79195,7	95034,84	110873,98	126716,12	142552,26	158391,4
Flujo	1716423,56	15839,14	31678,28	47517,42	63356,56	79195,70	95034,84	110873,98	126716,12	142552,26	158391,40
Tasa de Descuento	17%										
Valor Actual de los Costos	2'030.430,00										

Fuente: Propia del autor

5.3.2 VALOR ACTUAL DE COSTOS POR UNIDAD DE BENEFICIO

Este indicador viene dado por la siguiente expresión:

$$\text{Valor actual de costos por unidad de beneficio} = \frac{VAC}{q}$$

$$\text{Valor actual de costos por unidad de beneficio} = \frac{2'030.430,00}{750}$$

$$\text{Valor actual de costos por unidad de beneficio} = 2707,24$$

5.3.3 COSTOS ANUAL EQUIVALENTE (CAE)

$$CAE = VAC * FRC$$

Ecuación 5.3: Costo anual equivalente

En donde:

VAC: Valor actual de costo

FRC: factor de recuperación de capital, cuya expresión es a su vez:

$$FRC = \frac{TD * (1 + TD)^n}{(1 + TD)^n - 1}$$

Ecuación 5.4: Factor de recuperación del capital

En donde:

TD: Tasa de Descuento

n: Períodos de vida útil del proyecto

$$FRC = \frac{17 * (1 + 17)^{10}}{(1 + 17)^{10} - 1}$$

$$FRC = 17\%$$

$$CAE = 2'030.430,00 * 17\%$$

$$CAE = 345173.1$$

5.3.4 COSTO ANUAL EQUIVALENTE POR UNIDAD DE BENEFICIO

Este indicador se utiliza para demostrar el monto de beneficios que son capaces de generar en promedio por período el proyecto, el mismo que viene dado por la siguiente fórmula.

$$\text{Costo anual equivalente por unidad de beneficio} = \frac{VAC * FRC}{q}$$

En donde:

VAC: valor actual de los costos del proyecto

FRC: Factor de recuperación de capital

Q: Cantidad total de beneficios a producir durante el tiempo correspondiente al horizonte de evaluación del proyecto.

$$\text{Costo anual equivalente por unidad de beneficio} = \frac{2'030.430,00 * 0.17}{750}$$

$$\text{Costo anual equivalente por unidad de beneficio} = 460,23$$

El objetivo del proyecto en este caso no es obtener rentabilidad económica para la Policía Nacional, menos para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones EP, por lo cual se realizó el análisis costo-eficiencia basado en el beneficio social que se brindará a la ciudadanía, este valor no es cuantitativo sino es cualitativo, tomando en cuenta uno de los objetivos fundamentales del Gobierno Nacional y del Ministerio del Interior es tener una completa comunicación a nivel nacional, intentando obtener una interconexión con todas las provincias del Ecuador mediante la red troncalizada, de esta manera se colabora a la existencia de mayor seguridad pública desde las grandes urbes hasta las localidades más olvidadas y alejadas, cumpliendo con la filosofía del buen vivir, logrando con esto disminuir los índices de delincuencia.

Dentro de los beneficios no cuantificables se tiene los siguientes:

5.3.4.1 COMPONENTE SOCIOECONÓMICO

Este componente se analiza desde el punto de vista de las poblacionales junto con factores económicos y culturales, estos inciden en su identidad y calidad de vida.

5.3.4.1.1 PERCEPCIÓN SOCIAL POR LA MEJORA DE LA SEGURIDAD

En la fase de simulación de la red si se realiza el retiro de la infraestructura se observa que el impacto es significativo debido a que se deja de presentar la mejora en cobertura en los sectores evaluados por lo tanto el servicio volvería a las condiciones anteriores reduciendo la fluidez de las comunicaciones policiales.

5.3.4.2 IMPACTOS BENÉFICOS

El funcionamiento de los equipos de telecomunicaciones tendrán un impacto positivo en la mejora de la comunicación para la Policía Nacional, puesto que se tendrá una respuesta más rápida ante emergencias de cualquier tipo de seguridad pública, logrando principalmente erradicar la delincuencia expresada de diversas maneras en los sectores donde llegue la cobertura de la radio troncalizada.

5.3.4.3 BUENAS PRÁCTICAS DE RESPONSABILIDAD SOCIAL

Para mantener una buena relación con la comunidad del área de influencia, se cumplirá con las siguientes actividades por parte de la empresa CNT EP.

- Accesibilidad de la población a la información
- Cumplimiento con estándares internacionales
- Generación de empleo

Siendo esta última un beneficio para la comunidad no solo en el ámbito de seguridad si no en lo laboral, justificando de esta manera que el proyecto es socialmente viable.

En la siguiente tabla se analiza los beneficios que tendrá la Policía Nacional en las áreas de cobertura dentro de la provincia de Imbabura.

TABLA 5.9: Detalle Costo – Eficiencia

FUNCIONALIDADES DEL SISTEMA	PONDERADOR (%)	RED	RED
		TRONCALIZADA ACTUAL	TRONCALIZADA DISEÑADA
Disponibilidad	20	50	99
Confiabilidad	20	50	100
Información externa	20	80	80
Conectividad	20	50	95
Cobertura	20	50	95
Total (%)	100	56	93.8

Fuente: Investigación de campo – Autor

Este análisis se realizó tomando como referencia la experiencia que hasta el momento tiene la Policía Nacional a nivel de la provincia, en la institución no todos sus uniformados cuentan con un equipo móvil para poder comunicarse de manera más rápida y eficiente en casos que su labor lo amerite, debido a que actualmente la red satura su capacidad debido a una mayor cantidad de usuarios. El elemento principal que sustenta el proyecto es la falta de cobertura de la red troncal en zonas fuera del casco urbano, donde existen miembros policiales prestando sus servicios sin la comunicación ni herramientas necesarias, esto ocurre por la falta de repetidoras remotas Troncalizadas.

Se debe tomar en cuenta que si un proyecto tiene menos de un 80% en puntaje, dicho proyecto no cumpliría con los mínimos requerimientos y de esta manera tendría restricciones lo cual no permitiría que sea socialmente beneficioso. En este caso se puede observar que el puntaje es de 93.8 por lo cual se tiene un 93.8 % de cumplimiento llegando hacer un proyecto viable en el ámbito social.

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Los objetivos planteados en el diseño propuesto, de brindar la cobertura de la red troncalizada en toda la provincia de Imbabura junto con la interconexión a nivel nacional se ve realizada por medio del incremento de los cuatro repetidores remotos y el uso de la tecnología APCO 25 propiedad del fabricante Motorola.

Al usar una frecuencia libre para los enlaces microondas de la red troncalizada de los sitios remotos, permite al estado ahorrar dinero en concesión de frecuencias, además de la utilización eficiente del espectro radioeléctrico en el país.

El diseño de la red troncalizada presenta enlaces de gran distancia, para que esto no cause problemas de operatividad a otros sistemas las dimensiones deben realizarse adecuadamente en parámetros técnicos y físicos de los equipos e infraestructura elegida.

Los repetidores remotos de la red troncal ubicada dentro de la provincia se interconectaron al sitio principal ubicado en la Dirección Nacional de Comunicaciones, mediante enlaces de microonda que cumplen con el objetivo de disponibilidad del 99,999%, arrojado del diseño del análisis teórico.

El uso de software informático en la realización del diseño de la red troncalizada brindó el apoyo adecuado a la ejecución de la ingeniería en detalle, los valores y resultados arrojados son de completa satisfacción para el cumplimiento del objetivo inicial.

La provincia de Imbabura presenta una geografía con elevaciones de gran consideración a lo largo de toda su extensión, por este motivo el diseño de la cobertura de la red se vio afectada debido a este problema geográfico crucial en sistemas microondas.

La realización del proyecto de trabajo de grado permitió hacer uso de todos los conocimientos adquiridos en la carrera universitaria, facilitando la comprensión, utilización y análisis de datos técnicos importantes en la realización del diseño de la red troncalizada.

6.2 RECOMENDACIONES

Realizar una actualización del software del repetidor troncalizado que existe en la actualidad en Imbabura que es el de Cotacachi, para que pueda migrar a un nuevo protocolo como el APCO 25 con el cual se plantea el diseño actual.

El diseño planteado debe tener las características de escalabilidad de manera adecuada sin afectación a la infraestructura actual de la red, los nuevos repetidores deben incorporarse de manera correcta a la funcionalidad del sistema, por esto se recomienda el uso de equipos del mismo fabricante usado en la actualidad que es de Motorola Inc., esto con el objetivo de llegar a una estandarización y funcionalidad correcta de los servicios que ofrece la empresa mencionada.

En la red troncalizada es primordial dimensionar el tráfico a cursar dentro de la red, para esto se usó el parámetro de congestión, las llamadas que ingresan al sistema no se descartan, se mantiene en espera un determinado tiempo para que un canal sea asignado por el repetidor, para ello se usó el tráfico de Erlang que permite asignar el número de canales necesarios para que las llamadas no sean rechazadas. A futuro es recomendable dimensionar el número de usuarios que presenta la red troncalizada, esto con la finalidad de estudiar si es necesario la posibilidad de incrementar el número de canales en los sitios de repetición.

Para el presupuesto referencial en la inversión de mejoras del proyecto es recomendable realizarlo tomando en cuenta todos los costos de adquisición de equipos, accesorios, materiales, inversiones en personal técnico y costos de instalación actuales a la fecha realizada.

La red troncalizada está catalogada como un sistema de telecomunicaciones crítico por este motivo es necesario que se planifique un mantenimiento preventivo cuando sea implementado, con personal técnico capacitado que la CNT EP lo posee.

6.3 BIBLIOGRAFÍA

- CONATEL, (2011). MARCO REGULATORIO DE LOS SISTEMAS TRONCALIZADOS EN EL ECUADOR - REGLAMENTO Y NORMA TÉCNICA PARA LOS SISTEMAS TRONCALIZADOS.
- DUNLOP, J. & SMITH, D.G. (2009). Telecommunications Engineering, Fourth edition. England: Chapman and Hall.
- ESCOBAR, V. (2010). DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA NUEVA RED DE COMUNICACIONES DE VOZ DE LA POLICIA NACIONAL EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA. Universidad Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
- FREEMAN, Roger. (1998). Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones, Quinta Edición. México: Editorial Limusa.
- HERNANDO RABANOS, J., MONTERO, M., PÉREZ, F. (2010). Ingeniería de Sistemas Trunking. Madrid: Editorial Síntesis.
- HERNANDO RABANOS, J., RIERA, J., MENDO, T. (2013). Transmisión por Radio. Madrid: Centro de estudios Ramón Aceres.
- MURILLO, Juan. (2008). Sistemas de Radiocomunicaciones Móviles. España: Servicio de Publicaciones Universidad de Sevilla.
- POZAR, David. (2009). Microwave Engineering, 3Rd Ed. India: Iberia.
- SENDÍN, Alberto. (2004). Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles. Escalona: Mc Graw Hill.
- SINCHE, Soraya. (2007). Comunicaciones Inalámbricas. Ecuador: Servicio de Publicaciones Universidad Politécnica Nacional.
- SKLAR, Bernard. (2001). Digital Communications Systems, Segunda Edición. Estados Unidos: Prentice Hall.
- TSE, D. & VISWANATH, P. (2005). Fundamentals of Wireless Communication. England: Cambridge University Press
- Universidad de Alcalá, (S.F.), Teoría de Señal y Comunicaciones. Fundamentos de los Sistemas de Radiocomunicación. Madrid – España.

6.4 LINKOGRAFÍA

- <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>
- http://www.motorolasolutions.com/XL-ES/Product+Lines/APX/Portable+Radios/Radio_portatil_APX_2000_P25_XL-ES
- http://www.motorolasolutions.com/web/Business/Products/Two-way%20Radios/Portable%20Radios/APX%207000/_Document/Static%20File/2011_HIGH_Tier_Catalog_Final.pdf
- <http://www.textfiles.com/phreak/motorola.txt>
- http://www.motorolasolutions.com/XL-ES/Product+Lines/Red+ASTRO+25/Equipos+para+Sitio/GTR+8000_XL-ES
- <http://www.syscom.mx/principal/listadoproductosazul/redes-antenas-800-900mhz-direccionales-2195.html#>
- <http://www.syscom.mx/principal/listadoproductosazul/radiocomunicacion-torres-y-accesorios-torres-autosoportadas-ssv-2487.html>
- <http://www.teligent.se/download-form-erlang-calculator.html>