



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: INTEGRACIÓN DE UNA RED TCP/IP FIJO-MÓVIL DE
DOS VÍAS DIGITAL MOTOTRBO EN LA BANDA UHF Y LA
RED FIJA IP DE LA EMPRESA RASERCOM EN EL DISTRITO
METROPOLITANO DE QUITO D.M.Q.**

AUTOR: LUIS MIGUEL TACURI PILICITA

DIRECTOR: ING. DARWIN AGUILAR

CODIRECTOR: ING. CRISTIAN VEGA

SANGOLQUÍ - ECUADOR

2015

CERTIFICADO

Ing. Darwin Aguilar

Ing. Cristian Vega

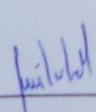
CERTIFICAN

Que el trabajo titulado **“INTEGRACIÓN DE UNA RED TCP/IP FIJO-MÓVIL DE DOS VÍAS DIGITAL MOTOTRBO EN LA BANDA UHF Y LA RED FIJA IP DE LA EMPRESA RASERCOM EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO D.M.Q.”**, realizado por Luis Miguel Tacuri Pilicita ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la institución, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de la Fuerzas Armadas.

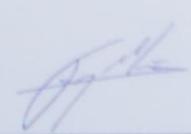
Debido a que se trata de un proyecto de investigación se recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan al Sr. Luis Miguel Tacuri Pilicita que lo entregue al Ing. Paúl Bernal MSc., en su calidad de Director de la Carrera.

Sangolquí, Abril de 2015



Ing. Darwin Aguilar
Director



Ing. Cristian Vega
Codirector

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

LUIS MIGUEL TACURI PILICITA

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado **“INTEGRACIÓN DE UNA RED TCP/IP FIJO-MÓVIL DE DOS VÍAS DIGITAL MOTOTRBO EN LA BANDA UHF Y LA RED FIJA IP DE LA EMPRESA RASERCOM EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO D.M.Q.”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Abril de 2015



Luis Miguel Tacuri Pilicita

171891340-1

AUTORIZACIÓN

Autorizo a la Universidad de la Fuerzas Armadas – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“INTEGRACIÓN DE UNA RED TCP/IP FIJO-MÓVIL DE DOS VÍAS DIGITAL MOTOTRBO EN LA BANDA UHF Y LA RED FIJA IP DE LA EMPRESA RASERCOM EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO D.M.Q.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Abril de 2015



Luis Miguel Tacuri Pilicita

171891340-1

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mis Padres, Luis y Blanquita, mis abuelitos, Miguel Paulita, por guiarme y apoyarme y nunca dejaron de creer en mí.

En general a toda mi familia, amigos, a cada uno de ustedes porque también aportaron para que se cumpla este proyecto y general este sueño.

Luis Miguel Tacuri Pilicita.

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios, quien me ha permitido culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mis queridos padres, Luis y Blanquita, que con su amor, cariño, comprensión, cuidado y apoyo han sido parte fundamental para culminar mi carrera profesional.

A mis queridos abuelitos, Miguel y Paulita, por su cariño y consejos.

A mis queridas hermanas, Marlene y Abigail, por su cariño y apoyo.

A mí querida familia en general, por su cariño y apoyo, muchas gracias, Jorgito, Martin, Amelia, Blanquita, Paul, Francis, Joao, Marianita, Carlos, Marianita, Juanito.

En especial a las personas que me ayudaron en el desarrollo de este proyecto en la empresa RASERCOM S.A., mis tíos, Carlos y Marcelo, muchas gracias por sus consejos, ayuda profesional y su amistad incondicional. A mi compañera de trabajo y sobre todo mi amiga, la persona que estuvo a mi lado, que siempre me brindo su ayuda y su apoyo incondicional, Lore, muchas gracias por todo.

A mis queridos amigos, por su amistad y apoyo.

A los Ingenieros Darwin Aguilar y Cristian Vega, por su apoyo y colaboración en la desarrollo de este proyecto.

A todos ustedes mil gracias.

Luis Miguel Tacuri Pilicita

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
GLOSARIO	xvi
CAPITULO I	1
INTEGRACIÓN DE UNA RED TCP/IP FIJO-MÓVIL DE DOS VÍAS DIGITAL MOTOTRBO EN LA BANDA UHF Y LA RED FIJA IP DE LA EMPRESA RASERCOM EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO D.M.Q.....	1
1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO	2
1.3 ALCANCE DEL PROYECTO	3
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.4.3 Marco Teórico.....	4
CAPITULO II.....	8
SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES.....	8
2.1 ANTECEDENTES	8
2.2 TRANSICIÓN TECNOLÓGICA DE LAS RADIOCOMUNICACIONES ..	9
2.2.1 Modulación Analógica.....	11
2.2.1.1 Amplitud modulada (AM)	11
2.2.1.2 Frecuencia modulada (FM).....	12
2.2.2 Modulación Digital	13
2.2.2.1 Modulación en amplitud: ASK	14
2.2.2.2 Modulación en frecuencia: FSK	15
2.2.2.3 Modulación en fase: PSK.....	15
2.2.3 Ventajas y Desventajas de la comunicación digital.....	16
2.2.3.1 Ventajas	16
2.2.3.2 Desventajas.....	17
2.3 RADIO DE DOS VÍAS O BIDIRECCIONALES	17

2.3.1	Introducción	17
2.3.1.1	Señalización.....	19
2.3.2	Repetidor	20
2.3.2.1	Repetidores comunitarios compartidos	20
2.4	ESTÁNDAR ETSI TS 102 361	21
2.4.1	Arquitectura	22
2.4.1.1	Capa 1: Capa Física.....	23
2.4.1.2	Capa 2: Capa de enlace de datos.....	27
2.5	CAPA 3: CAPA DE CONTROL DE LLAMADAS.....	30
2.5.1	Descripción de los servicios y facilidades genéricas de voz	30
2.5.2	Descripción de los servicios de voz	32
2.5.2.1	Servicio de llamada individual	32
2.5.2.2	Servicio de llamada por grupo	32
2.5.3	Descripción de los servicios de datos.....	33
2.5.3.1	Servicio de datos cortos	33
2.5.3.2	Descripción de la PDU.....	33
2.5.3.3	Protocolo de Internet (IP).....	34
2.5.3.4	Direccionamiento IP.....	35
2.6	RADIO SOBRE PROTOCOLO IP (RoIP)	37
2.6.1	Voz sobre IP (VoIP)	37
2.6.1.1	Protocolos de VoIP	38
2.6.1.2	Parámetros de VoIP.....	40
2.6.2	Radio Sobre IP (RoIP)	42
2.6.2.1	Beneficios de RoIP.....	43
2.7	SISTEMA MOTOTRBO	44
2.7.1	Descripción General	45
2.7.1.1	Primera parte: la conversión analógica a digital	46
2.7.1.2	Segunda parte: el vocodificador y la corrección adelantada de errores	46
2.7.1.3	Tercera parte: la formación de la trama.....	47
2.7.1.4	Cuarta parte: la transmisión TDMA	47
2.7.2	Eficiencia espectral mediante TDMA de dos intervalos	48
2.7.3	Calidad del audio digital	49
2.7.4	Acceso a los canales de MOTOTRBO.....	50
2.7.5	Facilidades de voz digital	51
2.7.5.1	Llamadas de grupo	51
2.7.5.2	Llamadas privadas.....	51

2.7.5.3	Llamada a todos	52
2.7.6	Facilidades de señalización digital	52
2.7.6.1	Identificación de llamada y creación de alias	52
2.7.6.2	Inhabilitación de radio (inhibición selectiva de radio).....	52
2.7.6.3	Monitoreo remoto.....	53
2.7.6.4	Verificación del radio (Radio check).....	53
2.7.6.5	Alerta de llamada (Call Alert)	54
2.7.7	Emergencia digital	54
2.7.8	Datos Integrados de MOTOTRBO.....	55
2.7.8.1	Servicios de mensajería de texto.....	57
2.7.8.2	Servicios de localización.....	60
2.7.8.3	Servicios de telemetría	61
2.7.9	Rastreo.....	62
2.8	CENTRAL TELEFÓNICA IP GRANDSTREAM UCM6104.....	63
2.8.1	Características	63
2.9	RADIO MOBILE	63
2.9.1	Introducción	63
2.9.1.1	Aplicaciones de Radio Mobile.....	64
2.9.1.2	Modelo Longley-Rise	64
CAPITULO III		66
DISEÑO E IMPLEMENTACION.....		66
3.1	DISEÑO.....	66
3.1.1	Diseño del sistema UHF digital.....	66
3.1.1.1	Tráfico de la red	67
3.1.1.2	Ancho de banda	67
3.1.1.3	Ubicación geográfica de la base y repetidor.....	67
3.1.1.4	Características del enlace Repetidor – Base.....	68
3.1.2	Simulación del enlace en Radio Mobile.....	72
3.1.2.1	Creación de las unidades.....	72
3.1.2.2	Creación de la red.....	73
3.1.2.3	Creación de sistemas	74
3.1.2.4	Miembros.....	75
3.1.2.5	Estilo de propagación	76
3.1.2.6	Presentación del enlace de radio	77
3.1.2.7	Descripción del enlace	77
3.1.2.8	Área de cobertura del repetidor	79

3.2	IMPLEMENTACIÓN	80
3.2.1	Programas para configuración	81
3.2.1.1	TRBOnet.....	81
3.2.1.2	CPS	81
3.2.1.3	RDAC	82
3.2.2	Programación de los equipos	82
3.2.2.1	Estación repetidora.....	82
3.2.2.2	Estación base central	84
3.2.2.3	Estación móvil.....	87
3.2.2.4	TRBOnet Enterprise 4.6.....	91
3.2.2.5	Central telefónica IP.....	94
3.2.3	Implementación del sistema piloto en la ciudad de Quito	97
CAPITULO IV		101
PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS		101
4.1	PRUEBAS	101
4.1.1	Pruebas y mediciones	101
4.1.2	Ventajas y desventajas de la red	108
4.1.2.1	Ventajas	108
4.1.2.2	Desventajas.....	108
4.2	ANÁLISIS	108
4.2.1	Análisis económico para la implementación del sistema	108
4.2.2	Análisis de resultados de las pruebas de campo	110
CAPITULO V.....		111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		111
5.1	CONCLUSIONES.....	111
5.2	RECOMENDACIONES	113
5.3	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Modulaci3n	10
Figura 2. 2. Demodulaci3n	10
Figura 2. 3. Se1al modulada en amplitud	11
Figura 2. 4. Se1al modulada en frecuencia	12
Figura 2. 5. Se1al modulada en amplitud	14
Figura 2. 6. Se1al modulada en frecuencia	15
Figura 2. 7. Se1al modulada en frecuencia	16
Figura 2. 8. Radio m3vil.....	18
Figura 2. 9. Radio port1til	19
Figura 2. 10. Repetidor.....	20
Figura 2. 11. Pila de Protocolo DMR	23
Figura 2. 12. DMR con TDMA de doble ranura	25
Figura 2. 13. Compatibilidad de DMR	26
Figura 2. 14. Mejora del alcance de DMR.....	27
Figura 2. 15. Supertrama de voz	29
Figura 2. 16. Sincronizaci3n de Datos en una cabecera	29
Figura 2. 17. Sincronizaci3n de datos con doble cabecera.....	29
Figura 2. 18. Sincronizaci3n de datos en una doble ranura.....	30
Figura 2. 19. Formato de una direcci3n de Clase A	35
Figura 2. 20. Formato de una direcci3n de Clase D	36
Figura 2. 21. Diagrama VoIP	38
Figura 2. 22. Pila de protocolos H.323	39
Figura 2. 23. Pila de protocolos SIP	40
Figura 2. 24. Diagrama RoIP	43
Figura 2. 25. Diagrama de red de RoIP	44
Figura 2. 26. Sistema MOTOTRBO	45
Figura 2. 27. La tecnolog1a de radio digital MOTOTRBO.....	45
Figura 2. 28. Comparaci3n entre la tecnolog1a anal3gica y digital.....	49
Figura 2. 29. Desempe1o del audio avanzado	50
Figura 2. 30. Servicios de datos con MOTOTRBO	57
Figura 2. 31. Servicios de mensajer1a de texto	57
Figura 2. 32. Servicios de de localizaci3n	60
Figura 3. 1. Dise1o de la topolog1a f1sica del sistema UHF.....	67
Figura 3. 2. Ubicaci3n de la base y repetidora en Google earth	68
Figura 3. 3. Ingreso de las coordenadas geogr1ficas del repetidor	73
Figura 3. 4. Ingreso de las coordenadas geogr1ficas del radio base	73
Figura 3. 5. Configuraci3n de la red	74
Figura 3. 6. Configuraci3n del sistema del repetidor	74
Figura 3. 7. Configuraci3n del sistema de la estaci3n base.....	75
Figura 3. 8. Configuraci3n del repetidor.....	75
Figura 3. 9. Configuraci3n de la estaci3n base	76
Figura 3. 10. Configuraci3n de estilo de propagaci3n.....	76
Figura 3. 11. Enlace de radio simulado.....	77
Figura 3. 12. Estado del enlace simulado	78

Figura 3. 13. Enlace Repetidor – Radio Base	78
Figura 3. 14. Niveles de recepción.....	79
Figura 3. 15. Cobertura del repetidor ubicado en el cerro Monjas	79
Figura 3. 16. Configuración general	83
Figura 3. 17. Programación de Red.....	83
Figura 3. 18. Programación de canal digital	84
Figura 3. 19. Configuración general	84
Figura 3. 20. Programación de potencia Tx alta y baja	85
Figura 3. 21. Programación de red	85
Figura 3. 22. Programación de contactos de tipo digital	86
Figura 3. 23. Programación de canal de tipo digital	86
Figura 3. 24. Programación de frecuencias.....	87
Figura 3. 25. Configuración general	87
Figura 3. 26. Programación de Red.....	88
Figura 3. 27. Programación del sistema de señalización de teléfono	88
Figura 3. 28. Programación de contactos de tipo digital	89
Figura 3. 29. Programación de contacto telefónico	89
Figura 3. 30. Programación de canal tipo digital.....	90
Figura 3. 31. Programación de frecuencias.....	90
Figura 3. 32. Programación del canal de datos	91
Figura 3. 33. Programación de frecuencias de canal de datos.....	91
Figura 3. 34. Creación de nuevo sistema	92
Figura 3. 35. Configuración de la ranura de voz	92
Figura 3. 36. Configuración de la ranura de datos.....	93
Figura 3. 37. Creación de del servidor PBX Externo	93
Figura 3. 38. Programación de extensiones SIP	94
Figura 3. 39. Programación de extensiones FXS.....	95
Figura 3. 40. Programación de troncales analógicas	95
Figura 3. 41. Programación de rutas salientes	96
Figura 3. 42. Programación de rutas entrantes	96
Figura 3. 43. Extensiones disponibles en la central telefónica	97
Figura 3. 44. Repetidor DGR 6175 instalado en el cerro Monjas	98
Figura 3. 45. Banco de baterías de respaldo	98
Figura 3. 46. Sistema Digital MOTOTRBO.....	99
Figura 3. 47. Central de monitoreo de la empresa RASERCOM S.A.	100
Figura 4. 1. Señal de RSSI en RDAC	102
Figura 4. 2. Servicio disponibles en TRBOnet Enterprise 4.6	102
Figura 4. 3. Equipos disponibles en la red	103
Figura 4. 4. Grabación de audio entre radio base, móvil y portátil.....	103
Figura 4. 5. Ubicación mediante GPS de radio móvil	104
Figura 4. 6. Ubicación mediante GPS de radio portátil.....	104
Figura 4. 7. Reporte de mensajes de texto entre equipos	105
Figura 4. 8. Llamada telefónica desde radio móvil	105
Figura 4. 9. Área de cobertura norte de Quito	106
Figura 4. 10. Área de cobertura centro de Quito	107
Figura 4. 11. Área de cobertura sur de Quito	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Bandas en frecuencias	17
Tabla 2. 2. Códecs de VoIP	41
Tabla 3. 1. Ubicación geográfica de la base y repetidora.....	67
Tabla 3. 2. Cálculo de las pérdidas totales de línea	70
Tabla 3. 3. Equipamiento en el Cerro Monjas	80
Tabla 3. 4. Equipamiento de la central de monitoreo	81
Tabla 4. 1. Recomendación por defecto para todos los niveles de RSSI.....	102
Tabla 4. 2. Equipos utilizados en el sistema piloto	109
Tabla 4. 3. Costo de equipos utilizados del sistema piloto	109
Tabla 4. 4. Niveles de RSSI configurados en TRBOnet Enterprise 4.6	110
Tabla 5. 1. Características de la antena dipolo doblado	Error! Bookmark not defined.

RESUMEN

El presente proyecto ha sido desarrollado para verificar y aprovechar todos los beneficios que ofrece el sistema digital MOTOTRBO, que es el primer sistema digital de radio de dos vías de Motorola el cual permite tener una mejor calidad de voz, envío de mensajes de texto, ubicación mediante GPS, todo esto puede realizarse debido a que utiliza la tecnología TDMA que admite voz y datos y divide un canal de 12.5 KHz en dos periodos alternos: lo que brinda el doble de capacidad de llamadas, en comparación con los radios analógicos o de tecnología FDMA, además MOTOTRBO tiene una nueva funcionalidad de Interconexión Telefónica Digital MOTOTRBO, la cual interconecta teléfonos de línea fija/móvil a través de una central telefónica con radios de dos vías digital sin limitación alguna. Todo este nuevo sistema de dos vías digital MOTOTRBO fue implementado en el Cerro Monjas sobre la infraestructura de la red analógica que utilizaba la empresa RASERCOM S.A., debido a que es compatible y no se realizó un gasto adicional cambiando toda la infraestructura como antena, cable coaxial, duplexor, fuente de poder, cargador de baterías. En la empresa RASERCOM S.A., que se encuentra ubicada en la ciudad de Quito, se implementó una central telefónica IP Grandstream UCM6104 y el software TRBOnet Enterprise 4.6 el cual gestiona y controla a todos los equipos que se encuentran en el sistema. Con la implementación de este sistema piloto, la empresa RASERCOM S.A., busca generar nuevas oportunidades de negocio, ofreciendo nuevos servicios y soluciones de telecomunicación para sus clientes.

PALABRAS CLAVE

RADIO DE DOS VÍAS

MOTOTRBO

TDMA

INTERCONEXIÓN TELEFÓNICA

INFRAESTRUCTURA

ABSTRACT

This project has been developed to verify and take advantage of all the benefits offered by the MOTOTRBO digital system, which is the first digital two-way radio Motorola which allows better voice quality, sent text messages, GPS location , all this can be done because it uses TDMA technology that supports both voice and data, and divides a 12.5 kHz channel into two alternating periods: what provides twice the calling capacity, compared to analog or FDMA radios, MOTOTRBO also has a new feature of MOTOTRBO Digital Telephone Interconnect, which interconnects landline/mobile through a telephone exchange with digital two-way radios without limitation. All this new MOTOTRBO digital two-way pilot system was implemented in the Monjas hill based on the analogue network infrastructure that used the company RASERCOM SA, because it is compatible and no additional expense was incurred changing the entire infrastructure as an antenna, coaxial cable, duplexer, power supply, battery charger. In the company RASERCOM SA, which is located in the city of Quito, was implemented a telephone exchange Grandstream IP UCM6104 and TRBOnet Enterprise 4.6 software which manages and controls all radios in the system. With the implementation of this pilot system, the RASERCOM SA Company seeks to generate new business opportunities by offering new services and telecommunications solutions for their customers.

KEYWORDS

TWO-WAY RADIO

MOTOTRBO

TDMA

TELEPHONE INTERCONNECT

INFRASTRUCTURE

GLOSARIO

A

- AFSK** Modulación por Desplazamiento de Frecuencia de Audio (Audio Frequency Shift Keying, por sus siglas en inglés).
- ARP** Protocolo de Resolución de Direcciones (Address Resolution Protocol, por sus siglas en inglés).
- ASK** Modulación por Desplazamiento de Amplitud (Amplitudes-Shift Keying, por sus siglas en inglés), modulación digital.

B

- BOC** Inicio de Llamada (Beginning Of Call, por sus siglas en inglés).

C

- CACH** Anuncio de Canal Común (Common Announcement Channel, por sus siglas en inglés).
- CAI** Interfaz de Aire Común (Common Air Interface, por sus siglas en inglés).
- CCL** Capa de Control de Llamada (Call Control Layer, por sus siglas en inglés).
- CPS** Servicio Personalizado de Programación (Custom Programming Service, por sus siglas en inglés) Software de Programación para equipos móviles, portátiles y repetidoras MOTOTRBO.
- CRC** Control de Redundancia Cíclica (Cyclic Redundancy Check, por sus siglas en inglés).
- CSBK** Bloque de Control de Señalización (Control Signalling Block, por sus siglas en inglés).
- CTSS** Sistema de Silenciamiento Codificado de Tonos Continuos (Continuous Tone-Coded Squelch System, por sus siglas en inglés).

D

- DLL** Capa de Enlace de Datos (Data Link Layer, por sus siglas en inglés)
- DMR** (Digital Mobile Radio, por sus siglas en inglés) es una norma de transceptores móviles digitales específica para los usuarios de transceptores móviles profesionales desarrollada por el Instituto de Estandarización Europeo de Telecomunicaciones.
- DTMF** Tono Dual de Múltiples Frecuencias (Dual Tone Multi Frequency, por sus siglas en inglés).

E

- ETSI** Instituto de Estandarización Europeo de Telecomunicaciones (European Telecommunications Standards Institute, por sus siglas en inglés).
- FEC** Corrección de Errores sin Canal de Retorno (Forward Error Correction, por sus siglas en inglés).

F

- FDMA** Acceso Múltiple por División en el Frecuencia (Frequency Division Multiple Access, por sus siglas en inglés) Es una técnica de multiplexación usada en múltiples protocolos de comunicaciones, tanto digitales como analógicos, principalmente de radiofrecuencia.
- FM** Frecuencia Modulada.
- N-FM** FM de Banda Estrecha (Narrow-FM, por sus siglas en inglés).
- W-FM** FM de Banda Ancha (Wide-FM, por sus siglas en inglés).
- FSK** Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (Frequency-Shift Keying, por sus siglas en inglés), modulación digital.

G

- GPS** Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System, GPS, por sus siglas en inglés) Es un sistema que sirve para determinar la posición con coordenadas de Latitud, Longitud y

Altura. Se basa en una constelación de 21 satélites que orbitan a la tierra.

I

- ICMP** Protocolo de Mensajes de Control de Internet (Internet Control Message Protocol, por sus siglas en inglés).
- IETF** Equipo de Ingeniería para el Desarrollo de Internet (Internet Engineering Task Force, por sus siglas en inglés).
- IP** Protocolo de Internet (Internet Protocol, por sus siglas en inglés), es un protocolo de comunicación de datos digitales.
- IPv4** Protocolo de Internet versión 4.

L

- LOS** Línea de Vista (Line of Sight, por sus siglas en inglés) se refiere a una línea imaginaria, existente entre las antenas transmisoras y receptoras.
- LMR** Servicio de Radio Móvil Terrestre (Land Mobile Radio, por sus siglas en inglés).

M

- MDC** Comunicación de Datos de Motorola (Motorola Data Communications, por sus siglas en inglés) es una señalización digital propia de Motorola.

O

- OACSU** Establecimiento de Llamada Fuera de Aire (Off Air Call SetUp, por sus siglas en inglés).

P

- PATCS** Configurar, Pulsar, Llamar y Hablar (Press And Talk Call Setup, por sus siglas en inglés).

PDP	Protocolo de Paquete de Datos (Packet Data Protocol, por sus siglas en inglés).
PDU	Unidad de Datos de Protocolo (Protocol Data Unit, por sus siglas en inglés).
PL	Capa Física (Physical Layer, por sus siglas en inglés).
PMR	Radio Móvil Profesional (Professional Mobile Radio, por sus siglas en inglés).
PSK	Modulación por Desplazamiento de Fase (Phase-Shift Keying, por sus siglas en inglés), modulación digital.
PSTN	Red Telefónica Pública Conmutada (Public Switched Telephone Network, por sus siglas en inglés).
PTT	Presione Para Transmitir (Push to Talk, por sus siglas en inglés) Al pulsar el botón PTT se inicia una transmisión de voz por el canal seleccionado. Esto proporciona al usuario un sencillo mecanismo de presionar y hablar.

Q

QoS	Calidad de Servicio (Quality of Service, por sus siglas en inglés).
-----	---

R

RDAC	Diagnóstico y Control de Repetidor (Repeater Diagnostics And Control), software que permite el monitoreo del repetidor MOTOTRBO.
RF	Radiofrecuencia
RPT	Protocolo de Transporte de tiempo Real (Real-time Transport Protocol, por sus siglas en inglés).
RSSI	Indicador de Fuerza de la Señal Recibida (Received Signal Strength Indicator, por sus siglas en inglés).

S

SENATEL Secretaria Nacional de Telecomunicaciones, es la encargada de la asignación y concesión de frecuencias dentro del Ecuador.

SIP Protocolo de Inicio de Sesión (Session Initiation Protocol, por sus siglas en inglés).

T

TCP/IP Transmission Control Protocol (TCP) y el Internet Protocol (IP) es la base del Internet que sirve para enlazar ordenadores que utilizan diferentes sistemas operativos, incluyendo PC, minicomputadoras y computadoras centrales sobre redes de área local y área extensa.

TDMA Acceso Múltiple por división en el Tiempo (Time-Division Multiple Access, por sus siglas en inglés), es una técnica de multiplexación que distribuye las unidades de información en ranuras alternas de tiempo.

TUNER Software que permite la calibración de parámetros técnicos como: audio, potencia, sensibilidad, etc.

U

UTIC's Unidad de Tecnologías de Información y Comunicaciones.

UHF Frecuencia Ultra Alta (Ultra High Frequency, por sus siglas en inglés), es la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencia de 300 a 3000 MHz.

V

VoIP Voz sobre el Protocolo de Internet (Voice Over Internet Protocol, por sus siglas en inglés).

CAPITULO I

INTEGRACIÓN DE UNA RED TCP/IP FIJO-MÓVIL DE DOS VÍAS DIGITAL MOTOTRBO EN LA BANDA UHF Y LA RED FIJA IP DE LA EMPRESA RASERCOM EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO D.M.Q.

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Durante la mayor parte de su historia, el radio de dos vías ha sido un medio análogo, y en la actualidad la amplia mayoría de los sistemas aún son análogos. De la misma manera como la tecnología digital ha transformado los otros medios, está revolucionando ahora la manera en la cual los profesionales móviles se comunican en el campo. Como la digitalización de la música, la TV y otros medios tradicionalmente análogos, la tecnología digital de radio de dos vías ofrece muchísimas ventajas en relación con los sistemas análogos del pasado.

Por ejemplo, en comparación con un radio análogo de dos vías, el sistema digital de radio de dos vías puede ofrecer una mayor eficiencia de espectro para una mayor capacidad de llamadas, una mejor calidad de voz, especialmente en los márgenes más lejanos del rango RF, y una cobertura más confiable haciendo más fácil escuchar y entender conversaciones, incluso en ambientes difíciles y de rango largo.

MOTOTRBO combina lo mejor en funcionalidad de radio de dos vías y tecnología digital, y es una solución de sistema de datos y voz integrada que incluye radios móviles y portátiles, accesorios de audio y alimentación eléctrica, repetidores,

mensajería de texto y aplicaciones de seguimiento de posición y ubicación satelital. Así, un usuario situado en uno de sus emplazamientos con cobertura puede compartir voz y datos vía una red IP con los radiotelefonos MOTOTRBO. [1]

La empresa RASERCOM S.A. dedicada desde sus comienzos a la comercialización de equipos e instalación de sistemas de radiocomunicación en las bandas HF, VHF, UHF, en especial la marca Motorola, además de brindar servicios técnicos y arriendo de infraestructura de casetas y torres, repetidoras privadas, enlaces en las los principales cerros de la ciudad de Quito y Guayaquil, cuenta con sistemas propios de dos vías digital MOTOTRBO y redes IP. Este proyecto de grado tiene como objetivo realizar un estudio para implementar una red de transmisión de datos con plataforma TCP/IP, que permita la integración entre las redes fijo-móvil digital de dos vías MOTOTRBO y la red fija IP. [2]

El diseñador de los sistemas de comunicaciones de la actualidad utiliza las herramientas de HF, VHF, UHF y SATCOM y capitaliza las capacidades únicas que cada una aporta para el trabajo. El radio HF ofrece una combinación sin igual de costo-eficiencia y versatilidad para comunicaciones de largo alcance, mientras que los productos de radio VHF/UHF aportan con soluciones para los requerimientos clásicos de comunicaciones de línea de vista.

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO

En la actualidad se utilizan sistemas de transmisión por radiofrecuencia para el intercambio de datos y se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten el transporte de voz y datos con modulaciones digitales y la utilización un ancho de banda menor. En nuestro país, se está viviendo una transición de analógico a digital, por lo que la importancia de esta tesis de grado está enfocada a proporcionar una integración de una red que permita la comunicación de la red IP y la red fijo-móvil de dos vías que combina lo mejor en funcionalidad de radio bidireccional y tecnología digital para brindar una mayor capacidad y eficiencia espectral,

aplicaciones de datos integrados y comunicaciones de voz avanzadas utilizando tecnología MOTOTRBO.

La empresa RASERCOM S.A., dedicada al sector de las Radiocomunicaciones cuenta con propia infraestructura en lo que es sistemas de dos vías (análoga y digital), y también cuenta con redes de telefonía IP, pero actualmente no han sido integradas. Por lo que la implementación de esta red busca generar nuevas oportunidades de negocio, ofreciendo nuevos servicios y soluciones de telecomunicación.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance propuesto para el presente proyecto es la implementación de una red Digital; la cual integre la red fijo-móvil de dos vías y la red fija IP de la empresa RASERCOM S.A.

Para lo cual se tomara como base el sistema analógico de radiocomunicación de la empresa y se realizará un nuevo diseño con tecnología digital MOTOTRBO para ofrecer diferentes servicios de datos tales como: comunicación de voz, mensajes de texto y localización vehicular, además de la configuración de equipos para la integración a la red IP.

Con los resultados obtenidos de este nuevo diseño se elaborara un estudio de factibilidad técnica-económica y se realizara las pruebas de campo de la red digital.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Realizar el diseño e implementación de una red de transmisión de datos con plataforma TCP/IP, que permita la integración entre las redes fijo-móvil de dos vías digital MOTOTRBO en la banda UHF y la red fija IP de la empresa RASERCOM S.A.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Presentar una introducción del proyecto a ser desarrollado el cual permite diagnosticar la factibilidad de implementación de esta red digital.
- Establecer el Marco teórico conceptual que permita definir las posibles ventajas y desventajas de esta tecnología.
- Diseñar, simular e implementar una red digital (Repetidora a utilizar, equipos, servidor, software).
- Realizar las pruebas de funcionamiento entre la red digital MOTOTRBO y la red fija IP.
- Realizar un análisis de costo para la implementación del proyecto.
- Presentar las conclusiones y recomendaciones del proyecto de grado que se realizó.

1.4.3 Marco Teórico

Los sistemas de radios digitales profesionales de dos vías que funcionan en el espectro radioeléctrico con licencia que es otorgada por la SENATEL ofrecen capacidades que otras tecnologías móviles no pueden brindar. Estas ventajas los convierten en la solución adecuada para las organizaciones móviles que requieren de una solución económica, flexible y altamente confiable, junto con la potencia y el alcance disponibles únicamente en una banda.

Los radios de dos vías, con el paso del tiempo han evolucionado a sistemas más complejos como sistemas troncalizados de radiocomunicación y en la actualidad sistemas de radio digitales que permiten realizar llamadas individuales, llamadas de grupo, llamadas privadas y seguras, también nuevas aplicaciones como: mensajes de texto, aplicaciones de seguimiento de posición mediante GPS y además de transmitir voz de un punto a otro mediante internet, lo que permite extender el área de cobertura de la red.

Los radios digitales realizan un mejor uso del espectro radioeléctrico que en la actualidad esto es posible mediante TDMA, un canal se organiza en 2 intervalos de tiempo: dos llamadas pueden compartir el mismo canal al mismo tiempo sin interferir entre sí, por lo que se duplica la eficiencia del espectro.

El espectro disponible de frecuencias portadoras se divide en bandas principales (por ejemplo, VHF y UHF) y la mayoría de los canales sujetos a licencia hoy día tienen anchos de 25 KHz o 12,5 KHz. A medida que se han ido congestionando el espectro radioeléctrico, ha surgido la necesidad de adoptar normas y tecnologías nuevas que permitan a un número mayor de usuarios de radio compartir el espectro disponible con anchos de banda de 6.25 y 12.5 KHz.

MOTOTRBO es una tecnología que combina lo mejor de la funcionalidad de radio de dos vías con la tecnología digital a fin de ofrecer una calidad de voz mejorada en un mayor alcance, más privacidad, características sofisticadas para el control de llamadas, la posibilidad de integración con sistemas de información, mayor capacidad y una mejor funcionalidad utilizando TDMA que permite usar dos ranuras de tiempo para comunicaciones de voz, o usar una ranura para datos y otra para voz, o las dos ranuras dedicadas para datos duplicando así la capacidad del canal por repetidor, incrementando el número de usuarios y aumentando el tiempo de transmisión por usuario.

IP Site Connect, es una característica digital de MOTOTRBO, le permite conectar instantáneamente hasta 15 repetidores, en un sitio único o a través de

sitios múltiples, para crear una red confiable de comunicaciones de área local y también amplia. Un usuario en uno de sus sitios de cobertura puede compartir comunicaciones de voz y datos con usuarios en cualquiera de sus otros sitios geográficos, en cualquier parte del mundo a través de una red IP utilizando los radios MOTOTRBO. [3]

Además MOTOTRBO interconecta teléfonos de línea fija/móvil con radios de dos vías sin limitación alguna. De modo que los usuarios que no dispongan de un radio de dos vías podrán hablar con los usuarios de radio, ya sea para establecer una comunicación privada con un solo radio o una llamada grupal con varias personas. [4]

La tecnología MOTOTRBO se basa en la norma ETSI TS 102 361. [5], y consta de tres capas:

La capa de acceso a la red (Capa 1)

Esta capa consta básicamente de:

- Sincronización
- Definir las características funcionales de la interfaz (establecimiento, mantenimiento y liberación del enlace físico).
- Modulación y Demodulación,
- Características de RF.

La capa de enlace de datos (Capa 2)

Esta capa corresponde a los mecanismos de:

- Codificación de canal (FEC, CRC).
- Relación de las direcciones (origen y / o destino),
- Conexión de aplicaciones de voz (vocoder) de datos con la capa física.
- Control de acceso al medio y la gestión de canales.
- Mecanismos de reconocimiento de datos y retransmisión.

- Construcción de *Frame*, *Superframe* y sincronización.
- Relación de las direcciones (origen y / o destino).

La capa de control de llamadas (Capa 3)

Esta capa corresponde a los mecanismos de:

- Activación y desactivación de la estación base.
- Estabilización, mantenimiento y terminación de las llamadas
- Transmisión y recepción de las llamadas individuales y de grupo
- Llamadas de emergencia
- Señalización y el control de llamadas de datos.

El sistema MOTOTRBO trabaja con una modulación digital 4FSK y Vocoder Digital AMBE++, en general la compañía Motola y su sistema de radio MOTOTRBO ofrece una serie de aplicaciones que facilitan la migración de tecnología y permiten aprovechar las facilidades de un sistema de radiocomunicación digital.

CAPITULO II

SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES

2.1 ANTECEDENTES

Los primeros sistemas de radio de dos vías permitían sólo una estación transmitir a la vez mientras que las otras estaciones escuchaban, esto debido a que todas las señales estaban en la misma frecuencia de radio.

Mediante el uso de receptores y transmisores sintonizados a diferentes frecuencias, los problemas introducidos por el funcionamiento de un receptor junto a un transmisor estaban solucionados, la transmisión y recepción simultánea era posible en cada extremo de un enlace de radio.

Un Handie-talkie (conocido más formalmente como un transmisor-receptor portátil) de una mano, fue desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial y ha sido acreditado al equipo de ingeniería de Motorola y se convirtió en una marca registrada. Las características principales incluyen un canal half-duplex y un PTT que inicia la transmisión. Los radios portátiles Motorola hicieron posible que el radio se pudiera escuchar en cualquier lugar. [6]

La mayoría de los productos de Motorola tenían relación con las ondas de radio, empezando por el eliminador de baterías para radio, hasta el primer Handie-talkie, siguiendo por la electrónica destinada a la defensa, la infraestructura de telefonía móvil y finalmente la comercialización de dispositivos para utilizar dicha infraestructura. Actualmente tiene una diversificada línea de productos en materia de

telecomunicaciones que pasa desde los sistemas de satélite, equipos de datos, Tv y más. [6]

2.2 TRANSICIÓN TECNOLÓGICA DE LAS RADIOCOMUNICACIONES

Las ondas de radio se desarrollaron como una tecnología que permite la transmisión de señales mediante la modulación de ondas electromagnéticas.

Esta tecnología radica en el medio de propagación de las señales, sea este el aire o el vacío, no requiere el despliegue de un medio físico para el transporte de las señales.

Los radios de dos vías, son dispositivos que transmiten y reciben señales de voz a través del aire, es un vínculo eficiente y confiable entre los usuarios.

Los radios digitales realizan un mejor uso del espectro radioeléctrico, utilizando la tecnología TDMA, lo que permite aumentar la calidad de voz, tener una mayor cobertura y la posibilidad de integración con sistemas de información.

En esencia las comunicaciones electrónicas son la transmisión, recepción y procesamiento de información usando circuitos electrónicos.

Se define a la información como el conocimiento o las señales inteligentes comunicados o recibidos. La información se propaga a través de un sistema de comunicaciones en forma de símbolos que pueden ser analógicos (continua), como la voz humana, la información de las imágenes de video, o la música: o bien pueden ser digitales (discretos), como los números codificados en sistema binario, los códigos alfanuméricos, los símbolos gráficos, los códigos de operación de microprocesadores o la información de bases de datos. [7]

Sin embargo, y con mucha frecuencia, la información de la fuente no es adecuada para transmitirse en su forma original y se debe convertir a una forma

más adecuada antes de transmitirla.

Para transmitir esta información ya sea análoga o digital, se emplea una técnica en el transmisor llamada modulación la que permite modificar la señal original (señal moduladora) a una forma más adecuada para la transmisión. Esto se logra usualmente generando una transformación, aplicando otra señal (señal portadora) a la señal original con la finalidad de transportar la información a través de un canal de comunicación y recuperar la señal en la forma original en el receptor mediante la demodulación. [7]

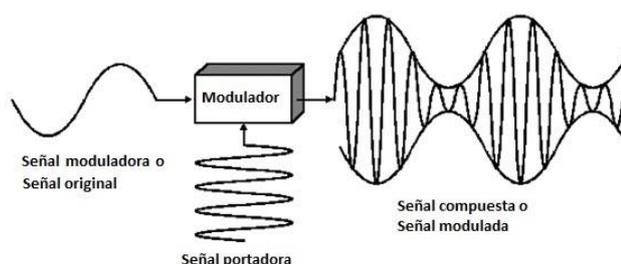


Figura 2. 1. Modulación [8]

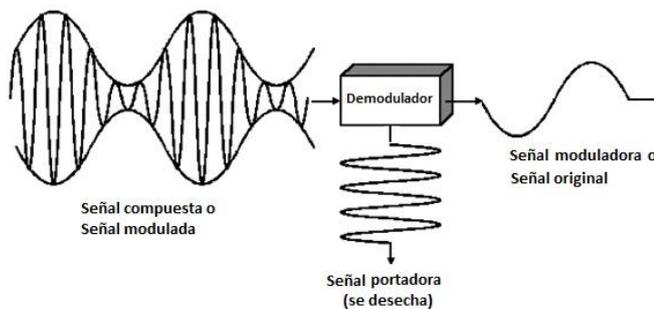


Figura 2. 2. Demodulación [8]

Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, disminuye las dimensiones de la antenas, mejora la resistencia contra posibles ruidos e interferencias.

Los sistemas tradicionales de comunicaciones electrónicas, que usan técnicas

convencionales de modulación analógica, se están sustituyendo rápidamente por sistemas de comunicación digital, más modernos, que tienen varias y notables ventajas sobre los sistemas analógicos tradicionales como es: facilidad de procesamiento, facilidad de multiplexado e inmunidad al ruido.

2.2.1 Modulación Analógica

Este tipo de modulación se utiliza cuando se desea transmitir señales analógicas, como la voz, audio y video en forma eléctrica, a una frecuencia diferente o con un ancho de banda menor. La modulación se puede realizar utilizando cambios de amplitud (Amplitud modulada (AM) o modulación de amplitud), frecuencia (Frecuencia modulada (FM) o modulación de frecuencia) de la señal portadora.

2.2.1.1 Amplitud modulada (AM)

Es un tipo de modulación lineal que consiste en hacer variar la amplitud de la señal portadora de forma que esta cambie de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal moduladora, que es la información que se va a transmitir.

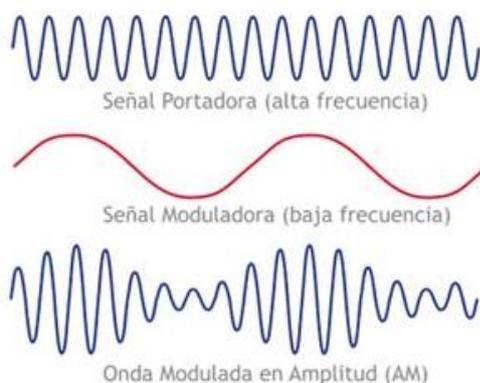


Figura 2. 3. Señal modulada en amplitud [9]

La modulación de amplitud es usada en la radiodifusión de señales de audio y video, que operan en la banda comprendida en 535 a 1605 KHz, más conocida

como "Banda AM", además es utilizada en las comunicaciones radiales entre los aviones y las torres de control de los aeropuertos.

2.2.1.2 Frecuencia modulada (FM)

Es un tipo de modulación angular que consiste en variar la frecuencia de la señal portadora de acuerdo con la intensidad de la señal de moduladora. La amplitud de la onda modulada es constante e igual que la de la onda portadora.

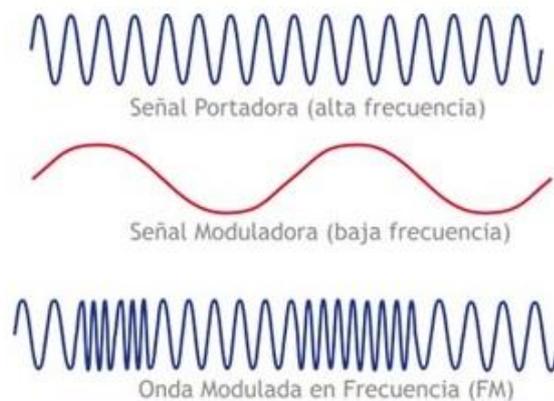


Figura 2. 4. Señal modulada en frecuencia [9]

Debido a que el ruido e interferencia y algunas perturbaciones eléctricas, como las originadas por tormentas o sistemas de encendido de los automóviles, alteran la amplitud de la onda, en FM no afecta a la información transmitida, puesto que la información se extrae de la variación de frecuencia y no de la amplitud, que es constante. Como consecuencia de estas características de modulación se puede observar cómo la calidad de sonido o imagen es mayor cuando modulamos en frecuencia que cuando lo hacemos en amplitud.

Como la banda MF, que se utilizaba tradicionalmente en los servicios de radio, estaba completamente saturada, se le adjudicó estos servicios a la banda VHF que en la actualidad es usada por estaciones o emisoras comerciales de radio que tienen frecuencias entre 88 y 108 MHz, por la alta fidelidad de la radiodifusión de la música y voz. El sonido de la televisión analógica también es difundido por

medio de FM. [10]

La banda estrecha se utiliza para comunicaciones de voz en la radio comercial y en las configuraciones de aficionados. El tipo usado en la radiodifusión FM es generalmente llamado W-FM. En la radio de dos vías, la banda N-FM es utilizada para ahorrar ancho de banda. [11]

La propagación de la banda UHF se realiza por medio de ondas directas o espaciales, que se caracterizan por su direccionalidad y, en consecuencia, su limitada cobertura (las ondas directas se pierden en el espacio cuando confluyen con la línea del horizonte). Esta direccionalidad hace que las señales de FM puedan ser fácilmente absorbidas o "apagadas" por los obstáculos que encuentra en su trayectoria.

La propagación de la banda de UHF es pequeña, comparada con la alcanzada por la AM, lo que convierte a la frecuencia modulada en un servicio de radio local. La longitud de onda de esta banda de frecuencia hace que las antenas sean de pequeñas dimensiones y consecuentemente tengan una polarización horizontal.

El paso de Modulación en Amplitud, a la Modulación en Frecuencia, establece un importante avance no solo en el mejoramiento que presenta la relación señal-ruido, sino también una mayor resistencia al efecto de desvanecimiento y a la interferencia.

2.2.2 Modulación Digital

Es el proceso mediante el cual los símbolos digitales (trenes de bits 1s y 0s) son transformados en formas de onda que son compatibles con la característica espectral de un canal. En el caso de la modulación pasa banda, la señal de información deseada se modula en una onda portadora; para la transmisión de radio frecuencia, la portadora es convertida en un campo electromagnético para su propagación al destino deseado. [12]

La modulación pasa banda puede proporcionar otros beneficios importantes en transmisión de señales. Si más de una señal utiliza el mismo canal, la modulación puede ser utilizada para separar las diferentes señales. Tal técnica es conocida como división por multiplexación en la frecuencia. En éste sentido, la modulación se usa para minimizar las interferencias de otras señales.

Los tipos de modulación digital pasa banda más utilizados son:

2.2.2.1 Modulación en amplitud: ASK

En este tipo de modulación cada uno de los niveles lógicos se representa por dos amplitudes diferentes de la portadora. Normalmente uno de los valores lógicos se representa por la ausencia de la portadora, mientras que el otro se representa por la presencia de la misma.

Esta técnica es muy susceptible a interferencias, además de ser una técnica de modulación bastante ineficaz, pero su implementación es bastante simple. Normalmente se utiliza para enviar señales a través de fibra óptica, por ser esta inmune a interferencias electromagnéticas. [13]

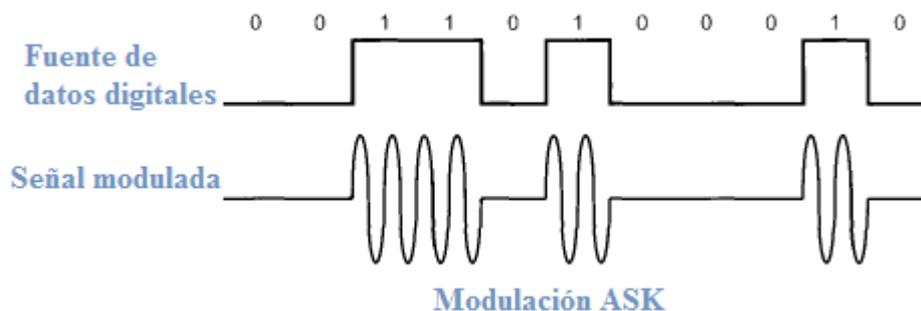


Figura 2. 5. Señal modulada en amplitud [13]

2.2.2.2 Modulación en frecuencia: FSK

En este tipo de modulación la información se transmite en la frecuencia de la portadora, igual que en la modulación FM. Por ejemplo, en la modulación BFSK (Binary FSK) la frecuencia solamente puede tomar dos valores: si el bit a transmitir es un 0, se transmitirá una frecuencia y si el bit a transmitir es un 1, se transmitirá otra diferente. El receptor conoce el bit transmitido midiendo en cada tiempo de bit la frecuencia recibida.

Normalmente es usada para transmisión a bajas frecuencias y puede ser:

Coherente.- Donde no ocurre variación de fase de la portadora para dígitos del mismo valor.

No Coherente.- Donde puede ocurrir variación de fase de la portadora para dígitos del mismo valor.

Este método de modulación es mucho menos susceptible a interferencias y se utiliza normalmente en transmisiones de radio a frecuencias altas.

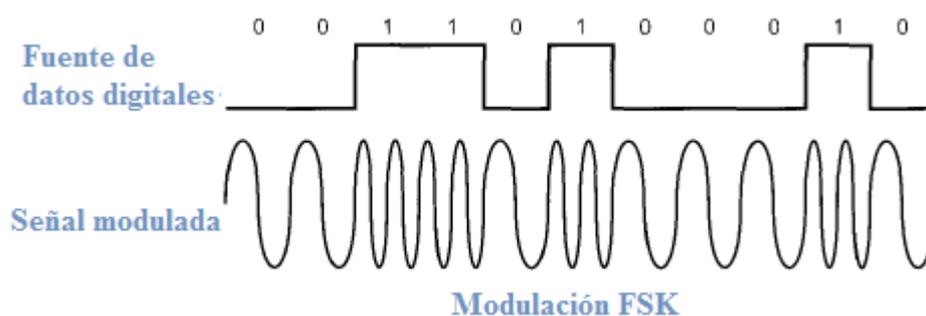


Figura 2. 6. Señal modulada en frecuencia [13]

2.2.2.3 Modulación en fase: PSK

En este tipo de modulación la información viaja en la fase de la señal. Por ejemplo, en la modulación BPSK (Binary PSK) si el bit a transmitir es un 0, se transmite en la misma fase de la portadora y si el bit a transmitir es un 1, se invierte

la fase de la portadora. El receptor sabe qué bit le ha llegado midiendo la fase de la portadora que llega. [13]

Normalmente estos cambios de fase son de 180° como: BPSK (dos fases, 0° y 180°), pero también existe en múltiplos de 90° grados, en este caso se conoce como: QPSK (cuatro fases, 0° , 90° , 180° y 270°), haciendo mejor uso del ancho de banda al enviar 2 datos binarios a la vez.

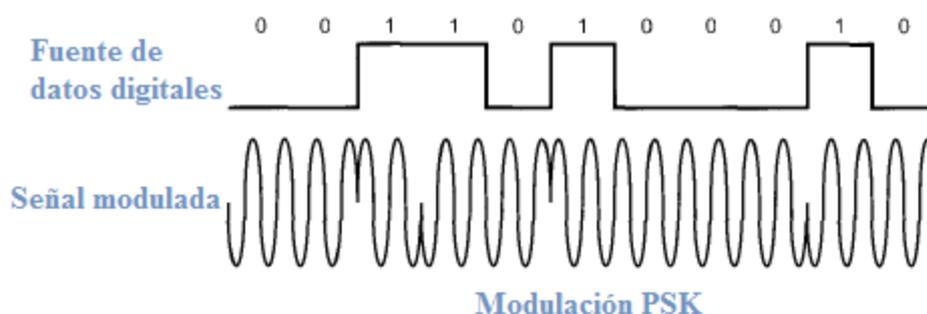


Figura 2. 7. Señal modulada en frecuencia [13]

2.2.3 Ventajas y Desventajas de la comunicación digital

2.2.3.1 Ventajas

- En la radio digital la información analógica (voz) es digitalizada y modulada sobre una portadora de RF para ser transmitida. En la recepción estos cambios son decodificados de acuerdo a un patrón de símbolos definido, lo cual permite que se logre una decodificación precisa, a pesar de la presencia considerable de ruido. Esto quiere decir que la información analógica original puede ser casi perfectamente reconstruida, aún cuando la señal RF recibida sea débil.
- Con las técnicas de multiplexación para el acceso al medio, tales como: TDMA, CDMA y FDMA. Tradicionalmente solo una conversación podía ocupar cualquier bloque del espectro (canal), a la vez, sin embargo gracias a las técnicas de multiplexación, hoy en día, se pueden realizar varias conversaciones al mismo tiempo, utilizando el mismo canal.

2.2.3.2 Desventajas

- Los sistemas de radiocomunicación digital son incompatibles con los sistemas de radiocomunicación análoga.

2.3 RADIO DE DOS VÍAS O BIDIRECCIONALES

2.3.1 Introducción

Un radio de dos vías puede transmitir y recibir (un transmisor-receptor), se comunica con radios similares que operan en una misma banda de frecuencia (tabla 2.1) del Espectro Radioeléctrico, estas frecuencias se asignan de forma diferente en cada país.

Tabla 2. 1. Bandas en frecuencias

BANDA	RANGO DE FRECUENCIAS	LONGITUD DE ONDA	APLICACIONES
Frecuencias bajas (LF)	30 – 300 KHz	10000 – 1000 m	Comunicación náutica de largo alcance, radiodifusión
Frecuencias medias (MF)	300 – 3000 KHz	1000 – 100 m	Radiodifusión, radio AM
Frecuencias altas (HF)	3 – 30 MHz	100 – 10 m	Sistemas móviles de aire, mar y tierra
Frecuencias muy altas (VHF)	30 – 300 MHz	10 – 1 m	Radio FM, radio de dos vías (rango: 136 - 174), TV
Frecuencias ultra altas (UHF)	300 – 3000 MHz	1 m – 10 cm	Radio de dos vías (rango: 403 - 520), radio troncalizado, TV, Telefonía móvil, GPS.
Frecuencias súper altas (SHF)	3 – 30 GHz	10 – 1 cm	Comunicaciones por microondas, satélite, Radar
Frecuencias extremadamente altas (EHF)	30 – 300 GHz	1 cm – 1mm	Radar

En los sistemas de radio de dos vías, la voz es modulada mediante el micrófono, luego es amplificada por la etapa de potencia del radio, para posteriormente ser radiada al espacio mediante una antena.

En el equipo receptor, la señal de RF es captada por una antena, luego esta señal es amplificada, demodulada, con lo que la señal original (voz) es procesada en un amplificador de audio, para posteriormente ser escuchada por un parlante.

Normalmente operan en modo Half-duplex (semi-duplex); es decir, el operador puede hablar y escuchar, pero no al mismo tiempo.

Los equipos pueden ser programados en una o varias frecuencias en diferentes canales, por lo que los operadores no necesitan sintonizar el equipo a una frecuencia particular, sino que puede utilizar una o más frecuencias preseleccionadas, fácilmente de elegir por un pulsador o por otros medios.

Se encuentran disponibles en radios base, radios móviles y radios portátiles (radios de mano) que a menudo son llamados walkie-talkies. La diferencia principal está en que las radios móviles ofrecen una mayor potencia de transmisión pero no pueden ser transportadas por el usuario al abandonar el vehículo o estación base. Las unidades portátiles transmiten con una cantidad menor de potencia, lo cual involucra un rango reducido para la comunicación con la estación base.



Figura 2. 8. Radio móvil [14]



Figura 2. 9. Radio portátil [15]

2.3.1.1 Señalización

Los sistemas de radio de dos vías utilizan algún tipo de señalización, lo cual permite al receptor identificar quien está transmitiendo o desea comunicarse, esto puede realizarse mediante sonido (tonos) o mediante identificación de llamada. Los tipos más comunes de señalización son:

DTMF: Este tipo de señalización es similar a la usada en los sistemas de teléfono por marcación de tono. Se usa principalmente para interconexiones telefónicas y es un tipo de identificación de llamada por sonido.

MDC: También conocido como MDC-1200 y MDC-600, señalización digital propia de Motorola, es una señalización digital de baja velocidad de 1200 baudios y 600 baudios que usa AFSK. Los datos son enviados en ráfagas sobre el canal de voz del sistema de radio.

La señalización MDC incluye una serie de características: unidad de ID, botones de estado, botón de emergencia, inhibición selectiva, comprobación de la radio, y la llamada selectiva.

Muchos sistemas MDC-1200 utilizan la opción de la unidad de identificación. Con cada pulsación del PTT, la radio envía una ráfaga de datos de

identificación de la radio emisora. El ID de unidad se decodifican como números de cuatro dígitos únicos. El ID de unidad se puede enviar al principio o al final de un mensaje de voz.

2.3.2 Repetidor

El repetidor es un transmisor-receptor capaz de recibir en una determinada frecuencia y transmitir la señal de radio en otra frecuencia diferente simultáneamente. Es utilizado para extender el área de cobertura, porque cuando un radio transmite una señal de baja potencia, el repetidor la amplifica y la retransmite a una mayor potencia, lo que permite a la señal llegar a lugares más alejados. Usualmente se localiza en un punto alto (una montaña, torre o edificio) para incrementar la línea de vista sobre el horizonte. [16]



Figura 2. 10. Repetidor [17]

2.3.2.1 Repetidores comunitarios compartidos

Un repetidor comunitario permite a un número de usuarios de diferentes grupos compartir un mismo repetidor, esto se realiza por medio del sistema de tonos CTCSS que permite hacer llamadas de grupo sin que se escuchen entre ellos.

2.4 ESTÁNDAR ETSI TS 102 361

Es un protocolo de radio digital especificado para usuarios del radio móvil profesional, desarrollado por el Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo.

El estándar está diseñado para funcionar dentro de la separación de canales de 12,5 KHz existente utilizado en las bandas de frecuencia móvil terrestre con licencia a nivel mundial y para cumplir con los requisitos regulatorios futuros para la equivalencia de canales de 6,25 KHz. DMR proporciona voz, datos y otros servicios complementarios. [18]

El protocolo DMR se divide en 3 niveles:

DMR Nivel I: DMR Sin licencia

Se ofrece para aplicaciones de consumo y aplicaciones comerciales de bajo consumo para uso sin licencia en la banda de 446MHz, con un máximo de potencia de RF 0.5watt. Con un número limitado de canales y no uso de repetidores, ningún uso de las interconexiones telefónicas y antenas fijas / integrados, son los más adecuados para su uso personal, recreación, pequeño comercio y otros ajustes que no requieren cobertura de área amplia o funciones avanzadas. [18]

DMR Nivel II: DMR Convencional

Cubre los sistemas convencionales de radio con licencia, móviles y portátiles, que funcionan en bandas de frecuencias PMR de 66-960MHz. Está dirigido a los usuarios que necesitan la eficiencia espectral, características avanzadas de voz y servicios de datos de IP integradas en bandas con licencia para las comunicaciones de alta potencia. Especifica TDMA de dos partes en los canales de 12,5 KHz. [18]

DMR Nivel III: DMR Troncalizada

Se refiere a la operación de trunking en las bandas de frecuencia 66-960MHz. Especifica TDMA de dos partes en los canales de 12,5 KHz, soporta voz y mensajes cortos con una función de estado de 128 caracteres de mensajería y de mensajes cortos de hasta 288 bits de datos en una variedad de formatos. También es compatible con el servicio de paquetes de datos en una variedad de formatos, incluyendo soporte para IPv4 e IPv6. [18]

2.4.1 Arquitectura

La arquitectura del estándar DMR sigue la estructura en capas genérico, que es aceptada para la descripción de referencia y la especificación en el que las diferentes funciones y procesos se identifican y se asignan a diferentes capas en la pila de protocolos, pero esta pila no implica, ni restringe ninguna implementación.

El estándar DMR define los protocolos para el modelo de 3 capas, como se muestra en la Figura 2.11.

La base de la pila de protocolos es la capa física (**PL**) que es la capa 1.

La capa de enlace de datos (**DLL**), que es la capa 2, la pila de protocolo se divide verticalmente en dos partes, el plano de usuario (U-plane), para el transporte de información sin tener en cuenta la capacidad (por ejemplo, voz), y el plano de control (C-plane) para la señalización de la información, tanto para el control y datos, con capacidad de direccionamiento.

La capa de control de llamada (**CCL**), que es la capa 3, se encuentra en el plano de control y es responsable por el control de la llamada (direccionamiento, características, etc.), proporciona los servicios compatibles con DMR, y soporta datos cortos y paquetes.

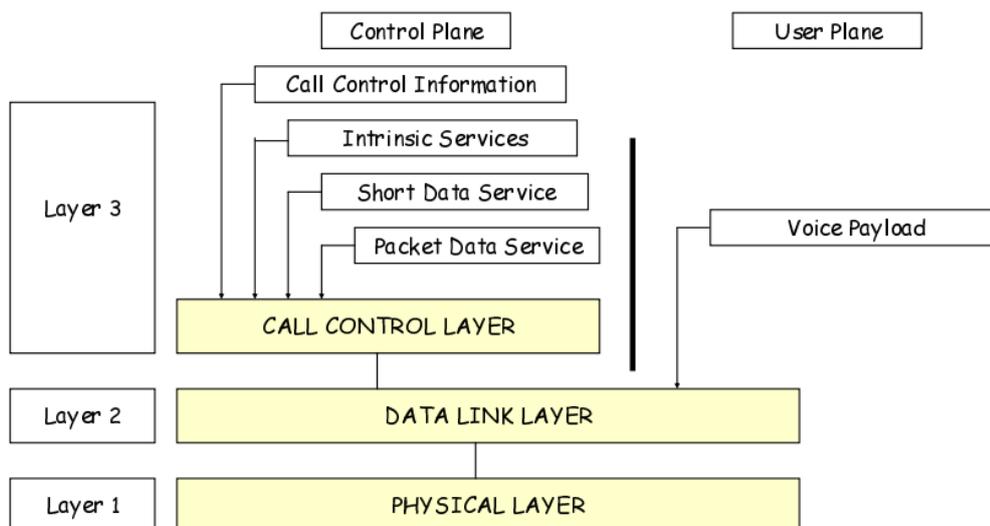


Figura 2. 11. Pila de Protocolo DMR [19]

2.4.1.1 Capa 1: Capa Física

Es la encargada de las propiedades físicas, eléctricas como nivel de tensión, velocidad de transmisión, codifica en señales de radio el flujo de dígitos binarios que representan las tramas de la capa de Enlace de datos, además de transmitir y recibir estas señales de radio a través de los medios físicos como cables de cobre, coaxial, fibra óptica o medios inalámbricos vía radiofrecuencia.

La capa 1 contiene las siguientes funciones:

- Sincronización
- Definir las características funcionales de la interfaz (establecimiento, mantenimiento y liberación del enlace físico);
- Modulación y Demodulación;
- Características de RF.

Esta interfaz de aire o capa 1 es necesaria para la comunicación entre los equipos base, móviles o portátiles.

a. Características del Canal de Radio

Rango de frecuencia

El sistema de radio funciona en parte de la gama de frecuencias del espectro radioeléctrico, en el rango de 30 MHz a 1 GHz.

Ancho de banda de la portadora de RF

El ancho de banda de la señal o su espectro de frecuencias es una medida de la velocidad de la señal. Cuando se requiere transmitir información en poco tiempo se requiere señales con gran ancho de banda. Estas señales deben transmitirse a través de vínculos o enlaces que puedan responder a todas las frecuencias de la señal y para ello deben tener un ancho de banda adecuado a efectos de poder reproducir fielmente la señal transmitida.

Por ejemplo para una señal vocal de calidad telefónica, es decir de una calidad insuficiente para reproducir música adecuadamente, pero necesaria para escuchar la voz es apropiada un ancho de banda entre 300 Hz y 3400 Hz, el ancho de banda recomendado por la UIT-T es de 3100 Hz.

El sistema de radio digital MOTOTRBO opera dentro de un ancho de banda de la portadora de RF de 12,5 KHz.

Modulación

El DMR utiliza modulación digital 4FSK que permite gran capacidad de transmisión de datos.

La modulación 4FSK es coherente y envía 4800 símbolos/s con la transmisión de cada símbolo de 2 bits de información.

b. TDMA

Es un método de acceso al canal por división de tiempo que preserva el ancho de banda total del canal. TDMA trabaja al dividir un canal de frecuencias de radio en slots o ranuras de tiempo.

La norma de DMR tiene muchos beneficios en comparación con los antiguos sistemas analógicos y otros sistemas digitales. En resumen, los sistemas digitales DMR proporcionan:

- **Duplicación previsible de la capacidad de sus canales autorizados existentes de 12.5 KHz.**

Uno de los beneficios más importantes de DMR es que permite realizar dos llamadas simultáneas independientes a través de un único canal de 12.5 KHz, el TDMA mantiene el ancho del canal de 12.5 KHz y lo divide en dos ranuras de tiempo A y B alternas, cada una de las cuales actúa como una ruta de comunicación independiente. En la Figura. 2.12, los transceptores 1 y 3 están manteniendo una conversación en la ranura 1, y los transceptores 2 y 4 en la ranura 2.

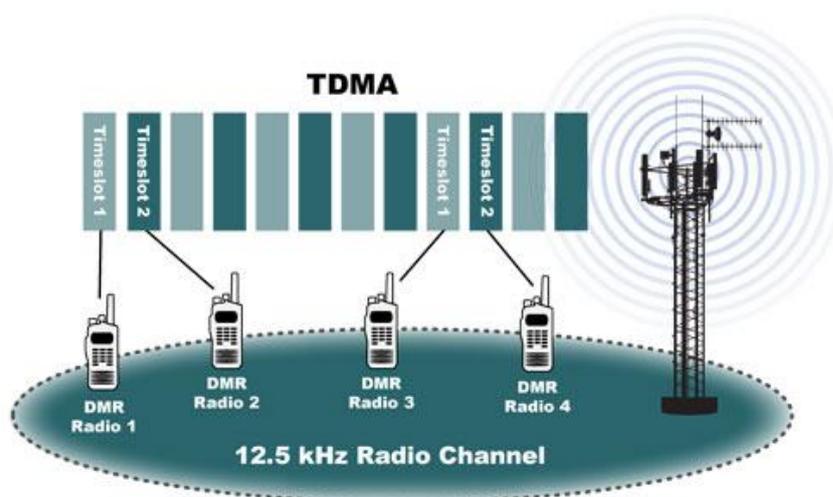


Figura 2. 12. DMR con TDMA de doble ranura [20]

- **DMR es compatible con el espectro de los antiguos sistemas analógicos**

Siempre que DMR utilice canales de 12.5 KHz, tendrá incorporada la compatibilidad con los sistemas analógicos con el espectro necesario.

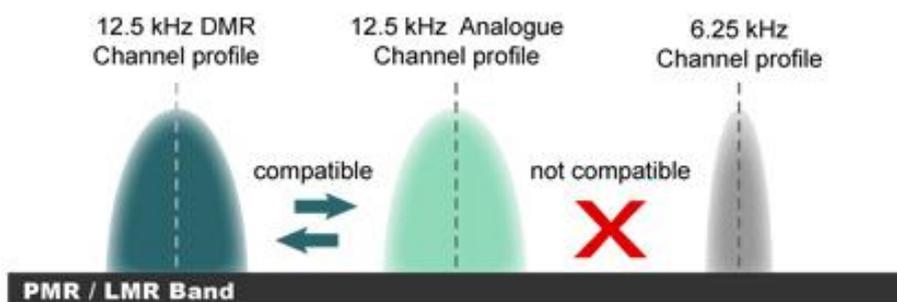


Figura 2. 13. Compatibilidad de DMR [20]

- **Mayor rendimiento del sonido**

La tecnología digital de DMR proporciona un aislamiento superior del ruido y conserva la calidad de voz en un alcance mucho mayor que la tecnología analógica, especialmente en los límites más extremos del alcance de la transmisión. Uno de los motivos del excelente rendimiento del alcance del DMR es debido a la selección de los codificadores de corrección de errores sin canal de retorno FEC y de control de redundancia cíclica CRC, al desarrollar la norma. Gracias a estos codificadores, los transceptores receptores pueden detectar y corregir automáticamente los errores de transmisión mediante un análisis de los bits de los mensajes.

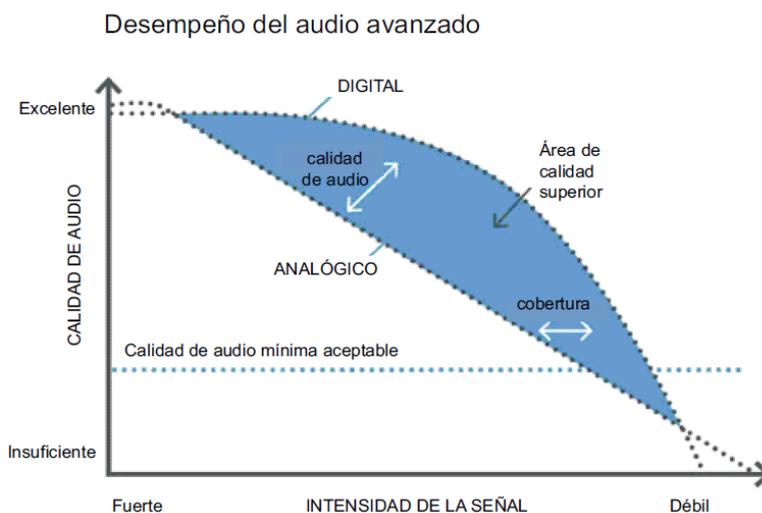


Figura 2. 14. Mejora del alcance de DMR [20]

- **Aplicaciones de datos: facilidad de uso y creación**

El carácter completamente digital de los DMR permite que aplicaciones como el GPS de envío de mensajes de texto y la telemetría puedan integrarse fácilmente en los dispositivos y sistemas de los transeptores. Puesto que la norma de DMR también admite la transmisión inalámbrica de datos IP, esto posibilita el fácil desarrollo de las aplicaciones estándar. Para mantener el nivel de calidad del servicio de voz existente es necesario disponer de una capacidad adicional de tráfico de datos. Esto es especialmente importante para aplicaciones como la Localización Automática de Vehículos (AVL), donde el sistema puede generar una gran cantidad de mensajes para mantener actualizadas las ubicaciones continuamente.

2.4.1.2 Capa 2: Capa de enlace de datos

Es la responsable de la transferencia de mensajes o tramas a través del canal físico. A la vez transforma un canal físico susceptible de provocar errores en un enlace lógico prácticamente libre de errores.

Los canales físicos 1 y 2 en un sistema DMR se pueden proyectar en diferentes canales lógicos en tiempos variados. Es decir, cada slot de tiempo específico o trama debe estar dedicado a manejar el tráfico de voz, datos o la señalización.

La capa 2 contiene las siguientes funciones:

- Codificación de canal (FEC, CRC);
- Relación de las direcciones (origen y / o destino);
- Conexión de aplicaciones de voz (vocoder) de datos con la capa física;
- Control de acceso al medio y la gestión de canales;
- Mecanismos de reconocimiento de datos y retransmisión;
- construcción de Frame, Superframe y sincronización;
- Relación de las direcciones (origen y / o destino).

Las sesiones de voz y datos requieren tanto de un canal de entrada y un canal de salida. La relación de sincronización entre el canal de entrada y el canal de salida pueden ser alineados en el tiempo (canales alineados) o no alineados (canales de compensación).

a. Sincronización de la voz

- **Supertrama de voz**

Las tramas del Vocoder se transmiten utilizando seis ráfagas de 360 ms, la supertrama se muestra en la Figura 2.15. Las supertramas completas TDMA se repiten para la duración del mensaje de voz. Las ráfagas de una supertrama se designan con las letras "A" a "F". La ráfaga A marca el inicio de una supertrama y siempre contiene un patrón de sincronización de voz. Las ráfagas B a F llevan incorporado la señalización en lugar del patrón de sincronización. [21]

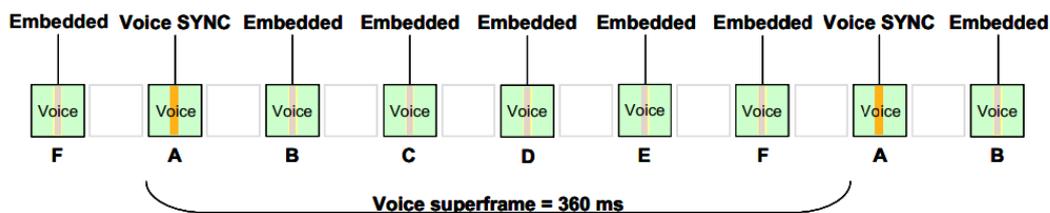


Figura 2. 15. Supertrama de voz [21]

- **Sincronización de datos**

Existe dos modos de para la transmisión de datos; el modo de una sola ranura y de doble ranura. Las diferencias entre estos dos modos son solamente la velocidad de bits ofrecido a las capas superiores de la pila DMR dejando sin cambios el formato de los mensajes.

- **Sincronización de datos en una única ranura**

La única ranura de transmisión de datos inicia con uno o dos cabeceras (Hdr) de datos que contienen direccionamiento, así como información acerca de la carga útil. Estos encabezados son seguidos por uno o más bloques de datos (Data Block). El último bloque de la transmisión termina toda la transferencia de mensajes de datos. [22]



Figura 2. 16. Sincronización de Datos en una cabecera [22]



Figura 2. 17. Sincronización de datos con doble cabecera [22]

- **Sincronización de datos con doble ranura**

En la Figura 2.18, se muestra la sincronización de datos con doble ranura. Este ejemplo ilustra una transmisión iniciada con una cabecera de datos (Hdr). La cabecera es seguida por uno o más bloques de datos (Data Block), doce en este ejemplo. El último bloque de la transmisión contiene la carga útil y Control de Redundancia Cíclica (CRC) para verificar que todo el mensaje de datos se ha transferido correctamente. [22]

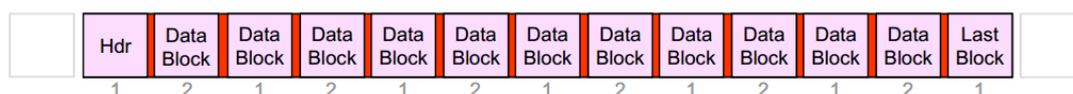


Figura 2. 18. Sincronización de datos en una doble ranura [22]

2.5 CAPA 3: CAPA DE CONTROL DE LLAMADAS

Esta capa será una entidad de servicios y funciones de apoyo para el DMR en la parte superior de la funcionalidad de la capa 2.

La capa 3 contiene las siguientes funciones:

- Activación y desactivación de la estación base.
- Estabilización, mantenimiento y terminación de las llamadas
- Transmisión y recepción de las llamadas individuales y de grupo
- Llamadas de emergencia
- Señalización y el control de llamadas de datos.

2.5.1 Descripción de los servicios y facilidades genéricas de voz

Las instalaciones descritas para DMR están relacionadas con procedimientos de inicio de llamada por el usuario, por ejemplo, llamadas de voz de grupo, llamada de voz individual, llamada de datos, etc. Los servicios definidos por DMR contienen

intrínsecamente señalización o de procedimientos que podrán referirse a uno o más usuarios procedimientos de llamada iniciadas.

Algunos servicios son visibles para los usuarios que otros no lo son y serán procesados por la estación móvil.

Los servicios y facilidades pueden ser utilizados para el Nivel I y Nivel II y se denominan el "conjunto de características por defecto" que se asigna a las "Normas y características de identificación (SFID)".

El conjunto de características estándar contiene los siguientes servicios:

a) Los servicios genéricos:

- Servicios genéricos de la estación base;
- Activación de la Repetidora o de la estación base;
- Repetición de llamada de voz;
- Tiempo de cola (*Hangtime*) en la llamada de voz;
- Repetición CSBK;
- Desactivación de la Estación Base o Repetidor;
- No admite características de señalización.

Todas las estaciones móviles deberán implementar la " No admite características de señalización". Todos los demás servicios e instalaciones son opcionales.

b) Servicios de voz primaria

- Servicio de llamadas de grupo;
- Servicio de llamadas individuales.

c) Servicio de voz suplementario

- Servicio de llamadas de voz sin destinatario;
- Servicio de llamadas a todos;
- Servicio de llamadas de voz por difusión (broadcast);

- Servicio de llamada de voz de canal abierto.

2.5.2 Descripción de los servicios de voz

2.5.2.1 Servicio de llamada individual

El servicio de llamada individual ofrece servicio de voz entre un usuario y otro usuario. La llamada individual se inicia en el nivel de usuario mediante la selección de la persona deseada, para luego activar un mecanismo para hablar, pulsando el botón PTT.

El Inicio de una llamada individual o BOC, pueden ocurrir en uno de los dos métodos de establecimiento de llamada definidos como:

- El primer método es PATCS: configurar, pulsar, llamar y hablar.
- El segundo método es un establecimiento de llamada fuera de aire denominado OACSU.

PATCS es un método que utiliza el acceso cortés o descortés (criterios de acceso al canal) de acceso usando códigos de colores o no para todos los canales de acceso, mientras que el método OACSU solo puede emplear un acceso corto con su propio código de color para todos los canales de acceso.

2.5.2.2 Servicio de llamada por grupo

El servicio de llamadas de grupo proporciona servicio de llamadas de voz entre un usuario individual y un grupo de usuarios. Todos los usuarios del grupo pueden escucharse entre sí. La llamada de grupo se inicia en el nivel de usuario, seleccionando el grupo deseado para luego activar un mecanismo para hablar, pulsando el botón PTT.

2.5.3 Descripción de los servicios de datos

2.5.3.1 Servicio de datos cortos

Esta cláusula describe el mecanismo para transmitir mensajes cortos de datos de una entidad DMR a otra entidad DMR. La transmisión puede ser confirmada o no confirmada. Dependiendo de la Corrección de Errores sin Canal de Retorno (FEC), el mecanismo es capaz de transmitir hasta 1508 bytes (24 bytes / bloque × 63 bloques - 4 bytes).

Cada mensaje se compone de una cabecera de datos y en la mayoría de los casos, continúan con ráfagas de datos.

El último bloque de las ráfagas de datos deberá contener un mensaje CRC de 32 bits.

El encabezado de datos de cortos contiene los parámetros que especifican el servicio portador y, en particular, la cantidad de datos transportados por el mensaje y su formato.

2.5.3.2 Descripción de la PDU

Es la unidad básica usada en el modelo de interconexión de sistemas abiertos OSI. Esta contiene información única que identifica a la capa junto con los datos del usuario. Contiene códigos de error o información de direcciones para asegurar que los datos sean transmitidos correctamente entre las capas.

a. PDUs de capa 3

Debido a la naturaleza de DMR, con una estrecha interacción entre las capas 2 y 3, y con un alto grado de información sobre el estado del canal que se necesita, las PDUs de capa 3 se detallada a continuación y puede incluir dos tipos de elementos:

Mensajes dependientes de los elementos

Estos elementos son visibles a la capa 2 y pueden ser utilizados por cualquier estación móvil (que es capaz de decodificar los mismos), independientemente del direccionamiento. Estos elementos dependen del tipo de elemento del mensaje. Algunos son generados por la capa 2 cuando se construye el mensaje completo, mientras que otros son generados por la capa 3.

Elementos futuros

Estos elementos son de capa 3 y sólo son procesados por las estaciones móviles a la que van dirigidos.

2.5.3.3 Protocolo de Internet (IP)

El protocolo IP proporciona una conexión, utilizando el mecanismo de mejor esfuerzo para la entrega de datagramas entre dos puntos de acceso al servicio. El protocolo IPv4 se denomina como protocolo host-a-host o punto a punto y actúa conjuntamente con otros protocolos como: TCP, UDP.

El servicio de portador DMR IP se construye en la parte superior de la DLL (datos no confirmados y los datos confirmados).

DMR PDP extiende DMR para actuar como una subred IP. Esto permite a los programadores de aplicaciones para construir sus aplicaciones en un entorno bien estandarizado.

2.5.3.4 Direccionamiento IP

a. DLL Derivados de Direccionamiento IP

La dirección IP de la estación móvil se obtiene a partir de la dirección de la DLL. Todas las direcciones IP de las estaciones móviles y de los grupos de estaciones móviles deben ser únicas.

La derivación de direcciones IP simplifica la configuración de una estación móvil. También elimina la necesidad de la aplicación del Protocolo de resolución de direcciones (ARP). Si alguna de las subredes están conectadas a la red pública de Internet, una dirección de red (NAT) debe estar presente en la entidad DMR donde se produce esta conexión. [23]

La red de radio puede ser capaz de soportar múltiples subredes. Algunos ejemplos son los siguientes:

- a) La dirección IP de una estación móvil y la IP del periférico, son una dirección de "clase A", como se muestra en la Figura 2.19.
- b) El campo de número de host de la dirección IP de un estación móvil (MS) es la dirección de DLL de 24 bits de la estación móvil;
- c) El campo "ID de red" de la dirección IP de un estación móvil es o bien un valor configurado o un valor predeterminado;
- d) El "ID de red", campo de la dirección IP, es el campo de la estación móvil (MS) + 1.

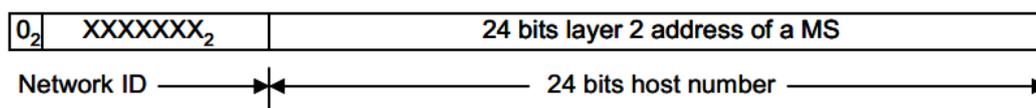


Figura 2. 19. Formato de una dirección de Clase A [23]

La dirección IP de un grupo debe ser una dirección de "clase D", Figura 2.20. El mapeo entre la dirección de DLL de un grupo y la dirección IP del grupo se ajustará

a las siguientes reglas:

- a) La dirección IP de un grupo es una dirección de "clase D", como se muestra en la Figura 2.20.
- b) Los 8 bits más significativos de la dirección IP de un grupo (excepto un grupo de datos de difusión) es una dirección configurable "clase D" con los 4 bits más significativos;
- c) Los 24 bits menos significativos de la dirección IP de un grupo de datos es la misma que la dirección de DLL del grupo;
- d) No se utilizarán las direcciones en el rango de 224.0.0.0 a 224.255.255.255.

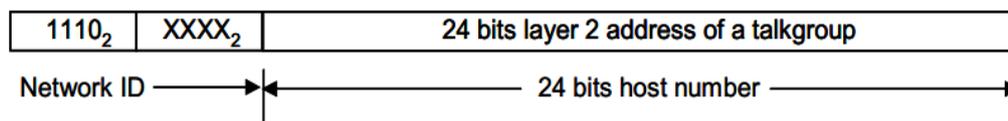


Figura 2. 20. Formato de una dirección de Clase D [23]

b. Direccionamiento IP Neutro de DLL

Trata principalmente con el valor de las direcciones IP de las estaciones móviles y las IP de los dispositivos periféricos cuando la DLL no está vinculada a la dirección IP.

Las tablas ARP tienen una relación fija entre las direcciones IP y DMR, son posibles y se dejan a la aplicación del fabricante. Todas las direcciones IPv4 deben ser exclusivas.

Si cualquier estación móvil o cualquier dispositivo se conectan a una red pública de Internet, las direcciones IP únicas deben seguir las recomendaciones que se define en el RFC 1918 [6]. Estas se enumeran a continuación:

1. 10.0.0.0 - 10.255.255.255 (10/8)
2. 172.16.0.0 - 172.31.255.255 (172.16/12)
3. 192.168.0.0 - 192.168.255.255 (192.168/16)

Dado que este método de direccionamiento no vincula la dirección DLL con la dirección IP, ARP debe ser un apoyo para proporcionar un método para determinar una dirección de DLL cuando sólo se conoce la dirección IP.

c. Mensajes de Error IP

Para informar de un error en el procesamiento de datagramas, el Protocolo de Internet (IP) utiliza el protocolo de mensajes de control de Internet (ICMP). El Protocolo de Internet no está diseñado para ser fiable. El propósito de ICMP es proporcionar información acerca de problemas en el entorno de la comunicación, no para hacer IP fiable. Algunos datagramas no pueden ser entregados sin ningún informe de su pérdida.

El ICMP normalmente informa de errores en el procesamiento de datagramas. No se envían mensajes ICMP acerca de mensajes ICMP. Los mensajes ICMP se envían utilizando la cabecera IP básica. Típicamente que tiene una longitud de 36 octetos. [23]

2.6 RADIO SOBRE PROTOCOLO IP (RoIP)

2.6.1 Voz sobre IP (VoIP)

Voz sobre el protocolo de internet o voz sobre IP, permite unir la transmisión de voz con la transmisión de datos, por esto se considera a la VoIP como una tecnología y no como un servicio. Con esta tecnología pueden proporcionarse servicios de Telefonía o videoconferencia.

La voz sobre IP, es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP. Esto significa que se envía la señal de voz en forma digital a través de las redes de datos, en paquetes de datos, en lugar de enviarla en forma analógica a través de circuitos utilizables sólo por

telefonía convencional como las redes PSTN, que se fundamenta en la conmutación de circuitos, en la cual se establece un circuito o canal dedicado.

La principal desventaja de esta tecnología, es que el protocolo IP no ofrece calidad de servicio (QoS), debido a que los datos viajan en forma de paquetes, por lo que se puede tener algunas pérdidas de información y demora en la transmisión.

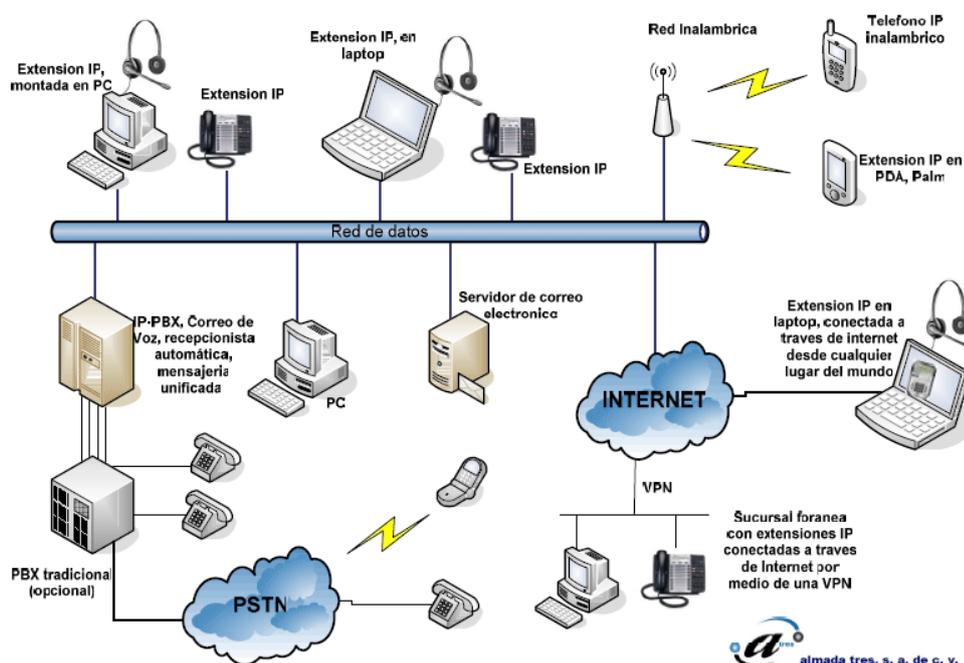


Figura 2. 21. Diagrama VoIP [25]

2.6.1.1 Protocolos de VoIP

a. Protocolo H.323

Este protocolo fue creado por la ITU-T para la transmisión de voz, vídeo y datos multimedia a través de redes basadas en conmutación de paquetes sin calidad de servicio (QoS) garantizada, como las redes IP. Permite asegurar la comunicación entre hosts terminales, como: teléfonos IP y dispositivos de multimedia. En estos sistemas de telefonía, los equipos selectores (gatekeepers) gestionan el registro y la admisión de llamadas, así como el estado de las llamadas "VoIP". Los equipos selectores pueden residir en dos zonas diferentes o en la misma zona.

H.323 es el estándar que cuenta actualmente con más difusión en el ámbito de la telefonía IP.

H.323 especifica los protocolos que gestionan la preparación, establecimiento, control de estado, mensajería, códecs de audio/video, transferencia de datos, y fin de llamada. [26]

Estos protocolos funcionan sobre un nivel de transporte basado en TCP y UDP.

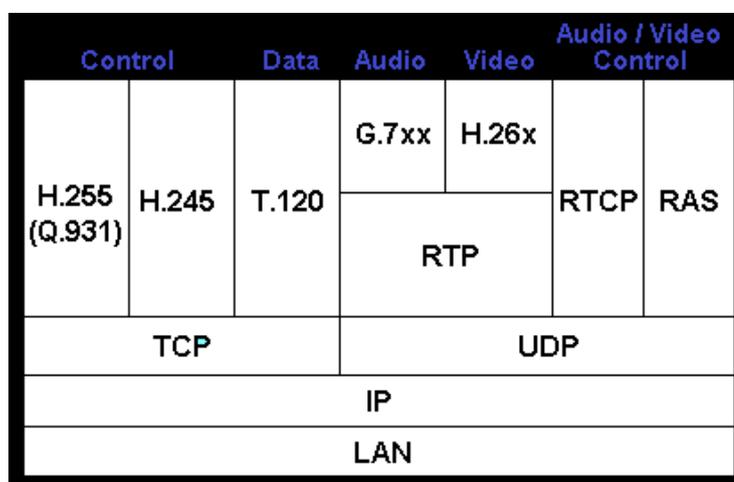


Figura 2. 22. Pila de protocolos H.323 [27]

b. Protocolo de inicio de sesión (SIP)

Es un protocolo (situado en el nivel de aplicación del modelo OSI) que sigue la norma del equipo de ingeniería para el desarrollo de Internet (IETF) en el que se define cómo iniciar, modificar y finalizar sesiones multimedia a través de Internet entre usuarios; estas sesiones pueden tratarse de conferencias multimedia, chat, sesiones de voz o distribución de contenidos, con prestaciones como la mensajería inmediata y la movilidad de aplicaciones en entornos de red. [26]

SIP ofrece funciones tales como:

- Redirección de llamadas,
- Resolución de direcciones,
- Determinar la disponibilidad de un punto final,
- Establecer llamadas punto a punto o multipunto.

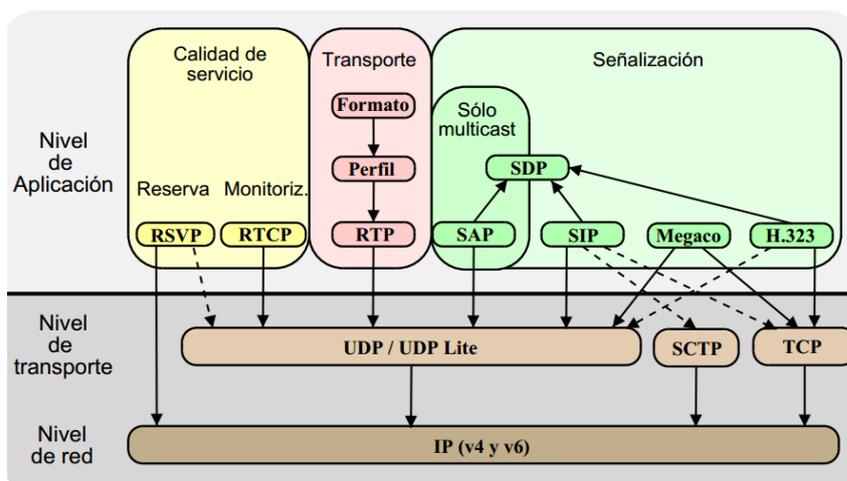


Figura 2. 23. Pila de protocolos SIP [28]

2.6.1.2 Parámetros de VoIP

a. Códecs

La voz debe codificarse para ser transmitida por la red IP. Para ello se hace uso de códecs que garanticen la codificación y compresión del audio o del video para su posterior decodificación y descompresión antes de poder generar un sonido o imagen.

Según el códec utilizado en la transmisión, se utilizará más o menos ancho de banda. La cantidad de ancho de banda utilizada suele ser directamente proporcional a la calidad de los datos transmitidos.

Entre los códecs más utilizados en VoIP están: G.711, G.723 y el G.729.

Estos Códecs tienen los siguientes anchos de banda de codificación:

Tabla 2. 2. Códecs de VoIP [29]

Códec	Tasa de Bits	Ancho de Banda
G.711	56 o 64 Kbps	87.2 Kbps
G.722	48, 56 o 64 Kbps	87.2 Kbps
G.723	5.3 o 6.4 Kbps	20.8 o 21.9 Kbps
G.728	16 Kbps	31.5 Kbps
G.729	8 Kbps	31.2 Kbps

b. Retardo

Una vez establecidos los retardos de tránsito y el retardo de procesado la conversación se considera aceptable por debajo de los 150 ms, que viene a ser 1,5 décimas de segundo y ya produciría retardos importantes.

Durante su recorrido por la red IP las tramas se pueden perder como resultado de una congestión de red o corrupción de datos. Además, para tráfico de tiempo real como la voz, la retransmisión de tramas perdidas en la capa de transporte no es práctica por ocasionar retardos adicionales. Por consiguiente, los terminales de voz tienen que retransmitir con muestras de voz perdidas.

En el caso más simple si se pierde una muestra de voz, el terminal dejará un intervalo en el flujo de voz. Si muchas tramas se pierden, sonará grietoso con sílabas o palabras perdidas.

c. Calidad del servicio

Para mejorar el nivel de servicio, se ha apuntado a disminuir los anchos de banda utilizados, para ello se ha trabajado bajo las siguientes iniciativas:

- La supresión de silencios, otorga más eficiencia a la hora de realizar una transmisión de voz, ya que se aprovecha mejor el ancho de banda al transmitir menos información.

- Compresión de cabeceras aplicando los estándares RTP/RTCP que es un estándar creado por la IETF para la transmisión confiable de voz y de video a través de internet.

Para la medición de la calidad de servicio QoS, existen cuatro parámetros como el ancho de banda, retraso temporal (delay), variación de retraso (jitter) y pérdida de paquetes.

Para solucionar este tipo de inconvenientes, en una red se puede implementar tres tipos básicos de QoS:

- **Best effort** (mejor esfuerzo): Este método simplemente envía paquetes a medida que los va recibiendo, sin aplicar ninguna tarea específica real. Es decir, no tiene ninguna prioridad para ningún servicio, solo trata de enviar los paquetes de la mejor manera.
- **Servicios Integrados**: Este sistema tiene como principal función pre-acordar un camino para los datos que necesitan prioridad, además esta arquitectura no es escalable, debido a la cantidad de recursos que necesita para estar reservando los anchos de banda de cada aplicación.
- **Servicios Diferenciados**: Este sistema permite que cada dispositivo de red tenga la posibilidad de manejar los paquetes individualmente, además cada router y switch puede configurar sus propias políticas de QoS, para tomar sus propias decisiones acerca de la entrega de los paquetes.

2.6.2 Radio Sobre IP (RoIP)

Radio sobre el protocolo de internet o radio sobre IP, es similar a VoIP que integran radios de dos vías convencionales que operan en las Bandas VHF y UHF en lugar de llamadas telefónicas.

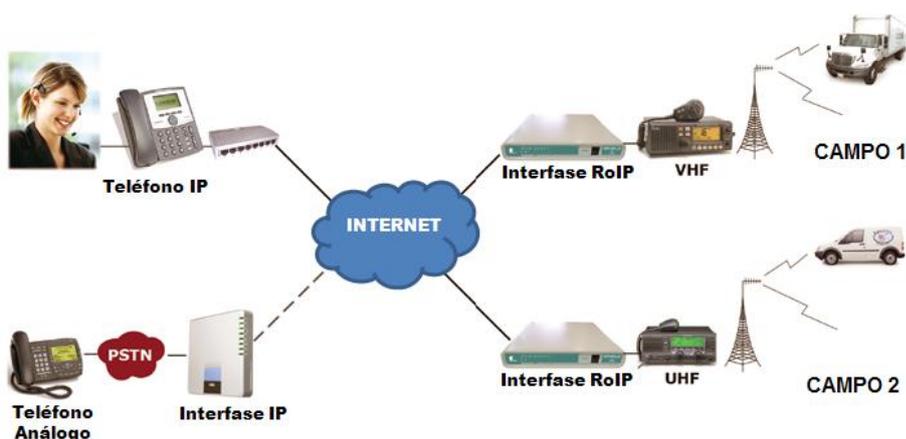


Figura 2. 24. Diagrama RoIP [30]

RoIP se trata esencialmente de VoIP con PTT, que puede ser implementada como cualquier otra red de radio. Con RoIP, al menos un nodo de una red es un radio (o un radio con un dispositivo de interfaz IP) conectado a través de IP a otros nodos en la red de radio. Los otros nodos pueden ser radios de dos vías, pero también podrían ser consolas de despacho; ya sea tradicional (hardware) o modernos (software en un PC), softphones, o alguna otro dispositivo accesible a través de comunicaciones IP.

Al igual que otros sistemas de radio centralizados, como los sistemas de radio trunking, los problemas de retraso o latencia y la dependencia de las infraestructuras centralizadas pueden ser impedimentos para la adopción por parte de organismos de seguridad pública. RoIP se pueden implementar a través de redes privadas, así como el de Internet. Es útil con los sistemas utilizados por los departamentos de seguridad pública y de las flotas de las utilidades repartidas en una amplia área geográfica. [31]

2.6.2.1 Beneficios de RoIP

a. Una mayor interoperabilidad

RoIP por su naturaleza es interoperable, ya que cualquier dispositivo ya sea radio, teléfono, ordenador o PDA se hace parte de la red de voz habilitado por IP, es irrelevante qué tipo de tecnología utilizada. Los sistemas RoIP combinan

habitualmente VHF, UHF, teléfono POTS, teléfono celular, SATCOM otras tecnologías en una sola conversación de voz.

b. Mayor fiabilidad

Las interconexiones entre las radios y las consolas son más fiables, ya que forma parte de una red IP de la red. Esto proporciona una infraestructura inherentemente resistente que no está sujeta a un único punto posible de falla.

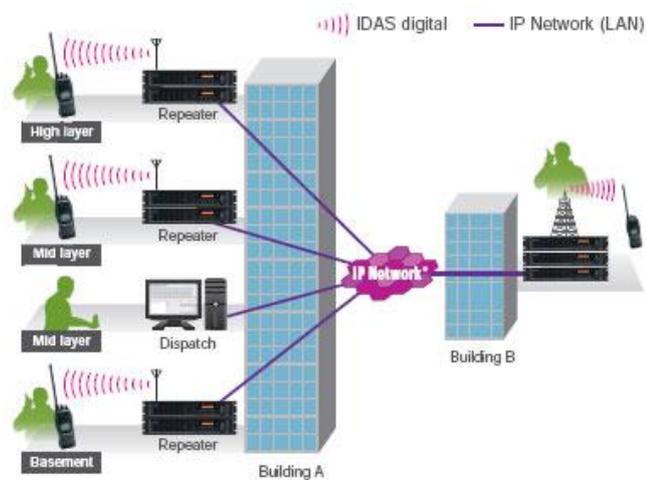


Figura 2. 25. Diagrama de red de RoIP [31]

2.7 SISTEMA MOTOTRBO

MOTOTRBO es el primer sistema de radio digital de dos vías de Motorola que combina lo mejor en funcionalidad de radio de dos vías y tecnología digital, y es una solución de sistema de datos y voz integrada que está diseñado específicamente para cumplir con los requisitos de las organizaciones profesionales que necesitan una solución comercial crucial que se pueda personalizar y que utilice el espectro con licencia. [1]

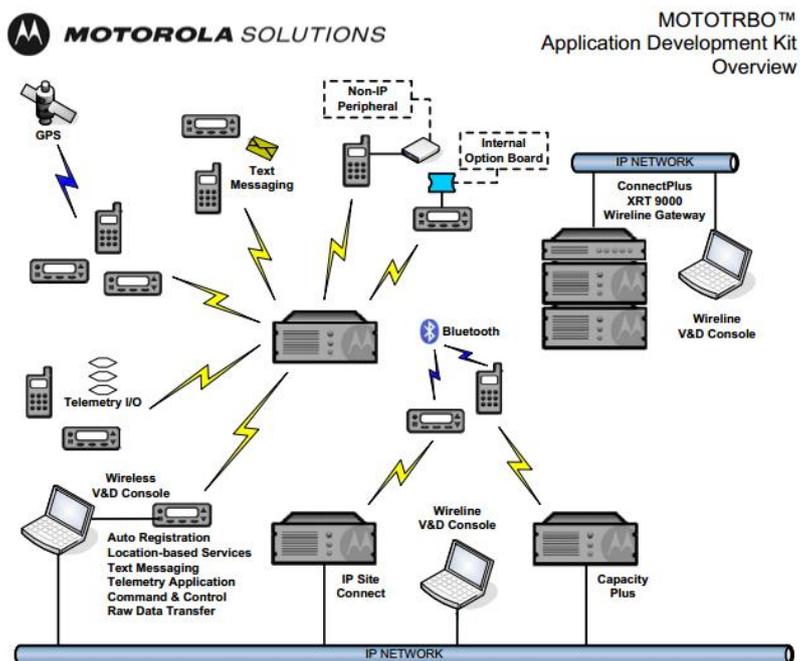


Figura 2. 26. Sistema MOTOTRBO [32]

2.7.1 Descripción General

Se concentra en dos de las ventajas fundamentales de dicha tecnología: eficiencia espectral y calidad superior del audio.

La tecnología de radio digital usada por MOTOTRBO se describe en la Figura 2.27.

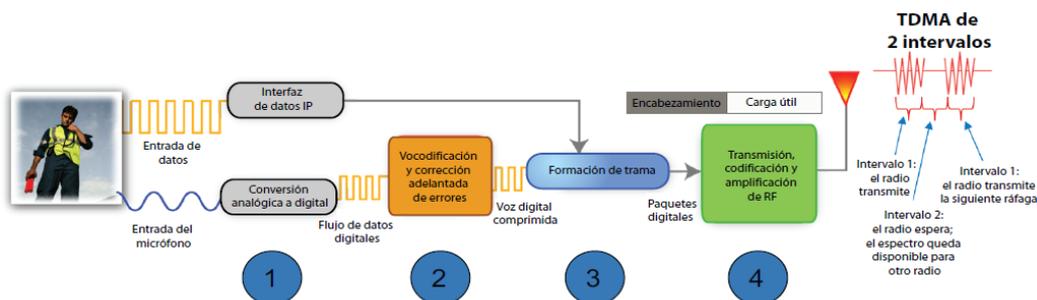


Figura 2. 27. La tecnología de radio digital MOTOTRBO [33]

La tecnología de radio digital MOTOTRBO se divide en cuatro partes:

2.7.1.1 Primera parte: la conversión analógica a digital

Cuando un usuario de radio presiona el botón de transmisión (PTT) y comienza a hablar, el micrófono del radio recibe su voz y convierte la onda acústica en una onda eléctrica analógica. Seguidamente un convertidor analógico/digital muestrea esta onda de voz. En las aplicaciones de radio más comunes, se toma una muestra de 16 bits por cada 8 KHz, lo cual produce un flujo de datos digitales de 128 Kbps que contiene demasiada información para ser enviada por un canal de radio de 12,5 KHz o de 25 KHz. Por lo tanto, es necesaria alguna forma de compresión. [33]

2.7.1.2 Segunda parte: el vocodificador y la corrección adelantada de errores

La vocodificación comprime la voz descomponiéndola en sus partes más importantes y codificándola con un número pequeño de bits, y a la vez proporciona una reducción considerable del ruido de fondo. La vocodificación comprime el flujo de datos de voz para adecuarlo al angosto canal de radio de 6,25 KHz.

El vocodificador del MOTOTRBO es el AMBE+2, este vocodificador en particular divide la voz en segmentos cortos, normalmente de 20 a 30 milisegundos de longitud. Se analiza cada segmento de voz y se extraen parámetros importantes como, por ejemplo, tono, nivel y respuesta de frecuencia.

Seguidamente se codifican estos parámetros con un número pequeño de bits digitales. El vocodificador AMBE+2 es el primero en permitir la coexistencia de velocidades de transmisión de bits sumamente bajas, con unas comunicaciones de voz de calidad de larga distancia semejante a la tradicionalmente ofrecida por los sistemas telefónicos alambrados.

Además del proceso de vocodificación, se aplica también la corrección adelantada de errores (FEC). La corrección adelantada de errores es una técnica de suma de verificación matemática que permite al receptor tanto validar la integridad de un mensaje como identificar los bits contaminados, de haberlos. La corrección

adelantada de errores permite al receptor corregir errores de bit que puedan haber ocurrido por una degradación del canal de radiofrecuencia (RF).

De esta manera, se rechaza eficazmente el ruido que pueda distorsionar la señal analógica y, en consecuencia, permite una calidad de audio más uniforme a lo largo y ancho del área de cobertura. En esta etapa, el vocodificador ya ha comprimido la señal de entrada de 128.000 a 3.600 bps. [33]

2.7.1.3 Tercera parte: la formación de la trama

En la etapa de formación de la trama, la voz codificada se formatea para su transmisión. Esto incluye organizar la voz y cualquier información de señalización incorporada (por ejemplo, código de colores, identificación de grupo, identificación de llamada [PTT ID], tipo de llamada.) en paquetes. Estos paquetes forman un tipo de estructura de encabezamiento y carga útil: el encabezamiento contiene la información de control e identificación de llamadas, y la carga útil contiene la voz codificada. Esta misma estructura puede retransmitir paquetes de datos en el formato del protocolo Internet (IP); los paquetes IP son sencillamente una forma alternativa de carga útil para el radio MOTOTRBO. La información del encabezamiento se repite periódicamente a lo largo de la transmisión, por lo que se mejora la confiabilidad de la información de señalización y también permite al radio receptor incorporarse a una llamada que pueda estar ya establecida (a esta condición la denominamos “entrada tardía”). [34]

2.7.1.4 Cuarta parte: la transmisión TDMA

Finalmente, se codifica la señal para su transmisión por modulación de frecuencia digital (FSK). Los bits contenidos en los paquetes digitales se codifican como símbolos; que representan la amplitud y la fase de la frecuencia portadora modulada, luego se amplifican y finalmente se transmiten.

Mediante la tecnología TDMA, un canal se organiza en 2 intervalos de tiempo: el transmisor de un radio determinado sólo se activa durante breves ráfagas, lo cual prolonga la vida de la batería. Puesto que la transmisión ocurre únicamente a intervalos de tiempo alternos, dos llamadas pueden compartir el mismo canal al mismo tiempo sin interferir entre sí, por lo que se duplica la eficiencia del espectro. [34]

2.7.2 Eficiencia espectral mediante TDMA de dos intervalos

Un canal de comunicaciones por radio se define por su frecuencia portadora y su ancho de banda. El espectro disponible de frecuencias portadoras se divide en bandas principales (VHF y UHF) y la mayoría de los canales sujetos a licencia hoy día tienen anchos de 25 KHz o 12,5 KHz. La demanda de una mayor eficiencia espectral viene parcialmente impulsada por los organismos reguladores.

MOTOTRBO ofrece una manera de dividir un canal de 12,5 KHz en dos intervalos de tiempo independientes, con lo cual se puede obtener la eficiencia equivalente de 6,25 KHz.

Emplea la arquitectura TDMA de dos intervalos. Esta arquitectura divide el canal en 2 intervalos de tiempo alternos, mediante lo cual se crean dos canales lógicos en un canal físico de 12,5 KHz. Cada llamada de voz utiliza sólo uno de estos canales lógicos y cada usuario accede a un intervalo de tiempo como si fuera un canal independiente.

En comparación, los radios analógicos trabajan con el concepto de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA). Con la tecnología FDMA, el radio transmisor transmite continuamente por un canal designado y el radio receptor recibe la transmisión correspondiente sintonizando a la frecuencia portadora deseada. [35]

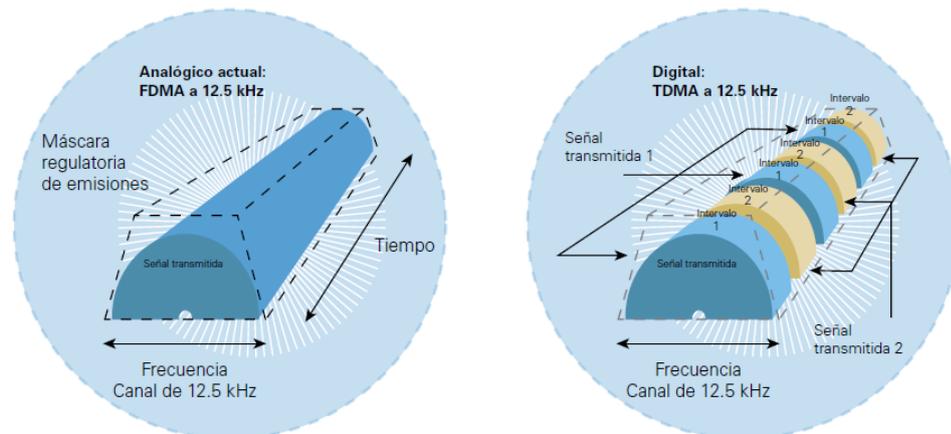


Figura 2. 28. Comparación entre la tecnología analógica y digital [1]

2.7.3 Calidad del audio digital

La principal diferencia entre la cobertura analógica y digital es la manera como la calidad de audio se degrada linealmente a lo largo y ancho del área de cobertura, mientras que la calidad de audio digital ofrece una mayor uniformidad en la misma región de cobertura.

Una de las razones fundamental de estas diferencias de degradación es el uso de la codificación con corrección adelantada de errores (FEC) que se emplea en las transmisiones digitales, la cual permite reproducir con precisión tanto el contenido de audio como de datos prácticamente sin pérdidas en un área mucho mayor.

La Figura 2.29, ilustra gráficamente la relación de la calidad del audio entregada por el sistema, a la vez que compara niveles satisfactorios y deficientes de calidad de audio con niveles fuertes y débiles de intensidad de la señal. Cabe destacar que:

- En áreas de señal sumamente fuerte, puesto que no existe procesamiento, la señal analógica puede oírse ligeramente mejor que la señal de audio digital.
- Las señales digitales incrementan el área de cobertura efectiva por encima del nivel de calidad de audio mínimo aceptable.
- Las señales digitales mejoran la calidad y la uniformidad del audio a lo largo y ancho del área de cobertura efectiva.

- Las señales digitales no necesariamente incrementan la distancia total que se propaga una señal de RF.

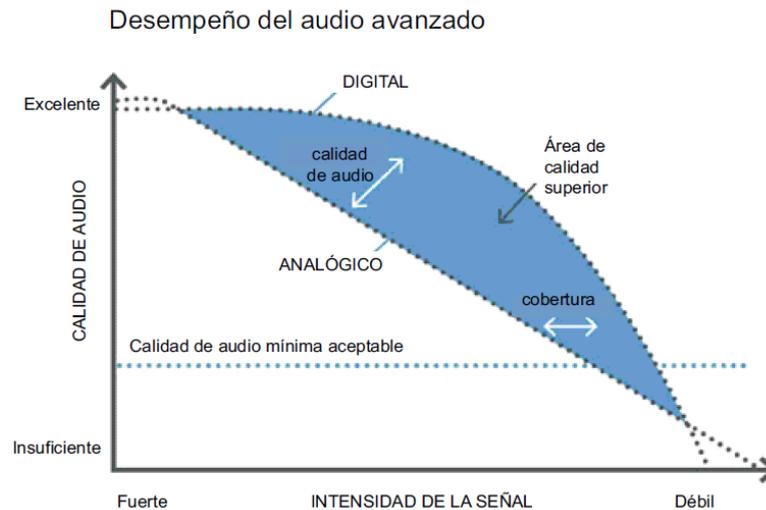


Figura 2. 29. Desempeño del audio avanzado [36]

2.7.4 Acceso a los canales de MOTOTRBO

El acceso a los canales dicta en cuáles condiciones se permite a un radio iniciar una transmisión por un canal. Las normas de acceso a los canales del MOTOTRBO las dictan los radios móviles y portátiles. Es responsabilidad del radio evaluar el estado del sistema y utilizar sus normas de acceso a los canales para decidir si se permite al usuario realizar la llamada. [37]

En sistemas de repetidores, es responsabilidad del repetidor:

- Identificar si un canal está ocupado,
- Identificar si un canal está en disponible,
- Informar a cuál radio se le ha reservado el canal.

Existen dos tipos principales de acceso a canales en un sistema MOTOTRBO: acceso cortés y acceso descortés. En el software de configuración, el acceso a los canales está determinado por los criterios de admisión a canales. El MOTOTRBO acepta los siguientes criterios de admisión a canales:

- **Siempre** ("Always"): A este criterio se le conoce con frecuencia como criterio de acceso "descortés" y puede usarse con canales analógicos y digitales.
- **Canal libre** ("Channel Free"): A este criterio se le conoce con frecuencia como acceso "cortés con todos" y puede usarse con canales analógicos y digitales.
- **Código de colores** ("Color Code"): A este criterio se le denomina en ocasiones "cortés con su propio código de colores" o "cortés con su propio sistema", y se usa únicamente con canales digitales.
- **PL Correcto** ("Correct PL"): Este criterio se conoce a veces como "cortés con su propio sistema" y se usa únicamente con canales analógicos.

2.7.5 Facilidades de voz digital

2.7.5.1 Llamadas de grupo

El grupo digital permite que los grupos compartan un canal sin distracciones ni interrupciones mutuas. Puesto que los radios bidireccionales están bien preparados para las llamadas de "uno a muchos" la llamada de grupo es la llamada más frecuente en un sistema MOTOTRBO. Por lo tanto, la mayoría de las conversaciones se realizan dentro de un grupo.

Un radio transmisor puede ser oído por todos los radios de un mismo grupo y por un mismo canal lógico (frecuencia e intervalo de tiempo). Dos radios no pueden oírse entre sí, si se encuentran en el mismo canal lógico (frecuencia e intervalo de tiempo) pero en grupos diferentes. Dos radios en canales lógicos diferentes no pueden oírse entre sí aunque estén ubicados en un mismo grupo. [38]

2.7.5.2 Llamadas privadas

MOTOTRBO ofrece la capacidad a los usuarios para que puedan hacer una llamada privada directamente a otro radio, incluso si no pertenecen a un mismo

grupo. Sin embargo, para que la acción ocurra, ambos radios deben estar en un mismo canal e intervalo de tiempo. Esta facilidad permite a un usuario realizar una conversación de uno a uno que oirán únicamente las partes involucradas.

2.7.5.3 Llamada a todos

Es una llamada de voz unidireccional desde un operador privilegiado a todos los usuarios que usan un canal lógico. El radio de transmisión utiliza un grupo especial de llamada a todos que será recibido por cada uno de los radios del mismo sistema y canal lógico (independientemente del grupo). Puesto que se considera una transmisión unidireccional, los usuarios no pueden enviar respuesta a una llamada a todos

En los sistemas MOTOTRBO, las capacidades correspondientes a las llamadas de grupo, privadas o a todos, se configuran con el Software de Programación (CPS) de radios portátiles y móviles.

2.7.6 Facilidades de señalización digital

2.7.6.1 Identificación de llamada y creación de alias

Esta facilidad permite al radio objetivo identificar que radio origina una llamada o desea comunicarse. El radio receptor, puede visualizar un nombre alfanumérico o “alias” asignado al usuario. La identificación del radio transmisor se envía por aire y de existir un alias para esa identificación en el radio receptor, el radio receptor presentará en la pantalla el alias. [39]

2.7.6.2 Inhabilitación de radio (inhibición selectiva de radio)

Esta facilidad permite que un radio, normalmente una unidad que juega un papel de supervisión, inhabilite a otro radio por medio de señalización aérea. La pantalla

del radio inhabilitado queda en blanco, y la unidad no puede efectuar ni recibir llamadas.

Una vez inhabilitado, el radio únicamente puede habilitarse mediante el Software de Programación (CPS) o mediante el comando cancelar inhibición ("Radio Uninhibit") emitido por un radio supervisor. [39]

2.7.6.3 Monitoreo remoto

Esta facilidad permite a un usuario remoto activar el micrófono y el transmisor de un radio objetivo durante un cierto período de tiempo. Se establece silenciosamente una llamada con el radio objetivo y se controla de manera remota su botón de transmisión (PTT) sin avisarle en ningún momento al usuario final. [40].

Esta facilidad sirve para averiguar cuál es la situación de un radio objetivo que está encendido pero no responde. Esta modalidad es útil en un número de situaciones como, por ejemplo:

- Robo,
- incapacidad del usuario de responder el radio, o
- para permitir a una persona que se encuentre en una situación de emergencia comunicarse en la modalidad de manos libres.

2.7.6.4 Verificación del radio (Radio check)

Esta facilidad sirve para comprobar si un radio se encuentra activo en el sistema sin necesidad de notificar al usuario del radio objetivo. Además del LED indicador de canal ocupado, no se producirá otra indicación audible o visual al verificarse el radio. El radio receptor responde automática y silenciosamente con un acuse de recibo al radio iniciador. [40]

2.7.6.5 Alerta de llamada (Call Alert)

Esta facilidad esencialmente permite al usuario de un radio enviar una llamada de radiobúsqueda ("paging") a otro usuario. Cuando se recibe una alerta de llamada, se presenta al usuario una señal audible y visual persistente. El iniciador de la alerta de llamada también aparece en pantalla. Si el usuario está lejos del radio al momento de la recepción, la alerta permanece hasta que el usuario la borra de la pantalla. Si el usuario presiona el botón de transmisión (PTT) mientras está en pantalla una alerta de llamada, inicia una llamada individual al equipo que originó la alerta. [41]

2.7.7 Emergencia digital

MOTOTRBO brinda al usuario de radio que se encuentra en problemas la capacidad de enviar un mensaje de alarma de emergencia con confirmación y un mensaje de voz de emergencia a un usuario con responsabilidades de supervisión. El mensaje de alarma de emergencia contiene la identificación individual del radio del iniciador. Después de recibir una alarma de emergencia, el supervisor recibe indicaciones audibles y visuales de que existe una emergencia y visualiza en pantalla la identificación del radio iniciador. [41]

Cuando un usuario presiona el botón de emergencia, el radio produce señales audibles y visuales para mostrar que ha entrado al modo de emergencia. Existe una opción, denominada emergencia silenciosa, la cual suprime todas las indicaciones del estado de emergencia en el radio del usuario. Esta facilidad es útil en situaciones donde no conviene indicar que existe una emergencia. Una vez que el usuario del radio rompe el silencio al presionar el botón de transmisión (PTT) y hablar, finaliza la emergencia silenciosa y se restablecen las indicaciones audibles y visuales.

Cuando el radio del usuario está en modo de emergencia, se bloquean otras facilidades que puedan distraerlo de su comunicación con el supervisor. Por ejemplo: el usuario no podrá iniciar otras facilidades tales como rastreo, llamada privada u otras funciones de comando y control.

La secuencia de emergencia generalmente está conformada por dos partes principales:

- la señalización y
- la subsiguiente llamada de voz.

La alarma de emergencia no es un servicio de datos, sino una señalización de control y un comando confirmado que se envían a un grupo.

Existen tres métodos principales para procesar la alarma de emergencia y las llamadas de emergencia; todos pueden configurarse a través del Software de Programación (CPS). Éstos son:

- alarma de emergencia únicamente (Emergency Alarm Only),
- alarma de emergencia y llamada (Emergency Alarm and Call)
- alarma de emergencia con voz de seguimiento (Emergency Alarm with Voice to Follow).

2.7.8 Datos Integrados de MOTOTRBO

En su funcionamiento digital, cualquier radio MOTOTRBO puede usarse como un radio de voz y datos integrados, donde el radio puede enviar mensajes de voz y datos por un canal lógico dado.

Esto no se refiere a servicios de datos como la habilitación de usuarios para navegar por la Web, enviar imágenes de video o sincronizar los escritorios de sus computadoras de oficina. Esta tecnología no es adecuada para aplicaciones que requieren gran ancho de banda. Sin embargo, sí es una excelente tecnología para aplicaciones que expanden la productividad como, por ejemplo, mensajería, servicios basados en la posición, simples consultas a bases de datos, lectura de código de barras y aplicaciones para llenar formularios.

La integración de voz y datos por un mismo canal ofrece varias ventajas. Entre ellas cabe mencionar:

- Uso de un canal de RF tanto para voz como para datos.
- Uso de una infraestructura de sistema tanto para voz como para datos.
- Uso de un abonado para enviar y recibir por el aire mensajes tanto de voz como de datos.

La integración de voz y datos por el mismo canal implica también varias consideraciones. Dichas consideraciones incluyen:

- Carga de tráfico
- Requisitos de la aplicación del cliente
- Contención de voz y datos

El MOTOTRBO es compatible con servicios de datos de muchas maneras como:

- El MOTOTRBO cuenta con un servicio de mensajería de texto que permite a los radios enviar mensajes “de unidad a unidad” y “de unidad a grupo” directamente desde la interfaz de usuario del radio.
- El MOTOTRBO permite además la implementación de aplicaciones para PC y/o aplicaciones de infraestructura, pues es compatible con el esquema de direccionamiento IP y con los servicios de transmisión de datos en paquetes IP. En lugar de depender de módems externos, los radios MOTOTRBO se pueden conectar directamente con equipos de computación mediante interfaces USB convencionales.

Sujeto a disponibilidad en cada región, Motorola ofrece dos aplicaciones MOTOTRBO para PC:

- Servicios de localización MOTOTRBO,
- Mensajería de texto MOTOTRBO.

Para algunas aplicaciones de datos basadas en infraestructura como, por ejemplo, los servicios de localización MOTOTRBO y la mensajería de texto MOTOTRBO, el radio debe realizar primero un proceso de registro completo antes de poder intercambiar mensajes de datos entre el radio y la aplicación basada en infraestructura. [42]



Figura 2. 30. Servicios de datos con MOTOTRBO [43]

2.7.8.1 Servicios de mensajería de texto

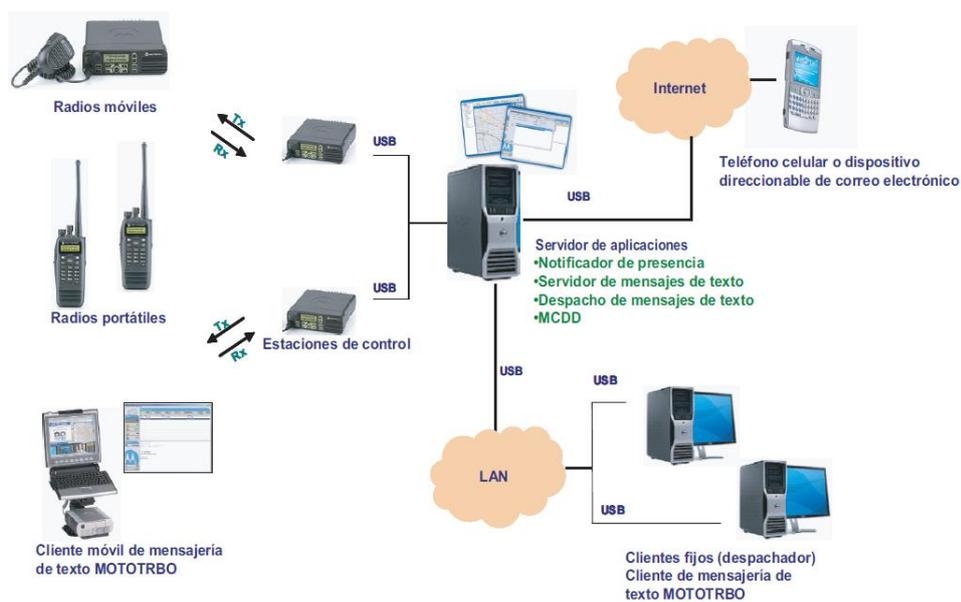


Figura 2. 31. Servicios de mensajería de texto [44]

Son varios los componentes del sistema MOTOTRBO que interaccionan para ofrecer los servicios de mensajería de texto. Entre ellos se incluyen las capacidades incorporadas de mensajería de texto de los radios de abonados MOTOTRBO y la aplicación de servicios de mensajería de texto MOTOTRBO. A su vez, la aplicación de servicios de mensajería de texto MOTOTRBO tiene varios componentes, incluido el cliente de mensajería de texto móvil de MOTOTRBO usado con radios en el campo, el cliente de mensajería de texto MOTOTRBO usado con posiciones orientadas a despacho y el servidor de mensajería de texto MOTOTRBO.

a. Servicio de mensajería de texto

La facilidad de mensajería de texto incorporada permite a los usuarios de radios portátiles y móviles MOTOTRBO enviar y recibir información en formato de texto. Esta facilidad ofrece una alternativa útil a la voz dentro del sistema MOTOTRBO. Se puede acceder completamente al servicio de mensajería de texto incorporado desde el menú del sistema en los radios MOTOTRBO que cuentan con teclado y pantalla.

Con los servicios de mensajería de texto incorporados, el usuario del radio puede crear, enviar, recibir, almacenar y visualizar mensajes de texto, que incluyen las siguientes capacidades:

- Debido a las limitaciones de visualización del radio, el usuario puede crear únicamente mensajes de texto rápido o mensajes de formato libre de hasta 140 caracteres.
- Cada usuario puede almacenar hasta 30 mensajes de texto a la vez.
- El usuario recibe una notificación una vez que el almacenamiento del buzón de entrada está repleto y cada mensaje subsiguiente borra el mensaje más antiguo.
- El usuario puede recorrer los mensajes y seleccionar cualquiera para leerlo, responderlo, retransmitirlo, guardarlo o borrarlo.
- El usuario puede recorrer los mensajes y seleccionar cualquiera para leerlo, responderlo, retransmitirlo, guardarlo o borrarlo

MOTOTRBO ofrece una aplicación para computadoras equipadas con Windows. Esta aplicación amplía los servicios de mensajería de texto del sistema para usuarios de PC de despacho central y móvil. Además brinda acceso a un importante servicio adicional: correo electrónico para los usuarios de radio, estas direcciones de correo electrónico se configuran previamente en el radio con ayuda del Software de Programación (CPS) y también en el servidor de mensajería de texto. Por lo tanto, el usuario puede seleccionar direcciones de correo electrónico desde el menú de contactos del radio y enviar un mensaje breve a los destinatarios así seleccionados.

El usuario de una computadora personal móvil está ubicado en el campo y utiliza la aplicación de cliente de mensajería de texto móvil MOTOTRBO para crear y visualizar los mensajes de texto. En los sistemas MOTOTRBO, se pueden configurar los radios portátiles o móviles con ayuda del Software de Programación (CPS) para encaminar los mensajes de texto hacia el radio de un usuario que tenga conectada una PC móvil.

La interfaz de usuario de la aplicación del cliente móvil contiene dos paneles de redacción de mensajes; uno para enviar mensajes breves a destinos de radio, y otro para enviar mensajes largos a destinos de correo electrónico y de despacho. Los clientes móviles aceptan también mensajes largos. Se pueden enviar mensajes de texto de hasta 681 caracteres.

2.7.8.2 Servicios de localización

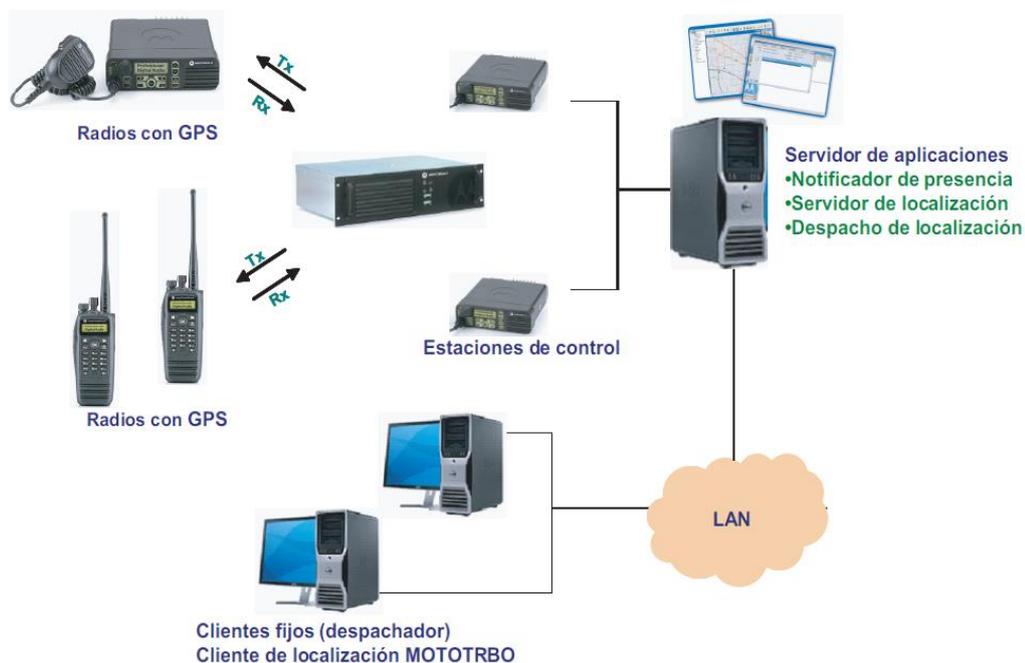


Figura 2. 32. Servicios de de localización [45]

La facilidad de localización del MOTOTRBO permite al despachador determinar la posición actual de un radio en un mapa de visualización. El despachador puede obtener sólo la posición de la unidad de radio (latitud/longitud).

Los sistemas MOTOTRBO hacen posible los servicios de localización mediante dos funciones complementarias. En primer lugar, la línea de radios móviles y portátiles MOTOTRBO incluye modelos dotados de un receptor de GPS incorporado. Mediante la capacidad de servicios de datos integrados del sistema MOTOTRBO, los radios móviles y portátiles dotados de GPS pueden transmitir sus coordenadas de posición mediante RF a una aplicación receptora que puede presentar las posiciones geográficas de los radios en un mapa. Esta aplicación receptora es la segunda parte del sistema.

a. Servicios brindados a una aplicación de localización

Para todos los servicios, se requiere que un servidor de aplicaciones de localización envíe una petición explícita al radio. El radio no enviará actualizaciones de posición no solicitadas a un servidor de aplicaciones de localización.

Los radios dotados de GPS transmiten la actualización de sus coordenadas de posición a través del sistema de radio en respuesta a 3 métodos de servicio.

- **Actualización de posición simple:** El servidor de aplicaciones de localización pide la posición actual del usuario de radio. En este caso, la aplicación envía una petición de actualización de posición simple.
- **Actualizaciones de posición periódicas:** El seguimiento de posición permite a un servidor de aplicaciones de localización obtener periódicamente la posición de un usuario de radio mediante el envío de una solicitud de posición simple que contiene el lapso de tiempo entre actualizaciones. El radio continúa actualizando periódicamente su posición según el lapso de tiempo especificado hasta que el servidor de aplicaciones cancele la solicitud. La aplicación de seguimiento de posición puede configurar el radio para que realice actualizaciones a intervalos tan cortos como 10 segundos. El valor predeterminado corresponde a una actualización cada 10 minutos.
- **En emergencia:** el radio envía su posición después de que el usuario activa una alarma de emergencia, o una alarma de emergencia con petición de llamada. La actualización de posición se envía únicamente al servidor de aplicaciones de localización que ha enviado previamente una solicitud de posición activa para recibir actualizaciones de posición provenientes de ese radio después de un evento de emergencia.

2.7.8.3 Servicios de telemetría

Los radios MOTOTRBO incorporan la funcionalidad de telemetría la cual está disponible únicamente en el modo de funcionamiento digital. Tanto los radios portátiles como los radios móviles MOTOTRBO son compatibles con las líneas de

entrada/salida GPIO (“General Purpose Input/Output”) disponibles en el conector de accesorio del radio.

Con esta funcionalidad de telemetría, el radio originador puede enviar un comando de telemetría a otro radio con tan sólo presionar un botón programable. Los comandos de telemetría permiten controlar los pines de entrada/salida (GPIO) del radio objetivo (nivel alto, nivel bajo, cambio de nivel y pulso). Los comandos de telemetría también pueden usarse para consultar el estado de los pines de entrada/salida (GPIO) del radio objetivo.

En el extremo receptor, la funcionalidad de telemetría básica incorporada permite que el radio objetivo traduzca el comando de telemetría recibido y ejecute la acción de entrada/salida. [46]

2.7.9 Rastreo

El MOTOTRBO permite el rastreo de voz analógica, voz digital, datos y señalización digital a través de un repetidor o directamente desde otro radio. Cuando se realiza un rastreo, el radio monitorea continuamente una lista de canales en busca de la actividad de interés. Cuando se encuentra la actividad de interés, el radio se detiene y cambia a ese canal. Cuando termina la actividad, el radio continúa el rastreo de los canales de la lista configurada.

El Software de Programación (CPS) permite al usuario crear, editar o borrar miembros de rastreo de una lista de rastreo, así como asociar una lista de rastreo a un canal. El usuario puede iniciar o detener el rastreo, y además agregar o eliminar miembros de una lista de rastreo a través de la interfaz del radio. Los cambios realizados a una lista de rastreo se mantienen hasta que el radio se apague. [47]

2.8 CENTRAL TELEFÓNICA IP GRANDSTREAM UCM6104

Esta central telefónica está diseñada para proveer comunicaciones unificadas a un nivel empresarial de forma segura y con fácil administración para las pequeñas y medianas empresas. Ofrece un gran avance como solución de la convergencia de voz, vídeo, datos, fax, vídeo vigilancia y en aplicaciones móviles. [48]

2.8.1 Características

- Procesador ARM Cortex A8 1GHz, de gran capacidad de memoria (512MB DDR RAM, 4GB Flash)
- 4 puertos FXO para troncales PSTN, 2 puertos FXS para teléfonos analógicos con capacidad de respaldo usando línea PSTN en caso de corte de energía eléctrica, y con opción de hasta 50 troncales SIP.
- Puerto(s) de red Gigabit con PoE integrado, USB, SD, router NAT integrado con soporte avanzado de QoS (Solo el UCM6102)
- Soporta la más amplia gama de códecs de voz (incluyendo A-law/U-law G.711, G.722, G.723.1, G.726, G.729A / B, iLBC, GSM), códec de vídeo (incluyendo H. 264, H.263, H.263+) y fax (T.38).
- Soporta hasta 500 registros SIP, hasta 60 llamadas simultáneas con el UCM 6108/16 (hasta 40 llamadas simultáneas encriptadas por SRTP) y hasta 32 participantes en conferencias.
- Detección automática y aprovisionamiento de teléfono IP, vídeo teléfonos, ATAs y otros terminales para una fácil implementación,

2.9 RADIO MOBILE

2.9.1 Introducción

Radio Mobile es un programa de simulación de radiopropagación gratuito que trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y está basado en el

modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) o modelo Longley-Rice.

Los datos de elevación se pueden obtener de diversas fuentes, entre ellas del proyecto de la NASA *Shuttle Terrain Radar Mapping Misión* (SRTM) que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos de arco (100m).

Los mapas con información de elevaciones pueden ser superpuestos a imágenes con mapas topográficos, mapas de carreteras o imágenes de satélite. [49]

2.9.1.1 Aplicaciones de Radio Mobile

- Predicción del rendimiento de sistemas de radio.
- Análisis de la cobertura de un sistema sin necesidad de realizar mediciones sobre terreno.
- Evaluación de emplazamientos óptimos para la instalación de repetidores
- Visualización 2D y 3D de modelos digitales de terrenos
- Extracción del perfil topográfico de un radioenlace.

2.9.1.2 Modelo Longley-Rise

Radio Mobile se basa en el modelo Longley-Rise, el cual predice la propagación a media y larga distancia donde el transmisor y receptor se encuentran alejados desde 1 a 2000 Km sobre un terreno irregular.

Para el cálculo considera las irregularidades del terreno y usa para ello el perfil del terreno y los siguientes parámetros.

- Constante dieléctrica de la tierra (permeabilidad relativa)
- Conductividad de la tierra (Siemens por metro)
- Constante Atmosférica Bending Constant (N-Unidades)
- Tipos de Clima
- Frecuencia entre 20 MHz y 20 GHz

- Polarización Horizontal y Vertical

Estadísticamente se considera las intensidades de campo basados en el porcentaje de las ubicaciones para distintos porcentajes de tiempo a través de la relación de la fracción de situaciones con la fracción de tiempo.

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACION

3.1 DISEÑO

Para el diseño se utilizará en primera instancia un simulador de radiopropagación llamado RADIO MOBILE (descrito en el capítulo 2), para tener una estimación del área de cobertura que tendrá el sistema MOTOTRBO en la ciudad de Quito, además de realizar los cálculos respectivos de pérdidas y ganancias del enlace. Con los cálculos realizados y la simulación se podrá verificar si el enlace es viable para su posterior implementación.

3.1.1 Diseño del sistema UHF digital

Para el diseño de la red se utilizará un repetidor que se instalará en el cerro Monjas, para tener un área de cobertura adecuada de la ciudad de Quito, la cual permitirá la comunicación de los radios digitales móviles y portátiles MOTOTRBO.

Además este repetidor estará conectado a internet para el envío de datos que recibe de los radios móviles y portátiles. Para lo cual se contrató a un ISP que para este proyecto es PUNTONET.

El programa TRBOnet Enterprise 4.6 permitirá la interconexión telefónica entre la red de dos vías digital MOTOTRBO y la central telefónica IP Grandstream

UCM6104, este programa será instalado en una computadora que se encuentra ubicada en las oficinas de la empresa RASERCOM S.A.

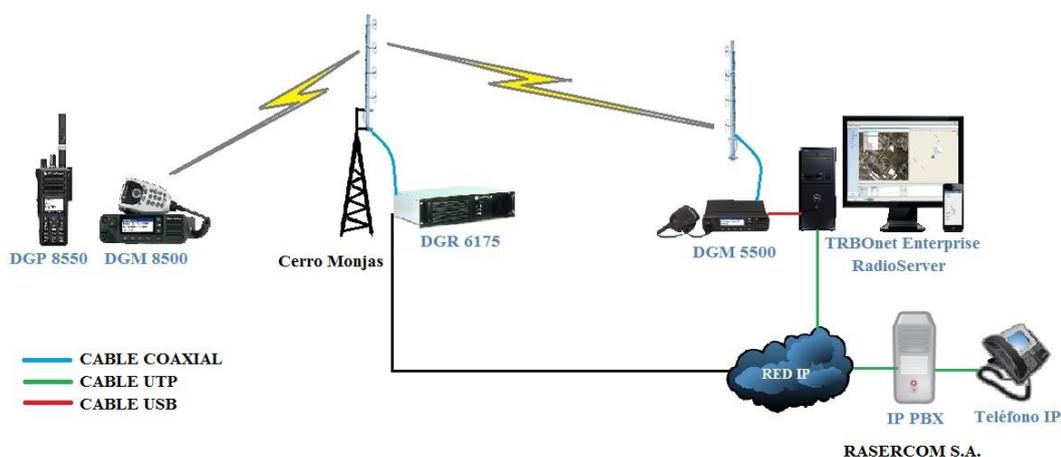


Figura 3. 1. Diseño de la topología física del sistema UHF

3.1.1.1 Tráfico de la red

El tráfico de esta red en su mayoría se utilizará para la comunicación de voz, además de las características que ofrece MOTOTRBO como: mensajes de texto, rastreo satelital mediante GPS e interconexión telefónica.

3.1.1.2 Ancho de banda

Los equipos MOTOTRBO trabajan con un ancho de banda digital de 12,5 KHz con una modulación 4-FSK de acuerdo con el estándar DMR ETSI TS 102 361.

3.1.1.3 Ubicación geográfica de la base y repetidor

Tabla 3. 1. Ubicación geográfica de la base y repetidora

Lugar	Equipo	Latitud	Longitud
Cerro Monjas	Repetidor Rack DGR 6175	0°13'38.44"S	78°28'28.67"O
RASERCOM S.A.	Radio Base DGM 5500	0°12'26.43"S	78°29'32.90"O

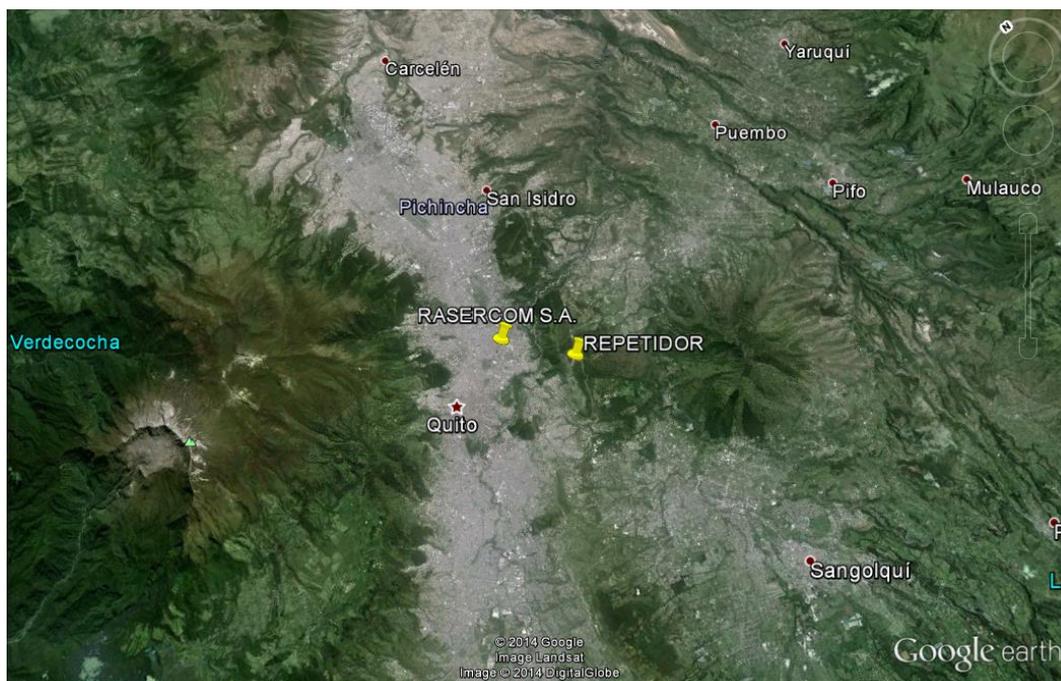


Figura 3. 2. Ubicación de la base y repetidora en Google earth

3.1.1.4 Características del enlace Repetidor – Base

- **Banda de frecuencia**

Dentro de la banda UHF (30 a 3000 MHz), la empresa RASERCOM S.A. opera en el rango de 500 MHz a 510 MHz.

- **Especificaciones técnicas de los equipos**

Ver Anexo A.

- **Tipo y ganancia de las antenas**

Se utilizará la antena tipo dipolo doblado en la estación repetidora.

Para calcular la ganancia en dBi, se utilizó (3.1).

$$Ganancia(dBi) = Ganancia(dB) + 2.14 \quad (3.1)$$

$$Ganancia(dBi) = 9 + 2.14$$

$$Ganancia(dBi) = 11.14 \text{ dBi}$$

- **Potencia de transmisión**

Potencia del Repetidor: 25 a 40 W

Potencia del Radio base: 25 a 40 W

Donde:

$$Potencia(dBm) = 10 \log \left(\frac{potencia(W)}{1mW} \right) \quad (3.2)$$

$$Potencia(dBm) = 10 \log \left(\frac{25 W}{1mW} \right)$$

$$Potencia(dBm) = 44 dBm$$

- **Sensibilidad del receptor**

Identifica el valor mínimo de potencia que necesita un receptor para poder decodificar bits lógicos y alcanzar una cierta tasa de transmisión de bits.

Sensibilidad del repetidor: 5% de BER, 0.3 μ V.

Sensibilidad del radio base: 5% de BER, 0.3 μ V.

Se lo puede expresar en dBm mediante (3.3).

$$U(dBm) = \left(\frac{U^2}{R_x P_o} \right) \quad (3.3)$$

Donde:

U = Sensibilidad del equipo

R = Impedancia característica 50 Ω

P_o = Potencia de referencia

Por lo tanto:

$$U(dBm) = 10 \log \left(\frac{(0.3\mu V)^2}{50 \times 1mW} \right)$$

$$U(dBm) = -117.44 dBm$$

- **Pérdidas en la propagación**

a) Pérdidas en el cable

El cable Belden 9913 (RG-8) se utilizará para las antenas dipolo doblado del repetidor y de la estación base, tiene una atenuación de 0.08 dB/metro. En la estación repetidora se utilizará un cable de 25 m y en la estación base se utilizará un cable de 5 m de longitud, por lo que se tendrá una pérdida de:

$$Pérdida = \left(0.08 \frac{dB}{m}\right) \times (5 m)$$

$$Pérdida \text{ en la estación base} = 0.4 \text{ dB.}$$

$$Pérdida = \left(0.08 \frac{dB}{m}\right) \times (25 m)$$

$$Pérdida \text{ en el repetidor} = 2 \text{ dB.}$$

b) Pérdidas por conectores

Se estima un 0.25 dB de pérdida por cada conector. En el enlace se utilizará 4 conectores por lo que para el enlace se tendría una pérdida de 1 dB.

c) Pérdidas totales de línea

Para las pérdidas totales de línea se obtiene sumando la atenuación en el duplexor y conectores más la pérdida en el cable.

Tabla 3. 2. Cálculo de las pérdidas totales de línea

	Pérdidas en el cable	Pérdidas por conectores	Atenuación del duplexor	Pérdidas totales de línea
Sitio	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
Repetidor	2	1	0.8	3.8
Base	0.4	1	0	1.4

d) Pérdidas por propagación en espacio libre

La frecuencia que se utilizará para determinar las pérdidas, es un valor promedio de entre la frecuencia mínima 500 MHz y máxima 510 MHz que

es 505 MHz.

$$L_{(dB)} = 32.44 + 20 \log(F) + 20 \log(d) \quad (3.4)$$

Donde:

F = frecuencia (MHz)

d = distancia (Km)

Utilizando (3.4) se obtiene:

$$L_{(dB)} = 32.44 + 20 \log(505) + 20 \log(5.18)$$

$$L_{(dB)} = 32.44 + 54.06 + 14.28$$

$$L_{(dB)} = 100.78 \text{ dB}$$

- **Pérdidas totales**

Es la suma de las pérdidas por propagación en espacio libre más las pérdidas totales de línea.

Pérdidas totales = Pérdidas en espacio libre + Pérdidas de línea

(3.5)

$$Pérdidas totales = 100.78 \text{ dB} + 3.8 \text{ dB}$$

$$Pérdidas totales = 104.58 \text{ dB}$$

- **PIRE (Potencia Irradiada Isotrópica efectiva)**

Tiene en cuenta las pérdidas de la línea de transmisión y en los conectores e incluye la ganancia de la antena.

$$PIRE = Potencia del transmisor(dBm) - Pérdidas de línea + Ganancia de la antena(dBi) \quad (3.6)$$

$$PIRE = 44 \text{ dBm} - 3.8 \text{ dB} + 11.14 \text{ dBi}$$

$$PIRE = 51.34 \text{ dBm}$$

- **Potencia de recepción**

$$\begin{aligned} \text{Potencia Rx (dBm)} = & \text{Potencia de Tx (dBm)} + \text{Ganancia de antena de Tx} \\ & \text{(dBi)} - \text{Pérdidas de línea Tx (dB)} + \text{Ganancia de antena Rx (dBi)} - \\ & \text{Pérdidas de línea Rx (dB)} - \text{Pérdidas por propagación en espacio libre} \\ & \text{(dB)} \quad (3.7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Potencia Rx (dBm)} = & 44 \text{ dBm} + 11.15 \text{ dBi} - 3.8 \text{ dB} + 11.15 \text{ dBi} - 1.4 \text{ dB} \\ & - 100.78 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\text{Potencia Rx (dBm)} = -39.68 \text{ dBm.}$$

- **Margen de desvanecimiento**

$$\begin{aligned} \text{Margen de desvanecimiento (dB)} = & \text{Potencia Rx (dBm)} - \text{Sensibilidad} \\ & \text{del receptor (dBm)} \quad (3.8) \end{aligned}$$

$$\text{Margen de desvanecimiento (dB)} = -39.68 \text{ dBm} - (-117.44 \text{ dBm})$$

$$\text{Margen de desvanecimiento (dB)} = 77.76 \text{ dB.}$$

3.1.2 Simulación del enlace en Radio Mobile

3.1.2.1 Creación de las unidades

El primer paso a realizar es descargar de internet el mapa de la ciudad de Quito, para luego crear las unidades e ingresar la ubicación geográfica de los equipos del enlace que son: repetidor y estación base.

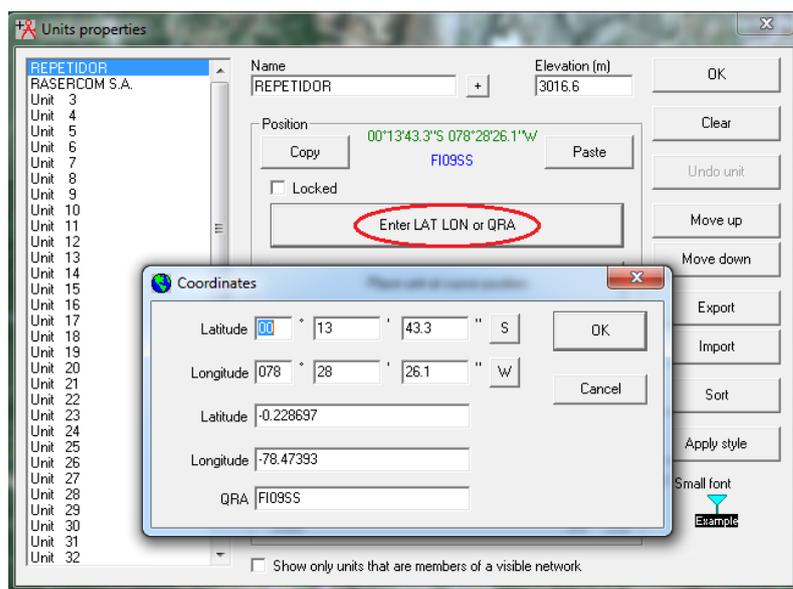


Figura 3. 3. Ingreso de las coordenadas geográficas del repetidor

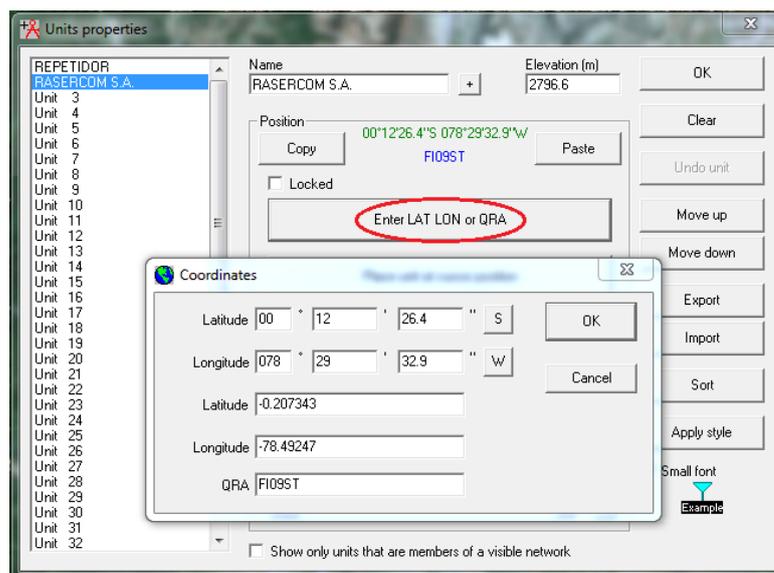


Figura 3. 4. Ingreso de las coordenadas geográficas del radio base

3.1.2.2 Creación de la red

De acuerdo al modelo Longley-Rise es recomendable trabajar con los parámetros por defecto de los modos de variabilidad, refractividad de la superficie, conductividad del suelo, permitividad relativa del suelo y tipo de clima. Además de la frecuencia mínima y frecuencia máxima, como se puede observar en la Figura 3.5.

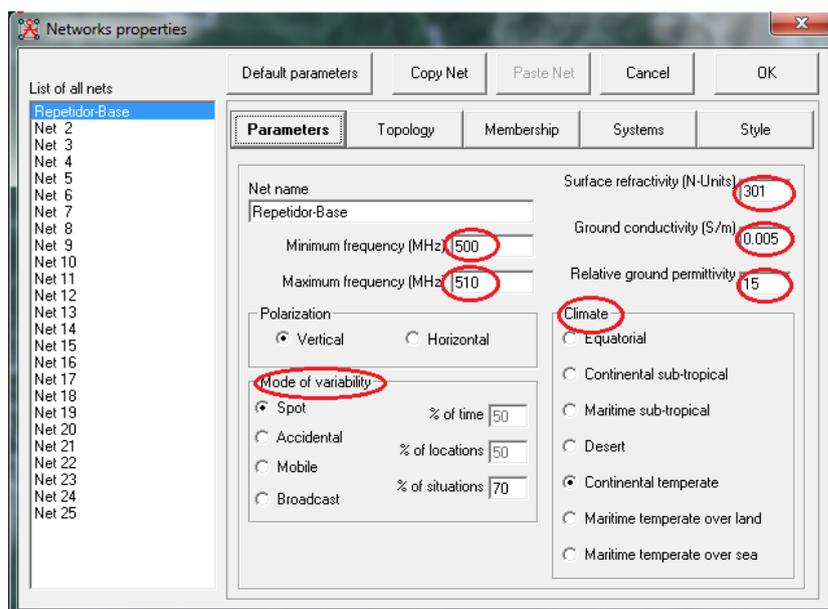


Figura 3. 5. Configuración de la red

3.1.2.3 Creación de sistemas

Cada sistema se creó de acuerdo a las características de cada equipo que se va a instalar. En el Cerro Monjas se creó con las características que se muestra la Figura 3.6 y para la estación base se creó con las características que se muestra en la Figura 3.7.

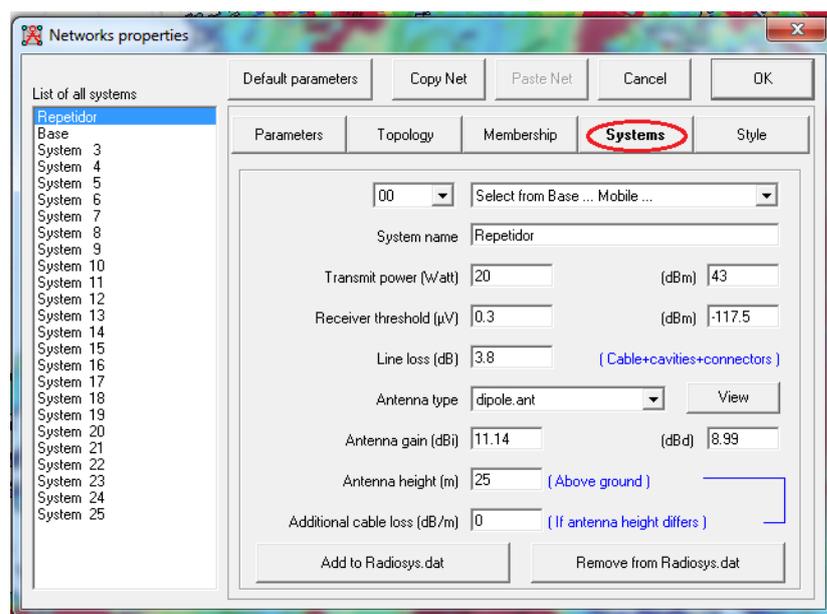


Figura 3. 6. Configuración del sistema del repetidor

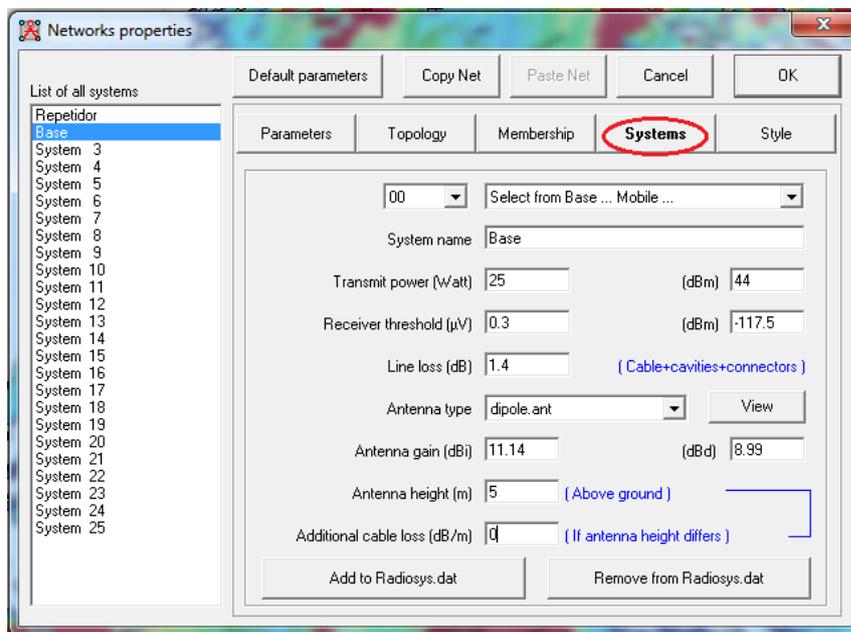


Figura 3. 7. Configuración del sistema de la estación base

3.1.2.4 Miembros

Se eligió a los miembros del enlace y se define la altura y dirección hacia dónde va a apuntar la antena, como se muestra en la Figura 3.8 y Figura 3.9.

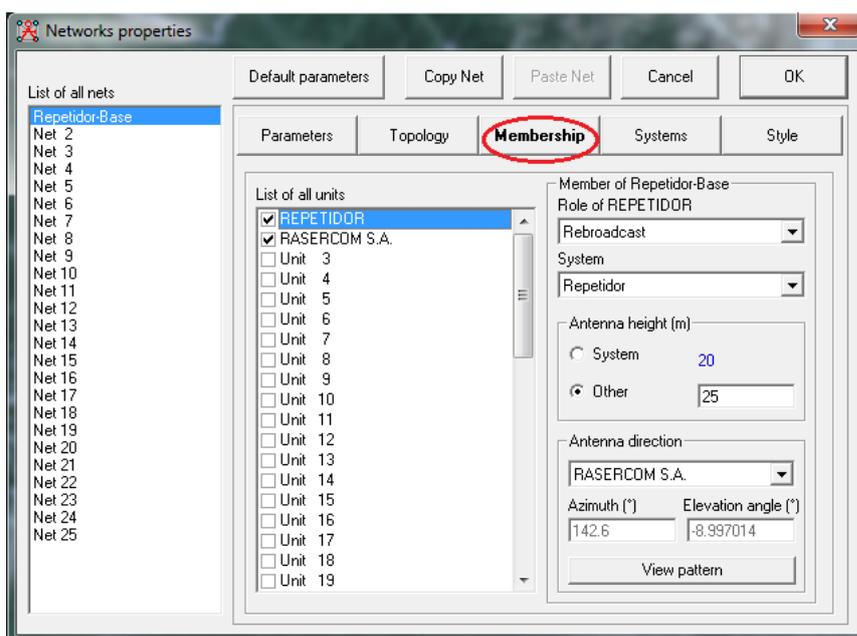


Figura 3. 8. Configuración del repetidor

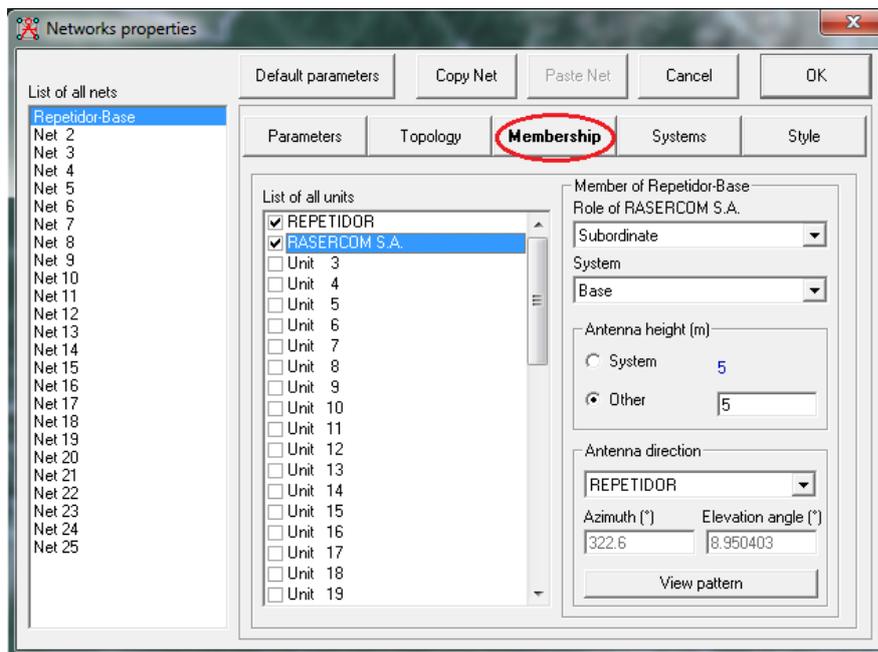


Figura 3. 9. Configuración de la estación base

3.1.2.5 Estilo de propagación

En esta opción se dejan los parámetros predeterminados.

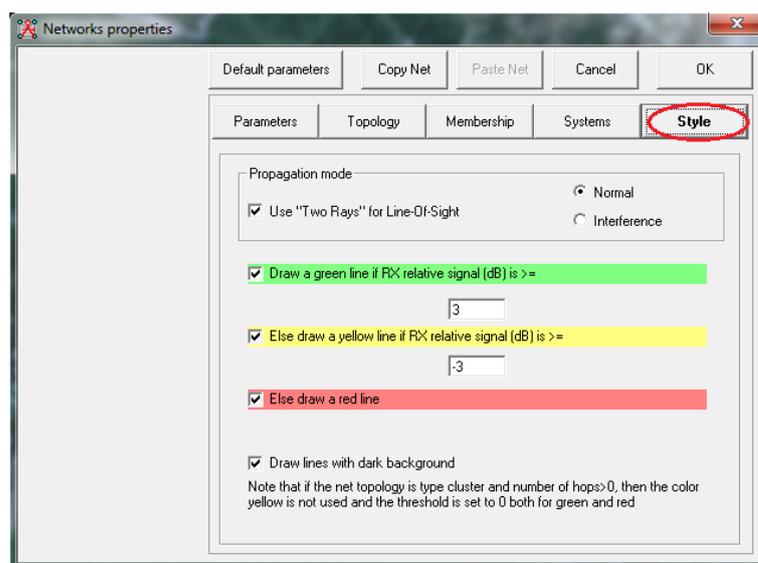


Figura 3. 10. Configuración de estilo de propagación

3.1.2.6 Presentación del enlace de radio



Figura 3. 11. Enlace de radio simulado

3.1.2.7 Descripción del enlace

Como se puede observar en la Figura 3.12, la línea verde que une el transmisor con el receptor significa que existe línea de vista entre los dos puntos.

Además las elipses de color blanco que se describen alrededor de la línea de vista que une el transmisor con el receptor, representan: el 60% de la primera zona de Fresnel, el 100% de la primera zona de Fresnel y el 141% de la primera zona de Fresnel, de adentro hacia afuera respectivamente.

Como se puede apreciar la primera zona de Fresnel está despejada, por lo que se puede concluir que el enlace es factible y cumplirá con todos los requerimientos.

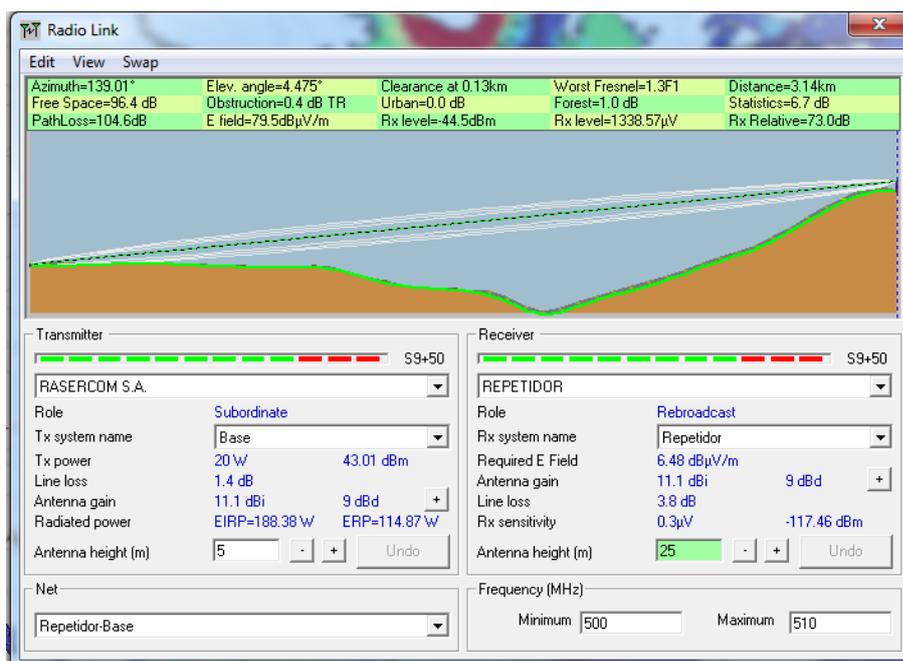


Figura 3. 12. Estado del enlace simulado

Dentro de las propiedades del enlace de radio es posible exportar el archivo a Google earth, con lo cual se puede observar el enlace en tres dimensiones, como lo muestra la Figura 3.13.

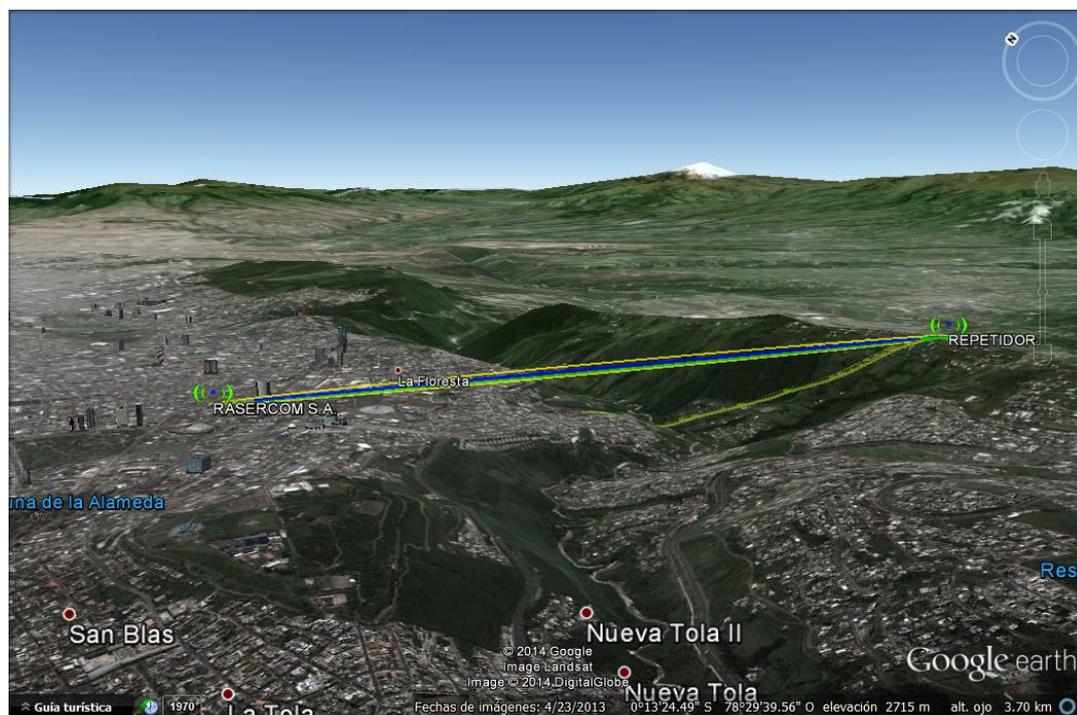


Figura 3. 13. Enlace Repetidor – Radio Base

3.1.2.8 Área de cobertura del repetidor

Para el área de cobertura del repetidor se utilizará el rango de -67 dBm a -117 dBm que es la sensibilidad del receptor. Las zonas de diferente color representan el área de recepción del radio, como se puede observar en la Figura 3.14.

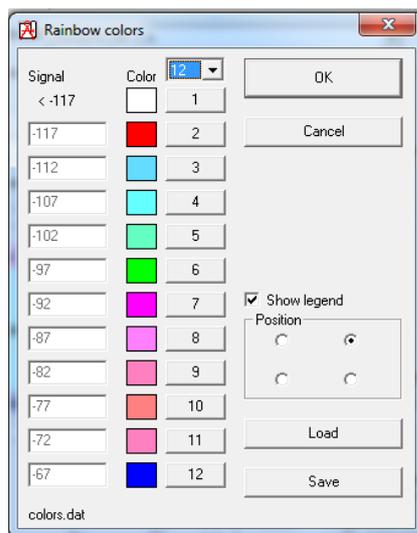


Figura 3. 14. Niveles de recepción

Se considera que la señal tiene un nivel satisfactorio hasta -97 dBm (verde), normal hasta -92 dBm (lila) y excelente hasta -67 dBm (azul).

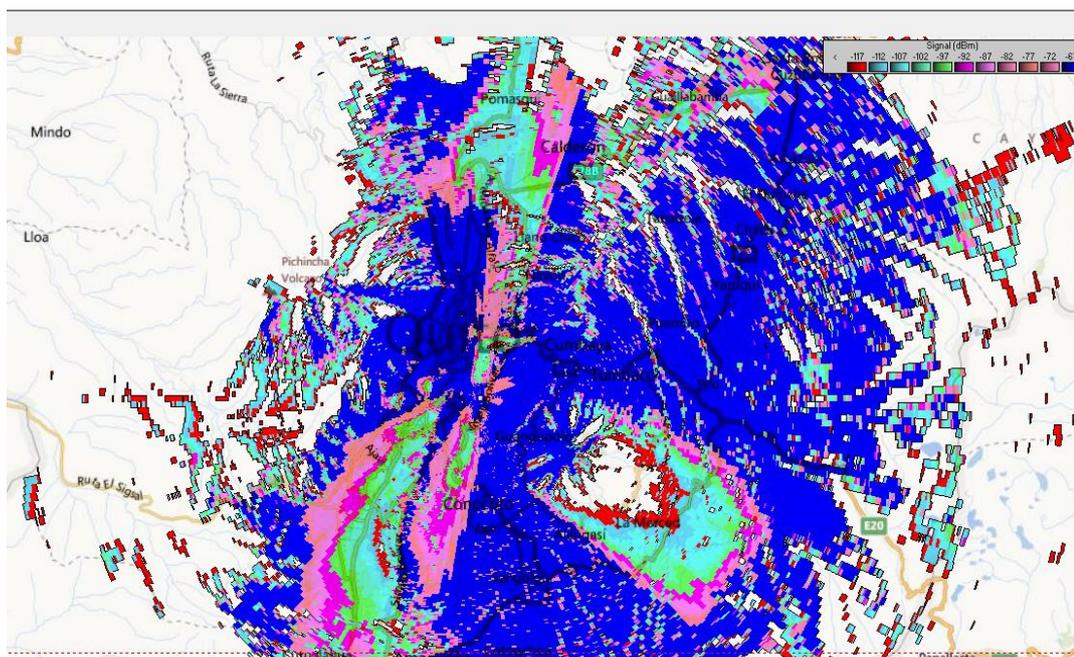


Figura 3. 15. Cobertura del repetidor ubicado en el cerro Monjas

Como se puede observar en la Figura 3.15, el área de cobertura abarca toda la ciudad de Quito y sus alrededores, con lo que se asegura la comunicación con las estaciones móviles y portátiles y por lo tanto bajos tiempos de indisponibilidad.

Desde el punto de vista teórico se concluye que el Sistema UHF Digital diseñado es factible de realizarse y cumplirá con los requerimientos de la empresa RASERCOM S.A.

3.2 IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación en el Cerro Monjas se utilizó el equipamiento que se describe en la Tabla 3.3, y para la implementación en las oficinas de la empresa RASERCOM S.A., se utilizó el equipamiento que se describe en la Tabla 3.4.

Tabla 3. 3. Equipamiento en el Cerro Monjas

REPETIDOR MOTOROLA DGR 6175	
Frecuencia de trabajo	450 - 527 MHz
Espaciamiento del canal	12.5 KHZ
Sensibilidad Digital	0.3 uV
Sensibilidad analógica	0.3 uV
Potencia de salida	40 W
Antena UHF	
Rango de frecuencias	488 - 512 MHz
Altura de la antena al piso	25 m
Equipamiento	
Duplexor	Fiplex DVN 4522L
Cable coaxial	Belden 9913 RG-8 Longitud 25 m
Cargador de baterías	Schumacher SE- 5212A
Baterías	BOSH S2000 12 VDC

Tabla 3. 4. Equipamiento de la central de monitoreo

Radio DGM 5500	
Frecuencia de trabajo	470 - 527 MHz
Espaciamiento del canal	12.5 KHZ
Sensibilidad Digital	0.3 uV
Sensibilidad analógica	0.3 uV
Potencia de salida	25 W
Antena UHF	
Rango de frecuencias	488 - 512 MHz
Altura de la antena al piso	5 m
Equipamiento	
Cable	Coaxial Belden 9913 RG-8 Longitud 5 m
Fuente de poder	PYRAMID
CPU	TRBOnet Enterprise 4.6

3.2.1 Programas para configuración

3.2.1.1 TRBOnet

TRBOnet Enterprise es un software compatible con todas las características de las estaciones de radio MOTOTRBO (Capacity Plus, GPS de posicionamiento, Mensaje de texto, ARS, y telemetría) y le ofrece una serie de opciones específicas como la grabación de voz, Geo-Cercas, operación trabajador solitario, Intercom, Programador de texto Mensajes, Monitor de unidad Actividad, Email Gateway.

3.2.1.2 CPS

Es un software para la programación de equipos tales como: repetidores, radios móviles y radios portátiles MOTOTRBO; es decir, leer, escribir o clonar.

3.2.1.3 RDAC

Es una nueva aplicación de Motorola que permite a un administrador u operador de una red MOTOTRBO diagnosticar y controlar los repetidores MOTOTRBO conectado localmente o por medio de una red IP.

RDAC brinda un gran nivel de conveniencia, permitiendo reaccionar rápidamente a cualquier problema que pueda surgir en la red.

3.2.2 Programación de los equipos

3.2.2.1 Estación repetidora

Para la programación del equipo repetidor se utilizó la herramienta CPS con el cual se puede configurar los parámetros que se necesita para la comunicación de la red digital MOTOTRBO.

Para la programación de la Red se configuró el *ID de radio* con la que se va a identificar el repetidor, además de la *potencia alta y baja*, como se muestra en la Figura 3.16.

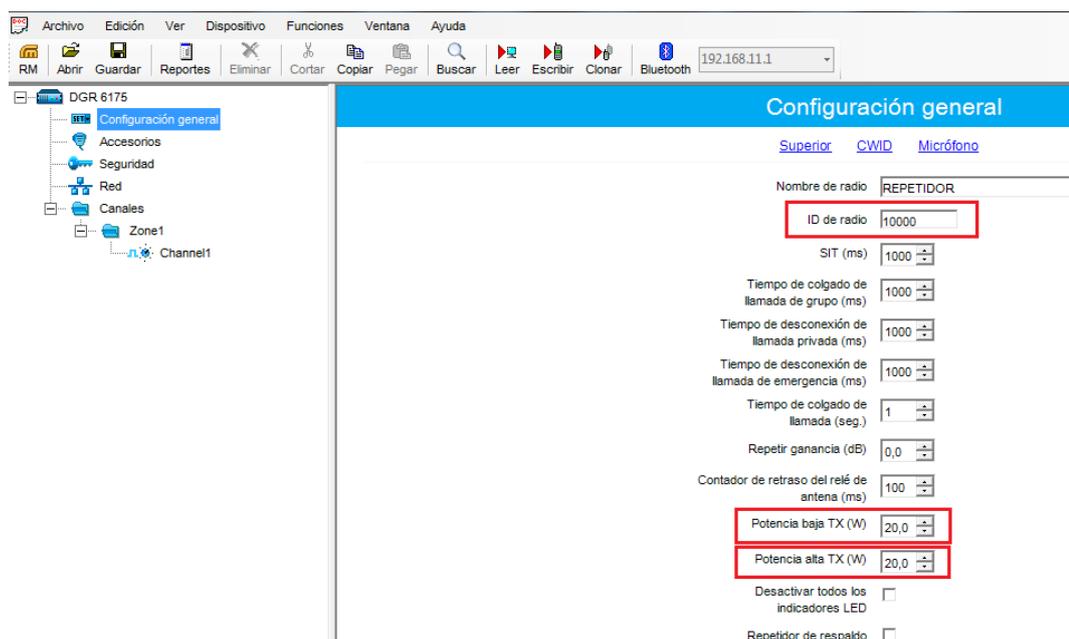


Figura 3. 16. Configuración general

Para la programación de la Red, se configuró la red de Radio como: *ID de red de Radio CAI* (Common Air Interface), *ID de Red de grupo CAI*, además se configuró la *IP del administrador*, la cual permite el envío de datos que obtiene el repetidor de los radios hacia el programa TRBOnet, como se muestra en la Figura 3.17.

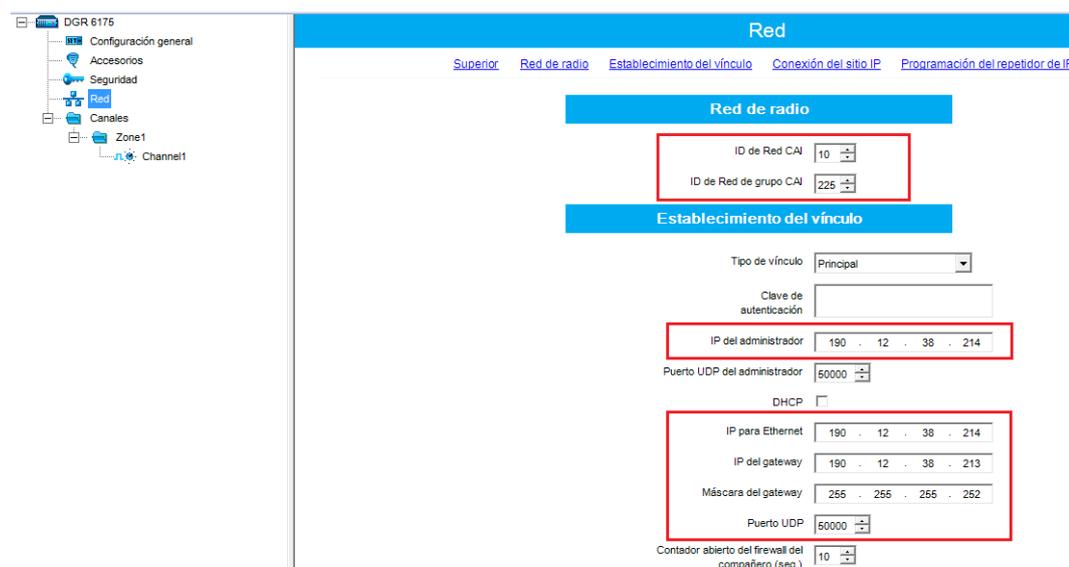


Figura 3. 17. Programación de Red

Para la programación del canal digital, se configuró el *código de color*, *Conexión del sitio IP*, además se configura las frecuencias de *Recepción* y *Transmisión*, con las cuales se va a trabajar, como se muestra la Figura 3.18.

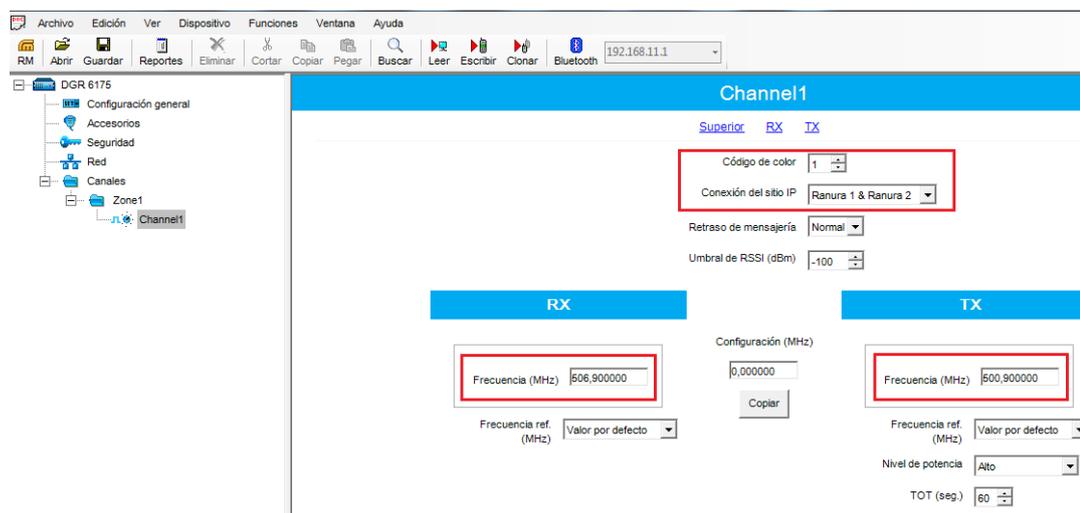


Figura 3. 18. Programación de canal digital

3.2.2.2 Estación base central

Para la programación de la base central, se configuró el *Nombre de radio* y el *ID de radio* con lo que va a identificar al equipo en el sistema, como se muestra en la Figura 3.19, además se configuró la potencia de transmisión *baja* y *alta*, como se muestra en la Figura 3.20.



Figura 3. 19. Configuración general

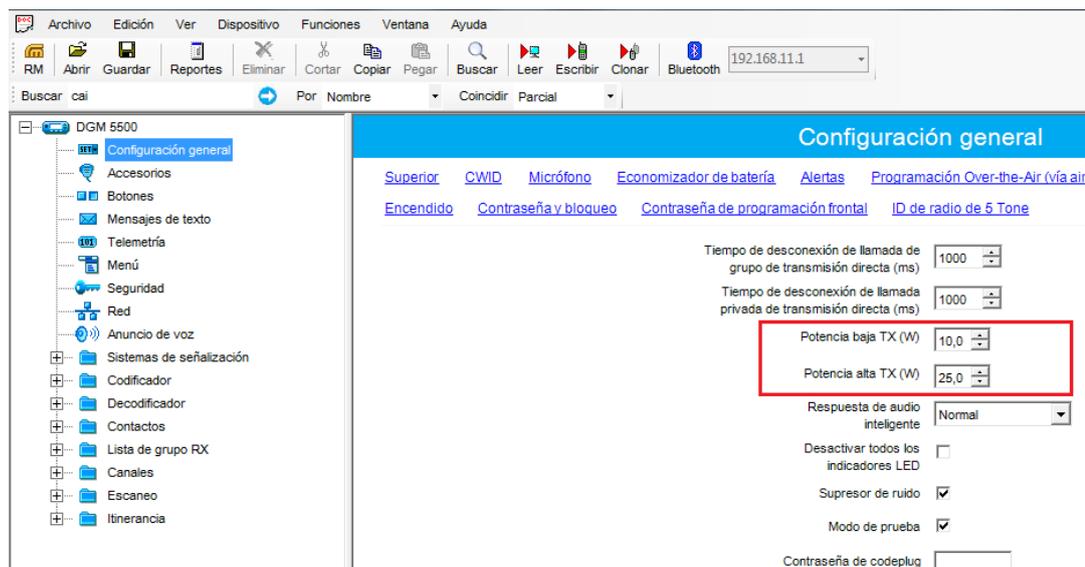


Figura 3. 20. Programación de potencia Tx alta y baja

Para la las programación de la Red, se configuró la *Red de radio*, *Id de Red de grupo CAI*, que debe ser la misma del repetidor, además se configuró el *ID de radio ARS* (Automatic Registration Service), como se muestra en la Figura 3.21.

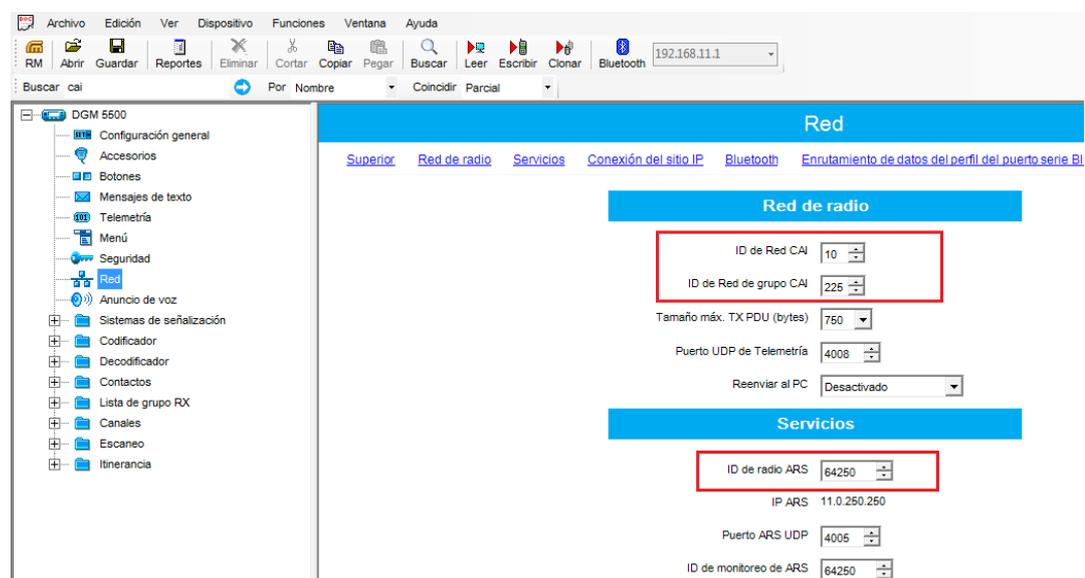


Figura 3. 21. Programación de red

Para la programación de los contactos de tipo digital, se añadió el tipo de llamada: *grupal*, *individual*, *general*, como se muestra en la Figura 3.22.

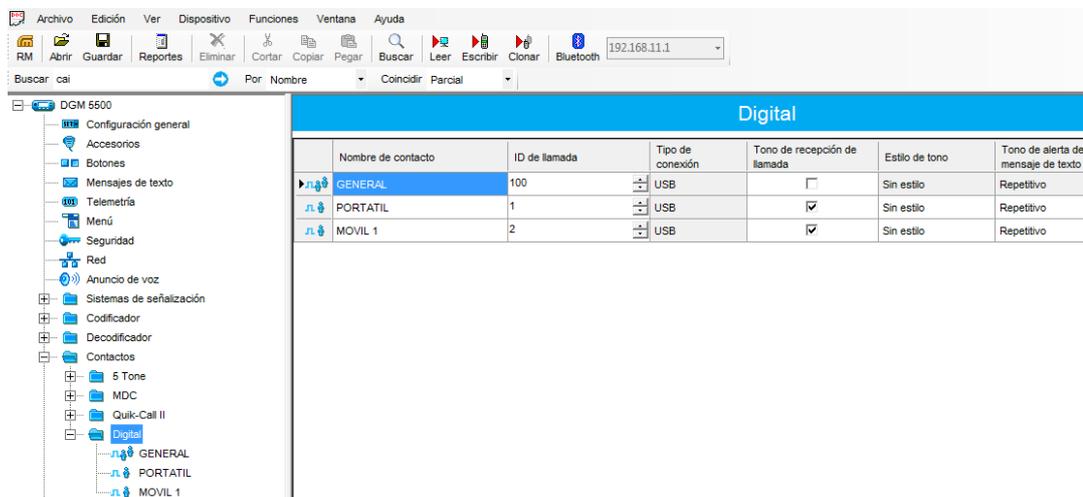


Figura 3. 22. Programación de contactos de tipo digital

Para la programación del canal de tipo digital, se configuró el *Código de color* que tiene el mismo valor del repetidor, *Franja del repetidor* que se va a usar para la comunicación de voz, como se muestra en la figura 3.23.

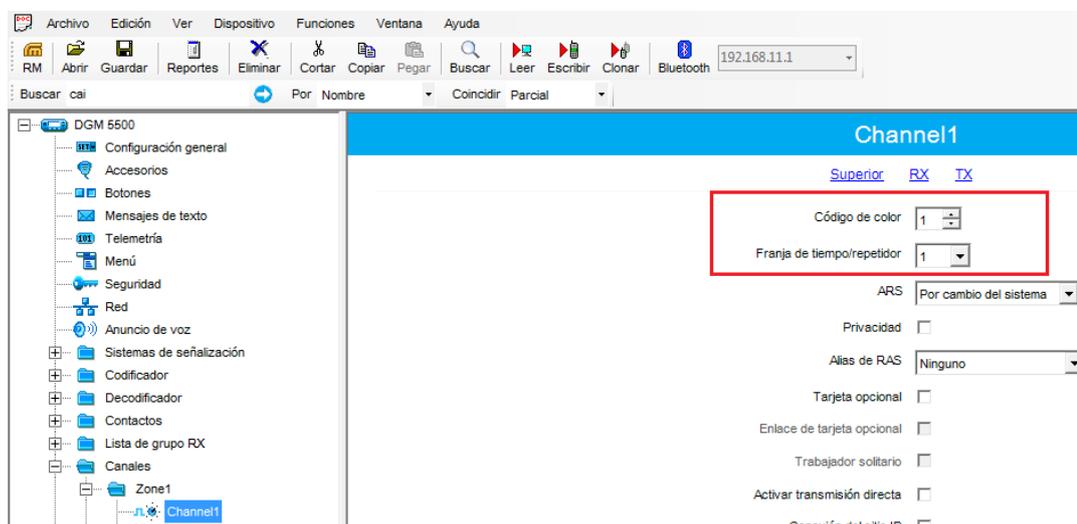


Figura 3. 23. Programación de canal de tipo digital

Para la programación del canal digital, se configuró la frecuencia de *Recepción* y *Transmisión*, como se muestra la Figura 3.24.

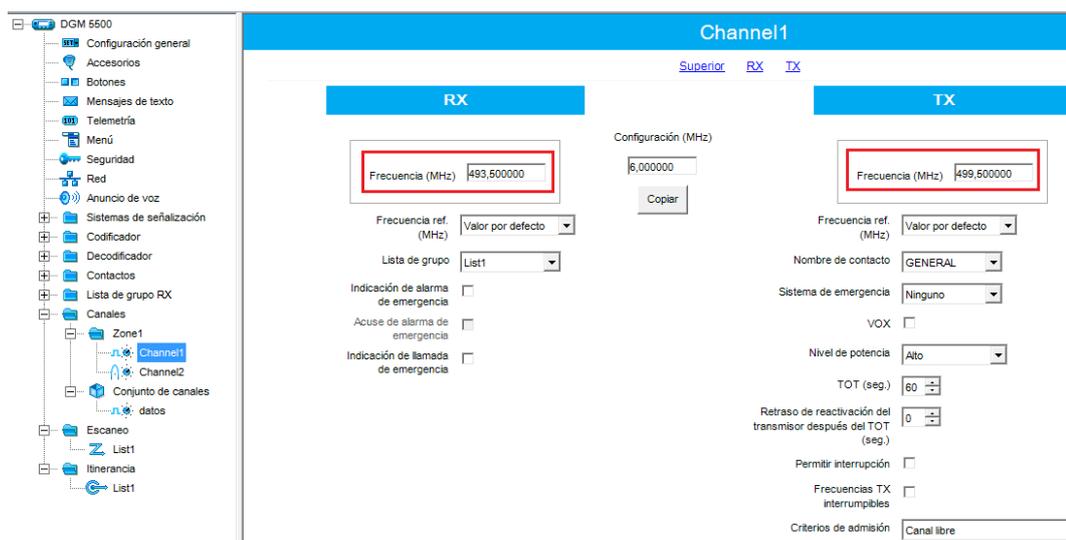


Figura 3. 24. Programación de frecuencias

3.2.2.3 Estación móvil

Para la programación de la estación móvil, se configuró el *Nombre de radio*, *ID de radio*, se activa el *GPS* y las *llamadas privadas*, como se muestra en la Figura 3.25.

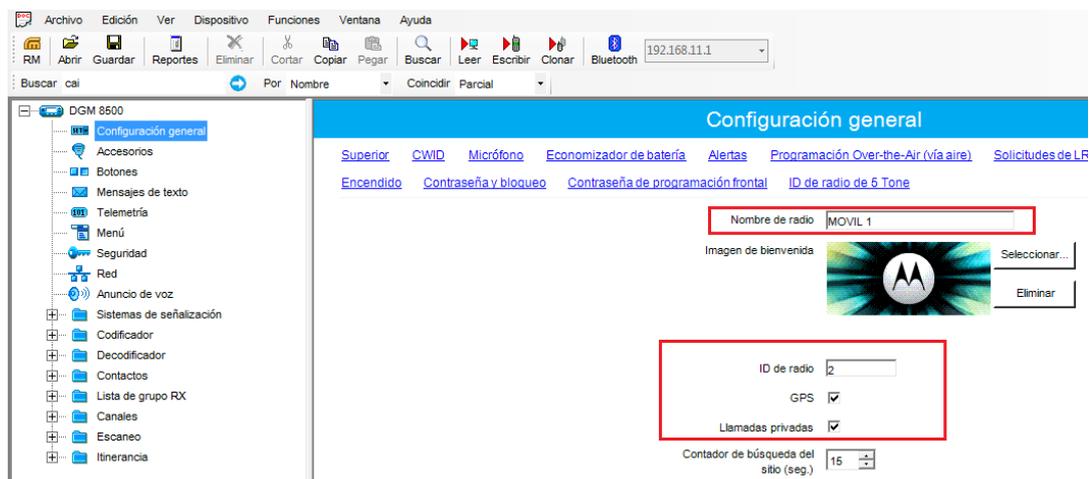


Figura 3. 25. Configuración general

Para la programación de la Red, se configuró la *Red de radio*, *Id de Red de grupo CAI*, que debe ser la misma del repetidor, además se configuró el *ID de radio ARS*, como se muestra en la Figura 3.26.

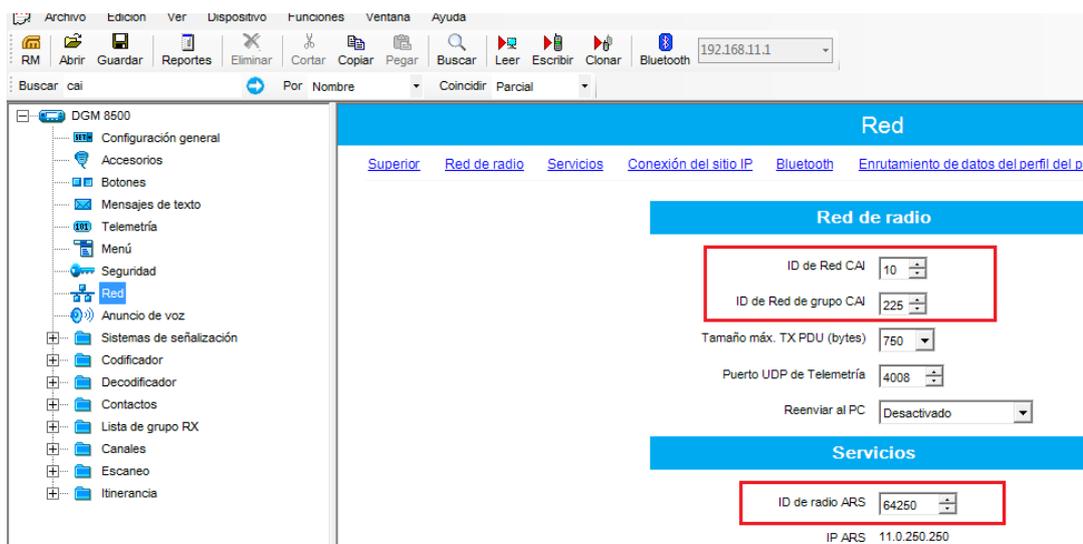


Figura 3. 26. Programación de Red

Para la programación del sistema telefónico, se configura el *ID de Gateway*, *Código de acceso* y *Código de salida*, como se muestra en la Figura 3.27.

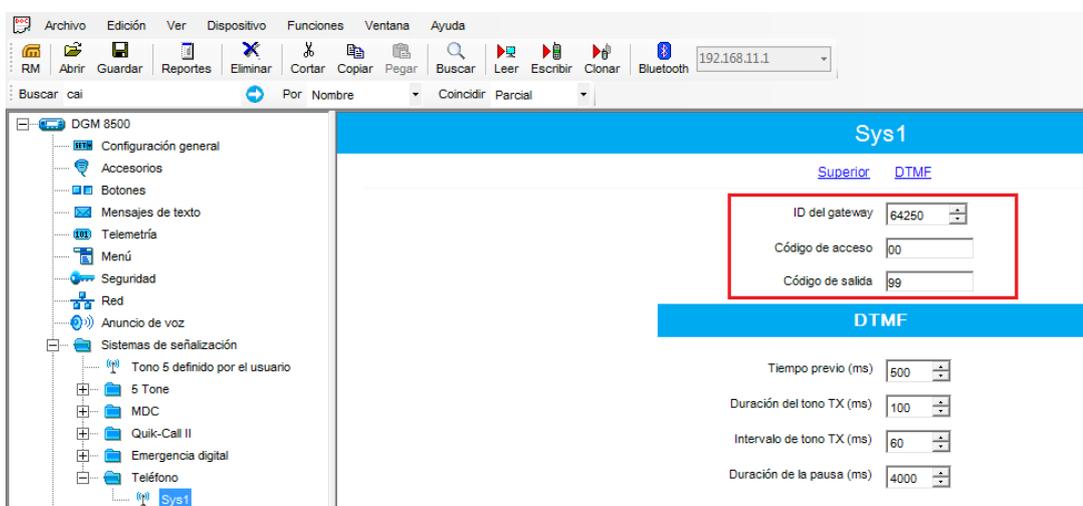


Figura 3. 27. Programación del sistema de señalización de teléfono

Para la programación de los contactos de tipo digital, se añadió el tipo de *llamada: grupal, individual, general*, como se muestra en la Figura 3.28.

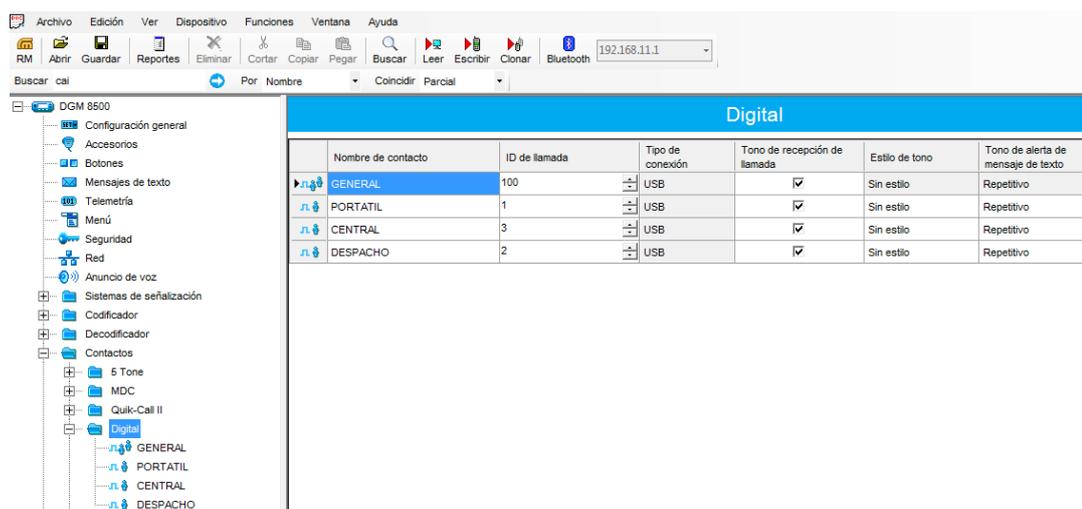


Figura 3. 28. Programación de contactos de tipo digital

Para el contacto telefónico, se configuró el número de llamada que es el mismo número de extensión que tiene configurada la central telefónica, como se muestra en la Figura 3.29.

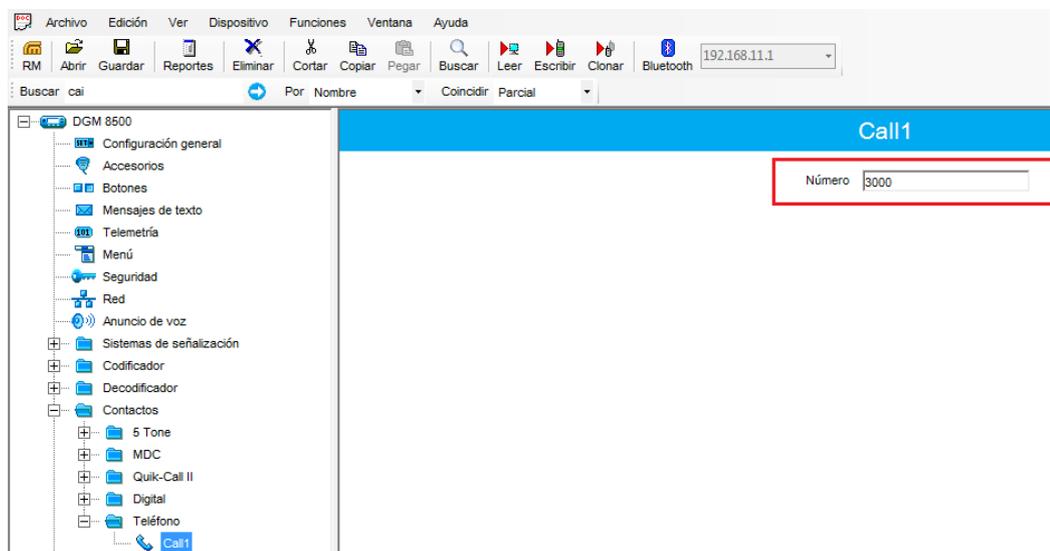


Figura 3. 29. Programación de contacto telefónico

Para la programación del canal de tipo digital, se configuró el *Código de color* que tiene el mismo valor del repetidor, *Franja del repetidor* que se va a usar para la comunicación de voz y el tipo de *Sistema telefónico*, como se muestra en la Figura 3.30, además se configuró la frecuencia de *Recepción y Transmisión*, además se configuro el canal por donde se va a enviar los datos GPS, como se muestra la

Figura 3.31.

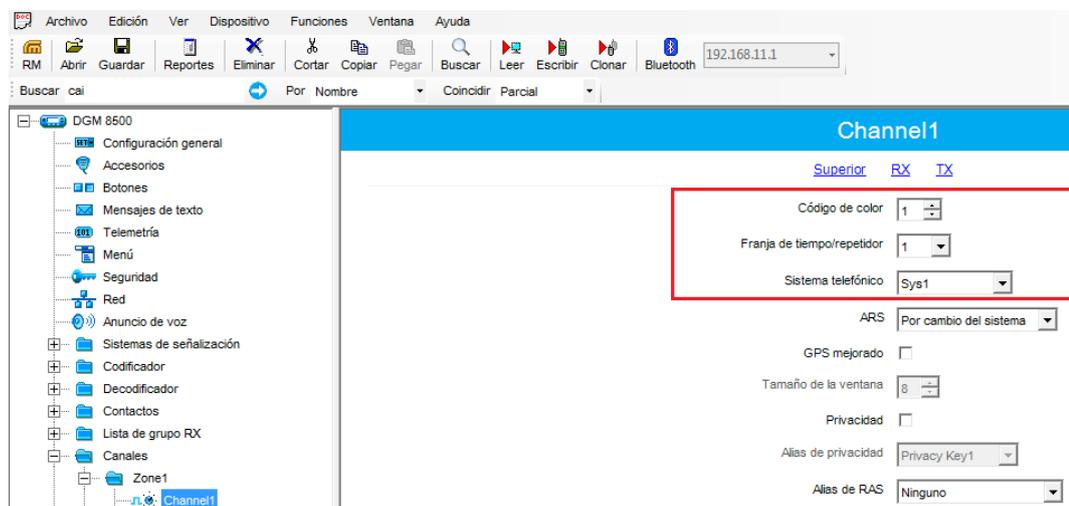


Figura 3. 30. Programación de canal tipo digital

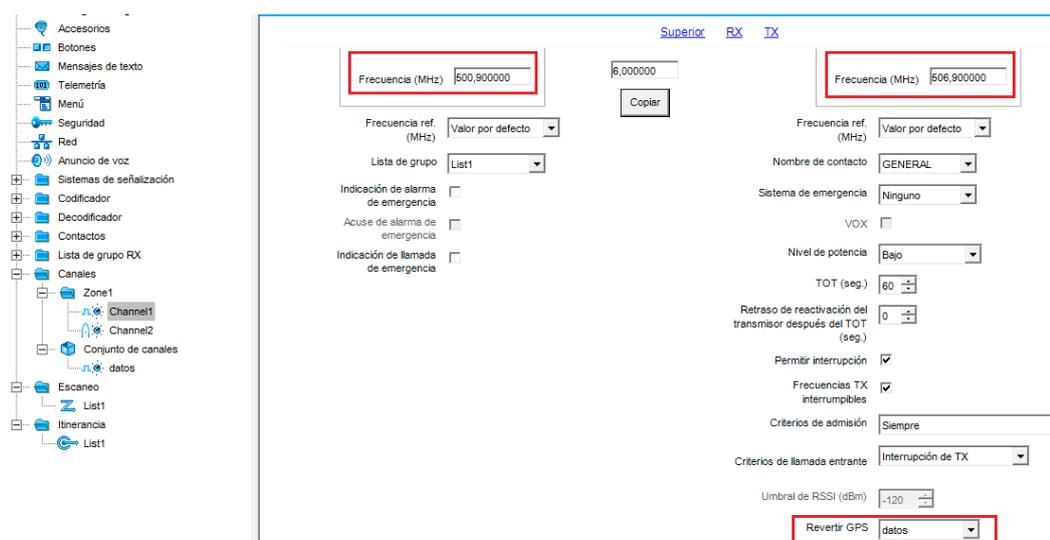


Figura 3. 31. Programación de frecuencias

Para la programación del canal de datos, se configuró el *Código de color* que tiene el mismo valor del repetidor, *Franja del repetidor* que se va a usar para la comunicación de datos, como se muestra en la Figura 3.32, además se configuró la frecuencia de *Recepción y Transmisión*, como se muestra en la Figura 3.33.

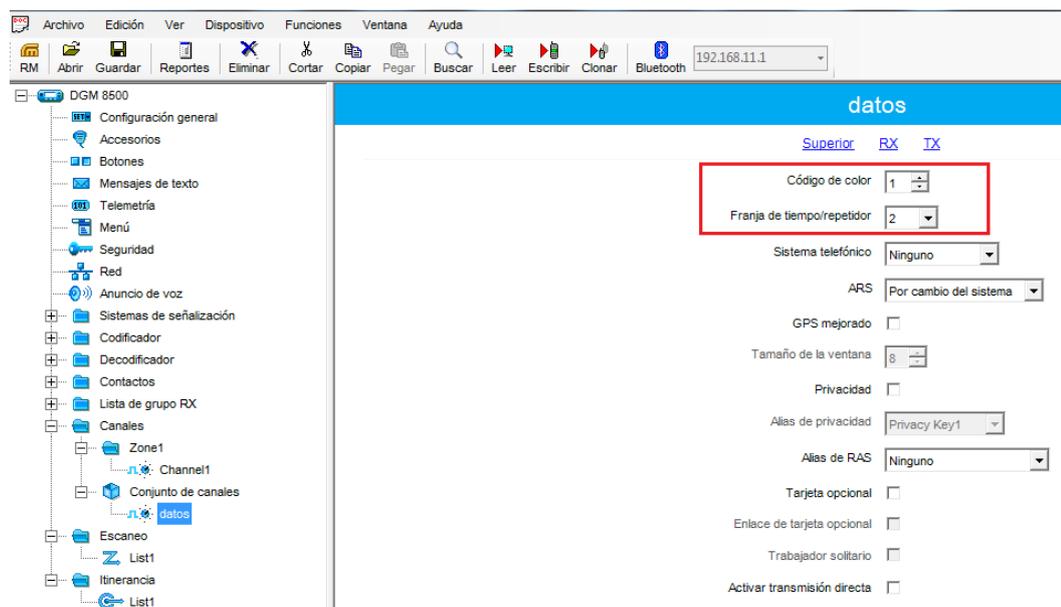


Figura 3. 32. Programación del canal de datos

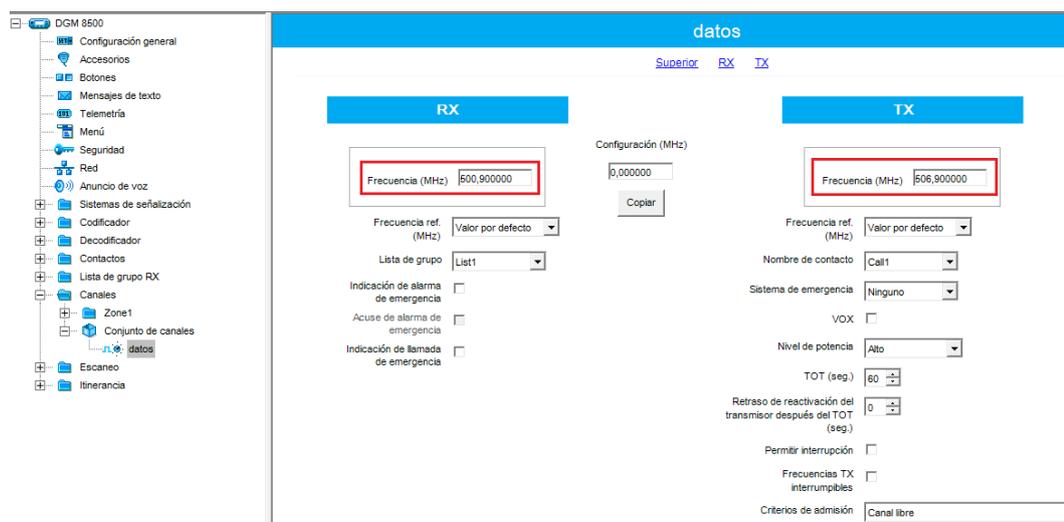


Figura 3. 33. Programación de frecuencias de canal de datos

3.2.2.4 TRBOnet Enterprise 4.6

Para controlar el sistema MOTOTRBO se lo hace mediante el programa TRBOnet Enterprise 4.6, en el cual se configuró el *ID de Repetidor TRBOnet*, *ID de radio*, *Puerta Local TRBOnet*, además de la *Dirección IP Master* que es la misma IP de Administrador y el *Tipo de Sistema*, como se muestra en la Figura 3.34.

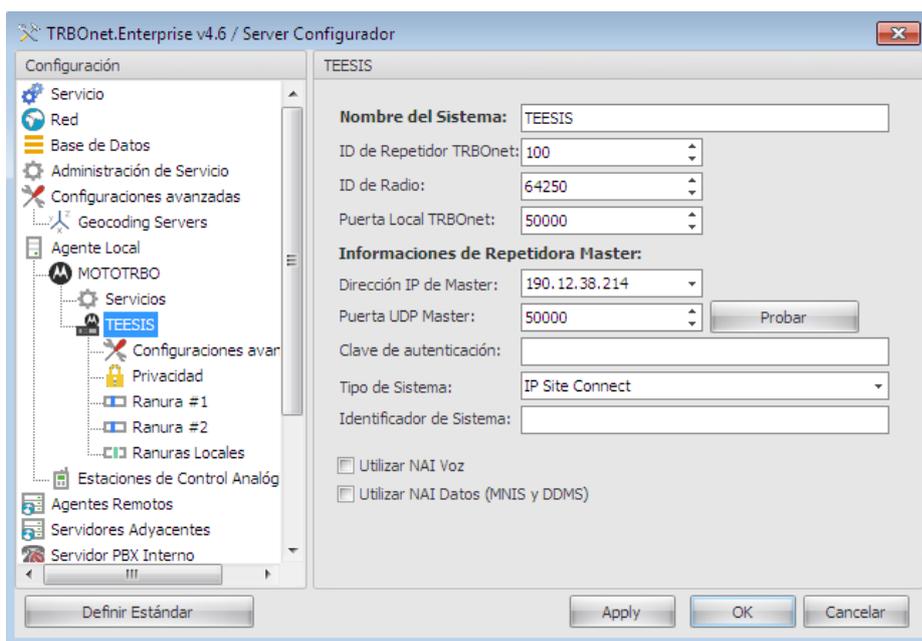


Figura 3. 34. Creación de nuevo sistema

Para programar las ranuras, se configuró el tipo de servicio que se va a usar en la ranura 1 para la comunicación de voz, como se muestra en la Figura 3.35 y para la comunicación de datos se configuró la ranura 2, como se muestra en la Figura 3.36.

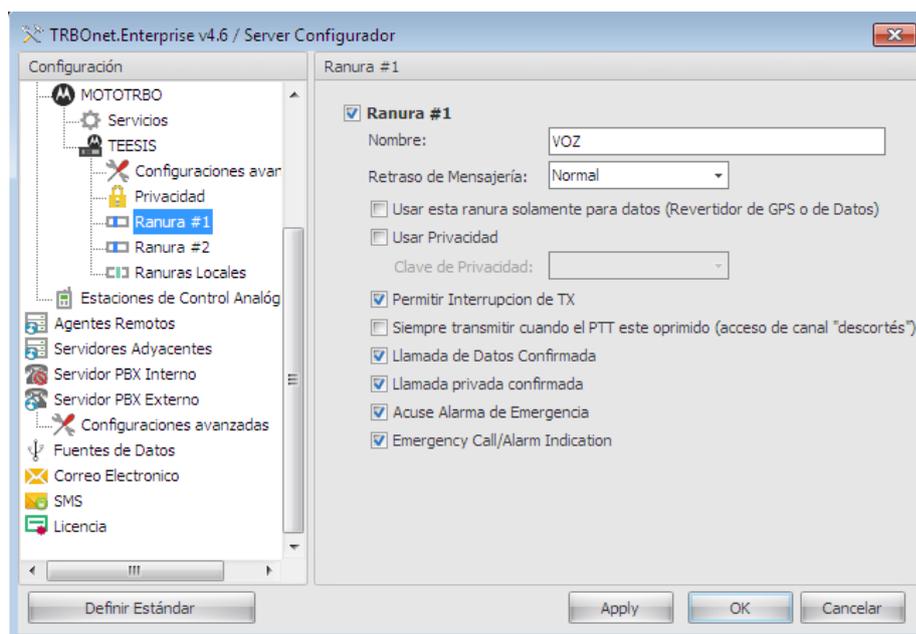


Figura 3. 35. Configuración de la ranura de voz

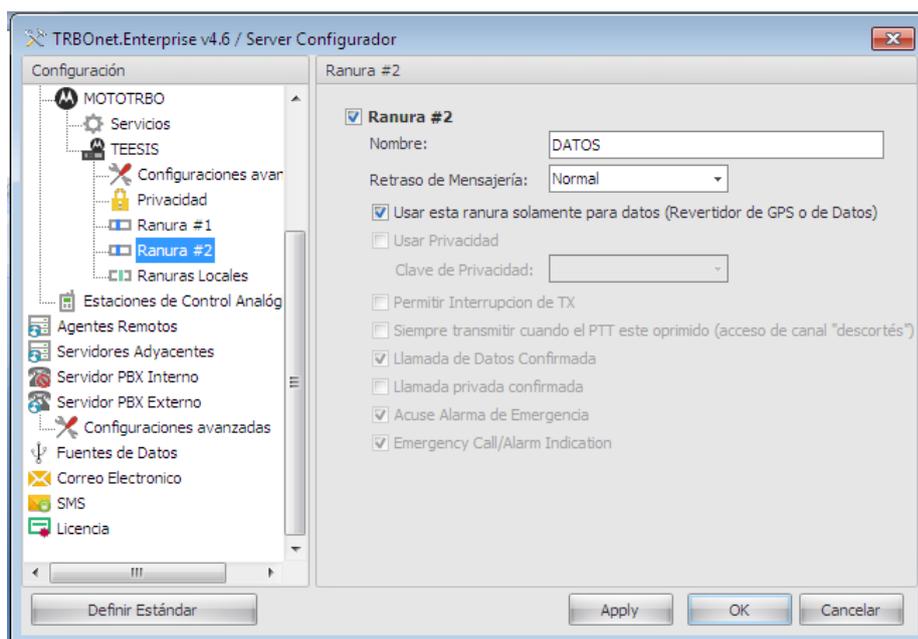


Figura 3. 36. Configuración de la ranura de datos

Para la programación del Servidor PBX Externo, se configuró la *Dirección de Proveedor* que es la dirección de la central telefónica, el *Puerto de Proveedor*, la *IP local* de red, además se asignó una extensión SIP que se creó en la central telefónica, como se muestra en la Figura 3.37.

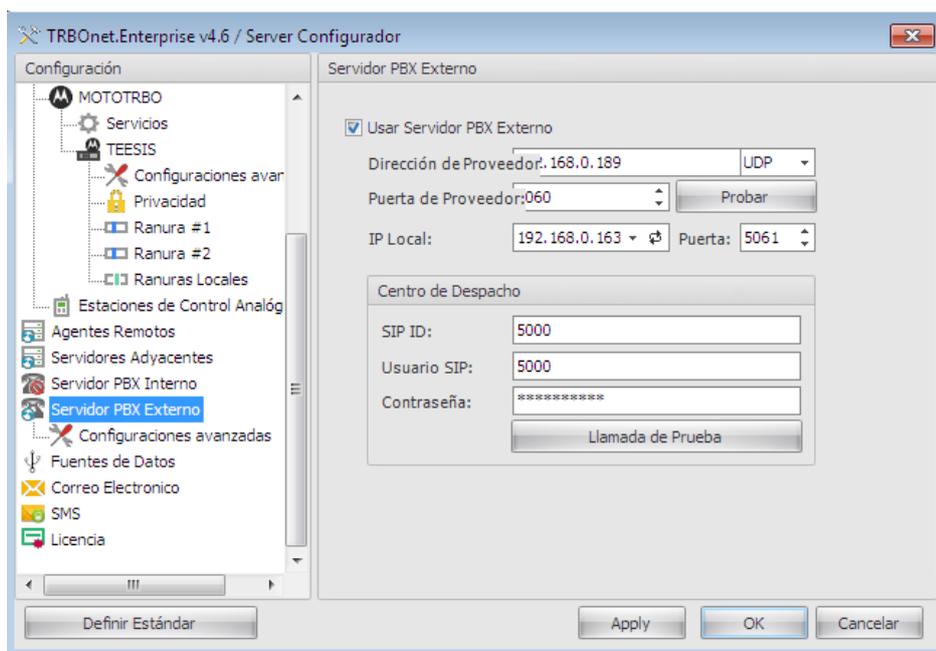


Figura 3. 37. Creación de del servidor PBX Externo

3.2.2.5 Central telefónica IP

Para la programación básica de la central telefónica se la realizó vía web, como se muestra a continuación.

Para la creación de la extensión SIP, se configuró el *Número de extensión*, la *contraseña SIP/IAX*, además se configuró el *Permiso* que tiene la extensión para realizar una llamada, como se muestra en la Figura 3.38.

The screenshot displays the 'Edit Extension : 2000' configuration page. The left sidebar contains navigation menus for 'Basic/Call Routes', 'Call Features', 'Internal Options', 'IAX Settings', and 'SIP Settings'. The main content area is divided into three sections:

- General:** Includes fields for Extension (2000), CallerID Number (2000), Permission (National), Enable Voicemail (checked), Call Forward Unconditional, Call Forward Busy, Auto Record, Support Hot-Desking Mode, Voicemail Password (4033), Call Forward No Answer, Ring Timeout, and Skip Voicemail Password Verification.
- User Settings:** Includes First Name (AVIGAIL), Last Name (TACURI), Email Address (atacuri@hotmail.com), and Language (English).
- SIP Settings:** Includes NAT (checked), DTMF Mode (RFC2833), Can Reinvite (No), and Insecure (Port).

At the bottom of the form are 'Cancel' and 'Save' buttons.

Figura 3. 38. Programación de extensiones SIP

Para la programación de la extensión FXS, se eligió el *puerto FX1*, se configuró el número de extensión, además se configuró el *Permiso* que tiene la extensión para realizar una llamada, como se muestra en la Figura 3.39.

Figura 3. 39. Programación de extensiones FXS

Para la programación de la troncal analógica, se configuró el *Nombre de la troncal* y el *Tono de país*, como se muestra la Figura 3.40.

Figura 3. 40. Programación de troncales analógicas

Para realizar una llamada se configuró las rutas salientes como el *Nombre de la regla de salida*, *Patron*, *Nivel de Privilegio* y a que *Troncal* se va a asignar esta

regla, como se muestra en la Figura 3.41.

Editar regla de salida: CONVENCIONAL

Nombre de la regla de llamadas: CONVENCIONAL

Patrón: _x00000x

Contraseña:

Nivel de Privilegio: Nacional

Activar filtro en fuente de CallerID:

Enviar esta llamada a través troncal

Usar Troncal: Análogo Troncales -- RASERCOM

Remover: 0

Prefijo:

Utilizar Troncal FailOver:

Troncales	Quitar	Prefijo	Opciones
Puedes hacer clic para añadir troncal failover			

Cancelar Guardar

Figura 3. 41. Programación de rutas salientes

Para una llamada entrante se configuró la extensión de *Destino* a la que se va a direccionar, como se muestra en la Figura 3.42.

Editar regla de entrada

Patrón DID: _s /

Destino por Defecto: Extension 1100

Marcar troncal:

Destino DID: Extensión Conferencia Cola de llamadas
 Grupo de timbrado Grupo de Voceo/Intercom IVR
 Grupos de correo de voz Extensión de Extensión

Condición de Tiempo:

Hora	Destino	Opciones
Puedes hacer clic para añadir Condición de Tiempo		

Cancelar Guardar

Figura 3. 42. Programación de rutas entrantes

Todas las extensiones creadas se encuentran en estado disponibles, como se muestran en la Figura 3.43.

Status	Extension	CallerID Name	Technology	IP and Port	Options
●	1100	LINEA1	FXS1	--	[Edit] [Power] [Trash]
●	2000	AVIGAIL TACURI	SIP	192.168.0.192:62663	[Edit] [Power] [Trash]
●	3000	MOVIL 1	SIP	192.168.0.163:5061	[Edit] [Power] [Trash]
●	4000	PORTATIL	SIP	192.168.0.163:5061	[Edit] [Power] [Trash]
●	5000	MOTOTRBO	SIP	192.168.0.163:5061	[Edit] [Power] [Trash]
●	6000	CENTRAL	SIP	192.168.0.163:5061	[Edit] [Power] [Trash]

Figura 3. 43. Extensiones disponibles en la central telefónica

3.2.3 Implementación del sistema piloto en la ciudad de Quito

Para la implementación del sistema piloto, se utilizó la infraestructura actual como; cuarto de equipos, torre, antena, duplexor, cable coaxial, banco de baterías, esto es debido a que el sistema digital MOTOTRBO es compatible con la infraestructura del sistema analógico, el cual se encuentra ubicado en el cerro Monjas y pertenece a la empresa RASERCOM S.A.

Para la instalación se calibró en primer lugar el repetidor, multiplexor con las frecuencias que se va a trabajar, todo este procedimiento se lo realizó en el laboratorio. Luego de las pruebas respectivas se procedió a trasladar todos los equipos requeridos hacia el cerro Monjas.

La parte fundamental del sistema es el repetidor DGR 6175 que es una unidad de operación continua que soporta dos trayectos: de voz y datos simultáneos en modo TDMA digital.



Figura 3. 44. Repetidor DGR 6175 instalado en el cerro Monjas

El duplexor permite transmitir y recibir con la misma antena al mismo tiempo, rechazando señales no deseadas.

En caso de falta de energía se utilizará un banco de baterías de respaldo, los cuales tienen un tiempo de 4 horas aproximadamente de respaldo energético, como se muestra en la Figura 3.45.



Figura 3. 45. Banco de baterías de respaldo

La antena de 8 dipolos se coloca sobre la torre a una altura de 20 m sobre el piso.

Todo el sistema de radio de dos vías digital MOTOTRBO se instaló en el cuarto de equipos del cerro Monjas y se realizó las pruebas respectivas.

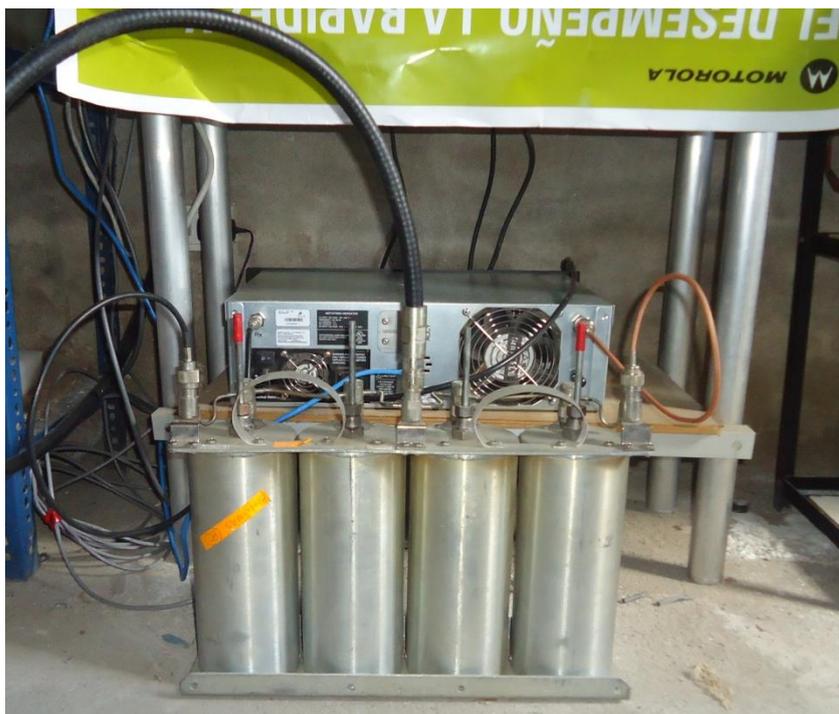


Figura 3. 46. Sistema Digital MOTOTRBO

En la empresa RASERCOM S.A., se implementó la central telefónica IP Grandstream, que está conectada a un switch el cual permite tener una salida hacia internet, esto es debido a que se encuentra en red con el router Cisco de la empresa NETLIFE que provee internet a la empresa RASERCOM S.A.

Para esta red IP fija se utilizó:

- Softphones: que es un software que hace una simulación de un teléfono convencional por computadora para hacer llamadas a otros softphones o a otros teléfonos convencionales.
- Teléfonos convencionales (teléfonos análogos).

Para la estación base se utilizó un radio DGM 5500, que está conectado a una fuente de poder marca PYRAMID.

Toda esta red está gestionada mediante TRBOnet Enterprise 4.6, para aprovechar todos los beneficios que ofrece el sistema MOTOTRBO, como se muestra en la figura 3.47.



Figura 3. 47. Central de monitoreo de la empresa RASERCOM S.A.

CAPITULO IV

PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se realizará un análisis de los resultados obtenidos a partir de las pruebas y mediciones de campo, de esta manera se podrá obtener las ventajas y desventajas de este sistema piloto que puede ofrecer a la empresa RASERCOM S.A.

4.1 PRUEBAS

4.1.1 Pruebas y mediciones

Con la herramienta RDAC (Repeater Diagnostics And Control) se puede observar que el repetidor se encuentra funcionando adecuadamente, tiene todas las alarmas en funcionamiento, además con esta herramienta se puede observar el nivel de RSSI (Received Signal Strength Indicator), que en este caso es de -127.93 dBm como se muestra en la Figura 4.1, con este nivel de intensidad de señal se puede tener una adecuada comunicación, debido a que no se tiene un nivel alto de piso de ruido en el cerro Monjas y en base a la recomendación del estándar ETSI TS 102 361-1 [50], que se muestra en la Tabla 4.1, se puede concluir que se tiene un nivel de RSSI adecuado.

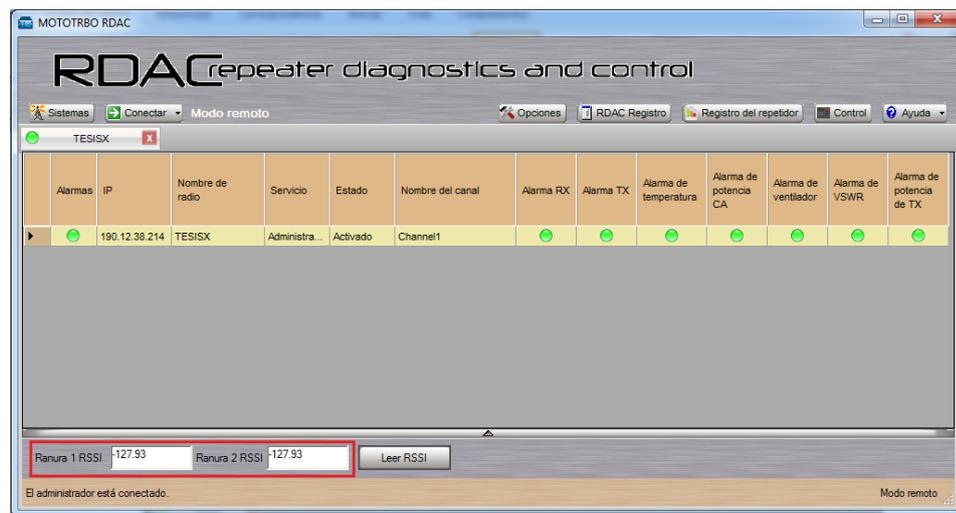


Figura 4. 1. Señal de RSSI en RDAC

Tabla 4. 1. Recomendación por defecto para todos los niveles de RSSI [50]

Banda de frecuencia	Nivel de umbral predeterminado (dBm)
50 MHz a 137 MHz	-101
> 137 MHz a 300 MHz	-107
> 300 MHz	-113

En TRBOnet Enterprise 4.6., se puede observar los servicios que se encuentran disponibles que en este caso son: Interconexión telefónica, Voz y Datos, como se muestra en la Figura 4.2.

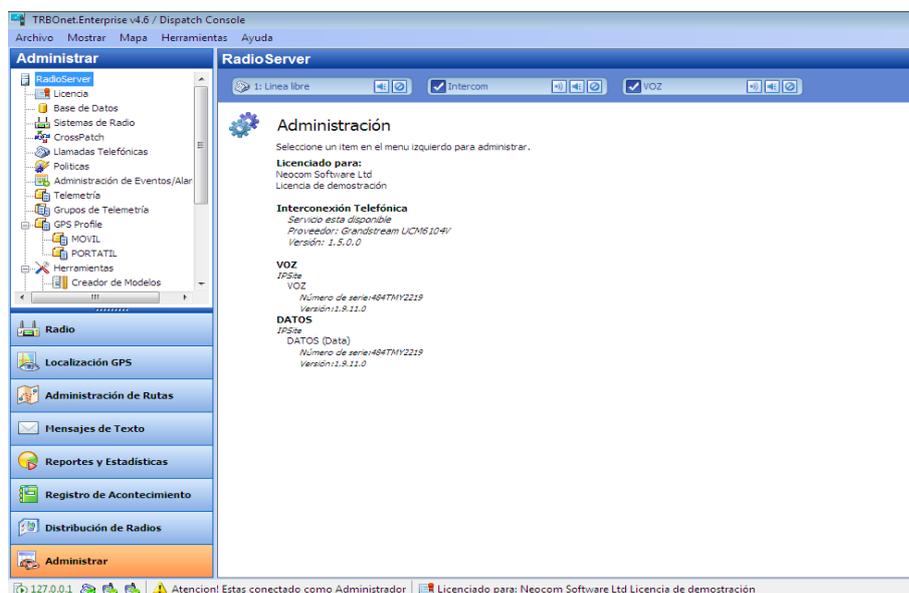


Figura 4. 2. Servicio disponibles en TRBOnet Enterprise 4.6

TRBOnet permite monitorear el estado de cada equipo, si tiene GPS activado, el equipo se encuentra encendido, el equipo se encuentra alarmado, como se muestra en la Figura 4.3.

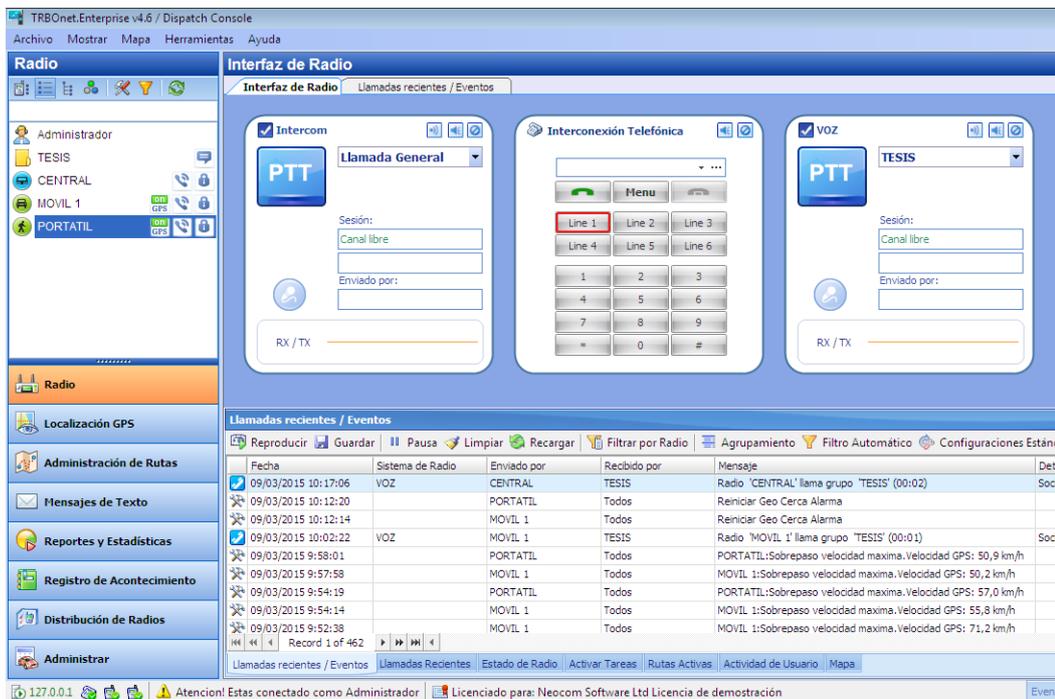


Figura 4. 3. Equipos disponibles en la red

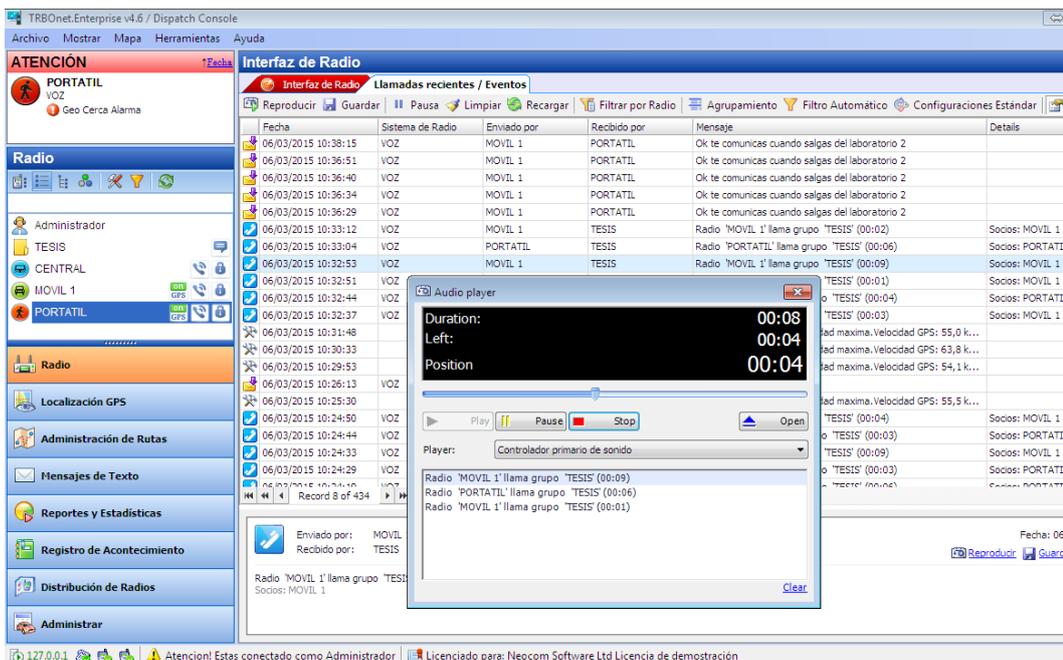


Figura 4. 4. Grabación de audio entre radio base, móvil y portátil

TRBOnet permite ubicar geográficamente a los equipos mediante GPS en los mapas que tiene cargados por defecto, como se muestra en la Figura 4.5, y la Figura 4.6.

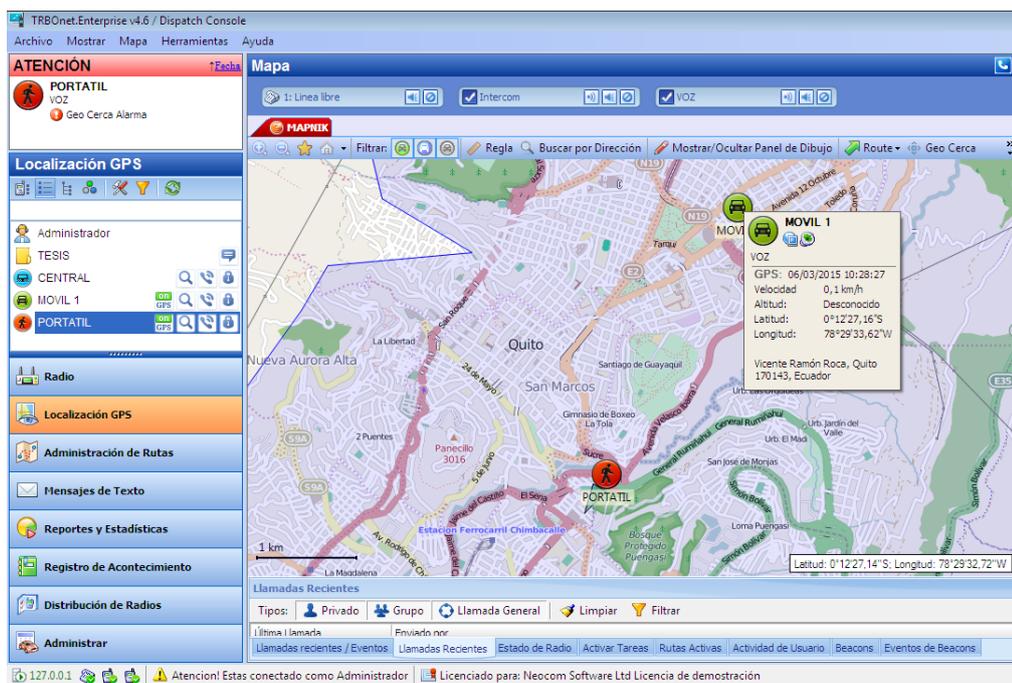


Figura 4. 5. Ubicación mediante GPS de radio móvil

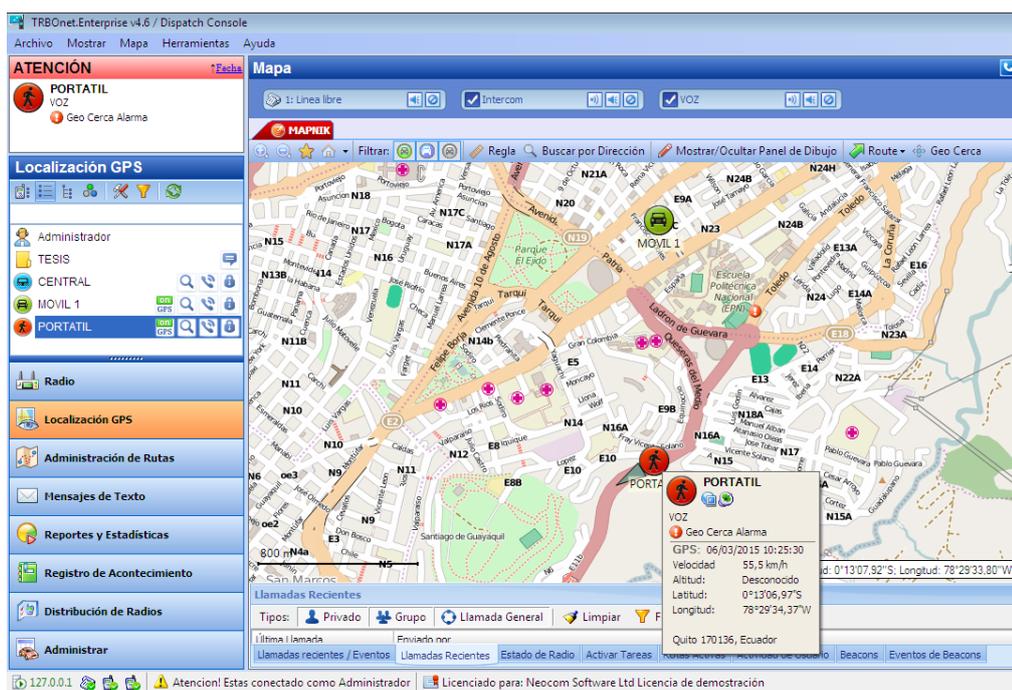


Figura 4. 6. Ubicación mediante GPS de radio portátil

TRBOnet también permite monitorear el reporte de envío de mensajes de texto entre equipos, como se muestra en la Figura 4.7.

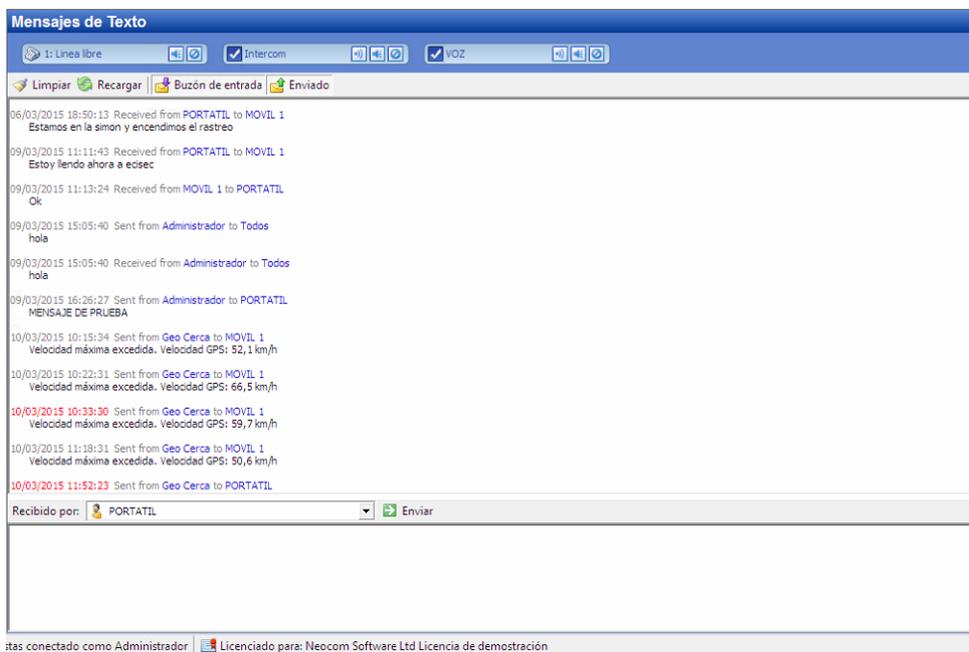


Figura 4. 7. Reporte de mensajes de texto entre equipos

Se realizó llamadas telefónicas desde el radio móvil que se encuentra instalado en el vehículo de la empresa RASERCOM S.A., como se muestra en la Figura 4.8.



Figura 4. 8. Llamada telefónica desde radio móvil

TRBOnet Enterprise 4.6 permite observar el área de cobertura en base a los datos que envían los equipos hacia el repetidor como son: los niveles de RSSI y la ubicación donde se encuentran los equipos.

Para el sector centro norte de la ciudad de Quito se puede ver en la Figura 4.9, se tiene un estimado de área de cobertura de un 95% con un nivel de comunicación excelente.

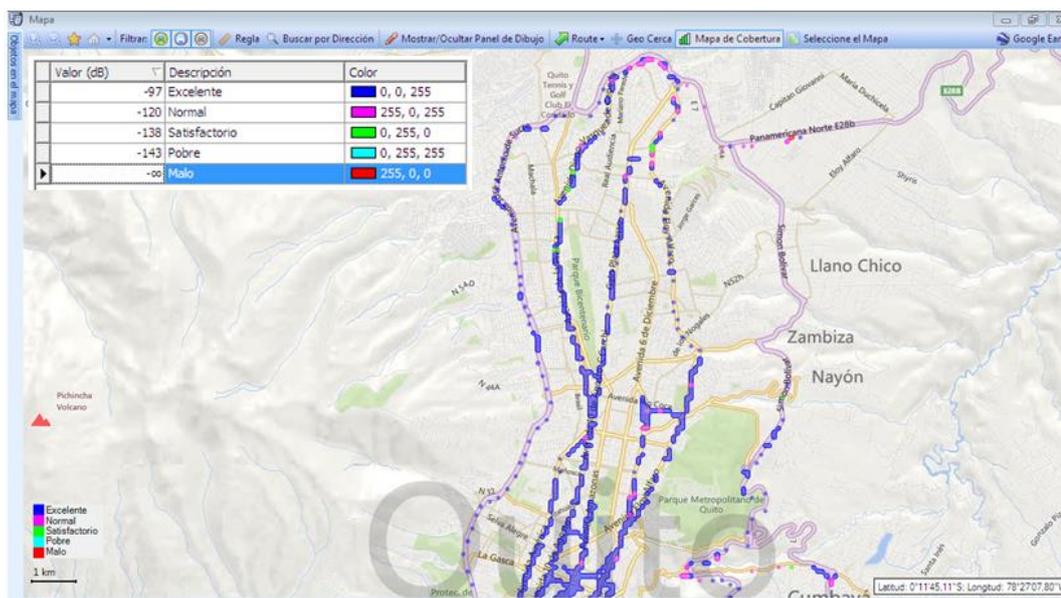


Figura 4.9. Área de cobertura norte de Quito

Para el sector centro de la ciudad de Quito y el valle de Cumbaya, se puede observar que se tiene un área de cobertura de un 95% con un nivel de comunicación excelente, en pocos sectores se tiene una comunicación normal, como se muestra en la Figura 4.10.

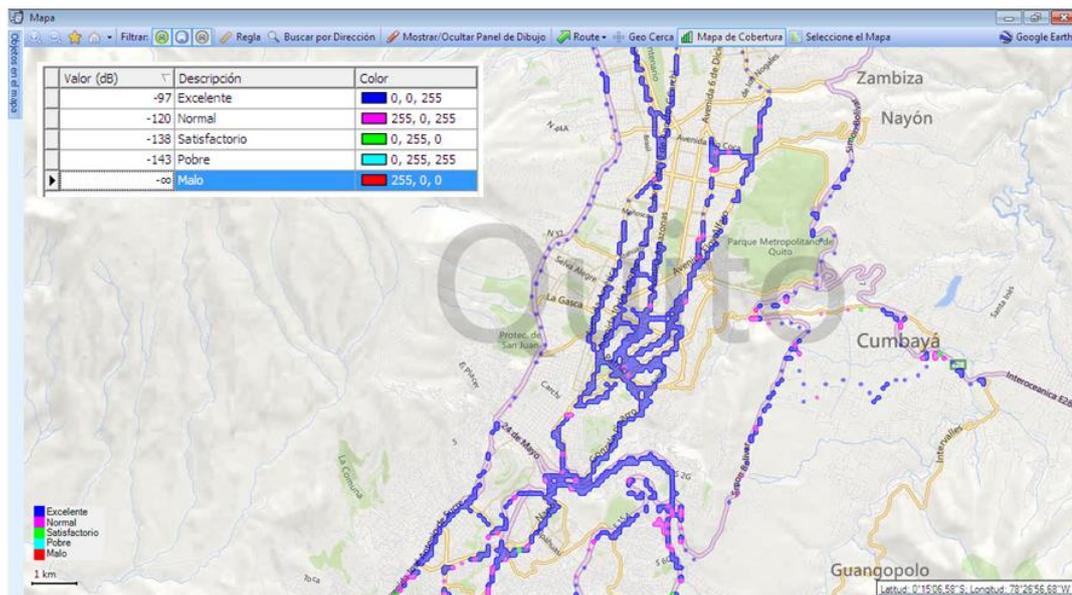


Figura 4. 10. Área de cobertura centro de Quito

Para el sector sur de la ciudad de Quito y el valle de los Chillos, se puede observar que se tiene un área de cobertura de un 60% con un nivel de comunicación excelente, 35% de comunicación con un nivel normal y en pocos sectores se tiene una comunicación pobre y mala, como se muestra en la Figura 4.11.

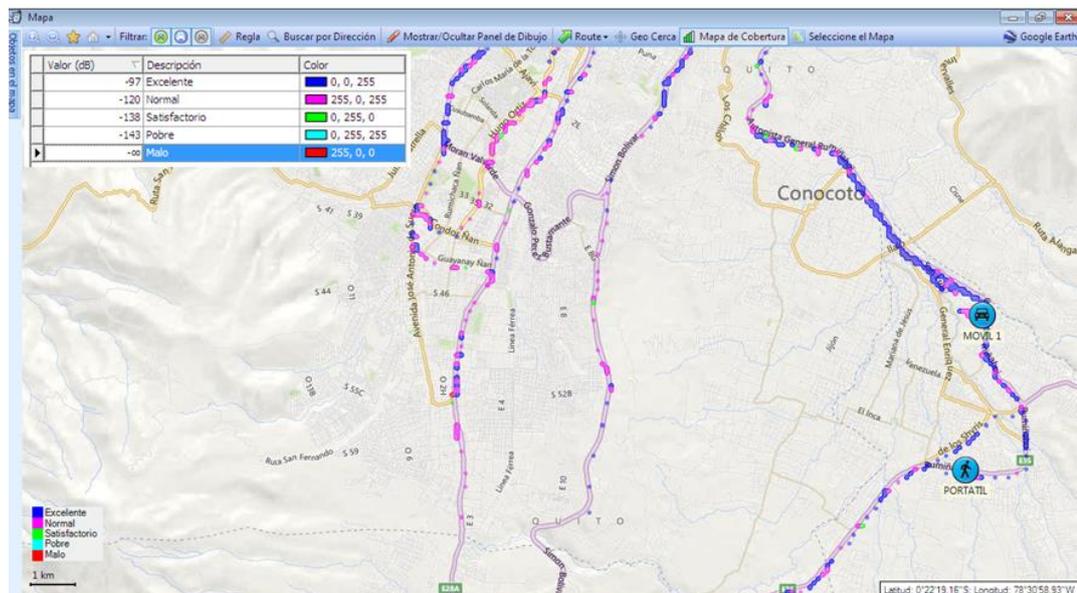


Figura 4. 11. Área de cobertura sur de Quito

4.1.2 Ventajas y desventajas de la red

4.1.2.1 Ventajas

- Es un sistema de fácil instalación.
- Los equipos son robustos adecuados para cualquier tipo de ambiente, debido a que fueron construidos bajo estándares militares.
- Las comunicaciones son selectivas, privadas y seguras.
- En el mismo equipo se puede tener comunicación de voz y datos.
- Reducción de ruido y preservación de la calidad de voz.
- Conectividad IP.

4.1.2.2 Desventajas

- No es compatible con plataformas de otros fabricantes de radios de dos vías.
- El costo de los equipos aumenta debido a que necesita licencias para la comunicación IP.

4.2 ANÁLISIS

4.2.1 Análisis económico para la implementación del sistema

Para establecer el costo total del sistema piloto de la empresa RASERCOM S.A., se debe tomar en cuenta el número de equipos que se utilizo, además se decidió mantener la mayor cantidad de equipos como: fuentes de poder, CPU, infraestructura como: torre, caseta, antena, cables, sistema de respaldo de energía, debido a que se encuentra en condiciones para acoplarse al nuevo sistema, los equipos a que se utilizaron son:

Tabla 4. 2. Equipos utilizados en el sistema piloto

SITIO	REPETIDORA	RADIO BASE	RADIO MOVIL	RADIO PORTATIL	CENTRAL TELEFÓNICA
Cerro Monjas	1	-	-	-	-
RASERCOM S.A.	-	1	1	1	1

Para obtener el costo total de la implementación del sistema piloto, se adquirió equipos de la empresa ECISEC que es distribuidor Mayorista para la marca Motorola en sus portafolios de radios Análogos y Digitales, además es proveedor de aplicaciones para sistemas MOTOTRBO acreditado por Motorola. El costo total de la implementación del sistema piloto es:

Tabla 4. 3. Costo de equipos utilizados del sistema piloto

EQUIPO	MARCA	MODELO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Repetidora	MOTOROLA	DRG 6175	1	\$ 2,728.00	\$ 2,728.00
Radio Base	MOTOROLA	DGM 5500	1	\$ 868.00	\$ 868.00
Radio Móvil	MOTOROLA	DGM 8500	1	\$ 955.00	\$ 955.00
Radio Portátil	MOTOROLA	DGP 8550	1	\$ 879.00	\$ 879.00
Kit de programación (Radio móviles y portátiles)	MOTOROLA		1	\$ 250.00	\$ 250.00
Central Telefónica IP	Grandstream	UCM 6104	1	\$ 470.00	\$ 470.00
TOTAL	\$ 6,150.00				

La red MOTOTRBO implementada es de última generación y asegura la escalabilidad del sistema, cuenta con mecanismo de seguridad para proteger las comunicaciones de repetidoras y radios, evitando el acceso a usuarios no autorizados, además de las prestaciones que ofrece como: mensajes de texto, ubicación GPS e interconexión telefónica. Por lo tanto, desde el punto de vista económico se concluye que el sistema MOTOTRBO puede tener mejores prestaciones que el sistema analógico actual y cumplirá con los requerimientos de la empresa RASERCOM S.A., que busca generar nuevas oportunidades de negocio, ofreciendo nuevos servicios y soluciones de telecomunicación.

4.2.2 Análisis de resultados de las pruebas de campo

De los resultados obtenidos, se puede observar de acuerdo a las figuras: Figura 4.9, Figura 4.10, Figura 4.11, se tiene un área de cobertura con un nivel de señal excelente en la mayor parte de la ciudad de Quito, con algunos sitios con poco nivel de señal, esto es debido a la situación geográfica donde se encuentra ubicada la ciudad de Quito. Esta área de cobertura se basa en los niveles de RSSI recomendados por el estándar ETSI TS 102 361-1 de la Tabla 4.2, los cuales se encuentran configurados en el software TRBOnet como se muestra en la Tabla 4.4.

Tabla 4. 4. Niveles de RSSI configurados en TRBOnet Enterprise 4.6

Valor (dB)	Descripción	Color
-97	Excelente	0, 0, 255
-120	Normal	255, 0, 255
-138	Satisfactorio	0, 255, 0
-143	Pobre	0, 255, 255
-∞	Malo	255, 0, 0

En un sistema analógico con poco nivel de intensidad de señal se obtendría una comunicación de voz con ruido y en ocasiones pérdida de comunicación, pero gracias al sistema digital MOTOTRBO se tiene una adecuada comunicación de voz debido a la tecnología de corrección de errores que reconstruye la voz, prácticamente sin ninguna pérdida, por lo tanto se puede realizar una llamada telefónica en la ciudad de Quito.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Implementar el sistema digital MOTOTRBO permitió conocer, monitorear y aplicar los servicios digitales que esta tecnología puede ofrecer al usuario.
- Se comprobó que el sistema digital MOTOTRBO al utilizar TDMA, que permite a un canal dividir en 2 intervalos de tiempo, permitió realizar dos llamadas utilizando el mismo canal al mismo tiempo sin interferir entre sí, por lo que se duplica la eficiencia del espectro radioeléctrico y permite aumentar el número de usuarios en el sistema.
- La herramienta RDAC de Motorola permitió al operador del sistema MOTOTRBO implementado, diagnosticar y controlar el repetidor que se encuentra disponible, además esta herramienta ayuda a reaccionar rápidamente a cualquier problema que pueda surgir en la red.
- La utilización del software Radio Mobile permitió tener un enfoque global del área de cobertura que tendrá el repetidor ubicado en el Cerro Monjas, los resultados obtenidos son similares a los resultados reales obtenidos del software TRBOnet Enterprise 4.6.
- TRBOnet Enterprise 4.6 es un software muy amigable, que permite gestionar y controlar todos los servicios disponibles de MOTOTRBO a cada

equipo que se encuentran en la red, haciendo un sistema adecuado para empresas de seguridad, compañías de transporte, servicios municipales, servicios de emergencia, donde aparte de la comunicación estándar de voz donde se realiza un control y se necesita determinar la ubicación de los equipos móviles.

- Los operadores del sistema MOTORBO tienen la posibilidad de seguir en tiempo real el estado de las estaciones de radio de los usuarios, ver sus movimientos en mapas electrónicos, recibir y enviar mensajes de texto, además es posible escuchar todas las conversaciones en modo real y en grabación.
- Se comprobó que el sistema MOTORBO es compatible con la infraestructura del sistema analógico como: torre, antena, cable coaxial, conectores, duplexor, banco de baterías, lo cual disminuyó el presupuesto para la compra de estos elementos, esto indica que la infraestructura de los sistemas analógicos actuales pueden ser compatibles con los digitales, lo que a las empresas interesadas facilitaría la migración a un sistema digital.
- De los resultados obtenidos, se puede observar un área de cobertura con algunos sitios donde existe poco nivel de señal, esto es debido a la situación geográfica donde se encuentra ubicada la ciudad de Quito, esto en un sistema analógico ocasionaría una comunicación con ruido y en ocasiones pérdida de comunicación, pero en el sistema digital MOTORBO se pudo comprobar que se tiene una adecuada comunicación de voz, gracias a la tecnología de corrección de errores que puede reconstruir la voz y por lo tanto se pudo realizar una llamada telefónica.
- Al ser una tecnología digital se pudo realizar una llamada telefónica mediante RoIP que se trata esencialmente de VoIP con PTT, la cual permitió la comunicación con dispositivos como: radios, softphones, teléfonos IP y teléfonos análogos, además de tener salida a la PSTN gracias a la ayuda de la central telefónica IP Grandstream UCM6104 de la empresa

RASERCOM S.A.

- Con este sistema piloto implementado, la empresa RASERCOM S.A., puede generar nuevas oportunidades de negocio, ofreciendo nuevos servicios y soluciones de telecomunicación.

5.2 RECOMENDACIONES

- La repetidora digital MOTORBO, tiene dos canales lógicos, los cuales a cada canal se le puede asignar un número determinado de usuarios, por lo que para una utilización mediana de voz se recomienda 50 usuarios y para la utilización de las dos ranuras dedicadas para voz se tendrá 100 usuarios, lo cual es la capacidad máxima de un repetidor.
- Se recomienda contar con un sistema de respaldo de energía, como baterías, cargadores de baterías, reguladores de voltajes, UPS, entre otros, tanto en el cerro que se desea instalar la repetidora, como en la central de despacho, esto debido a que si no está encendido el CPU que tiene instalado TRBOnet Enterprise 4.6, los datos enviados por el repetidor no se almacenaran en la base de datos y se perderán.
- Para la implementación adecuada del sistema se recomienda que los equipos tengan la Conexión al sitio IP disponible, la cual es el caso de los radios DGM, DGP de la serie 8000, caso contrario se debe adquirir una licencia para tener la Conexión al sitio IP, como es el caso de los radios DGM, DGP de la serie 5000, además de la repetidora DGR 6175.
- Para la migración a un sistema digital, se recomienda cambiar paulatinamente los equipos, y no necesariamente cambiar todo el sistema, esto debido a que la infraestructura de sistema MOTORBO es compatible con la infraestructura del sistema analógico como: torre, antena, cable coaxial, conectores, duplexor, banco de baterías.

5.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INFORME TECNICO, *MOTOTRBO Los mejores básicos en funcionalidad de radio digital de dos vías*, p. 2, 2008.
- [2] Grupo Rasercom, [En línea]. Disponible en: <http://www.rasercom.com/>.
- [3] Amplía su alcance y mejora su rendimiento, *MOTOTRBO IP Site Connect*, 2008.
- [4] PUENTES PARA RADIOS Y TELÉFONOS DIGITALES, *HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO INTERCONEXIÓN TELEFÓNICA DIGITALMOTOTRBO*, 2011.
- [5] Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) General System Design, *ETSI*, p. 68, 2013.
- [6] thewalkietalkie, [En línea]. Disponible en: <https://thewalkietalkie.wordpress.com/walkie-talkie/>.
- [7] W. Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, de *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, Mexico, 2003, p. 467.
- [8] M. A. P. Fernandez, monografias.com, [En línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos52/modulacion-angular-y-am/modulacion-angular-y-am.shtml>.
- [9] Manual para radialistas analfatécnicos, [En línea]. Disponible en: <http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=15>.
- [10] Ingeniatic, 2011. [En línea]. Disponible en: <http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologias/item/525-modulaci%C3%B3n-fm>.
- [11] TRIPOD, Mayo 2014. [En línea]. Disponible en: <http://transmisor-fm-am.tripod.com/id11.html>.
- [12] UNEXPO, [En línea]. Disponible en: <http://www.el.bqto.unexpo.edu.ve/~jaguero/docs/commII/capitulo4.pdf>.
- [13] A. Sosa, monografias.com, [En línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos37/comunicaciones/comunicaciones2.shtml>.
- [14] MOTOROLA SOLUTIONS, 2009. [En línea]. Disponible en: http://www.motorolasolutions.com/web/Business/Products/Two-Way%20Radios%20and%20Pagers%20-%20Business/Mobile%20Radios/Wide%20Area%20Large%20Business/_Documents/Static%20Files/LS-P510-PS-REBRAND_111809.pdf.
- [15] MOTOROLA SOLUTIONS, 2009. [En línea]. Disponible en: http://www.motorolasolutions.com/web/Business/Products/Two-Way%20Radios%20and%20Pagers%20-%20Business/Latin%20America%20-%20Portable%20Radios/Wide%20Area%20Large%20Business/_Documents/StaticFile/LS-P7150-PS-LR.pdf.
- [16] UDG, [En línea]. Disponible en: <http://proton.ucting.udg.mx/dpto/tesis/xelgzu/5-3.html>.

- [17] MOTOROLA, Radios, [En línea]. Disponible en: <http://www.radios-motorola.com/sitio/cdr700-p-195.html?osCsid=b04d6bc4a2ea74d3e495a0304092a62a>.
- [18] DMR, [En línea]. Disponible en: <http://dmrassociation.org/the-dmr-standard/?lang=es>.
- [19] Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) General System Design, *ETSI TR 102 398*, p. 67, 2013.
- [20] DMR, [En línea]. Disponible en: <http://dmrassociation.org/key-benefits-3/?lang=es#toggle43848>.
- [21] Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 1: DMR Air Interface (AI) protocol, *ETSI TS 102 361-1*, p. 27, 2007.
- [22] Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 1: DMR Air Interface (AI) protocol, *ETSI TS 102 361-1*, p. 29, 2007.
- [23] Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 3: DMR data protocol, *ETSI TS 102 361-3*, p. 15, 2007.
- [24] Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 3: DMR data protocol, *ETSI TS 102 361-3*, p. 15, 2013.
- [25] Almada, S.A. de C.V., 2003. [En línea]. Disponible en: http://www.almada3.com.mx/sch_01.html.
- [26] A. S. Incertis, «Estudio de H.323 y SIP,» *Estudio de H.323 y SIP*.
- [27] REDES Y SEGURIDAD, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.redesyseguridad.es/voip-protocolo-h323/>.
- [28] F. Montesino, SIP: Session Initiation Protocol, p. 6, 2003.
- [29] VOIP-SIP.org, [En línea]. Disponible en: <http://www.voip-sip.org/voip-codec-payload-bandwidth-required/>.
- [30] TEKTRON COMUNICACIONES, [En línea]. Disponible en: http://www.tektron.com.co/sitio_prueba/index.php?option=com_content&view=article&id=54:roip&catid=38:roip&Itemid=62.
- [31] EQUIPOS INDUSTRIALES S.A.C.I., [En línea]. Disponible en: <http://www.equipos.cl/icom/emergencia/roip.html>.
- [32] MOTOROLA SOLUTIONS, [En línea]. Disponible en: <http://www.motorolasolutions.com/XL-ES/Product+Lines/MOTOTRBO>.
- [33] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 7, 2007.
- [34] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 8, 2007.
- [35] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 9, 2007.
- [36] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 15, 2007.

- [37] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 20, 2007.
- [38] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 23, 2007.
- [39] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 25, 2007.
- [40] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 26, 2007.
- [41] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 27, 2007.
- [42] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 31, 2007.
- [43] Presentacion de MOTOTRBO, *MOTOTRBO IP SITE CONNECT*, p. 11.
- [44] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 33, 2007.
- [45] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 37, 2007.
- [46] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 41, 2007.
- [47] Manual del planificador del sistema, *Sistema de radio profesional digital bidireccional MOTOTRBO*, p. 42, 2007.
- [48] Manual de usuario de la serie de IP PBX UCM6100, *Grandstream Networks, Inc.*, p. 15.
- [49] Tutorial de Radio Mobile, *ETSIT- UPM*, p. 3, 2007.
- [50] Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 1: DMR Air Interface (AI) protocol, *ETSI TS 102 361-1*, p. 157, 2007.
- [51] WISCO INTERNATIONAL, [En línea]. Disponible en: <http://www.wisointl.com/decibel/dipoles/db411.htm>.

ACTA DE ENTREGA

El presente proyecto de grado “INTEGRACIÓN DE UNA RED TCP/IP FIJOMÓVIL DE DOS VÍAS DIGITAL MOTOTRBO EN LA BANDA UHF Y LA RED FIJA IP DE LA EMPRESA RASERCOM EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO D.M.Q.” fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE desde :

Sangolquí, a *30 de Abril de 2010*

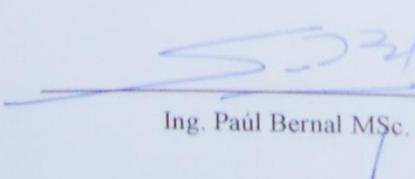
ELABORADO POR:



Luis Miguel Tacuri Pilicita

171891340-1

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN
TELECOMUNICACIONES


Ing. Paúl Bernal MSc.

