



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Análisis y diseño de un sistema de comunicación ROIP a través de la
red de datos para el modelo de radios Motorola DGM 8000**

AUTOR:

Ing. López Zhingre, Rodrigo Patricio

Trabajo de titulación previo a la obtención del Grado Académico de
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

26 de noviembre del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **López Zhingre, Rodrigo Patricio** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES.**

TUTOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, 26 de noviembre del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **López Zhingre, Rodrigo Patricio**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Análisis y diseño de un sistema de comunicación ROIP a través de la red de datos para el modelo de radios Motorola DGM 8000**”, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 26 noviembre del 2018

EL AUTOR

Ing. Patricio López, Rodrigo Patricio



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **López Zhingre, Rodrigo Patricio**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulada: **“Análisis y diseño de un sistema de comunicación ROIP a través de la red de datos para el modelo de radios Motorola DGM 8000”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 26 de noviembre del 2018

EL AUTOR

Ing. López Zhingre, Rodrigo Patricio

REPORTE DE URKUND

URKUND Fernando Palacios Meléndez (edwin_palacios)

Documento [Rodrigo Patricio López Zhingre_Maestria Telecomunicaciones.docx](#) (D42918799)

Presentado 2018-10-23 03:26 (-05:00)

Presentado por fernandopm23@hotmail.com

Recibido edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje Revisión final Trabajo de Titulación Patricio López Zhingre [Mostrar el mensaje completo](#)
2% de estas 39 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

Lista de fuentes

Categoría	Enlace/nombre de archivo	
	lopez_rodrigo_v1.docx	<input type="checkbox"/>
	http://www.arcotel.gob.ec/wp-conte...	<input type="checkbox"/>
	Caso de Estudio RoIP Andrés Riofrio 2...	<input checked="" type="checkbox"/>
	http://corporativo.cnt.gob.ec/la-cnt-e...	<input type="checkbox"/>
	Suin Uyaguari (Electrónica).docx	<input checked="" type="checkbox"/>

Reiniciar Exportar Compartir

2 Advertencia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN
TELECOMUNICACIONES

TEMA: Análisis y diseño de un sistema de
comunicación ROIP a través de la red de datos para el
modelo de radios Motorola DGM 8000

AUTOR: Ing. López Zhingre, Rodrigo Patricio

Trabajo de titulación previo a la obtención del Grado
Académico de Magíster en Telecomunicaciones

TUTOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

28 de Septiembre del 2018

Dedicatoria

Agradezco a mi esposa Deysi por ser el apoyo fundamental para la consecución de este título, a mi hijo Joaquín que ha sido la motivación para poder esforzarme en este nuevo proyecto, a mis padres y mis hermanos por los consejos brindados día a día para la consecución de este objetivo profesional.

Agradecimientos

A Dios por ser el motor que ha permitido llegar a cumplir con esta meta, por guiarme en las decisiones correctas y por las bendiciones que ha derramado para llegar hasta aquí.

A los docentes de la Maestría en Telecomunicaciones de UCGS Quinta promoción por los conocimientos y directrices brindados.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. Edwin Fernando Palacios Meléndez
TUTOR

f. _____

M. Sc. Luis Córdova Rivadeneira
REVISOR

f. _____

M. Sc. Néstor Armando Zamora
REVISOR

f. _____

M. Sc. Manuel De Jesús Romero Paz
DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
Resumen	XV
Abstract.....	XVI
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Definición del problema	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General:.....	4
1.4.2. Objetivos específicos:.....	5
1.5. Hipótesis.....	5
1.6. Metodología de investigación.	5
Capítulo 2: Fundamentación Teórica.	6
2.1. Visión general de radiofrecuencia.	6
2.1.1. Sistemas de radio móviles analógicos.....	7
2.1.2. Sistemas de Radio Digital Móvil	8
2.1.3. Sistema de radio digital P25.....	10
2.2. Interfaz entre sistemas de radio y backbone IP.....	12
2.1.4. Interfaz T1	12
2.1.5. Interfaz E&M analógica.	13
2.1.6. Puerta de enlace analógica troncalizada (TAG)	14
2.3. Introducción a los sistemas de radio troncalizado.	14
2.3.1. Normativas en Ecuador.	14
2.4. Sistema de radio móvil convencional y troncal.	15
2.4.1. Sistemas de radio móviles convencionales.	15
2.4.2. Sistema de radio móvil troncal.	16
2.5. Tipos de sistemas troncalizados.....	20
2.5.1. Públicos adaptada en Ecuador.....	21
2.5.2. Privados adaptada en Ecuador.	21
2.6. Elementos de un sistema troncalizado	23
2.6.1. Componentes de un sistema troncalizado.....	23

2.6.2.	Tipos de llamadas en radio troncalizado	24
2.7.	Sistemas de radio comunicación digitales.....	25
2.8.	Sistemas integradores de comunicación.....	26
2.8.1.	Sistemas radio sobre IP (RoIP)	26
2.8.2.	Sistemas Integradores ACU1000	27
2.8.3.	Sistemas integradores de área extensa (WAIS).....	27
2.8.4.	Tecnología Motobrige.....	27
2.8.5.	Solución de integración ICRI de AC-T.....	28
2.9.	Conexiones troncales de conexión (unicast / multicast)	28
2.9.1.	Troncales de conexión punto a punto unicast	29
2.9.2.	Configuración de multidifusión sobre unidifusión a multidifusión (M1: U12: M2).....	30
2.10.	Túneles GRE con encriptación Ipsec.	32
2.10.1.	Túneles de encapsulación de enrutamiento genérico (GRE)	32
2.10.2.	IPsec	32
2.11.	Características de línea base.....	33
2.12.	Calidad de servicio (QoS).....	36
2.12.1.	QoS dentro de redes de área local (LANs).....	38
2.12.2.	QoS en redes de área amplia (WANs)	39
2.13.	Servidores de aplicaciones.....	40
2.13.1.	Sistema de colaboración e interoperabilidad IP (IPICS).....	40
2.13.2.	Plataforma de interoperabilidad Wave.....	42
2.14.	Bandas de frecuencia.....	43
2.15.	Radios Motorola DGM 8000.....	44
Capítulo 3: Sistema de comunicación Radio sobre IP (RoIP)		46
3.1.	Radio sobre IP (RoIP).	46
3.2.	Equipos de Radio sobre IP.....	46
3.2.1.	Model 6300 RoIP Gateway.....	46
3.2.2.	Equipo RoIP 102 y 302.....	47
3.3.	Modelo de funcionamiento de RoIP.....	48
3.3.1.	Estándares y Protocolos.....	48
3.4.	Seguridad RoIP	51

Capítulo 4: Diseño del Sistema de comunicación RoIP.....	52
4.1. Infraestructura de la implementación del Sistema de RoIP	52
4.2. Propuesta del Software del Servidor VOIP PBX.....	53
4.2.1. Funcionalidades de Elastix.....	53
4.2.2. Implementación del servidor Elastix	54
4.3. Integración de los componentes del sistema de comunicación RoIP...57	
4.3.1. Descripción y configuración de los componentes del sistema de Comunicación RoIP.....	58
4.3.2. Configuración de los componentes del sistema de Comunicación RoIP	59
4.3.2.1. Parámetros por defecto del equipo RoIP 102.....	60
4.3.2.2. Configuración Del Equipo RoIP 102 vía Web.....	61
4.3.2.3. Configuración de la red en el RoIP.....	62
4.3.2.4. Configuración de llamadas	63
4.3.2.5. Configuración de PTT.....	65
4.3.3. Configuraciones de la radio Motorola DGM 8000.....	66
4.4. Análisis de resultados.....	70
Referencias Bibliográficas	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Empresas privadas en la concesión radio frecuencia	22
Figura 2. 2: Participación de empresas en la concesión radio frecuencia ...	22
Figura 2. 3: Estadísticas de terminales de radio comunicación	22
Figura 2. 4: Diagrama de una red troncalizada	23
Figura 2. 5: Controlador Motorola	23
Figura 2. 6: Combinadores	24
Figura 2. 7: Repetidores	24
Figura 2. 8: Equipos móviles.....	24
Figura 2. 9: Duplexores.....	24

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Equipo Zetron	47
Figura 3. 2: Equipo RoIP 102.....	47
Figura 3. 3: Equipo RoIP 302.....	47
Figura 3. 4: Esquemas de conexión varios grupos RoIP 102	48

Capítulo 4:

Figura 4. 1: Infraestructura de RoIP	53
Figura 4. 2: Software Virtual Box	54
Figura 4. 3: Software Elastix	55
Figura 4. 4: Instalación Elastix en Virtual Box	55
Figura 4. 5: Instalación Elastix	56
Figura 4. 6: Formulario de acceso Elastix.....	56
Figura 4. 7: Creación de extensiones en Elastix	57
Figura 4. 8: Esquema comunicación RoIP 102.....	58
Figura 4. 9: Puertos de comunicación RoIP 102.....	58
Figura 4. 10: Esquema de comunicación RJ11 con el Adaptador de la radio base	59
Figura 4. 11: Puertos de comunicación RoIP 102 y la radio Motorola DGM 8000.....	59
Figura 4. 12: Botón Reset equipo RoIP 102	60

Figura 4. 13: Parámetros de fábrica desde el software del RoIP	60
Figura 4. 14: Conexión equipo RoIP al Computador.....	61
Figura 4. 15: Dirección para acceder vía Web	61
Figura 4. 16: Formulario de acceso al equipo RoIP	62
Figura 4. 17: Status del equipo RoIP	62
Figura 4. 18: Configuraciones de red del equipo RoIP	63
Figura 4. 19: Parámetros de configuración de red del equipo RoIP.....	63
Figura 4. 20: Configuración de llamadas en el equipo RoIP	64
Figura 4. 21: Configuración de llamadas en el equipo RoIP	64
Figura 4. 22: Configuración de PPT en el equipo RoIP	65
Figura 4. 23: Funciones y configuraciones ping posterior radio DGM 6100.	67
Figura 4. 24: Software CPS	68
Figura 4. 25: Lectura del dispositivo radio DGM	68
Figura 4. 26: Menús accesorios en el software CPS	68
Figura 4. 27: Configuración accesorios en el software CPS	69
Figura 4. 28: Accesorios configuración en el software CPS	69
Figura 4. 29: Escribir en el radio atreves software CPS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Bandas para los servicios troncalizados.	18
Tabla 2. 2: Canalización de bandas.....	18
Tabla 2. 3: Zonificación del territorio ecuatoriano para el sistema troncalizado	19
Tabla 2. 4: Concesión radio troncalizada.....	21
Tabla 2. 5: Elementos de un Sistema Troncalizado.....	23

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Estándares dentro de la transformación de voz.....	49
Tabla 3. 2: Protocolos de transmisión RoIP 102.....	49

Capítulo 4:

Tabla 4. 1: Características de hardware Elastix.....	54
Tabla 4. 2: Puertos de conexión RoIP	58
Tabla 4. 3: Parámetros por defecto RoIP 102.....	61
Tabla 4. 4: Descripción campos de Configuración de Llamada RoIP	64
Tabla 4. 5: Configuración del PTT en el equipo RoIP	65
Tabla 4. 6: Configuración del PTT en el equipo RoIP	66

Resumen

El presente proyecto de titulación contiene el Análisis Y Diseño De Un Sistema De Comunicación (RoIP) a través De La Red De Datos Para El Modelo De Radios Motorola DGM 8000. Con el análisis y diseño del Sistemas radio sobre IP (RoIP) consiste en ampliar la red de cobertura de los radios Motorola DGM 8000 mediante la red de datos utilizado Volp, extendiendo la comunicación que está limitada por los repetidores o zona geográfica. En el documento que se expone en el presente trabajo, se realiza un análisis del sistema de comunicación troncalizado, normativa y situación legal de la radio comunicación. Además, se analiza los sistemas y equipos de integración de comunicaciones mediante radio comunicación, presentando las principales características. Se establece cual es la mejor opción de tecnología de integración para las radios Motorola DGM8000. Finalmente, mediante el diseño e implementación del Sistemas radio sobre IP (RoIp) se presenta la solución integral de integración de los equipos de radio comunicación Motorola DGM 8000 mediante los equipos RoIp 102 utilizando la red de datos.

Abstract

The present project of Degree contains the Analysis and Design Of A System Of Communication (RoIP) across The Network Of Information For The Model Of Radios Motorola DGM 8000. With the analysis and design of the system radio about IP (RoIP) consist of extending the network coverage of the radios Motorola DGM 8000 by the network of information used VoIP, extending the communication that is limited by the repeaters or geographical zone. In the document that is exposed in the present work, there is realized an analysis of the system of trunk communication, regulation and legal situation of the radio communication. In addition, there are analyzed the systems and equipments of integration of communications by a radio communication, presenting the principals characteristics. There establishes which is the best option of technology of integration for the radios Motorola DGM8000. Finally, by the design and implementation of the Systems radio about IP (RoIP), presents the integral solution of integration of the equipments of radio communication Motorola DGM 8000 by the equipments RoIP 102 using the network of communication.

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

El sistema de radio comunicación está operando en el Ecuador desde el año de 1999, por la cual se crea una institución que se encarga de brindar los permisos necesarios para el uso de las frecuencias.

La radio comunicación por ser un sistema que permite tener una cobertura amplia con una determinada inversión se usa en todo el territorio nacional ecuatoriano, se dispone de una autorización para el uso de este tipo de medio de comunicación bajo ciertos parámetros que estipula en este caso el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).

El presente proyecto nace de la necesidad de poder diseñar un sistema de comunicación que permita integrar la radio comunicación de los equipos Motorola DGM 8000, el cual tiene la limitante de cobertura por las distancias considerables de poder comunicarse con equipos del mismo modelo pero que están geográficamente fuera del área de cobertura de la frecuencia. Disponer de un sistema de comunicación integrador aprovechando las nuevas tecnologías y reutilizando las comunicaciones existentes.

En la actualidad existe la red de datos y diferentes sistemas que permiten integrar este tipo de radio Motorola DGM 8000, pero los costos son considerables. Incluso se puede rediseñar el sistema de transmisión con equipos para ampliar la cobertura, pero hay que tener en cuenta el presupuesto.

Revisar el sistema actual de comunicaciones que utilizan para este tipo de modelos de radio Motorola DGM 8000 y se han evidenciado algunas limitantes en el sistema de comunicaciones, para una correcta comunicación en áreas donde la cobertura de la frecuencia es limitada. Bajo la red troncalizada se puede transmitir mediante estos equipos que disponen de una frecuencia de transmisión otorgada por una institución reguladora de comunicaciones y esta licencia de transmisión está sujeta a la red o

repetidores que se tenga la capacidad de instalar para cubrir cierta área determinada.

La ejecución del presente proyecto requiere investigar la pertinencia de programas de las nuevas tecnologías para la comunicación, medios de transmisión conjuntamente con un análisis previo del modelo de radios Motorola DGM 8000, haciendo un levantamiento de información de las características técnicas de este tipo de equipos.

1.2. Antecedentes.

Se ha realizado una revisión de proyectos que abarquen el tema, pero no se registran temas relacionados a excepción de proyectos que aborden implementación, estudios de radio frecuencia y por otra parte implementación de Central Privada Automática (*Private Branch Exchange, PBX*) Virtual de manera independiente.

La comunicación mediante radio frecuencia se ha implementado desde el año de 1999, en el cual consiste bajo determinada frecuencia realizar la transmisión y los dispositivos se los configuraba para determinada frecuencia estableciendo así la comunicación.

Actualmente la limitante de este tipo de radios es que trabajan bajo determinadas frecuencias, las cuales tiene una cobertura limitada por lo que, para poder ampliar su señal necesitan de una infraestructura robusta como antenas, repetidores y un presupuesto para cubrir los costos de implementación.

Ante la necesidad de una troncal de comunicación que permita eliminar la barrera de las distancias, que se base en las nuevas tecnologías y al ser una especie de proyecto piloto, podría tomarse referencia para la aplicación en el resto de los modelos de radio comunicación.

Además, se considera las características del modelo actual de comunicación, los tipos de dispositivos e implementos de comunicación,

frecuencias de transmisión, además, se analizará y diseñará un sistema de comunicación integral para el modelo de radios Motorola DGM 8000.

1.3. Definición del problema

La necesidad de disponer de un sistema de comunicación integral que permita la interconexión de radio frecuencias de diferentes puntos que utilizan el modelo de radios Motorola DGM 8000 y que su área de cobertura de la frecuencia de transmisión no alcanza otros puntos, surge la necesidad de requerir una plataforma troncal que elimine las limitaciones de las comunicaciones actuales.

La compleja topografía que tiene nuestro país determina zonas que geográficamente no permiten alcanzar mediante la radio frecuencia otra área, esto no ha permitido disponer de un sistema de comunicación óptimo por la zona montañosa en la que se encuentran algunos sectores.

Uno de los medios de comunicación para la comunicación es la radio comunicación, que ha estado implementada bajo determinadas frecuencias. El disponer de frecuencias que no tienen un alcance adecuado hace que el uso de estas no sea el óptimo y que no se permita la comunicación entre otras áreas que utilizan el mismo modelo de radios pero que por la limitante de la cobertura se ven obligados a disponer de otras frecuencias.

En base a un análisis se ha determinado que no existe una troncal de comunicación que permita interconectar la radio comunicación para los radios Motorola DGM 8000 entre los mismos usuarios que disponen de este modelo y que trabajan bajo una misma organización.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

Analizar y diseñar un sistema de comunicación RoIP a través de la red de datos para el modelo de radios Motorola DGM 8000

1.4.2. Objetivos específicos:

- ✓ Analizar el sistema de comunicación mediante la red troncalizada.
- ✓ Identificar soluciones de integración para la radio comunicación.
- ✓ Analizar un sistema de comunicación mediante la tecnología RoIP para el modelo de radios Motorola DGM 8000.
- ✓ Diseñar un sistema de comunicación mediante la tecnología RoIP para el modelo de radios Motorola DGM 8000

1.5. Hipótesis

La limitante de comunicaciones en la frecuencia de transmisión en los usuarios de los radios Motorola DGM 8000 no ha permitido una adecuada integración de la radio comunicación debido a la limitante de cobertura de la frecuencia.

1.6. Metodología de investigación.

Es una tesis que pretende analizar el estado de la radio comunicación para el modelo de radio Motorola DGM 8000, determinar las características del equipo, frecuencias de uso, cobertura y las limitantes que tienen respecto a la integración en frecuencias donde la cobertura de radio sea limitada.

La presente investigación está sujeta a la comprobación de la hipótesis planteada identificando y analizando el estado actual de la radio comunicación de estos modelos de equipos Motorola DGM 8000, a través de interpretación la información recopilada y diseñando un modelo de integración considerando las variables independientes.

Con el presente estudio se propone una alternativa de integración de radio comunicación mediante una red de datos.

Capítulo 2: Fundamentación Teórica.

En este capítulo, se proporciona información de fondo sobre temas que desempeñan un papel central en la implementación de la solución RoIP de sistemas, tales como: sistemas de radio móviles analógicos y digitales (convencionales y troncales), interfaces entre sistemas de radio y red troncal IP, conexiones troncales de conexión (unicast/multicast), multicast a través de unicast a multicast (MUM), troncales de encapsulación de enrutamiento genérico (*Generic Routing Encapsulation, GRE*) con encriptación de seguridad del protocolo de Internet (*Internet Protocol Security, IPsec*), características de línea de base (ancho de banda, retardo, jitter y pérdida de paquetes) y códecs, calidad de servicio (*Quality of Service, QoS*) y servidores de aplicaciones de interoperabilidad.

2.1. Visión general de radiofrecuencia.

A lo largo de los años, varios organismos y departamentos como el ejército, la policía, bomberos, ambulancias, petróleo, servicios penitenciarios, silvicultura y minería han desplegado diversos sistemas de radio móviles. Esas radios móviles son tanto analógicas como digitales y se han implementado en arquitecturas de sistemas convencionales y troncales. Las radios son de dos vías, lo que significa que pueden transmitir y recibir señales (transceptores). Una radio de dos vías permite al usuario comunicarse con otro usuario utilizando el mismo canal de frecuencia.

Los sistemas de radio operan en varias bandas de frecuencia que pueden resumirse de la siguiente manera:

- Banda baja en VHF: 25 MHz a 50 MHz
- VHF-Alto: 138 MHz a 174 MHz
- UHF: 408 MHz a 512 MHz
- 700 MHz (bastante nuevo)
- 800 MHz
- 4.9 GHz (nuevo: enlaces de microondas)

2.1.1. Sistemas de radio móviles analógicos

La mayoría de las agencias y departamentos han sido equipados con los sistemas de comunicación de radio analógicos de dos vías tradicionales. Los sistemas de radio analógicos funcionan en canales de radio que pueden incluir una o más frecuencias y varios tonos que contienen mensajes importantes como el sistema de silenciamiento codificado de tono continuo (*Continuous Tone Coded Squelch System, CTCSS*), el silenciamiento codificado digital (*Digital Coded Squelch, DCS*) y el tono de silenciador de portadora o el silenciamiento de ruido, tal como se muestra en la figura 2.1.

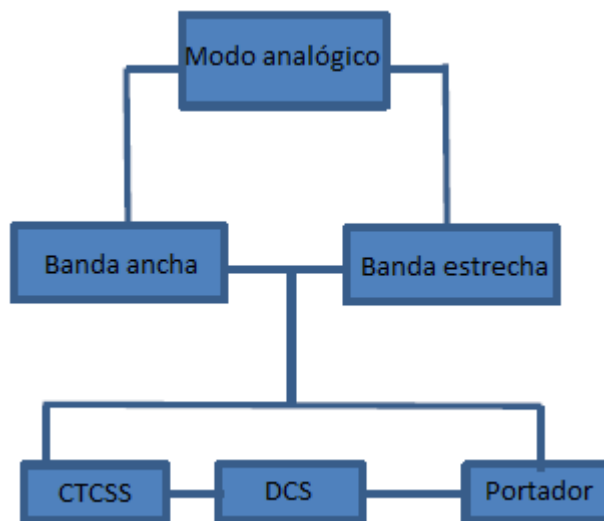


Figura 2. 1: Resumen del modo analógico.

Fuente:

Los tonos CTCSS son sub-audibles y continúan los tonos enviados con audio para activar los receptores para el audio transmitido. Un receptor que tiene capacidad de decodificación CTCSS bloquea todas las señales excepto aquellas que fueron codificadas con el tono correcto y activará sus altavoces. DCS es similar a CTCSS, pero utiliza un código digital en lugar de un tono de audio en sistemas de radio analógicos. El silenciador de portadora o receptor del silenciador de ruido reciben cualquier señal.

La mayoría de las agencias utilizan radios de modulación de frecuencia (*Frequency Modulation, FM*). La modulación de frecuencia significa cambiar la frecuencia del transmisor en proporción del audio que está siendo captado por el micrófono. En el lado del receptor, el cambio en la frecuencia del

transmisor se detecta y se utiliza para reproducir la señal de audio en el altavoz.

La modulación de frecuencia se puede clasificar como de banda ancha si el cambio en la frecuencia de la portadora es mucho más alto que la frecuencia de la señal o de banda estrecha si el cambio en la frecuencia de la portadora es aproximadamente el mismo que la frecuencia de la señal. Una de las ventajas de las radios analógicas en comparación con las radios digitales es la forma en que manejan el ruido de fondo.

La visión general de alto nivel de la comunicación por radio analógica se muestra en la figura 2.2.

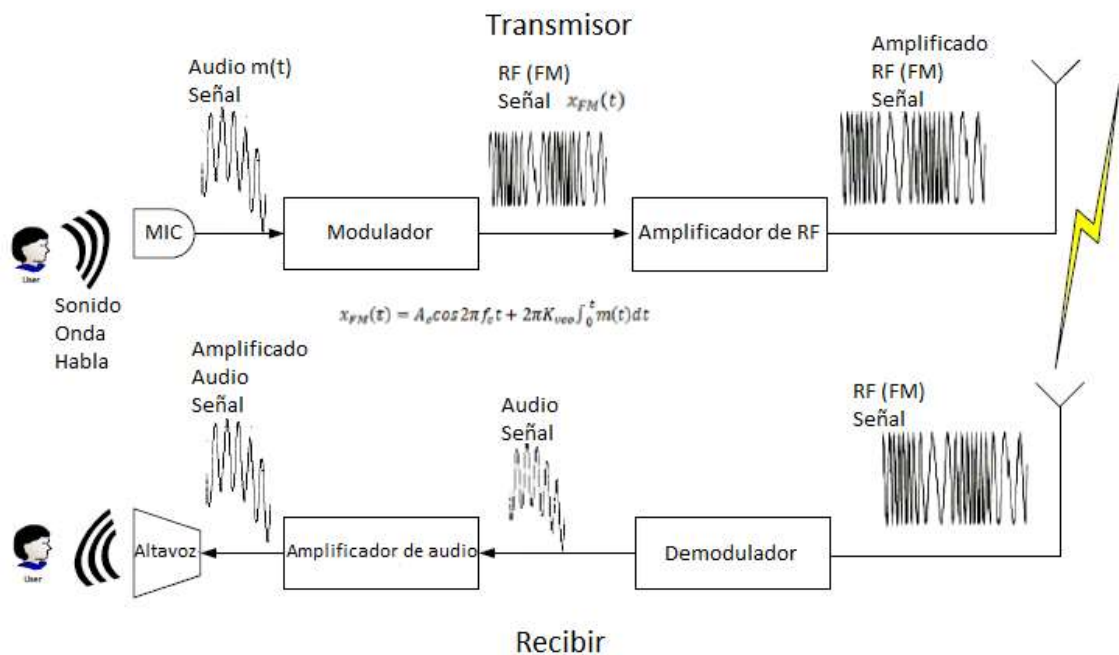


Figura 2. 2: Visión general de alto nivel de la comunicación de voz de radio analógica.

Fuente:

2.1.2. Sistemas de Radio Digital Móvil

Los sistemas de radio móviles digitales toman señales analógicas y las convierten en digitales a través de un proceso llamado muestreo. La señal analógica (voz humana) se convierte a través del micrófono en voltaje y del voltaje a números binarios 0 o 1. La información binaria (ceros "0" y unos "1")

se transmite por el aire en comparación con la información analógica (voltaje continuo).

La idea de utilizar señales digitales en lugar de analógicas es aumentar el número de canales de radio en un espectro de frecuencia dado (reduce el ancho de banda necesario por canal), mejorar la calidad de audio, eliminar problemas de desvanecimiento en el entorno móvil, proporcionar capacidades adicionales de transferencia de datos y mantener la cobertura de radio con menor potencia transmitida. Para lograr una mejor eficiencia del espectro (reducir el ancho de banda) se han utilizado algoritmos de codificación de voz.

El codificador de voz (vocoder) escucha una muestra de audio y transmite solo ciertas características que representan el sonido. Una vez que se recibe la señal, el receptor utiliza estas características básicas para sintetizar un equivalente del sonido de entrada. Los Vocoders están diseñados para depender principalmente de las características del habla humana conocidas para codificar y decodificar datos.

El lado negativo de esto es que en los casos en que se presenta ruido (fuera del espectro de la voz humana) durante la transmisión, los vocoders pueden producir problemas tales como sonido confuso y sonido metálico, pérdida de comunicación, etc. La figura 2.3 muestra un diagrama de bloques del sistema de radio digital.

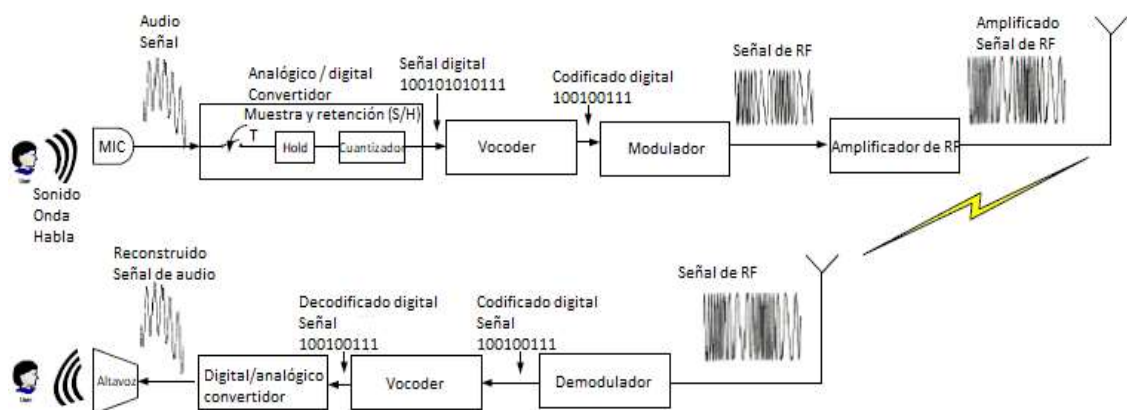


Figura 2. 3: Visión general de alto nivel de la comunicación de voz de radio digital.

Fuente:

2.1.3. Sistema de radio digital P25

Con el fin de mejorar la interoperabilidad entre varios sistemas de radio, proporcionados por diferentes proveedores, la seguridad pública y los usuarios del gobierno federal en América del Norte formaron la Asociación de Oficiales de Comunicación de Seguridad Pública -Proyecto P25 (APCO-P25). APCO-P25 es un estándar abierto para radios digitales. P25 se ha desarrollado en dos fases P25 fase 1 y P25 fase 2. La mayoría de los proveedores actualmente cumplen con la mayoría de las especificaciones de la fase 1 de P25.

Está desarrollado para establecer estándares digitales para la interfaz de aire común (entre radios móviles, portátiles y de estaciones base), protocolos de cifrado, transmisión de datos y trunking. El estándar P25 está destinado a proporcionar la base para la interoperabilidad de las comunicaciones de voz. El estándar de interfaz de aire común eventualmente debería permitir que los sistemas de radio de varios proveedores interactúen. En palabras sencillas, esto significa que, si dos radios compatibles con P25 se obtienen de dos proveedores diferentes, deberían poder comunicarse a través de la interfaz de aire común.

Las radios compatibles con P25 funcionan en modo digital y analógico; soporte de acceso múltiple por división de frecuencia (*Frequency Division Multiple Access, FDMA*); puede ser desplegado en arquitectura convencional y trunking; funciona en las bandas VHF / UHF / 800MHz y usa canales de 12.5 KHz de ancho (P25 fase 1) y eventualmente usará 6.25 KHz (P25 fase 2).

En comparación, las radios FM analógicas requieren canales de 25 KHz de ancho. Dado que las radios compatibles con P25 pueden funcionar en modo analógico, son compatibles con los sistemas de radio analógicos existentes. Cuando se usa en modo analógico, la radio compatible con P25 se comporta igual que las radios analógicas convencionales. Esto significa que la radio P25 admite funciones analógicas estándar, como CTCSS, DCS y operaciones de banda ancha o banda estrecha.

En el modo digital P25, el transmisor P25 convierte el audio analógico en digital utilizando el vocoder de excitación multibanda mejorada (*Improved Multi-Band Excitation, IMBE*). Una vez convertida, la señal se envía a través del canal y se decodifica a analógica en el receptor. El vocoder IMBE escucha una muestra de entrada de audio y solo transmite ciertas características que representan el sonido (88 bits de voz codificada cada 20 ms). El vocoder IMBE está fuertemente optimizado para el habla humana y no funciona bien en la reproducción de otros sonidos.

Los códigos CTCSS y DCS analógicos se reemplazan con el código de acceso a la red (*Network Access Code, NAC*). Los códigos NAC representan códigos de 12 bits que prefijan cada paquete de datos, como los paquetes de voz. La arquitectura del sistema de radio P25 se muestra en la figura 2.4.

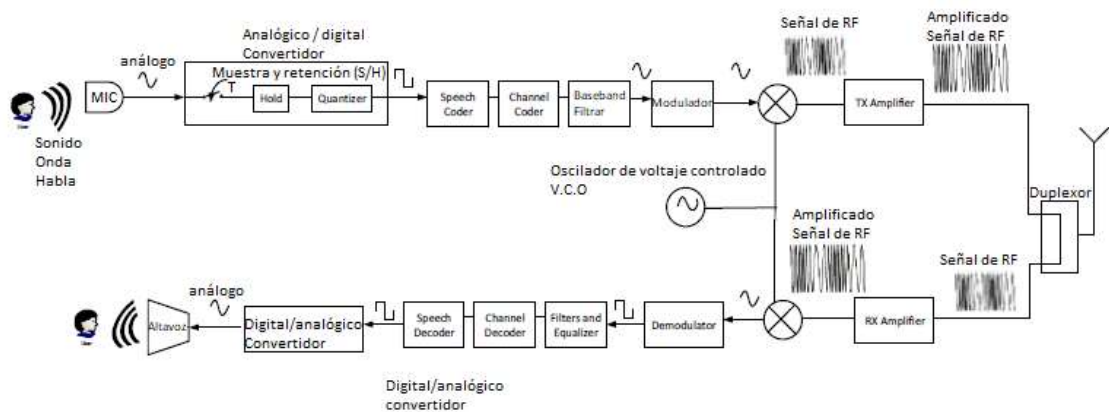


Figura 2. 4: Arquitectura del sistema de radio P25.

Fuente:

Habiendo dicho lo anterior, se puede concluir que los radios multibanda compatibles con P25 son una buena alternativa para resolver problemas de interoperabilidad. Desafortunadamente, los fabricantes de radios están protegiendo sus derechos de propiedad y no cooperan en el desarrollo de radios compatibles con P25. También las radios multibanda compatibles con P25 son muy caras; reemplazar los sistemas de radio existentes con el sistema de radio P25 a la vez sería un costo prohibitivo.

En este trabajo de titulación, se describe la solución de interoperabilidad de radio sobre IP (*Radio over IP, RoIP*) como alternativa para resolver los problemas de interoperabilidad inmediatos de los sistemas de radio

existentes, incluidos los sistemas de radio P25, y costar una fracción en comparación con el reemplazo de todos los sistemas de radio existentes con P25.

2.2. Interfaz entre sistemas de radio y backbone IP.

Para permitir que los radios móviles se comuniquen a través de la red troncal IP, es importante determinar qué interfaz sería adecuada para extraer voz y señalización, fácil de construir y que sea rentable. Las interfaces basadas en estándares, como la interfaz abierta P25, CAI, FSI, DFSI, CSSI e ISSI están en proceso de desarrollo, estandarización y pruebas.

Tomará mucho tiempo hasta que esas interfaces se prueben y se prueben exhaustivamente entre varios proveedores que, como se mencionó, tienden a resistir el desarrollo de interfaces y arquitecturas de radio basadas en estándares abiertos. Actualmente, las interfaces basadas en estándares cuestan entre 100 mil y millones de dólares. A pesar de que algunos de los proveedores de sistemas de radio afirman que cumplen con los estándares, o que van en esa dirección, aún tienden a involucrar a sus componentes propietarios en la solución general.

Esta investigación identificó que varios sistemas de radio utilizan las siguientes interfaces T1, tierra y magneto (Earth and Magneto, E&M) (4 hilos o 2 cables) y P25 digital IP (cabecera IP no estándar). En cuanto a la red troncal IP, el núcleo IP de la solución del sistema RoIP está construida principalmente de conmutadores y enrutadores del fabricante Cisco.

2.1.4. Interfaz T1

Esta investigación demuestra que muchos sistemas de radio antiguos/heredados pueden interconectar las líneas arrendadas T1 tradicionales (1.54 Mbps) utilizando su propia interfaz T1 o mediante un dispositivo como un banco de canales. Para aprovechar la radio existente a las capacidades de la interfaz T1, la tarjeta de voz de Cisco VWI3-2MFT T1/E1 se utiliza en los enrutadores Cisco (es decir, enrutadores de grado 2800/2900), con los procesadores de señal digital (*Digital Signal Processing*,

DSP) para codificar/decodificar las secuencias de audio que se pueden utilizar para interconectar esas radios a la radio del sistema a través del núcleo IP (red troncal de IP).

Las líneas T1 se pueden reemplazar utilizando troncales punto a punto (multidifusión o unidifusión) que comparten circuitos MPLS con otro tipo de tráfico. Para interconectar radios antiguas a través de MPLS IP usando troncales punto a punto, se usó la interfaz E&M en lugar de la interfaz T1. Hay que tener en cuenta que el núcleo del sistema RoIP está basado en MPLS IP (infraestructura compartida). El núcleo IP basado en MPLS ofrece muchas ventajas, como ingeniería de tráfico, calidad de servicio, redundancia de red, expansión fácil y rentable, reenvío independiente del protocolo, asignación de ancho de banda, acuerdo de nivel de servicio, etc.

2.1.5. Interfaz E&M analógica.

La interfaz de enlace troncal E&M es un tipo de señalización de línea de control que utiliza señales de CC en cables separados llamados "E" y "M" para comunicar el estado entre el circuito troncal y la unidad de señalización. Originalmente, la interfaz analógica E&M fue desarrollada por los laboratorios Bell para el circuito de trunking y la red. El origen del nombre de la interfaz E&M proviene de la tierra, tierra eléctrica y magneto, el electroimán que genera el tono. El circuito de enlace y la unidad de señalización intercambian su estado sobre los cables E y M utilizando una combinación de batería y tierra. La señal de batería utilizada es nominalmente $-48 V_{DC}$. Las aplicaciones de interfaz E&M requieren que el terminal positivo (+) de la batería esté conectado a una tierra compartida (Tierra).

Esta investigación demostró que la interfaz analógica E&M se puede usar de manera efectiva para conectar sistemas de radio a la red IP. Para lograr esto, era importante comprender los parámetros de la interfaz analógica de E&M, qué parámetros de E&M son compatibles con cada sistema de radio. La interfaz analógica de E&M contiene cuatro parámetros principales cuya combinación determina las implementaciones de E&M:

- Tipos de interfaz E&M y disposición de cableado (tipo I, II, III, IV y V).

- Implementación de audio: operación de 2 ó 4 hilos.
- Señalización de marcación de inicio y supervisión (inmediata, guiño y retardo).
- Señalización de dirección (es decir, pulso, DTMF).

2.1.6. Puerta de enlace analógica troncalizada (TAG)

Una de las radios que formó parte de esta investigación fue el sistema de radio digital Cassidian P25, basado en IP. Es una arquitectura de IP nativa centrada en el software. Se demostró que los paquetes IP contienen contenido patentado y que no se puede conectar directamente al sistema de radio sobre IP. También es P25 digital, usa el vocoder IMBE para codificar el tráfico y no puede interconectar directamente al sistema RoIP ya que su arquitectura utiliza una interfaz E&M analógica.

Para conectar el sistema de radio a la solución RoIP fue necesario convertir la señal digital P25 en el análogo E&M. Esta investigación demostró que el sistema de radio utiliza una puerta de enlace analógica troncal (TAG) para interconectar consolas analógicas más antiguas. El TAG convierte la señal digital P25 (descifrar y decodificar) en E&M analógica a 4 hilos. Además, tiene capacidad para codificar señales usando el códec de compresión G.711.

Por lo tanto, el TAG era un buen candidato para interconectar el sistema digital P25, basado en IP con la solución de radio del Sistema de Sistemas. Uno de los puntos clave de esta investigación fue determinar y hacer coincidir las conexiones de pines de la interfaz E&M (4 señales de audio y señalización) del TAG para conectar a Cisco VIC3-2 E&M y determinar el retraso en el procesamiento del TAG.

2.3. Introducción a los sistemas de radio troncalizado.

2.3.1. Normativas en Ecuador.

El 30 de agosto de 1995 se emite la Ley Reformatoria a la Ley Especial de a través del cual se crea el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). En la cual establece entre otros los siguientes estamentos acerca de la normativa técnica de la red troncalizada.

- ✓ Se debe solicitar la concesión de una determinada frecuencia para poder implementar una radio troncalizada. Donde se presentan estudios técnicos de acuerdo con normativas establecidas.
- ✓ Tarifas por el uso de una concesión de frecuencia.
- ✓ El uso que se dé la radio troncalizada será para despacho.
- ✓ La concesión de la frecuencia tendrá una duración de 5 años y podrá ser renovada 90 días antes de finalizar el contrato.
- ✓ Las Fuerzas Armadas y Policía están exentos de celebrar contratos de concesión. Esta opción se aplica a personas naturales o jurídicas.
- ✓ Existen sanciones si no se cumplen con las condiciones del contrato de la frecuencia. (FIEL Magister, 2004)

Además, el CONATEL ha actualizado a partir del registro oficial acerca de la red troncalizada como una nueva planificación de las zonas de cobertura, autorización de otros servicios sobre la misma frecuencia.

2.4. Sistema de radio móvil convencional y troncal.

2.4.1. Sistemas de radio móviles convencionales.

Los sistemas de radio convencionales incluyen estaciones base, móviles, dispositivos portátiles y de filtrado. Estos dispositivos pueden tener frecuencias separadas asignadas en una base funcional en bandas de frecuencia como VHF y UHF. Convencional significa que las radios operan en canales de radiofrecuencia fija (RF) y que a cada usuario o grupo de usuarios se le asigna una frecuencia fija o un conjunto de frecuencias. Los sistemas de radio convencionales permiten al usuario hablar en un canal a la vez. El usuario selecciona manualmente el canal adecuado en un dispositivo de radio si la radio está programada para múltiples canales.

Cuando varios usuarios tienen la misma frecuencia asignada, solo un usuario puede hablar en ese canal y todos los demás usuarios de ese canal deben escuchar. Si varios usuarios intentan hablar al mismo tiempo en el mismo canal, pueden causar interferencias. Los sistemas de radio convencionales son fáciles de diseñar y operar, con una frecuencia dedicada

(sin tiempo de configuración de canal) y mucho más baratos en comparación con los sistemas de radio troncal.

Por otro lado, los sistemas de radio convencionales no son eficientes en el espectro de RF debido a la asignación de frecuencia fija y son fáciles de interceptar por dispositivos analógicos.

2.4.2. Sistema de radio móvil troncal.

Los sistemas troncalizados tuvieron su origen en la década de los 70 con la telefonía fija, al inicio de su implementación los usuarios disponían el canal de comunicación para realizar la llamada punto a punto. Una vez finalizada la llamada el canal era liberado. El principio de la radio troncalizada nace de la necesidad de poder comunicar múltiples usuarios en varios canales de comunicación. Tomando en cuenta la probabilidad de que un usuario puede disponer el control del canal una vez liberado por otro usuario.

Los sistemas de radio móvil de trunking combinan múltiples repetidores de radio en el mismo sitio para compartir frecuencias entre los usuarios. En comparación con los sistemas de radio convencionales, el enlace aprovecha la probabilidad de que no todos los usuarios necesiten acceso al canal al mismo tiempo. Por lo tanto, los sistemas de radio troncal permiten que más usuarios compartan dinámicamente un número limitado de canales de radio.

Las radios de usuario en el sistema de radio troncal se asignan a los grupos de conversación que en realidad son canales virtuales y es posible tener muchos más grupos de conversación que frecuencias disponibles. Cada radio de usuario, cuando no está transmitiendo, monitorea un "canal de control" dedicado. El canal de control es un canal de comunicación entre una radio móvil de usuario y el controlador central (controlado por computadora).

Cuando un usuario presiona el botón pulsar-para-hablar (*Push-To-Talk, PTT*) en una radio móvil, la radio envía un mensaje digital al controlador del sistema a través del canal de control solicitando que se asigne un canal. En caso de que haya un canal disponible, el controlador del sistema envía un

mensaje a la radio móvil con información del canal asignado. Una vez que se completa el "apretón de manos" (canal concedido), la radio de un usuario proporciona un "pitido de conversación" y el usuario puede continuar con una conversación de voz en el canal designado.

Además, el controlador del sistema transmite un mensaje similar a través del canal de control a otras radios móviles que pertenecen al mismo grupo de conversación para sintonizar el canal designado. El cambio de monitorear el canal de control al canal designado ocurre automáticamente. Una vez que termina la conversación, todas las radios vuelven a monitorear el canal de control.

Dado que las frecuencias se asignan dinámicamente, un usuario puede estar en una frecuencia diferente cada vez que transmite. Tenga en cuenta que todo el procedimiento ocurre tan rápido que el usuario no nota ninguna diferencia en comparación con un sistema de radio convencional. Pero, en caso de que todos los canales de voz estén en uso, el controlador del sistema colocará en una cola (basada en la prioridad) un usuario que solicite una concesión de canal.

El sistema de radio troncal puede ser tanto analógico como digital, aunque el canal de control se utiliza para enviar datos digitales. Los sistemas de radio troncal tienen ventajas. En caso de que un canal falle en un sistema de radio troncalizado, las radios que se han visto afectadas se pueden mover automáticamente a otro canal con una degradación mínima del servicio. El sistema de radio troncal proporciona características de seguridad inherentes debido a la forma en que están diseñados y operan. Por ejemplo, las radios troncales deben registrarse antes de que puedan usarse y, por lo tanto, en caso de pérdida o robo de la radio, la radio se puede desactivar individualmente en función de sus credenciales de registro.

La red troncalizada toma como principios que se puede disponer del canal de comunicación en base a:

- ✓ El usuario utiliza el canal de comunicación por periodos cortos de tiempo.
- ✓ La probabilidad de que varios usuarios utilicen el mismo canal de comunicación al mismo tiempo es baja. (Escobar V., 2010)

En la resolución N.º 264-13-CONATEL-2000 acerca del Plan de Frecuencias, el CONATEL establece las siguientes bandas para servicios troncalizados tanto fijo como móviles de acuerdo con la tabla 2.1.

Tabla 2. 1: Bandas para los servicios troncalizados.

Banda (Mhz)	Tecnología Ancho de banda del canal (KHz)
806-811/851-855	Digital25*
811-824/856-869	Analógica25
896-898/935-937	Digital25*
902-904/932-934	Digital25*
* El CONATEL podrá reducir la canalización de estas bandas a 12,5 kHz, en caso que la tecnología lo permita.	

Fuente: (CONATEL, 2004)

Además, en el Art. 6 de la misma resolución establece la canalización de las bandas, tal como se indica en la tabla 2.2 se presentan.

Tabla 2. 2: Canalización de bandas

Banda	Canales	Descripción
806-811 MHz y 851-856 MHz	200	Separación entre transmisión y recepción de 45 MHz. La banda de 806-811 MHz será utilizada para transmisión y la banda de 851-856 MHz será utilizada para recepción en la estación de abonado o estación terminal
811-824 MHz y 856-869 MHz	500	Separación entre transmisión y recepción de 45 MHz. La banda de 811 - 824 MHz será utilizada para transmisión y la banda de 856 - 869 MHz será utilizada para recepción en la estación de abonado o estación terminal.
896-898 MHz y 935-937 MHz	80	Separación entre transmisión y recepción de 39 MHz. La banda de 896 - 898 MHz será utilizada para transmisión y la banda de 935 - 937 MHz será utilizada para recepción en la estación de abonado o estación terminal
902-904 MHz y 932-934 MHz	80	Separación entre transmisión y recepción de 30 MHz. La banda de 902 - 904 MHz será utilizada para transmisión y la banda 932 - 934 MHz será utilizada para recepción en la estación de abonado o estación terminal.

Fuente: (CONATEL, 2004)

Los entes de regulación y control de las telecomunicaciones aprobaron en el año 2009, la zonificación del territorio ecuatoriano para el sistema troncalizado. En el cual se consideran las nueve provincias en base a la siguiente distribución mostrada en la tabla 2.3.

Tabla 2. 3: Zonificación del territorio ecuatoriano para el sistema troncalizado

Zonas	Provincia	Área de Concesión	Numero de áreas
Zona 1	Guayas (Zona 1a)	Guayaquil y sus alrededores	1
	Santa Elena, Los Ríos y Galápagos (Zona 1b)	El resto de la provincia del Guayas y las demás provincias.	1
Zona 2	Pichincha (Zona 2b)	Quito y sus alrededores	1
	Santo Domingo de los Tsáchilas, Sucumbíos, Napo y Orellana (Zona 2b)	El resto de la provincia del Pichincha y las demás provincias.	1
Zona 3	Manabí	Toda la provincia	
Zona 4	El Oro y Loja	Las dos provincias	1
Zona 5	Azuay, Cañar y Zamora Chinchipe	Las tres provincias	1
Zona 6	Carchi, Imbabura y Esmeraldas	Las tres provincias	1
Zona 7	Tungurahua, Cotopaxi y Pastaza	Las tres provincias	1
Zona 8	Bolívar, Chimborazo y Morona Santiago	Las tres provincias	1

Fuente: (CONATEL, 2004)

Por otro lado, los sistemas de radio troncal tienen desventajas. Las radios troncales son controladas por el controlador central basado en computadora que realiza la asignación de canales. En caso de que falle el controlador de canal (es decir, el corte de energía), el sistema de radio troncal se vería seriamente afectado. Los sistemas de radio troncal cubren grandes áreas geográficas y brindan servicios a muchos usuarios. Pequeños

problemas en el sistema de radio pueden tener un gran impacto en los usuarios. Los mensajes digitales que se envían a través del canal del controlador pueden ser pirateados por una persona con experiencia que puede poner los sistemas de radio en un alto riesgo de seguridad.

Lo más importante para esta investigación es que los sistemas de radio troncal tienen un retardo significativo desde el momento en que se presiona el botón PTT de radio hasta que el usuario puede comenzar a transmitir debido al proceso de asignación de canales. Si se utilizan todos los canales, el usuario se colocará en una cola. Esto puede causar un retardo significativo.

Por lo tanto, para esta investigación de interoperabilidad, es importante asegurarse de que la red troncal IP y todo el procesamiento que tiene lugar en el núcleo IP (canal de conferencia/mezcla) no presente ningún retraso significativo. De lo contrario, la comunicación proporcionaría una experiencia insatisfactoria para los usuarios, especialmente si el sistema de radio se utiliza para llevar una comunicación de misión crítica.

Los sistemas de radio troncales generalmente se basan en software propietario proporcionado por fabricantes como Codan, Motorola, Harris, Cassidian/EADS, etc. Estas empresas, que desean proteger su participación de mercado, no cooperan significativamente cuando se trata de compartir información. Por lo tanto, la interoperabilidad entre los sistemas de radio troncal proporcionada por estos fabricantes es compleja.

Es por eso por lo que en este trabajo de titulación se enfoca en implementar un fuerte núcleo de red troncal IP para proporcionar interoperabilidad entre los sistemas de radio y para empujar los sistemas de radio patentados hacia el lado de acceso de la solución de interoperabilidad RoIP del Sistema de Sistemas.

2.5. Tipos de sistemas troncalizados.

Los tipos de radio troncalizado se han dividido de acuerdo con ciertos criterios tanto técnicos como adaptados al medio así:

2.5.1. Públicos adaptados en Ecuador.

Servicios públicos orientados a la seguridad son los que comprenden esta clasificación, disponen de frecuencias autorizadas en la banda de UHF. Las principales entidades públicas que utilizan estas frecuencias son: Ecu911, Policía Nacional, Bomberos, Ministerio de Salud Pública, Transito, etc.

2.5.2. Privados adaptada en Ecuador.

Empresas particulares que brindan servicios bajo ciertas normas y permisos de los entes regulatorios. En base a esta distinción se tiene la clasificación donde existen permisos para trabajar en frecuencias abiertas para brindar servicios particulares. En la tabla 2.4 se puede identificar las empresas privadas para la implementación de radio troncalizada.

Tabla 2. 4: Concesión radio troncalizada.

SERVICIO TRONCALIZADO			
Participación de Mercado		 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones	
Fuente: Registros administrativos ARCOTEL			
Fecha de publicación: Abril 2018		Regresar al Índice	
Fecha de corte: Marzo 2018 (trimestral)			
Mes	Empresa	Número de Terminales	Participación de Mercado
ene-18	MARCONI	2.204	14.87%
ene-18	MULTICOM	7.499	50.60%
ene-18	RACOMDES	5.118	34.53%
	Total:	14.821	100%
feb-18	MARCONI	2.143	14.71%
feb-18	MULTICOM	7.523	51.65%
feb-18	RACOMDES	4.900	33.64%
	Total:	14.566	100%
mar-18	MARCONI	2.150	15%
mar-18	MULTICOM	7.377	52%
mar-18	RACOMDES	4.753	33%
	Total:	14.280	100%

Fuente: («[Servicio Troncalizado \(STRC\) | Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones | Ecuador](#)», s. f., p. C)

La figura 2.1 muestra la participación de empresas privadas en la concesión de radio frecuencia en el Ecuador, mientras que la figura 2.2 muestra la participación de mercado a marzo del 2018. La empresa que dispone de mayor número de usuarios es la empresa MULTICOM, según su página oficial dispone de 400 empresas brindando soporte y con más de 800

radios. Desde el 2015 se llevan estadísticas del número de equipos, así en el 2017 en el mes de diciembre se tienen registrados 14.876 el cual decreció con respecto al año anterior, tal como se puede evidenciar en la figura 2.3.

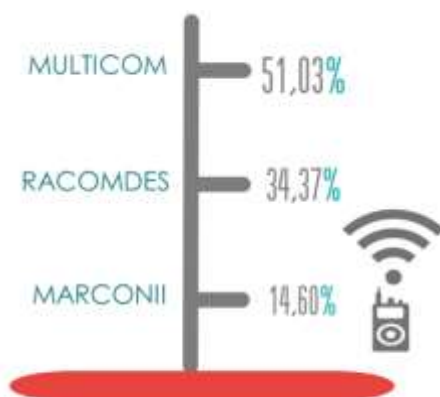


Figura 2. 1: Empresas privadas en la concesión radio frecuencia
Fuente: (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES, 2018)



Figura 2. 2: Participación de empresas en la concesión radio frecuencia
Fuente: («Servicio Troncalizado (STRC) | Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones | Ecuador», s. f., p. C)

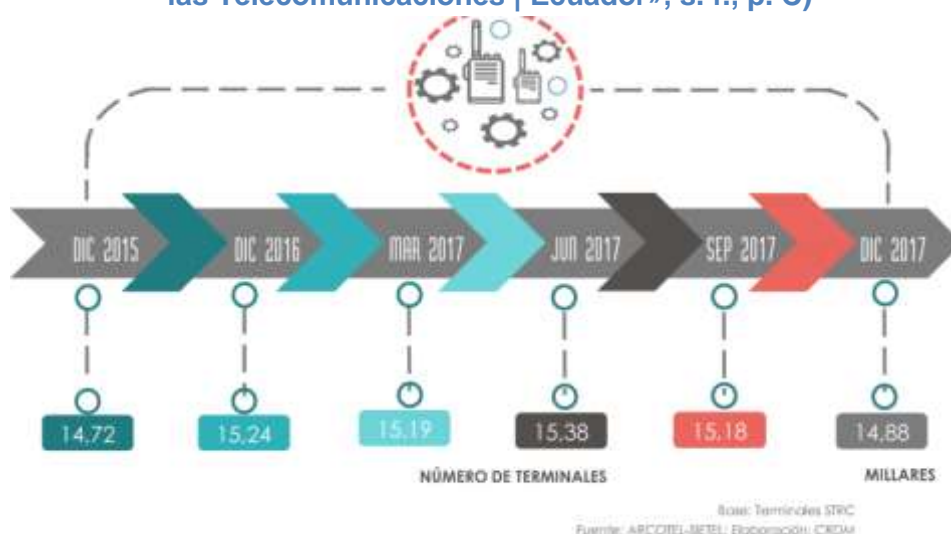


Figura 2. 3: Estadísticas de terminales de radio comunicación
Fuente: (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES, 2018)

2.6. Elementos de un sistema troncalizado

A continuación, se presenta un esquema general de la radio troncalizada.

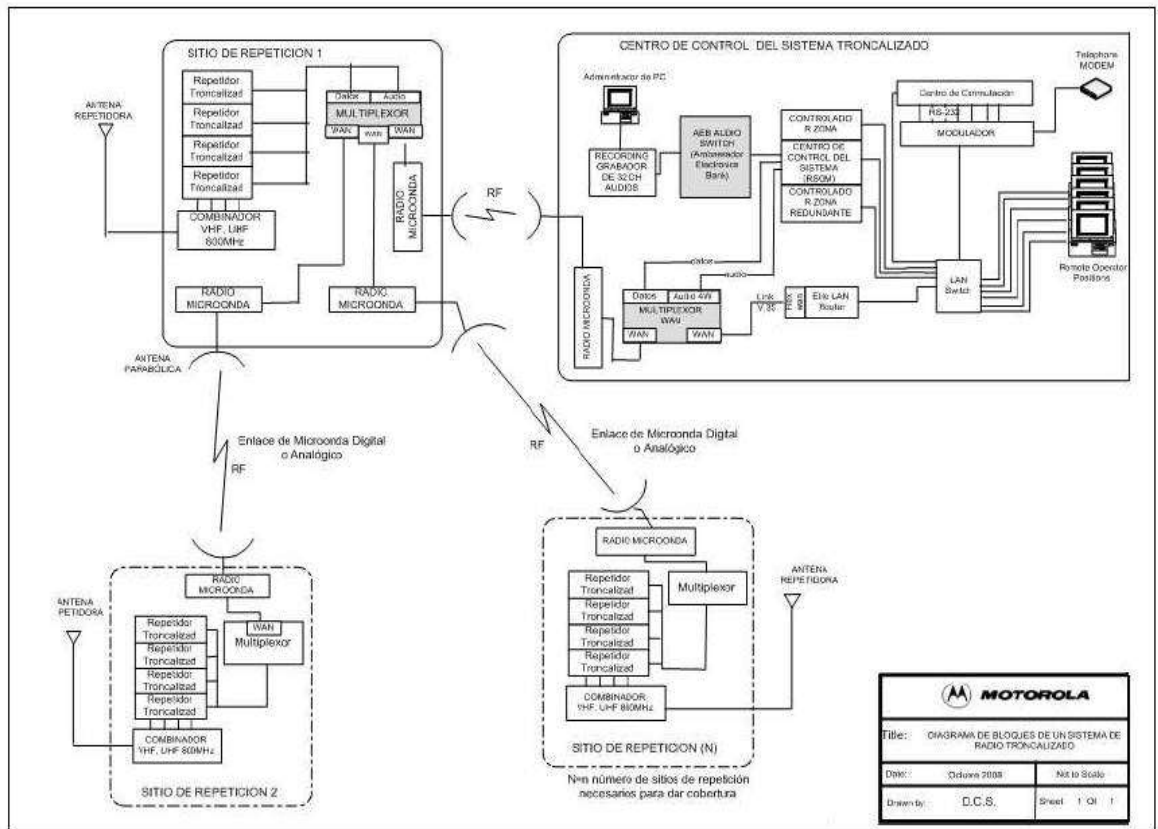



Figura 2. 4: Diagrama de una red troncalizada





Fuente: (Catalano S., 2007)

2.6.1. Componentes de un sistema troncalizado.

El sistema de radio troncalizado se basa en diferentes elementos que permiten que este tipo de comunicación puede establecerse. En la tabla 2.5 se describen cada uno de los elementos de un sistema troncalizado.

Tabla 2. 5: Elementos de un Sistema Troncalizado

Elemento	Descripción	Gráfico
Controlador del sistema de radio troncalizado	Trabaja similar a una Gateway de integración de varios equipos. Permiten tener el control de los receptores como los transmisores.	 <p>Figura 2. 5: Controlador Motorola Fuente: (www.motorolasolutions.com), s. f.)</p>

Combinadores	Dispone de una sola salida y varias entradas, permite interconectar varias frecuencias y salir por un solo canal.	 Figura 2. 6: Combinadores Fuente: («www.ftp3.syscom.mx» , s. f.)
Repetidores	Los repetidores se encargan de repotenciar la señal para tener una mayor cobertura. Amplifican la señal y retransmitirla.	 Figura 2. 7: Repetidores Fuente: (Motorola, 2014)
Equipos de radio, móvil y portátil	Dispositivos electrónicos para la transmisión y recepción de audio y datos.	 Figura 2. 8: Equipos móviles Fuente: (Motorola, 2014)
Centro de conmutación	Comprende varios elementos como switch, servidores, controladores, bases de datos	
Duplexor	Equipos que permiten funcionar como filtros en la transmisión y recepción. Pasa banda rechaza banda en frecuencias UHF y VHF	 Figura 2. 9: Duplexores Fuente: («www.grupomontel.com» , s. f.)

Fuente: (Catalano S., 2007)

2.6.2. Tipos de llamadas en radio troncalizado

El modelo de radios Motorola DGM 8000 permite en su configuración crear varios tipos de grupos de conversación que van desde grupo de

llamadas hasta comunicación punto a punto. A continuación, se hace una descripción de cada una de ellas.

a. Llamadas en grupo

Permite asignar el mismo “ID” de grupo para todos los usuarios, en la cual todos pueden realizar la llamada “talk group” y a su vez todos los miembros de ese grupo escuchan incluido el radio operador de la base. Esto es independiente de la ubicación que se encuentre el radio transmisor.

b. Llamadas individuales

Permite realizar una llamada punto a punto de manera individual o privada, siempre y cuando se encuentre en el área de cobertura de la señal.

c. Llamadas de subgrupo

El usuario de consola de despacho de la radio base realiza de manera opcional a un grupo de radios que previamente han sido configurados.

d. Llamadas de emergencia

Si un usuario de un grupo envía mediante el radio la señal de emergencia, el despachador tiene la capacidad de asignarle una prioridad alta para transmitir.

2.7. Sistemas de radio comunicación digitales.

Los sistemas de comunicación vía radio frecuencia deben conjugar varios elementos para su implementación como: banda de frecuencia, tipo de tecnología, disponibilidad del espectro radio eléctrico, autorizaciones, tipo de uso de la entidad requirente, entre los principales. En el año 2012 el gobierno nacional regulo el uso del espectro radio eléctrico declarando un recurso de interés público, a partir de allí se han presentado una serie de requisitos y restricciones para el uso de este.

El crecimiento acelerado que ha tenido el uso de nuevas tecnologías y la ampliación e inversión de empresas públicas y privadas ha permitido extender los servicios de interconexión de la red de datos. Por ejemplo, la Corporación Nacional de Comunicaciones Empresa Pública (CNT EP) ha experimentado un crecimiento en los servicios de interconexión de telecomunicaciones entre los principales la telefonía móvil 3G HSPA+ (High-Speed Packet Access) y cuarta generación 4G LTE (Long Term Evolution)

brindando cobertura a en las 24 provincias, internet de banda ancha el cual provee servicio a bajo costo; haciendo una comparación entre el 2007 (17.200 clientes) hasta el año 2016 (897.788 clientes) ha tenido un incremento del 52.19%. Así mismo la red de fibra óptica una de las más grandes con aproximadamente 18,842 Km con una cobertura de 200 cantones. (RRPP, 2016)

Así con el presente trabajo de titulación se pretende llegar a una convergencia de la tecnología analógica y digital con el propósito de ampliar la cobertura de la radio frecuencia. Mediante los protocolos de comunicación (Internet Protocol, IP) se brindará una alternativa de comunicación tomando en consideración el avance y crecimiento que tiene la conectividad de datos en el país.

2.8. Sistemas integradores de comunicación.

Actualmente las instituciones tienen que converger entre equipos analógicos y digitales de comunicación, para lo cual existen diferentes tipos de tecnologías que permiten una integración reduciendo así el impacto en los costos de implementación. Se ha investigado los tipos de sistemas integradores y a continuación, se hace una descripción de las siguientes tecnologías, como:

- ✓ Sistemas radio sobre IP (RoIP)
- ✓ Sistema ACU1000
- ✓ Sistemas Integradores de Área Extensa (WAIS)
- ✓ Tecnología Motobrige
- ✓ Solución Integración ICRI de C-AT

2.8.1. Sistemas radio sobre IP (RoIP)

En el año 2002 nació la tecnología de radio a través del protocolo de internet (RoIP), fue creada por David Cameron en British Columbia, Canada. El funcionamiento de la voz sobre IP se basa en receptor las ondas sonoras mediante un micrófono, digitalizar y empaquetar la señal para convertirla en bits, transmitirla y en el terminal realizar el proceso inverso de decodificar y convertirla de digital a analógico para reproducirla en un parlante a través de

un periférico. Esto permite una comunicación de radio de dos vías a diferencia de los sistemas tradicionales de VoIP. (Córdova and Aníbal, 2015)

2.8.2. Sistemas Integradores ACU1000

Los equipos integradores ACU1000 cumplen con la función de integrar diferentes tipos de radios analógicos y transformar su señal de audio a digital. Dispone de una serie de tarjetas de expansión por lo cual ofrece más servicios y capacidad de escalar. Utilizado en el área militar, de seguridad pública, que permiten a los equipos de comunicación como radios que trabajen con diferentes frecuencias VHF, HF y UHF, y que los dispositivos que trabajen mediante VoIP y líneas analógicas se integren mediante este sistema. Aunque su costo de implementación es elevado por lo que es una desventaja con respecto a otras tecnologías.

2.8.3. Sistemas integradores de área extensa (WAIS)

La tecnología WAIS permite interconectar varios ACU1000 de diferentes redes y permite la comunicación transparente en redes de área metropolitana o regional de equipos de radio frecuencia y de tecnología que trabaje bajo VoIP. Además, interconecta las redes de área local (*Local Area Network, LAN*) y redes de área extensa (*Wide Area Network, WAN*).

Especialmente está diseñado para mantener la comunicación en caso de desastres, la arquitectura distribuida permite que se mantenga la operatividad si un segmento de la red se cae o se pierde.

2.8.4. Tecnología Motobrige

Motobrige es un equipo integrador de comunicaciones de la marca Motorola, dispone de una arquitectura robusta mediante Gateway de voz sobre IP. Tiene una alta confiabilidad y garantiza la transmisión con redundancia y tolerancia a fallos. Las características del MOTOBRIGE son:

- Despacho IP
- Comunicación full dúplex
- Comunicación desde estaciones telefónicas a redes de radio.
- Integración e interoperabilidad con los Smartphone

- Administración red.
- Encriptación de la señal de audio.
- Gestión de procesador de datos. (MOTOROLA, 2014)

2.8.5. Solución de integración ICRI de AC-T

Tecnología de equipos para la integración de diferentes radios y modelos, tanto de seguridad ciudadana, bomberos, militares, voz sobre IP. Posee una plataforma fácil de operar y configurar. Trabaja con todo tipo de modelos de radio tanto militares como marcas comerciales, entre las principales características de interconexión se tienen:

- Frecuencias de trabajo (HF/VHF/UHF o 700 - 900 MHz)
- Plataformas digitales como analógicas.
- P25.
- VoIP / Telefonía SIP
- Encriptación y desencriptación de radios
- Grabación de audios y amplificación (C- AT, 2014)

2.9. Conexiones troncales de conexión (unicast / multicast)

Para establecer la comunicación de voz sobre IP entre los puntos finales (puertas de enlace de voz), esta sección se centró en la comprensión de los troncales de multidifusión y unidifusión (Cisco, 2015). Una troncal o una línea de enlace pueden definirse como un enlace de comunicación permanente entre los dos puntos de voz. Las troncales de multidifusión ofrecen una mayor flexibilidad y reducen la demora general del sistema. Pero, la solución RoIP del sistema de sistemas proporciona interoperabilidad entre varios departamentos y agencias que las redes admiten o no son compatibles con la multidifusión.

Por lo tanto, es importante comprender el uso tanto de las redes troncales de multidifusión como los de unidifusión. Dado que el núcleo de red troncal IP se desarrolla principalmente con los switches y enrutadores, es importante comprender las troncales de punto a punto desde la perspectiva del software del sistema operativo interno (IOS).

2.9.1. Troncales de conexión punto a punto unicast

Los troncales de conexión de unidifusión crean una llamada VoIP permanente entre las dos puertas de enlace VoIP (troncal punto a punto). Las troncales punto a punto simulan una conexión troncal creando líneas de enlace troncales virtuales entre dos puntos de telefonía. Cuando se conecta un circuito de enlace (en este caso, un sistema de radio) a la puerta de enlace VoIP, aparece como si el sistema de radio estuviera conectado directamente al troncal T1. (Cisco, 2015)

Las redes troncales unicast punto a punto pueden ser reemplazados por T1 (líneas arrendadas). Las características clave de los enlaces de conexión de unidifusión son:

- Conexión permanente: siempre arriba
- Señalización de transporte: extremo a extremo.
- Solo se puede utilizar con otros dispositivos basados en Cisco IOS que admiten troncales de unidifusión.

Los enlaces troncales de conexión de unidifusión establecen una conexión (canal) entre los puntos finales de voz (puertas de enlace VoIP) utilizando protocolos de configuración de conexión basados en estándares H.323 o SIP. Una vez establecida la conexión entre los dos puntos finales, se habilita el flujo de datos del protocolo de tiempo real (RTP) / protocolo de control RTP (audio/video/datos) entre los puntos finales. (Schulzrinne, Casner, Frederick, & Jacobson, 2003)

Por otro lado, los enlaces de conexión de multidifusión no utilizan los protocolos de configuración de conexión y el protocolo de tiempo directo (RTP) / protocolo de control de RTP para la transmisión de datos a una dirección IP de multidifusión, por lo que pueden recibirlo varios puntos finales (cualquiera que se registre y desee recibir tráfico de multidifusión). Las redes troncales de multidifusión utilizan el protocolo de enrutamiento de multidifusión en lugar de los mecanismos de conexión, como H.323 / SIP.

Para la solución del sistema RoIP se utiliza el protocolo de multidifusión independiente - modo disperso (*Protocol Independent Multicast – Sparse Mode, PIM-SM*) para habilitar el enrutamiento de multidifusión y para dirigir el flujo de datos RTP/RTCP entre los puntos finales de voz (Fenner, Handley, Holbrook, & Kouvelas, 2006) . Es importante explicar que, desde la perspectiva del punto final de la voz, tanto los troncales de conexión unidifusión como los de multidifusión presentan la misma conexión de estilo de línea de enlace permanente.

Se utilizan mecanismos de conexión H.323 para establecer las troncales de unidifusión, pero dado que el protocolo SIP ofrece mayores ventajas y se basa en el estándar H.323, por este motivo es necesaria la implementación del sistema RoIP mediante la configuración de las troncales unidifusiones. (Rong, Lebeau, Bennani, Kadoch, & Elhakeem, 2005; Zahariadis & Spanos, 2004)

2.9.2. Configuración de multidifusión sobre unidifusión a multidifusión (M1: U12: M2).

La solución del sistema RoIP aprovecha las ventajas de la IP de multidifusión al habilitar la IP de multidifusión en el núcleo. El direccionamiento de multidifusión permite que los puntos finales de voz múltiples reciban un tráfico generado por una fuente (el tráfico se envía de uno a muchos) a diferencia de IP de unidifusión donde el tráfico se envía de uno a uno. Por lo tanto, la multidifusión proporciona una gran escalabilidad.

La multidifusión proporciona una gran flexibilidad, pero al mismo tiempo pueden crear problemas de administración de red, para lo cual es necesario que sean administradas conjuntamente por varias partes. Para permitir la comunicación entre "islas" de multidifusión, se utiliza la alternativa de multidifusión sobre unidifusión a multidifusión (M1: U12: M2) (Cisco, 2011). Las troncales de conexión M1: U12: M2 se desarrollan en base a las funcionalidades de troncales de conexión, cuyas características claves son:

- Conexión permanente - siempre arriba
- Señalización de transporte extremo a extremo.

- Conecta islas de multidifusión utilizando enlaces de unidifusión punto a punto.

La parte de unidifusión de M1: U12: M2 emplea un mecanismo de configuración de conexión SIP para establecer un canal a otra puerta de enlace de voz y dirige el flujo de datos del protocolo de control en tiempo real (*Real-time Transport Protocol, RTP*) / protocolo de control RTP (*RTP / RTCP*) a ese único punto final. Por lo tanto, el tráfico de multidifusión entre las islas de multidifusión se canaliza a través de los troncales de conexión de unidifusión.

La conexión troncal M1: U12: M2 asigna el tráfico de multidifusión desde un canal de multidifusión M1 (isla de multidifusión 1) a una dirección de unidifusión U1 para transportar este tráfico a través de la red VoIP de unidifusión. Una vez que se recibe unidifusión en el otro lado, se asigna a la dirección de multidifusión M2 (isla de multidifusión 2). Los enlaces de conexión M1: U12: M2 se muestran en la figura 2.5.



Figura 2. 5: Conexión de troncales M1-U12-M2.

Fuente: (Cisco, 2011)

Para cumplir con los troncales de conexión M1: U12: M2, la tarjeta de voz VIC3-2MFT T1 / E1 se utiliza para enviar tráfico de multidifusión a través de la conexión de unidifusión. Esto se logra mediante el uso de un cable de bucle de retorno físico entre los puertos en la tarjeta T1 / E1 (conectando los pares DS0 0/0: 0 y 0/1: 0) (Cisco, 2011). Para la solución RoIP del sistema del sistema, los enlaces troncales M1: U12: M2 se utilizan para interconectar el núcleo a varias agencias y departamentos que no tienen multidifusión habilitada de extremo a extremo.

2.10. Túneles GRE con encriptación Ipsec.

2.10.1. Túneles de encapsulación de enrutamiento genérico (GRE)

La tunelización proporciona el mecanismo que transporta paquetes de un protocolo dentro de otro protocolo. El protocolo que se ha transportado se denomina protocolo “passenger” (pasajeros) y el protocolo que se utiliza para transportar el protocolo “passenger” se denomina protocolo de transporte. Además, los túneles tienen un protocolo de transporte que se utiliza para encapsular el protocolo passenger.

Los túneles GRE utilizan el protocolo IP como el protocolo de transporte y se pueden usar para transportar muchos otros protocolos passenger. Los túneles son enlaces virtuales punto a punto que tienen la fuente del túnel y las direcciones de destino del túnel en cada punto final. Desde la perspectiva del sistema de sistemas RoIP, los túneles GRE con cifrado IPsec se utilizan para habilitar y asegurar el tráfico de multidifusión a través de redes WAN de unidifusión que proporciona un proveedor externo.

Por ejemplo, los proveedores de redes WAN como Bell, Telus y AT&T WAN en la actualidad no admiten tráfico de multidifusión a través de los circuitos IP de MPLS y, por lo tanto, los túneles GRE se utilizan para encapsular el tráfico de voz de multidifusión en unidifusión para el transporte entre puntos finales. (Cisco, 2016)

Por lo tanto, el tráfico de multidifusión es el protocolo passenger, y se utiliza unidifusión como el protocolo del operador para encapsular el tráfico de multidifusión y la IP se utiliza como protocolo de transporte. La solución del sistema de sistemas RoIP implementa túneles GRE en una arquitectura de radios de hub donde el hub es el núcleo del sistema de sistemas y los sitios de radios son agencias o departamentos que están interconectados al núcleo.

2.10.2. IPsec

La seguridad de protocolo de Internet (IPsec) es un conjunto de protocolos que brindan seguridad criptográfica de capa de red a las comunicaciones de Internet en la capa IP. IPsec se utiliza para proporcionar

seguridad de la puerta de enlace a la puerta de enlace (entre dos ubicaciones) o de la seguridad de la puerta de enlace del host remoto (empresa), pero también puede proporcionar seguridad de extremo a extremo o de host a host.(Cisco, 2013)

La trama de IPsec está estandarizada y, por lo tanto, no está vinculado a ningún producto de un proveedor específico. Se puede encontrar en enrutadores, firewalls y en escritorios de clientes como Windows y Mac. IPsec proporciona una gran escalabilidad ya que fue diseñado para adaptarse a los requisitos de las grandes empresas y cuenta con una gestión de claves criptográficas incorporada.

En términos de implementación de la solución del sistema de sistemas RoIP, IPsec se utiliza para asegurar el tráfico de multidifusión en los túneles GRE que conectan los puntos finales del sistema de sistemas a través de una WAN de terceros.

2.11. Características de línea base.

Para garantizar que el núcleo del sistema de sistemas RoIP proporcione una red troncal IP que permita interoperar con éxito entre varios sistemas de radio, cada sistema de radio se puede probar para determinar qué características de la red se requieren para que las radios envíen o reciban con éxito el tráfico de VoIP. Las características de la red a determinar son:

- Ancho de banda de red / un canal (Kbps)
- Protocolo de transporte (UDP, TCP, RTP, RTCP)
- Número de puerto de protocolo
- Retardo
- Jitter
- Paquete perdido
- Códecs de compresión

Para emular las condiciones reales de la red y para variar la variable de red bajo prueba (ancho de banda, retardo, fluctuación de fase y pérdida de paquetes), se debe utilizar el emulador WANem. El emulador WANem es una

herramienta de emulación de red para emular impedimentos en redes IP. (Kalitay & Nambiarz, 2011)

Para la solución del sistema de sistemas RoIP, se indicó que se debe utilizar el software WANem para la emulación de la peor condición posible en la red, de modo que se pueda determinar el ancho de banda mínimo, el retardo aceptable, el jitter y la pérdida de paquetes para una comunicación VoIP confiable para cada sistema de radio.

Para permitir que los sistemas de radio interactúen a través del núcleo de la red troncal IP del sistema de sistemas RoIP, es importante encontrar un códec de compresión compatible. De lo contrario, si se tiene una discrepancia en el códec de voz de compresión, la comunicación de voz fallaría. Por lo general, para la solución del sistema de sistemas RoIP se utiliza siempre el códec G.711 que resulta ser el más adecuado para proporcionar la mejor calidad de voz.

Una de las preocupaciones más importantes para la comunicación de misión crítica es el retardo general del sistema RoIP. Por ejemplo, el códec G.711 en comparación con G.729 crea 25 ms menos de retardo por muestra, sin degradación de la calidad de la voz debido a la transcodificación y la pérdida de paquetes tiene menos impacto en la calidad de la voz.

El códec G.711 o el códec de modulación de impulsos codificados (*Pulse Code Modulation, PCM*) son los esquemas de codificación de voz más populares para la codificación digital de formas de onda y se utiliza generalmente para la codificación de señales de voz que no tienen carácter estacionario (Kalitay & Nambiarz, 2011). El códec G.711 se basa en estándares y cumple con las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Telecomunicaciones (UIT-T).

El códec G.711 utiliza un esquema de modulación de código de impulsos que funciona a una frecuencia de muestreo de 8 KHz con 8 bits/muestra y, por

lo tanto, codifica el audio en un canal de 64 Kbps. Es importante saber esto para poder planificar la asignación de ancho de banda para canales de voz.

En la figura 2.3, se pueden ver tres partes principales para convertir la señal analógica a digital: muestreo y mantenimiento, cuantización y codificación. El algoritmo PCM sigue el mismo procedimiento, mientras que la cuantización se puede dividir en cuantificación uniforme y no uniforme. La cuantificación no uniforme proporciona un gran algoritmo para la codificación de voz no catiónica (es decir, la voz) (Kalitay & Nambiarz, 2011). El códec G.711 viene en dos variedades diferentes G.711 μ -Law y G.711 A-Law. Las compresiones μ -Law y A-Law se definen mediante las ecuaciones 2.1 y 2.2, respectivamente:

- μ -Law:

$$y(n) = F[x(n)] = X_{max} \frac{\ln(1+\mu \frac{x(n)}{X_{max}})}{\ln(1+\mu)} \operatorname{sgn}[x(n)]$$

Donde, $X(n)$ representa una muestra de la señal de entrada, y (n) representa una señal de salida después de comprimir y transformar, X_{max} es la amplitud máxima de la señal de voz de entrada, μ es un valor constante que representa el grado de compresión. Por lo tanto, la mayor μ significa mayor compresión.

- A-Law:

$$y(n) = F[x(n)] = \begin{cases} \frac{A|x(n)|}{1+\ln A} \operatorname{sgn}[x(n)], & 0 \leq \frac{|x(n)|}{X_{max}} \\ X_{max} = \frac{1+\ln[\frac{x(n)}{X_{max}}]}{1+\ln A} \operatorname{sgn}[x(n)] \end{cases}$$

Donde, A representa el parámetro de compresión y $|x|$ es el entero normalizado a comprimir.

La principal diferencia entre G.711 μ -Law y G.711 A-Law está en el número de bits que utiliza el códec para codificar muestras de audio PCM. G.711 μ -Law codifica muestras de audio PCM lineales de 14 bits y G.711 A-Law codifica muestras de audio PCM lineales de 13 bits en muestras

logarítmicas de 8 bits. G.711 A-Law requiere menos potencia de procesamiento informático. Mientras que, G.711 μ -Law se utiliza principalmente en Norteamérica y Japón y G.711 A-Law se emplea en la mayoría de los otros países de Latinoamérica. El sistema de sistemas RoIP utiliza el códec G.711 μ -Law.

2.12. Calidad de servicio (QoS)

La implementación de RoIP sobre WAN requiere que la calidad de servicio (*Quality of Service, QoS*) sea habilitada a través de la red. Una de las razones es que la voz se usa a veces en operaciones de misión crítica y, como se explicó anteriormente, los segundos pueden evitar la pérdida de vidas, infraestructura y propiedades. Por lo tanto, es importante asegurarse de que la voz haya garantizado la prioridad más alta en la red sobre otro tipo de tráfico, como video, datos, transferencia de archivos, etc.

El protocolo de Internet versión 4 (IPv4) originalmente se definió para tener cuatro mecanismos claves para brindar varios servicios: (a) tipo de servicio, (b) tiempo de vida, (c) opciones y (d) cabecera de comprobación. El encabezado de IPv4 se describe en la figura 2.6.

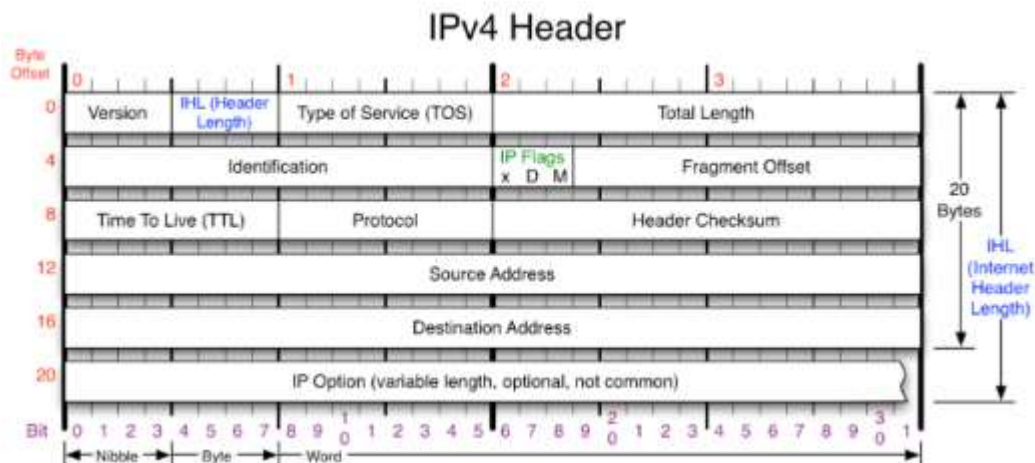


Figura 2. 6: Encabezado IPv4.

Fuente: (Trinchet, 2015)

El tipo de mecanismo de servicio se utiliza para proporcionar la capacidad de seleccionar la calidad del servicio que se desea. Las puertas de enlace utilizan el campo de tipo de servicio para seleccionar los parámetros

de transmisión deseados para una red particular al enrutar un datagrama de Internet. El IPv4 TOS Byte se muestra en la figura 2.7.

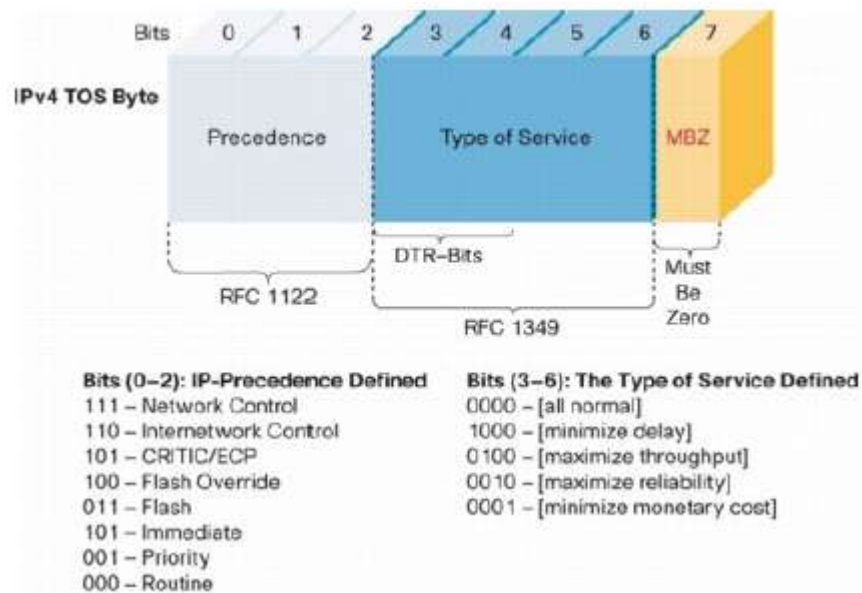


Figura 2. 7: IPv4 TOS Byte.
Fuente: (Egbenyon, 2011)

Para habilitar QoS de extremo a extremo en la red IP, el Grupo de trabajo de ingeniería de Internet (IETF) ha definido dos modelos:

- a. servicios integrados (IntServ)
- b. servicios diferenciados (DiffServ).

IntServ proporciona un modelo de QoS señalado que utiliza la señalización de extremo a extremo (end-to-end), el mantenimiento del estado para cada flujo y el control de admisión en cada elemento de la red. En el modelo IntServ QoS, los hosts finales le indican a la red qué QoS necesitan y/o esperan. Mientras, que DiffServ proporciona un mecanismo de QoS mucho más simple en comparación con IntServ para clasificar el tráfico en diferentes clases, ya que elimina la necesidad de un estado por flujo y la señalización en cada salto.

También, DiffServ proporciona un modelo de QoS provisto donde los elementos de la red (es decir, las pasarelas) están configurados para dar servicio a múltiples clases de tráfico que tienen diferentes requisitos de QoS. Estas clases también se conocen como clase de servicio (*Class of Service*,

es especialmente importante para las redes que transportan voz de misión crítica, por lo que, en caso de configuración en la red, la voz tiene prioridad sobre el correo electrónico, video y etc. La QoS de VoIP a través de redes LAN utilizan el modelo de DiffServ QoS y las VLAN para separar el tráfico de voz de otro tipo de tráfico presente en la red.

2.12.2. QoS en redes de área amplia (WANs)

La red de área amplia (WAN) conecta varias redes LAN que son propiedad de agencias y departamentos, generalmente la proporciona un tercero. La QoS sobre redes WAN de terceros generalmente se solicita como parte del acuerdo de nivel de servicio (*Service Level Agreement, SLA*) entre una agencia/departamento y un proveedor de WAN de terceros. En el SLA, la agencia/departamento solicita una QoS a través de la red para habilitarla de tal manera que el tráfico sobre la WAN se priorice según las necesidades de la agencia/departamento.

Para una comunicación de radio sobre IP confiable a través de la WAN de terceros (como BELL/Telus/AT&T), este trabajo sugiere que los mapas de clase de la red de QoS se puedan implementar de la siguiente manera (en orden de importancia):

- Clase: VOZ, Prioridad: Máxima: ejemplo: Tráfico de radio sobre IP.
- Clase: VIDEO, Prioridad: Alta: ejemplo; videoconferencias y transmisión de video.
- Clase: CONTROL DE RED, Prioridad: Media: ejemplo: control del tráfico, como el acceso a los enrutadores por parte del personal de mantenimiento.
- Clase: Señalización de llamada, Prioridad: Media: ejemplo: teléfonos SIP.
- Crítico: Aplicaciones importantes.
- Clase: DATOS PRIORITARIOS, Prioridad: Baja-Media: ejemplo: consulta de base de datos de agencia/departamento.
- Clase: DATOS, Prioridad: Baja: ejemplo: correo electrónico, Internet.

- Clase: Clase predeterminada, Prioridad: Más baja: ejemplo: transferencia de archivos FTP.

Es importante señalar que los proveedores WAN de terceros (tales como Telus/Bell/AT&T) proporcionan un 40% de QoS garantizada. Esto significa que de un ancho de banda del circuito 100% ordenado, el proveedor garantiza una disponibilidad del 40% en cualquier momento. Es importante saber esto cuando se planifica la asignación de ancho de banda para los canales de radio sobre IP.

Desde la perspectiva del sistema RoIP para calcular el ancho de banda por canal de voz, se deben entender los siguientes requisitos: códec (G.711), carga útil de voz, encabezados, número de paquetes enviados, cabecera de capa 2, y cifrado. Por lo tanto, la cantidad de ancho de banda consumida por cada llamada VoIP se puede calcular:

$$BW = (160 + 40 + 4 + 16) * 50 = 88 \text{ kbps}$$

Durante pruebas para una comunicación de voz confiable en condiciones de red del mundo real (es decir, cambio en el retardo, jitter y pérdida de paquetes) el ancho de banda real debe ser 128 Kbps. Dado que los proveedores WAN externos garantizan el 40% de la calidad del servicio, se recomienda asignar un 60% más de ancho de banda para garantizar que se asigne un ancho de banda de 128 Kbps por canal de voz para la comunicación de voz en cualquier momento dado.

2.13. Servidores de aplicaciones.

En esta sección se describen implementaciones de sistemas RoIP a través de dos servidores de aplicaciones RoIP estándar para la administración de canales y la conferencia/mezcla: sistema de colaboración e interoperabilidad IP (IPICS) de Cisco Systems y de ondas.

2.13.1. Sistema de colaboración e interoperabilidad IP (IPICS)

El sistema de colaboración e interoperabilidad IP (*IP Interoperability and Collaboration System, IPICS*) de Cisco permite que varios puntos finales de

radio se comuniquen a través de una red IP. El equipo IPICS de Cisco aloja llamadas de conferencia de radio virtual mediante la creación de grupos de conversación virtual (*Virtual Talk Groups, VTG*) para facilitar las comunicaciones de pulsar para hablar (PTT) entre usuarios de múltiples tecnologías y tipos. Cada canal de radio se puede asignar al grupo de conversación deseado. Los grupos de conversación pueden predefinirse o crearse sobre la marcha.

El servidor IPICS de Cisco es una plataforma basada en el sistema operativo Linux con seguridad mejorada, instalada en el servidor de plataforma multiservicio (basado en hardware). Otros componentes de IPICS incluyen la consola de despacho IPICS (*Ipics Dispatch Console, IDC*) de Cisco, el cliente móvil, el cliente de teléfono IPICS de Cisco, las vistas operativas de IPICS de Cisco, las pasarelas de radio móvil terrestre (*Land Mobile Radio, LMR*) de Cisco, el servidor de medios unificado y protocolo de inicio de sesión de las puertas de enlace de telefonía. El servidor IPICS de Cisco proporciona servicios de configuración, administración y seguridad. En la figura 2.9 se describe la plataforma IPICS de Cisco.

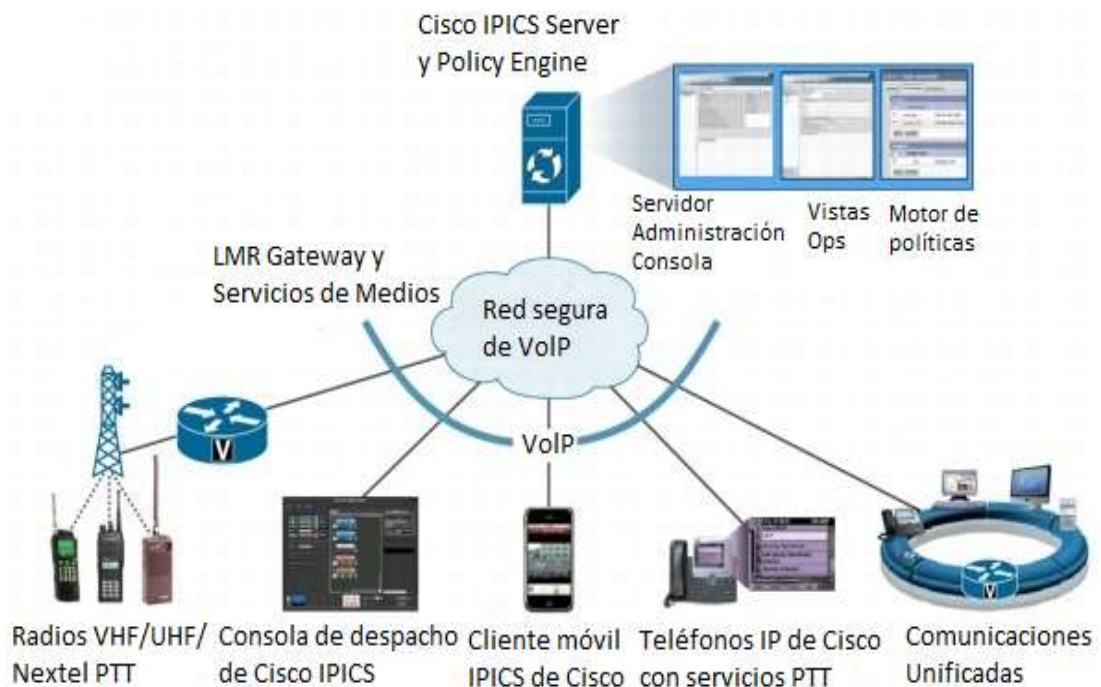


Figura 2. 9: Plataforma de interoperabilidad IPICS de Cisco.

Fuente: (Cisco, 2013)

Con el propósito de comprobar la interoperabilidad de la voz en el sistema RoIP se recomienda el uso de los siguientes componentes de la plataforma IPICS: servidor IPICS, consola de despacho IPICS (IDC), radio móvil terrestre (enrutador con tarjeta de voz VIC3-2E & M), puertas de enlace (gateways) y servidor de medios unificados (*Unified Media Server, UMS*). Por ejemplo, el servidor IPICS y el servidor de medios unificados son centralizados en el centro del sistema y las puertas de enlace de radio móvil terrestre (LMR)/consola de despacho de IPICS (IDC) deben ubicarse dentro de varias agencias/departamentos para administrar canales de radio/grupos de conversación.

2.13.2. Plataforma de interoperabilidad Wave.

Otra plataforma de interoperabilidad que se utiliza para albergar conferencias de canal de radio y para proporcionar capacidad de gestión de canal de radio en tiempo real es la plataforma de interoperabilidad Wave proporcionada por Twisted Pair. Wave es una plataforma basada en software y un conjunto de aplicaciones que aloja y administra canales de radio y conferencias de canales de radio utilizando tecnologías de voz sobre IP.

La plataforma de interoperabilidad Wave tiene servidores centrales denominados servidor de administración de Wave, servidor de dominio de Wave y servidor de medios de Wave que proporcionan un mecanismo de control y capacidad para manipular el audio (recibir, procesar y transmitir) de diferentes tecnologías de comunicación, incluida la radio de dos vías.

El servidor de administración de Wave es una aplicación basada en la web que proporciona servicios de configuración para sistemas de Wave, servicios de administración y seguridad para el dominio de Wave y se puede alojar en Windows Server 2003 SP2 o Windows Server 2008 R2 System. El servidor de dominio de Wave es un servidor de administración que controla una colección de componentes de Wave.

El servidor de medios de Wave permite que los dispositivos no basados en IP, como la radio de dos vías, se comuniquen a través del dominio de

Wave. El servidor de medios Wave convierte secuencias de audio (es decir, voz) en paquetes IP y viceversa. El servidor de medios de Wave crea parches entre las transmisiones de audio de diferentes sistemas de radio (conferencia de canales de radio). Los parches se pueden predefinir y crear sobre la marcha. (Motorola, 2016)

El sistema Wave también tiene varios clientes Wave, como la consola de despacho Wave, está permite a los usuarios manipular canales de radio como el parcheado de canales de radio (conferencia). La figura 2.10 muestra la plataforma de interoperabilidad de Wave.

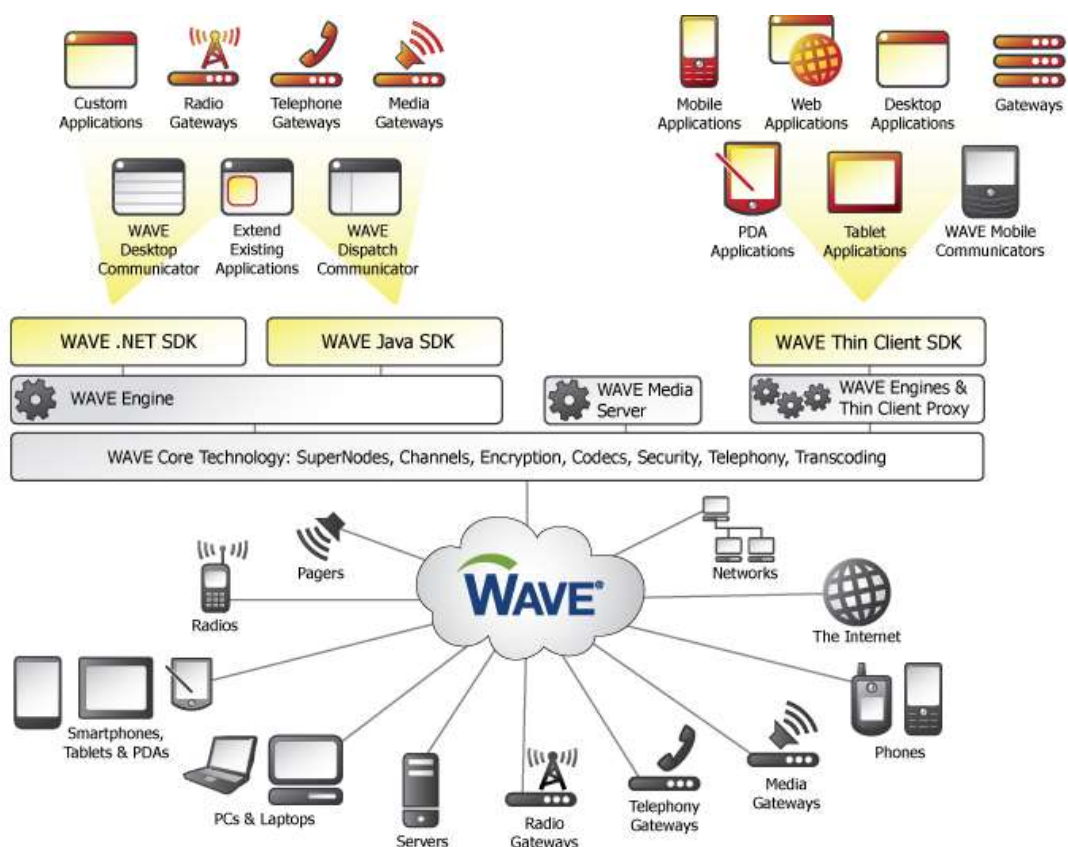


Figura 2. 10: Plataforma de interoperabilidad de ondas.
Fuente: (Motorola, 2016)

2.14. Bandas de frecuencia.

En el presente análisis de las comunicaciones móviles para la radiocomunicación para el modelo de radio DGM 8000, el mismo utiliza las bandas de muy alta frecuencia (*Very High Frequency, VHF*), ultra alta frecuencia (*Ultra High Frequency, UHF*) de banda 1, banda 2 y banda 8000/900

- VHF: está comprendida en la banda de los 30 a los 300 MHz, utilizada para la radio comunicación, radio en FM y para canales de televisión. Por lo general las antenas para la transmisión se colocan en las partes altas de manera que se evite los obstáculos. Tiene una longitud de onda de 10m (Fondear, S.L., 2007).
- UHF: trabaja en la banda de frecuencia de los 300 a los 3000 MHz, se utilizan en las comunicaciones móviles, radio enlace y televisión. Se caracteriza por una longitud de onda 1m a 0,1 m

2.15. Radios Motorola DGM 8000.

Los radios Motorola DGM 8000 disponen de características que lo hace uno de los más utilizados en el medio, dentro de ello se pueden mencionar:

- ✓ Calidad de audio optima, eliminado ruido externo.
- ✓ Geolocalización mediante una funcionalidad GPS incorporada.
- ✓ Capacidad de manos libres mediante Bluetooth
- ✓ Trabaja mediante tecnología de transmisión acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)
- ✓ Permite escalabilidad de usuarios.

Las especificaciones del sistema de transmisión, frecuencias, potencia se detallan en la siguiente figura 2.10.

RECEPTOR				TRANSMISOR				
	VHF	UHF Banda 1	UHF Banda 2	800/900	VHF	UHF Banda 1	UHF Banda 2	800/900
Frecuencias	136-174 MHz	463-470 MHz	450-502 MHz	806-870 MHz 896-941 MHz	136-174 MHz	463-470 MHz	450-502 MHz	806-870 MHz 896-941 MHz
Espaciamiento de canal	12.5 kHz / 25 kHz*			806-870 MHz 12.5/25 kHz* 896-941 MHz 12.5 kHz	12.5 kHz / 25 kHz*			806-870 MHz 12.5/25 kHz 896-941 MHz 12.5 kHz
Estabilidad de frecuencia (-30°C, +60°C, +25°C Ref)	± 0.5 ppm							
Sensibilidad analógica (12dB SINAD)	0.3µV 0.2µV (typical)							
Sensibilidad digital	9% BER @ 0.25µV (0.19µV typical)			5% BER @ 0.3µV				
Intermodulación (TIAB30)	70 dB			75 dB				
Selektividad de canal adyacente (TIAB30)	50 dB @ 12.5 kHz 50 dB @ 25 kHz*	50 dB @ 12.5 kHz 75 dB @ 25 kHz*						
Rechazo espurio (TIAB30)	80 dB			75 dB				
Audio nominal	3 W (Interco) 7.5 W (Externo - 8 Ohm) 13 W (Externo - 4 Ohm)							
Distorsión de audio en audio nominal	3% (typical)							
Interferencia y ruido	-40 dB @ 12.5 kHz / -45 dB @ 25 kHz*							
Respuesta armónica	TIAB30							
Emisión espúrea conducida (TIAB30)	-57dBm							
Frecuencia de modulación	± 2.5 kHz @ 12.5 kHz / 5.0 kHz @ 25 kHz*							
Interferencia y ruido de FM	-40 dB @ 12.5 kHz / -45 dB @ 25 kHz*							
Emisión conducida radiada	-30 dBm < 1 GHz / -30 dBm > 1 GHz							
Potencia de canal adyacente	60 dB @ 12.5 kHz / 70 dB @ 25 kHz*			50 dB @ 12.5 kHz 60 dB @ 25 kHz*				
Respuesta armónica	TIAB30							
Distorsión de audio	3%							
Modulación FM	12.5 kHz: 1500Hz / 25 kHz*: 1800Hz 12.5 kHz Data Only: 7600Hz & 7600Hz							
Modulación digital @ 12.5 kHz	12.5 kHz Voice: 7600Hz & 7600Hz Combinación de voz y datos: 12.5 kHz: 7600Hz							
Tipo de modificador digital	AMBE+2™							
Protocolo digital	ETS TO 102 365-1, -2, -3							

Figura 2. 11: Características Radio Motorola DGM 8000

Fuente: (Motorola, 2014)

Características en el receptor y en el transmisor como se ilustra en la figura 2.12.

RECEPTOR				TRANSMISOR				
	VHF	UHF Banda 1	UHF Banda 2	800/900	VHF	UHF Banda 1	UHF Banda 2	800/900
Frecuencias	136-174 MHz	403-470 MHz	430-512 MHz	806-870 MHz 896-941 MHz	136-174 MHz	403-470 MHz	430-512 MHz	806-870 MHz 896-941 MHz
Espaciamento de canal		12.5 kHz / 25 kHz*		806-870 MHz 12.5/25 kHz* 896-941 MHz 12.5 kHz		12.5 kHz / 25 kHz*		806-870 MHz 12.5/25 kHz 896-941 MHz 12.5 kHz
Estabilidad de frecuencia (-30°C, +60°C, +25°C Ref)				± 0.5 ppm				± 0.5 ppm
Sensibilidad analógica (12dB SINAD)				0.3µV 0.23µV (typical)				
Sensibilidad digital				5% BER @ 0.25µV (0.19µV typical)				5% BER @ 0.3µV
Intermodulación (TIAB33)				78 dB				75 dB
Selectividad de canal adyacente (TIAB33)	50 dB @ 12.5 kHz 80 dB @ 25 kHz*	50 dB @ 12.5 kHz 75 dB @ 25 kHz*						
Rechazo espúreo (TIAB33)	80 dB	75 dB						
Audio nominal	3 W (Interno) 7.5 W (Externo - 8 ohms) 13 W (Externo - 4 ohms)							
Distorsión de audio en audio nominal				3% (typical)				
Interferencia y ruido				-40 dB @ 12.5 kHz / -45 dB @ 25 kHz*				
Respuesta acústica				TIAB33D				
Emisión espúrea conducida (TIAB33)				-57dBm				
Frecuencias								
Espaciamento de canal								
Estabilidad de frecuencia (Ref: -30°C, +60°C, +25°C)								
Baja potencia de salida	1-25 W							
Alta potencia de salida	25-45 W		1-40 W					806-870MHz 10-25W 896-941MHz 10-30W
Restricción de modulación				± 2.5 kHz @ 12.5 kHz / ± 5.0 kHz @ 25 kHz*				
Interferencia y ruido de FM				-40 dB @ 12.5 kHz / -45 dB @ 25 kHz*				
Emisión conducida radiada				-30 dBm < 1 GHz / -30 dBm > 1 GHz				
Potencia de canal adyacente				60 dB @ 12.5 kHz / 70 dB @ 25 kHz*				50 dB @ 12.5 kHz / 60 dB @ 25 kHz*
Respuesta acústica				TIAB33D				
Distorsión de audio				3%				
Modulación FM				12.5 kHz: 1000P3 / 25 kHz*: 1000P3E				
				12.5 kHz Data Only: 7000P10 & 7000P3E				
Modulación digital 4FSK				12.5 kHz Voice: 7000P1E & 7000P3E				
				Combinación de voz y datos (12.5 kHz): 7000P1W				
Tipo de procesador digital				AMBE+2™				
Protocolo digital				ETS TS 102 367-1, -2, -3				

Figura 2. 12: Características DGM Receptor y Transmisor
Fuente: (Motorola, 2014)

Capítulo 3: Sistema de comunicación Radio sobre IP (RoIP)

3.1. Radio sobre IP (RoIP).

La tecnología de Radio sobre IP (Radio Over IP, RoIP) es un equipo electrónico que permite convertir la comunicación de las señales de radio PTT (push to talk) a señales digitales, transformando el audio en paquetes para que puedan ser transmitidos sobre una red de datos. Una característica fundamental es que el audio sea transmitido en tiempo real, y que las señales de radio PTT (push to talk) puedan ser emitidas a los terminales. La capacidad de permitir interconectar varios radios a través de la red de datos es una de las ventajas de este tipo de tecnología.

3.2. Equipos de Radio sobre IP.

Existen en el mercado algunos modelos de equipos RoIP que permiten interconectar diferentes modelos de radio. Para ello se describen en las siguientes subsecciones las características del equipo y sus especificaciones.

3.2.1. Model 6300 RoIP Gateway.

El equipo Model 6300 RoIP es un producto de la marca Zetron, es una Gateway que permite la comunicación de radio sobre IP. Adicional, está tiene las características de transportar las señales de voz tanto analógicas como digitales. A continuación, se enuncian las especificaciones del model 6300 RoIP:

- ✓ Transporte de voz, entrada y salida mediante PTT/COR.
- ✓ Manejo de tonos.
- ✓ Uso del protocolo TCP y UDP para redes de datos.
- ✓ Compatible con RTP grabadores de audio.
- ✓ Voltaje necesario 12 Voltios DC.
- ✓ Configuración amigable al usuario vía Web.
- ✓ Cable de comunicación entrada salida de datos RS-232.
- ✓ Compatible con consolas y remotos de la marca Zetron.

En la figura 3.1 se puede observar el equipo model 6300 RoIP Gateway de la marca Zetron.



Figura 3. 1: Equipo Zetron
Fuente: (Luján Correa & Castañeda Hernández, 2012)

3.2.2. Equipo RoIP 102 y 302.

Este tipo de modelo de equipo RoIP es utilizado para enlazar radios de diferentes marcas a través de la red de datos o puede trabajar con la red celular. Para su funcionamiento debe disponer de una red con cero tolerancias a fallos por que funcione correctamente. Los equipos RoIP, no disponen de una consola de integración y se necesita de implementación adicional para su operación e interconexión en diferentes redes y estaciones de radio. En la figura 3.2 se presenta el equipo RoIP 102.



Figura 3. 2: Equipo RoIP 102
Fuente: (Davantel, 2018a)

El modelo de equipo RoIP 302 tiene algunas características adicionales al RoIP 102, dispone de tres puertos de interconexión de manera simultánea de radios en diferentes frecuencias y un módulo de sistema global para las comunicaciones móviles (Global System for Mobile communications, GSM). Permite realizar llamadas desde una radio base a un teléfono IP. En la figura 3.3 se presenta el equipo RoIP 302.



Figura 3. 3: Equipo RoIP 302
Fuente: (Davantel, 2018b)

Permite configurar grupos de comunicación a través de varios módulos de RoIP 302M, existen dos tipos de interconexión Modo punto a punto y modo de transmisión en grupo. En la figura 3.4 se presentan los esquemas de interconexión.

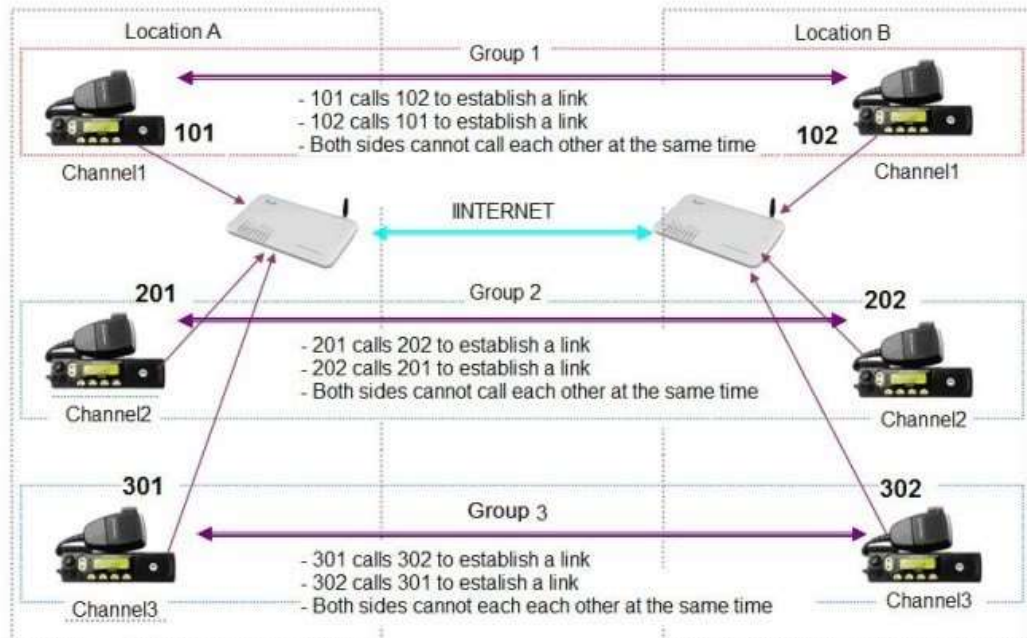


Figura 3. 4: Esquemas de conexión varios grupos RoIP 102
Fuente : (DBL, 2010)

3.3. Modelo de funcionamiento de RoIP

3.3.1. Estándares y Protocolos

Para conocer acerca del funcionamiento de los estándares del equipo RoIP es necesario hacer una descripción de voz por el protocolo de internet (*Voice over IP, VoIP*) sobre el cuales trabajan estos equipos. VoIP utiliza el medio de transmisión la red de datos para enviar la información de voz, esto lo realiza a través de ciertos protocolos y mecanismos para codificar y decodificar la voz para transformarla en paquetes.

El proceso de conversión de la voz humana a señal digital se realiza mediante protocolos definidos en la ITU-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) el cual determina la codificación pertinente, para ello se deben conocer los estándares y protocolos para el manejo del audio manejados por los equipos RoIP.

Los estándares dentro de la transformación de la voz consideran algunas características, tales como, el canal de comunicación, el ancho de banda, la eliminación del ruido, y supresión del silencio. Así se pueden representar cada uno de los ítems que se considera en base a la tabla 3.1 con la descripción de los ítems:

Tabla 3. 1: Estándares dentro de la transformación de voz

Ítem	Descripción
Bit rate (kbps)	Cantidad de información que se envía por segundo
Sampling rate (kHz)	La frecuencia que se obtienen la señal vocal o emisor.
Frame size (ms)	Tiempo en milisegundos que se envía los datos con la señal de voz.
MOS (Mean Opinion Score)	El códec con la respectiva representación de calidad (1 a 5)

Fuente: Elaborado por el Autor

Además, para el transporte y comunicación de datos mediante estos dispositivos son establecidos mediante los protocolos de la tabla 3.2.

Tabla 3. 2: Protocolos de transmisión RoIP 102.

Nombre	Estandarizado	Descripción	Velocidad (kbps)	Tasa de muestreo (kHz)	Tamaño de la trama (ms)	Observaciones	MOS
G.711*	ITU-T	Modulación por codificación de pulsos (PCM)	64	8	Muestreada	Tiene dos versiones u-Law (US, Japón) y a-Law (Europa) para muestrear la señal	4.1
G.711.1*	ITU-T	Modulación por codificación de pulsos (PCM)	80 – 96	8	Muestreada	Mejora el códec G.711 para abarcar la banda de 50 Hz a 7 kHz	
G.721	ITU-T	Modulación por codificación de pulsos diferencial adaptativa (ADPCM)	32	8	Muestreada	Obsoleta se ha transformado en la G.726	
G.722	ITU-T	Codificación de audio de 7 kHz dentro de 64 kbps	64	16	Muestreada	Divide los 16 kHz en dos bandas cada una usando ADPCM	

G.722.1	ITU-T	Codificación a 24 y 32 kbps para sistemas sin manos con baja pérdida de paquetes	24 / 32	16	20		
G.722.2 AMR-WB	ITU-T	Código de banda ancha adaptable de múltiples velocidades (AMR-WB)	23.85/ 23.05/ 19.85/ 18.25/ 15.85/ 14.25/ 12.65/ 8.85/ 6.6	16	20	Se usa principalmente para compresión de voz en tecnología móvil de tercera generación	
G.723	ITU-T	Extensión de la norma G.721 a 24 y 40 kbps para aplicaciones en circuitos digitales	24/40	8	Muestreada	Obsoleta por G.726 es totalmente diferente de G.723.1.	
G.729**	ITU-T	Codificación de la voz a 8 kbps usando el código de estructura conjugada predicción lineal excitada (CS-ACELP)	8	8	10	Bajo retardo (15 ms)	3.92
G.729.1	ITU-T	Codificación de la voz a 8 kbps usando el código de estructura conjugada predicción lineal excitada (CS-ACELP)	8/12/ 14/16/ 18/20/ 22/24/ 26/28/ 30/32	8	10	Ancho de banda desde 50 Hz a 7 kHz	
GSM06.10	ETSI	Excitación regular del pulso – predicción a largo plazo (RPE-LTP)	13	8	22.5	Usado por la tecnología celular GSM	
LPC10	Gobierno de USA	Código predictivo lineal	2.4	8	22.5	10 coeficientes, la voz suena un poco robótica	
Speex			8, 16, 32	2.15-24.6 (NB) 4-44.2 (WB)	30 (NB) 34 (WB)		
iLBC			8	13.3	30		
DoD CELP	DoD, Gobierno de USA		4.8		30		

EVRC	3GPP2	Códec de tasa variable mejorada	9.6/4.8/1.2	8	20	Se usa en red CDMA	
DVI	Asociación multimedia interactiva (IMA)	DVI4 utiliza la modulación de código de pulso delta adaptativa (ADPCM)	32	Variable	Muestreada		
L16		Muestras de datos de audio sin comprimir	128	Variable	Muestreada		
SILK	Skype	Muestras de datos de audio sin comprimir	6 a 40	Variable	20	El códec Harmony está basado en SILK	

Fuente: (Matango, 2016)

Para la transmisión confiable, estos equipos RoIP se basan en el protocolo RTP / RCTP (*Real-time Transport Protocol, RTP Control Protocol.*), el primero permite realizar de manera confiable el envío y recepción de los datos (voz y video) a través de internet. Mientras que el protocolo RCTP permite que la información de datos de control entre el emisor y el receptor.

3.4. Seguridad RoIP

Los equipos RoIP e integradores se realiza mediante la interfaz de aire; por esta razón, es importante considerar que para la información que se curse a través de protocolos TCP/IP, por lo cual se debe considerar las siguientes medidas de seguridad respectivas:

- ✓ Crear una conexión segura, si la comunicación se establece por internet.
- ✓ Implementar una red privada virtual (Virtual Private Network, VPN) con certificados de seguridad.
- ✓ Establecer un enlace dedicado.
- ✓ Implementar un firewall para este tipo de conexión.

Capítulo 4: Diseño del Sistema de comunicación RoIP.

4.1. Infraestructura de la implementación del Sistema de RoIP

Para la implementación del sistema de RoIP en el presente trabajo de investigación se han considerado algunas opciones técnicas:

- ✓ Por ser una tecnología que se desarrolla sobre la red de datos es necesario disponer de un servidor de VoIP que sirva para la interconexión entre el terminal de radio en el origen y los destinos que puede ser otros terminales de radio o un usuario que se conecte al servidor mediante una aplicación. Para nuestro estudio se ha seleccionado el Software OpenSource Elastix.
- ✓ Servidor virtual para la implementación del servidor Elastix con características para instalar el sistema operativo Centos 6.0.
- ✓ Los equipos que se ha determinado para la integración con los radios Motorola DGM 8000 que disponen de las interfaces para la integración con el servidor de VOIP.
- ✓ Los radios Motorola DGM 8000 que dispone frecuencias de transmisión en VHF o UHF.
- ✓ Teléfonos IP que permitirán realizar la transmisión desde una estación conectada al servidor VoIP Elastix
- ✓ La red de datos con una capacidad de transmisión de 56 Kbps `para la transmisión de voz sobre IP.

En el siguiente esquema de la figura 4.1 se presenta la propuesta para la implementación del RoIP con la radio Motorola DGM 8000.



Figura 4. 1: Infraestructura de RoIP
Elaborado por: Autor.

4.2. Propuesta del Software del Servidor VOIP PBX

Elastix es un software código abierto que permite establecer una integración de las comunicaciones. El proyecto nace en el año de 2006 con el propósito de brindar una solución que abarque todas las comunicaciones existentes en el contexto empresarial.

4.2.1. Funcionalidades de Elastix

Elastix comprende diferentes funcionalidades de las cuales se puede describir las siguientes: Funciones de Central Privada Automática (*Private Branch Exchange, PBX*), Fax, Mensajería y correo electrónico. El presente caso de estudio se centra en la funcionalidad de Voz sobre Ip funcionando como PBX del cual se detallan las características más importantes como:

- ✓ Grabación de llamadas mediante una administración Web.
- ✓ Respuesta de voz interactiva (*Interactive Voice Response, IVR*) flexible y que se puede configurar.
- ✓ Servidor de asignación dinámica de direcciones (*Dynamic Host Configuration Protocol, DHCP*) para asignación dinámica de direcciones IPs para teléfonos IP.

- ✓ Soporta los protocolos de SIP, H323
- ✓ Códecs como G.711, G.722 G.723.1, entre otros.
- ✓ Interfaz de configuración vía Web.

4.2.2. Implementación del servidor Elastix

Al ser una distribución libre bajo el sistema operativo Centos, se ha realizado una revisión de las características de hardware para la instalación y correcto funcionamiento. Para ello se ha dimensionado los requisitos mínimos de hardware para la instalación del software que se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4. 1: Características de hardware Elastix

Descripción	Capacidad	Detalle
Disco	6 gigas	Instalación sistema operativo
Memoria RAM	2 gigas	Memoria interna del computador
Procesador	1.6 GHz	Procesamiento
Interfaz de red	10/100 MHz	Conectividad de la red

Elaborado por: Autor.

Una vez realizada la descripción de los requisitos mínimos de hardware, se realiza la instalación y configuración del servidor Elastix, el cual se describe a continuación:

1. Para el presente trabajo de investigación se ha considerado realizarlo sobre una máquina virtual, haciendo uso de la herramienta de virtualización Virtual Box. Por lo cual se procede a descargar el software de la dirección siguiente, figura 4.2: <https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads>



Figura 4. 2: Software Virtual Box

Elaborado por: Autor.



Figura 4. 5: Instalación Elastix
Elaborado por: Autor.

- Se configura la interfaz de red (eth0), en la versión de direccionamiento IPV4 definiendo los siguientes valores de red de acuerdo con nuestro caso de estudio.

Descripción	Parámetro
Dirección	181.196.254.15
Mascara de red	181.196.254.0
Puerta de enlace	181.196.254.15
DNS	10.131.6.7
Dominio	Elastix.com

- Configura la Zona horaria, crear el usuario super administrador y verificar que finalice la instalación.
- Verificar que esté instalado MySQL, y habilitar el usuario Root.
- Se digita en el navegador, la dirección IP de Elastix configurada (véase la figura 4.6) presentando el siguiente formulario de acceso al sistema.



Figura 4. 6: Formulario de acceso Elastix
Elaborado por: Autor.

- En el menú principal PBX, se crea las extensiones pulsando en el botón Add extensión escogiendo tipo Generic SIP Device (ver figura 4.7).

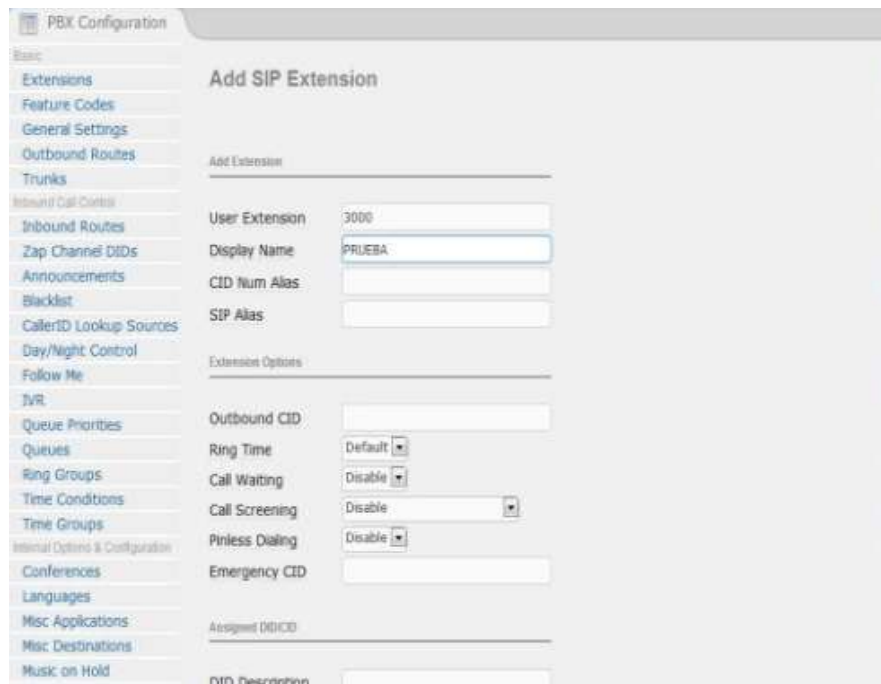


Figura 4. 7: Creación de extensiones en Elastix
Elaborado por: Autor.

Se asignan la clave de acceso de la extensión y el tono de llamada. Luego de realizar esto se pulsa el botón Summit para guardar los cambios. Se crean tantas extensiones como equipos RoIP se disponga, cada equipo manejará un usuario y será configurado luego en el equipo para la comunicación de la radio Motorola DGM 8000.

4.3. Integración de los componentes del sistema de comunicación RoIP.

En el siguiente esquema de la figura 4.8. Se presenta el esquema de comunicación de dos radios en conexión en diferentes puntos. En cada estación el equipo de radio comunicación se conecta al equipo RoIP mediante el cable de interfaz PTT. La señal Tx es la señal de transmisión y Rx es la recepción de audio.

La salida del terminal Tx se conecta al Rx del equipo y viceversa, y conectados a través de una red virtual.

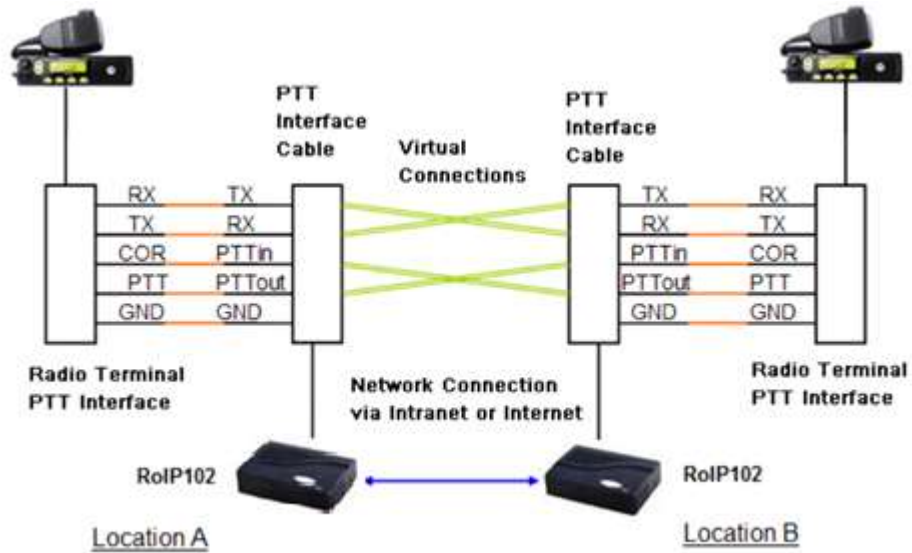


Figura 4. 8: Esquema comunicación RoIP 102
Fuente: (DBL, 2010)

4.3.1. Descripción y configuración de los componentes del sistema de Comunicación RoIP.

En base la figura 4.9, el equipo RoIP dispone de 4 puertos de conexión, de los cuales 2 puertos son RJ45 y dos puertos RJ11.

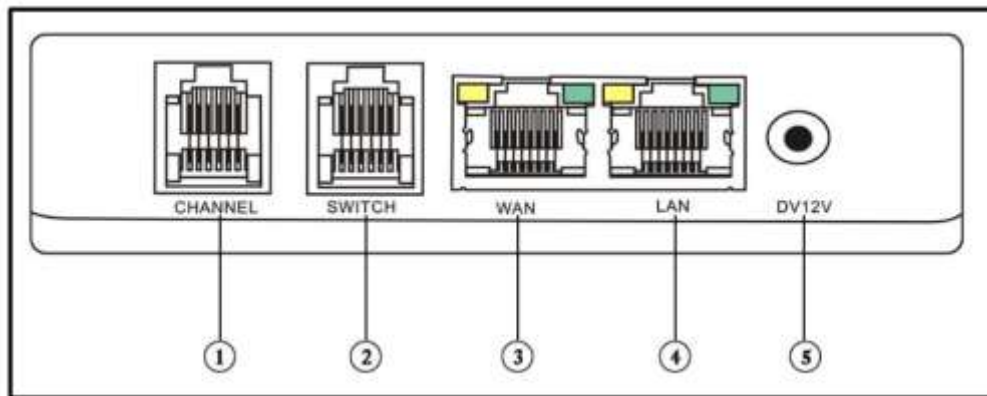


Figura 4. 9: Puertos de comunicación RoIP 102
Fuente: (DBL, 2010)

En la siguiente tabla 4.2 se realiza una descripción de cada puerto con su característica.

Tabla 4. 2: Puertos de conexión RoIP

Nº	Nombre	Descripción
1	Channel	Puerto para cable adaptador ROIP/Radio base
2	Switch	Puerto para conexión de relé 200VAC@500mA

3	WAN	Puerto de Red 10/100 base T para conexión de internet
4	LAN	Puerto de red 10/100 BaseT, mediante este puerto se configura el dispositivo.
5	Power	Puerto de conexión de fuente de poder 12VCD@2A

Elaborado por: Autor.

Mediante el siguiente esquema se describe como se debe realizar la conexión entre el puerto RJ11 y el adaptador. Entre los principales están el PPT de entrada y salida para la comunicación, figura 4.10

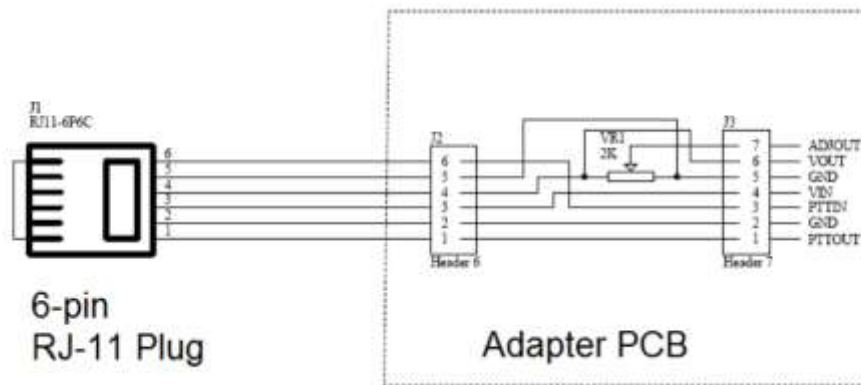


Figura 4. 10: Esquema de comunicación RJ11 con el Adaptador de la radio base
Fuente: (DBL, 2010)

Para realizar la comunicación con el equipo RoIP con la radio, se debe considerar el esquema de la figura 4.11:

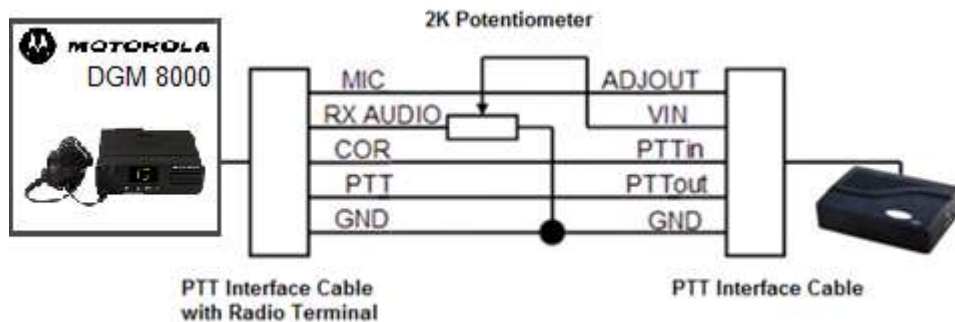


Figura 4. 11: Puertos de comunicación RoIP 102 y la radio Motorola DGM 8000
Fuente: (DBL, 2010)

4.3.2. Configuración de los componentes del sistema de Comunicación RoIP

Existen dos maneras de retornar el equipo RoIP 102 a los valores de fábrica:

1. Se mantiene presionado el botón de RESET por un lapso de 15 segundos, figura 4.12



Figura 4. 12: Botón Reset equipo RoIP 102
Elaborado por: Autor.

2. En la configuración WEB del equipo en la pestaña TOOLS se selecciona la opción RESET CONFIG, figura 4.13

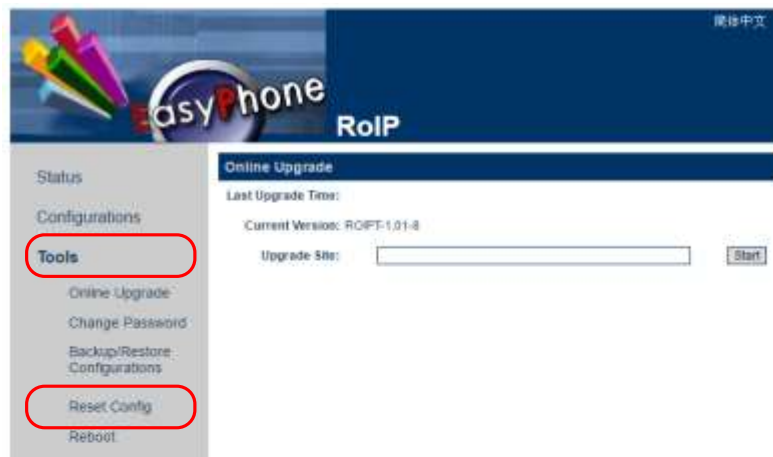


Figura 4. 13: Parámetros de fábrica desde el software del RoIP
Elaborado por: Autor.

4.3.2.1. Parámetros por defecto del equipo RoIP 102

En las especificaciones técnicas del equipo RoIP 102, se nos proporciona la información referente a los parámetros de fábrica como acceso, usuario, clave entre otros. En la siguiente tabla 4.3 se detalla la descripción de estos.

Tabla 4. 3: Parámetros por defecto RoIP 102

Ítem	Parámetro de fábrica	Nivel
Usuario	admin	
Contraseña	admin	Configurable, hasta 16 caracteres
Puerto WAN	DHCP	
Puerto LAN	192.168.8.1/24	
Estado PTT	"0" estado activo	"0" activo a bajo "1" activo a alto
Duración máxima PTT	60 s	Menor a 600 s
Jitter	60 ms	20 a 220 ms

Fuente: (DBL, 2010)

4.3.2.2. Configuración Del Equipo RoIP 102 vía Web

La configuración del equipo se la realiza a través de la conexión del dispositivo RoIP 102 a una computadora, para lo cual se utiliza un cable de red que se conecta el puerto LAN PORT y este al puerto de red del computador, figura 4.14.

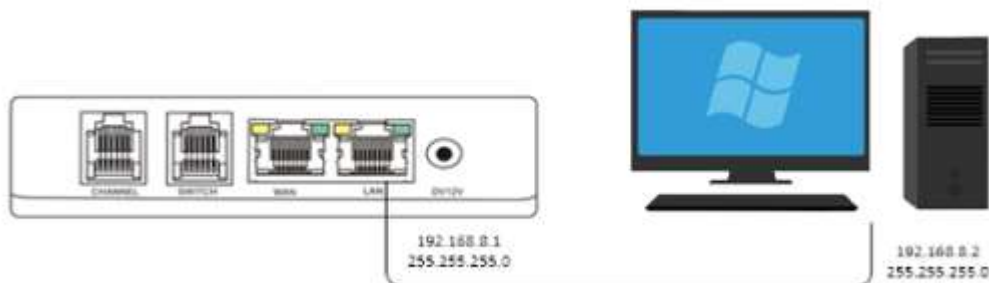


Figura 4. 14: Conexión equipo RoIP al Computador
Elaborado por: Autor.

Una vez conectado el equipo, se puede acceder a la configuración mediante un navegador web, digitando la dirección por defecto, como se muestra en la siguiente figura 4.15. Es necesario que el PC y el equipo RoIP se encuentre configurados en la misma red.



Figura 4. 15: Dirección para acceder vía Web
Elaborado por: Autor.

El sistema le presentará un formulario para el ingreso de las credenciales de acceso, figura 4.16.

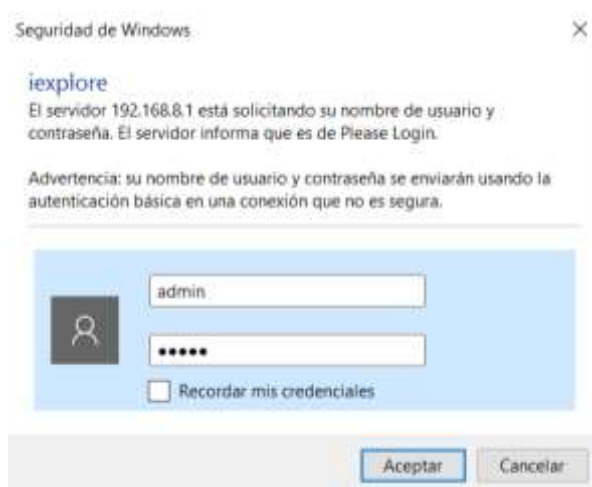


Figura 4. 16: Formulario de acceso al equipo RoIP
Elaborado por: Autor.

Luego de validar las credenciales, el sistema presenta la interfaz de configuración de red. Por defecto se despliega la ventana de Status del dispositivo. Con esto se valida la configuración por defecto que presenta el equipo, figura 4.17.



Figura 4. 17: Status del equipo RoIP
Elaborado por: Autor.

4.3.2.3. Configuración de la red en el RoIP

Para mantener la estabilidad de la conectividad del equipo RoIP 102 es necesario configurar una dirección de red estática en la interface WAN, esta puede ser obtenida directamente del administrador de red o se toma del rango de direcciones en las que está conectado el equipo RoIP, como se presenta en la figura 4.18.



Figura 4. 18: Configuraciones de red del equipo RoIP
Elaborado por: Autor.

Para configurar el direccionamiento estático, se selecciona la pestaña CONFIGURATIONS en la sección NETWORK CONFIGURATIONS donde se despliega el menú LAN PORT y se selecciona la opción STATIC IP.C. A continuación, se muestra un ejemplo de la configuración IP, figura 4.19.

Network Configuration			
LAN Port	Static IP	PC Port	Static IP
IP Address	192.168.2.197	IP Address	192.168.8.1
Subnet Mask(optional)	255.255.255.0	Subnet Mask	255.255.255.0
Default Route	192.168.2.3	DHCP Server	<input type="radio"/> Enable <input checked="" type="radio"/> Disable
Primary DNS	202.96.134.133		
Secondary DNS(optional)	202.96.128.68		

Figura 4. 19: Parámetros de configuración de red del equipo RoIP
Elaborado por: Autor.

4.3.2.4. Configuración de llamadas

Se puede conectar el equipo RoIP 102 a un servidor Proxy como SIP, es factible así mismo, conectarlo en una arquitectura de tipo punto a punto, para la presente propuesta se establece la configuración a través de un servidor SIP Proxy. Como se puede observar en la figura 4.20 el RoIP 102 puede gestionar un solo grupo de conversación GROUP 1, a este grupo se le asignan los parámetros que se configuran al crear una nueva extensión telefónica en el servidor SIP.



Figura 4. 20: Configuración de llamadas en el equipo RoIP
Elaborado por: Autor.

Tabla 4. 4: Descripción campos de Configuración de Llamada RoIP

CALL SETTINGS	Descripción
Group SIP Number	Número único asignado cuando se configura la extensión IP en el servidor SIP, cuando se utiliza la arquitectura punto a punto se debe de conocer la IP del equipo remoto al cual se desea conectar.
SIP Proxy	Campo para configurar la dirección IP pública del servidor SIP.
Auto Dial Number	Se configura este campo el equipo RoIP 102 procede a llamar a la extensión configurada una vez que termina el proceso de registro en el Servidor SIP.
Hot Line Number	Se configura este campo el equipo RoIP 102 procede a realizar la llamada en base a la configuración del campo PTT, específicamente PTT Output Release Interval(s), que indica el número de veces que debe de activar el PTT en el equipo RoIP 102 para que realice la llamada.

Elaborado por: Autor.

En la siguiente figura 4.21 se indica un ejemplo de la configuración de la extensión creada en el Servidor SIP y mediante la cual el equipo RoIP 102 se comunica con dicho Servidor y los demás equipos RoIP 102.

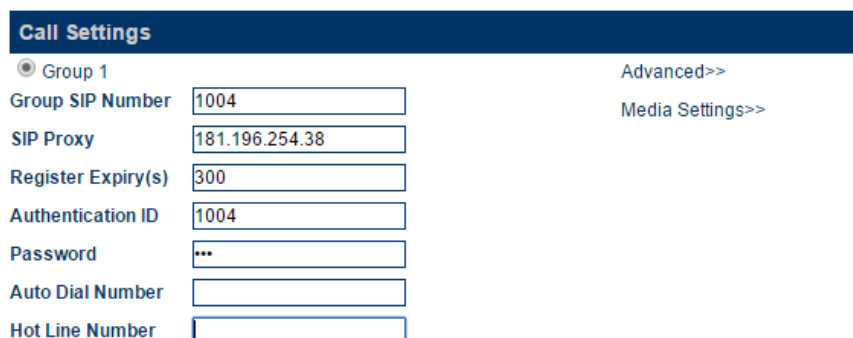


Figura 4. 21: Configuración de llamadas en el equipo RoIP
Elaborado por: Autor.

En el caso de requerir un número de auto dial o hotline se configurará en los campos AUTO DIAL NUMBER o HOT LINE NUMBER respectivamente.

4.3.2.5. Configuración de PTT

Las configuraciones del PTT permiten determinar los niveles de voltaje RMS (Sistema de Administración radio) tanto de entrada como de salida desde el RoIP hacia la radio base y viceversa.

Los niveles del voltaje se establecen en niveles lógicos de “0” (0 voltios) y “1” (5 voltios), sin embargo, en dependencia de la marca y modelo de la radio base estos pueden variar, es de suma importancia tomar en cuenta que el voltaje mínimo admitido por el RoIP 102 en la terminal de PTTin es de 0.8 voltios, voltajes superiores a este se consideran como un “1” por lo tanto el equipo no registra el evento como una entrada de PTT válida. Así se presenta en la figura 4.22.

Figura 4. 22: Configuración de PPT en el equipo RoIP
Elaborado por: Autor.

A continuación, como se detalla en la tabla 4.5, se realiza una descripción de los parámetros de configuración para el PPT.

Tabla 4. 5: Configuración del PTT en el equipo RoIP

PTT SETTINGS	Descripción
Input Active Level:	Configuración en “0” o “1” en función de los niveles de voltaje entregados por la radio base, para ello se considera que el “0” se toma como un flanco de baja y el “1” como un flanco de subida de la señal de tipo TTL.
Input Active Level:	Configuración “0” o “1” en función de los niveles de voltaje que se desee entregar a la radio base considerando que esta característica es configurable en algunas radios bases y en otras por defecto es “0”.

PTT Output Expeiry(s):	Por seguridad si el PTT permanece activo este se desactiva de manera automática en 60 segundos (se usa para precautelar la vida útil de la radio base), se recomienda no modificar el parámetro por defecto.
PTT Output Release Mode	Cuando el tiempo configurado se ha cumplido la señal PTT es pagada ya sea de manera temporal o permanente, en este campo se configura la opción Always Release cuando se desea que la señal PTT se apague permanentemente o se configura la opción Re-Active After Release para que la señal PTT se vuelva a activar una vez finalizado el PTT Output Expeiry.

Elaborado por: Autor.

4.3.3. Configuraciones de la radio Motorola DGM 8000

La radio base Motorola DGM en su parte posterior tiene un puerto auxiliar, para ello se verifica el PINOUT para realizar las conexiones hacia el RoIP102. En el caso de la marca Motorola serie DGM modelo 8000, el diagrama de conexión de la siguiente tabla 4.6.

Tabla 4. 6: Configuración del PTT en el equipo RoIP

ROIP102	MOTOROLA DGM 6100	
	# PIN Conector	Nombre PIN
ADJout	11	Tx Audio
Vout	-	-
GND	12	GND
Vin	14	Rx Audio
PTTin	19	Monitor
PTTout	17	PTTin

Elaborado por: Autor.

Es necesario revisar las especificaciones técnicas del modelo de radio para verificar el ping en la parte posterior. A continuación, se detalla los pines de modelo de radio Motorola DGM 6100 y que es compatible con el modelo Motorola DGM 8000.

N.º de pin	Nombre del pin	Función del pin	N.º de pin	Nombre del pin	Función del pin
1	USB+	USB + (datos)	14	Rx Audio	Terminal "vivo" de audio de recepción ²
2	USB-	USB - (datos)	15	AUX Audio 2	Megafonía 2
3	VBUS	Alimentación de USB (5 V del accesorio/cable USB)	16	GND	Tierra
4	USB/MAP_ID GND	Tierra de USB/MAP_ID	17	GP5-1 (PTT)	GPIO nivel 5 V, entrada PTT ¹
5	MAP_ID_2	Identificador de accesorio	18	GND	Tierra
6	MAP_ID_1	Identificador de accesorio	19	GP5-2 (Monitor)	GPIO nivel 5 V, entrada monitoreo ³
7	SW B+	Voltaje de batería conmutado	20	GP5-6	GPIO nivel 5 V
8	PWRGND	Tierra	21	GP5-3	GPIO nivel 5 V, función de actividad de canal
9	SPKR-	Parlante - (impedancia mínima de 3,2 ohmios)	22	GP5-7	GPIO nivel 5 V
10	SPKR+	Parlante + (impedancia mínima de 3,2 ohmios)	23	EMERGENCY	Entrada conmutador de emergencia
11	Tx Audio	Entrada de micrófono externo posterior ⁴	24	GP5-7	GPIO nivel 5 V
12	Audio GND	Tierra de audio	25	IGN SENSE	Detección de ignición ⁵
13	AUX Audio 1	Megafonía 1	26	VIP-1	Tolerante 12 V, GPIO 5 V, alarma externa

¹ Al llevar esta línea a tierra se activa la función de PTT y se activa la entrada AUX_MIC.

² Señal de audio recibido (independiente del nivel de volumen) de nivel fijo, incluidos los tonos de alerta. Las opciones de audio plano o de-énfasis se programan mediante el CPS. El voltaje de salida es de aproximadamente 330 mV eficaces (rms) para 1 kHz de desviación.

³ Esta entrada se usa para detectar cuándo un accesorio de micrófono posterior se retira del gancho, para anular PL a fin de avisar al usuario que el canal está ocupado antes de transmitir.

⁴ Esta señal de micrófono es independiente de la señal de micrófono en el conector de micrófono frontal. El nivel de entrada nominal es de 80 mV eficaces (rms) para una desviación del 60%. La impedancia de CC es de 660 ohmios mientras que la impedancia de CA es de 560 ohmios.

⁵ Ver la Figura 3-2 y la Figura 3-8 para obtener información sobre el cableado.

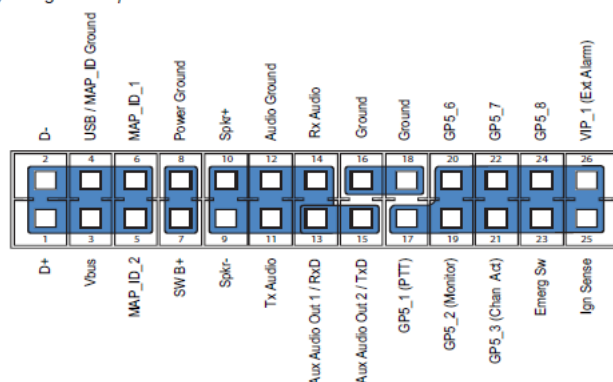


Figura 4. 23: Funciones y configuraciones ping posterior radio DGM 6100
Fuente: (Staff, 2015)

Para la implementación de la interfaz de comunicación es necesario realizar algunas configuraciones a la radio base Motorola DGM 8000. Mediante el software de configuración CPS. Se procede a configurar los parámetros de funcionamiento, de acuerdo con los siguientes pasos:

1. Dar doble clic en el icono del software CPS (ver figura 4.24).



Figura 4. 24: Software CPS
Elaborado por: Autor.

- Al momento se despliega la pantalla, y se da clic en la opción de LEER es necesario contar con el usuario y contraseña en el caso de que este restringido para el acceso.



Figura 4. 25: Lectura del dispositivo radio DGM
Elaborado por: Autor.

- En el menú desplegado, se procede a ubicar el menú de **Accesorios** como se muestra en la figura 4.26.

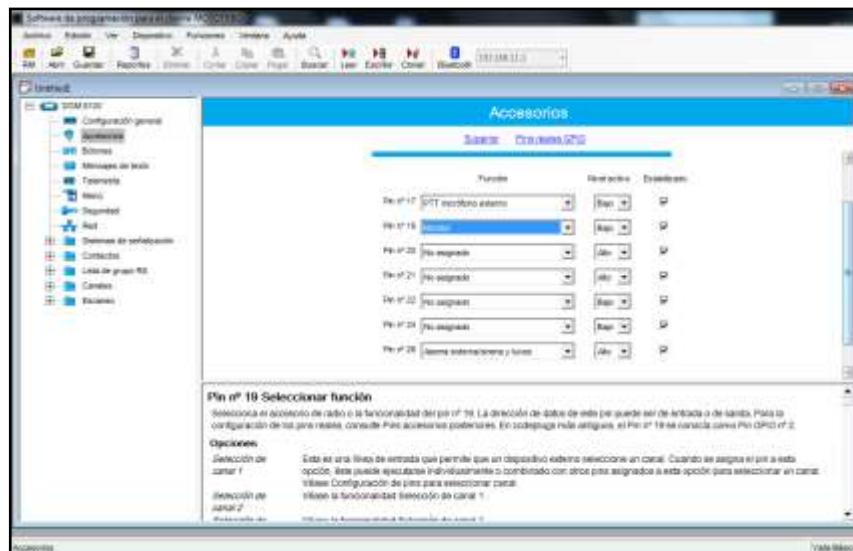


Figura 4. 26: Menús accesorios en el software CPS
Elaborado por: Autor.

- Para configura los pines del radio Motorola DGM 8000, se realiza la modificación en los pines 17 y 19, según lo mostrado en la figura 4.27.

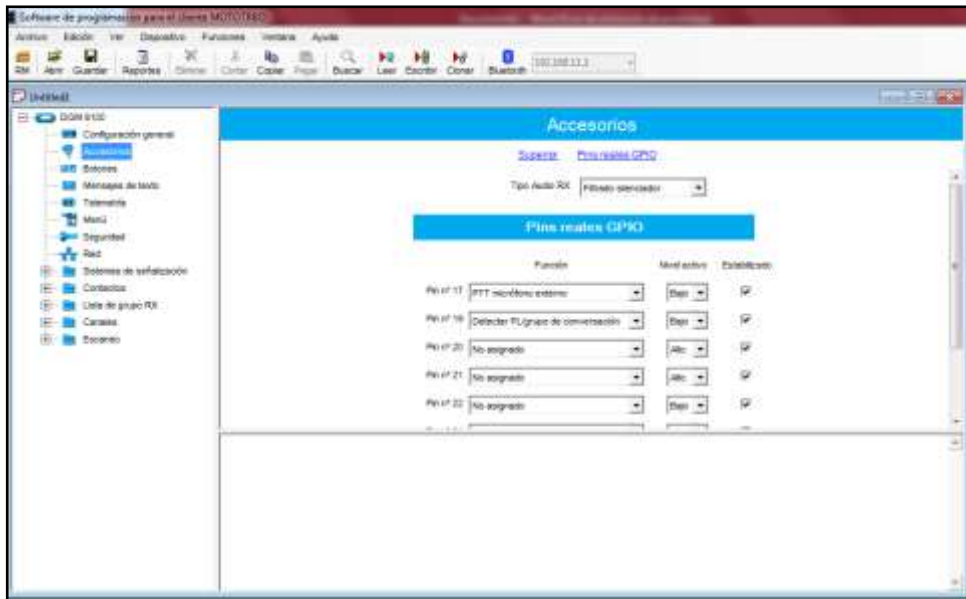


Figura 4. 27: Configuración accesorios en el software CPS
Elaborado por: Autor.

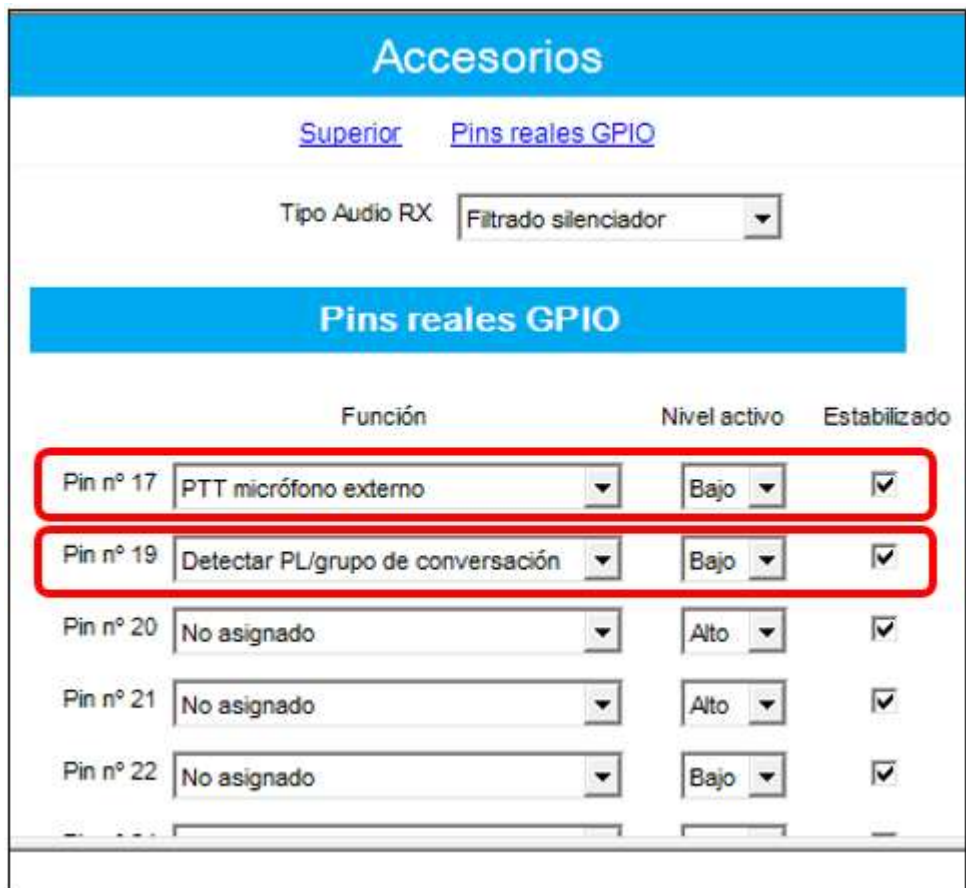


Figura 4. 28: Accesorios configuración en el software CPS
Elaborado por: Autor.

5. Tener presente los niveles activos de los pines, deben estar en concordancia con la configuración los niveles *input active Level* y *output active level* del ROIP102.
6. Una vez finalizado, se procede a dar clic en la opción de escribir, para guardar los cambios en la radio base Motorola DGM 8000 (ver figura 4.29).



Figura 4. 29: Escribir en el radio a través software CPS
Elaborado por: Autor.

4.4. Análisis de resultados

Una vez realizado las configuraciones en los equipos para este caso: Teléfono IP, App Zoiper, radio Motorola DGM8000 y equipo RoIP 102 se expone a continuación los parámetros para la realización de las pruebas respectivas.

En el servidor Elastix se crean las extensiones para los dispositivos, en este caso se ingresa al navegador Web y en panel de configuración se crean las cuatro extensiones. Se realiza la verificación de cada uno de los equipos estén conectados y disponibles, tanto en el sistema como físicamente. Comprobando que las direcciones y configuraciones estén correctas.

Es necesario descargar el software para dispositivos móviles Zoiper y se configura la cuenta con la extensión, además la dirección del servidor Elastix. Considerar que para la comunicación del Zoiper como teléfono IP se realiza mediante el teclado con 1 para PPT (TX) y presionando el 0 (RX) para recibir. Para visualizar el tráfico que se genera de la comunicación de los dispositivos, se utiliza la herramienta wireshark, esta nos permite obtener de forma didáctica la información que se transmite, tantos puertos, direcciones IP y protocolos.

Conclusiones

- El sistema de radio comunicación mediante la red troncalizada permite utilizar el canal de comunicación por varios usuarios formando grupos de conversación y optimizando los recursos; empresas públicas de seguridad como privadas actualmente utilizan esta tecnología. Además, se puede indicar que en el Ecuador se estable cuáles son las reglamentaciones y normativas para el uso del espectro radio eléctrico.
- Existen equipos de integración como son RoIP (102,302), ACU1000 y Zepron 6300, los cuales permiten establecer la comunicación entre radio frecuencia y sistemas bajo el protocolo RoIP; en base al análisis se ha determinado que los equipos RoIP 102 son los accesibles con respecto a costos y funcionales.
- La tecnología ROIP 102 permite que los sistemas de comunicación convencionales de radio Motorola DGM 8000, con los que actualmente cuentan algunas instituciones de emergencia, pueden integrarse a través de la red Internet, optimizando de esta forma el uso del espectro radioeléctrico.
- Establecer las características e infraestructura para la implementación del servidor de Voz Ip para la integración con el equipo de RoIP 102 y el modelo de radio Motorola DGM 8000, así como el software de gestión del servidor Elastix con las configuraciones respectivas para establecer la comunicación.

Recomendaciones

- Actualmente se debería implementar una red de comunicación alternativa para comunicaciones de respaldo, debido a que a eventos recientes se ha evidenciado que no existe un medio de comunicación alternativo ante desastres naturales. Una de las opciones de comunicaciones está desarrollada en el presente trabajo de investigación, con lo cual los organismos de regulación y control deberían considerar como solución de apoyo a la red troncalizada.
- Establecer como política pública de los entes de control, la regularización de los equipos de RoIP 302 debido a su funcionalidad para trabajar con la red 3G permitiendo una alta disponibilidad de la señal.
- El presente proyecto se ha desarrollado sobre las radios Motorola DG8000, sin embargo está abierta la posibilidad de realizar las pruebas correspondientes en los diferentes modelos de radio Motorola y de otras marcas que existen en el mercado.
- Considerar como punto de partida el presente análisis, para realizar pruebas con los diferentes modelos de radio troncalizada, debido a que existen diversas marcas y modelos que se pueden integrar a este tipo de tecnología. Tener presente que esta solución presentada se adapta considerando la limitante de la topografía del territorio ecuatoriano y el alcance que dispone la red troncalizada.

Referencias Bibliográficas

- Agencia De Regulación Y Control De Las Telecomunicaciones. (2018). *Boletín Estadístico*. Recuperado De [Http://Www.Arcotel.Gob.Ec/Wp-Content/Uploads/2015/01/Boletin-Estadistico-Marzo-2018_V2.Pdf](http://www.Arcotel.Gob.Ec/Wp-Content/Uploads/2015/01/Boletin-Estadistico-Marzo-2018_V2.Pdf)
- C-At. (2014). Icri 2tg – Gateway And Control. Recuperado De [Http://Www.C-At.Com/Wp-Content/Uploads/2014/04/Icri-2tg-5-Port-Radio-Interoperability-Gateway.Pdf](http://Www.C-At.Com/Wp-Content/Uploads/2014/04/Icri-2tg-5-Port-Radio-Interoperability-Gateway.Pdf)
- Catalano S. (2007). *Diseño De Una Red Radio Móvil Operacional Troncalizado Digital Tetra En El Área Metropolitana Para Pdvsa*. Recuperado De [Http://159.90.80.55/Tesis/000139834.Pdf](http://159.90.80.55/Tesis/000139834.Pdf)
- Cisco. (2011). Solution Reference Network Design (Srnd) For Cisco Ipics Release 4.0(2). Recuperado 17 De Octubre De 2018, De [Https://Www.Cisco.Com/C/En/Us/Td/Docs/Interoperability_Systems/C_Ipics/402/Design/Guide/Sr402.Pdf](https://Www.Cisco.Com/C/En/Us/Td/Docs/Interoperability_Systems/C_Ipics/402/Design/Guide/Sr402.Pdf)
- Cisco. (2013). Introduction To Ip Security (Ipssec). Recuperado 17 De Octubre De 2018, De [Https://Www.Cisco.Com/C/En/Us/Td/Docs/Wireless/Asr_5000/20/Ipssec/B_20_Ipssec/B_20_Ipssec_Chapter_01.Pdf](https://Www.Cisco.Com/C/En/Us/Td/Docs/Wireless/Asr_5000/20/Ipssec/B_20_Ipssec/B_20_Ipssec_Chapter_01.Pdf)
- Cisco. (2015). Land Mobile Radio Over Ip Configuration Guide, Cisco Ios Xe Release 3s. Recuperado 17 De Octubre De 2018, De [Https://Www.Cisco.Com/C/En/Us/Td/Docs/Ios-Xml/Ios/Voice/Lmr/Configuration/Xe-3s/Voi-Lmr-Xe-3s-Book.Html](https://Www.Cisco.Com/C/En/Us/Td/Docs/Ios-Xml/Ios/Voice/Lmr/Configuration/Xe-3s/Voi-Lmr-Xe-3s-Book.Html)
- Cisco. (2016). Multicast Over A Gre Tunnel. Recuperado 17 De Octubre De 2018, De [Https://Www.Cisco.Com/C/En/Us/Support/Docs/Ip/Ip-Multicast/43584-Mcast-Over-Gre.Html](https://Www.Cisco.Com/C/En/Us/Support/Docs/Ip/Ip-Multicast/43584-Mcast-Over-Gre.Html)

- Conatel. (2004). Reglamento Y Norma Técnica Para Los Sistemas Troncalizados. Recuperado De [Http://Www.Arcotel.Gob.Ec/Wp-Content/Uploads/2013/07/Resoluci%C3%93n-No.-264-13-Conatel-2000.Pdf](http://www.Arcotel.Gob.Ec/Wp-Content/Uploads/2013/07/Resoluci%C3%93n-No.-264-13-Conatel-2000.Pdf)
- Davantel. (2018a). Roip102 – Gateway De 1 Canal Radio Sobre Ip. Recuperado De [Https://Www.Davantel.Com/Files/Ds-Roip102-Sp.Pdf](https://www.Davantel.Com/Files/Ds-Roip102-Sp.Pdf)
- Davantel. (2018b). Roip302 – Gateway De 3 Canales Radio Sobre Ip Y Conexión Gsm. Recuperado De [Https://Www.Davantel.Com/User/Image/Ds-Roip302-Sp.Pdf](https://www.Davantel.Com/User/Image/Ds-Roip302-Sp.Pdf)
- Dbl. (2010). Cross-Network Gateway (Radio, Voip, Gsm, Public Announce): User Manual. Recuperado De [Http://Static.Dbltek.Com/Attachment/7piokbomriisiinlkriws77gwb3zlp/User_Manua.Pdf](http://static.Dbltek.Com/Attachment/7piokbomriisiinlkriws77gwb3zlp/User_Manua.Pdf)
- Egbenyon, D. (2011). *Implementing Qos For Voip In A Local Area Network (Lan)*. Recuperado De [Http://Www.Theseus.Fi/Handle/10024/38426](http://www.Theseus.Fi/Handle/10024/38426)
- Escobar V. (2010, Junio 29). Microsoft Word - Proyecto De Grado - T-Espe-027527.Pdf. Recuperado 6 De Agosto De 2016, De [Http://Repositorio.Espe.Edu.Ec/Bitstream/21000/915/1/T-Espe-027527.Pdf](http://repositorio.Espe.Edu.Ec/bitstream/21000/915/1/T-Espe-027527.Pdf)
- Fenner, B., Handley, M., Holbrook, H., & Kouvelas, I. (2006). Rfc 4601 - Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (Pim-Sm): Protocol Specification (Revised) [Network Working Group]. Recuperado 17 De Octubre De 2018, De [Https://Datatracker.Ietf.Org/Doc/Rfc4601/](https://datatracker.ietf.Org/Doc/Rfc4601/)
- Fiel Magister. (2004). Microsoft Word - Documento1 - Reglamento-Y-Norma-Tecnica-Para-Los-Sistemas-Troncalizados.Pdf. Recuperado 6 De Agosto De 2016, De [Http://Www.Arcotel.Gob.Ec/Wp-Content/Uploads/Downloads/2015/06/Reglamento-Y-Norma-Tecnica-Para-Los-Sistemas-Troncalizados.Pdf](http://www.Arcotel.Gob.Ec/Wp-Content/Uploads/Downloads/2015/06/Reglamento-Y-Norma-Tecnica-Para-Los-Sistemas-Troncalizados.Pdf)

Fondear, S.L. (2007). Vhf A Fondo Electronica E Instrumentacion. Recuperado 6 De Agosto De 2016, De [Http://Www.Fondear.Org/Infonautic/Equipo_Y_Usos/Electronica_Instrumentacion/Vhf/Vhfafondo.Htm](http://Www.Fondear.Org/Infonautic/Equipo_Y_Usos/Electronica_Instrumentacion/Vhf/Vhfafondo.Htm)

Kalitay, H. K., & Nambiarz, M. K. (2011). Designing Wanem : A Wide Area Network Emulator Tool. En *2011 Third International Conference On Communication Systems And Networks (Comsnets 2011)* (Pp. 1-4). Bangalore: Ieee. [Https://Doi.Org/10.1109/Comsnets.2011.5716495](https://doi.org/10.1109/Comsnets.2011.5716495)

Luján Correa, A. O., & Castañeda Hernández, R. A. (2012). *Radio Over Internet Protocol (Roip)* (Monografía). Universidad Tecnológica De Bolívar, Cartagena De Indias. Recuperado De [Http://Biblioteca.Unitecnologica.Edu.Co/Notas/Tesis/0064189.Pdf](http://Biblioteca.Unitecnologica.Edu.Co/Notas/Tesis/0064189.Pdf)

Man, H., Xu, L., Li, Z., & Zhang, L. (2004). End-To-End Qos Implement By Diffserv And Mpls. En *Canadian Conference On Electrical And Computer Engineering 2004 (Ieee Cat. No.04ch37513)* (Pp. 641-644). Niagara Falls, Ont., Canada: Ieee. [Https://Doi.Org/10.1109/Ccece.2004.1345194](https://doi.org/10.1109/Ccece.2004.1345194)

Matango, F. (2016, Agosto 2). Tabla Resumen De Codecs [Text]. Recuperado 6 De Febrero De 2018, De [Http://Www.Servervoip.Com/Blog/Tabla-Resumen-De-Codecs/](http://Www.Servervoip.Com/Blog/Tabla-Resumen-De-Codecs/)

Motorola. (2014). Solución De Interoperabilidad Ip Motobridge. Recuperado De [Https://Www.Motorolasolutions.Com/Content/Dam/Msi/Docs/Business/Products/Two-Way_Radios_-_Public_Safety/Gateways/Motobridge_Interoperable_Ip_Solution/_Documents/Staticfiles/Mot_Motobridge_Brochure_Es_021414.Pdf](https://Www.Motorolasolutions.Com/Content/Dam/Msi/Docs/Business/Products/Two-Way_Radios_-_Public_Safety/Gateways/Motobridge_Interoperable_Ip_Solution/_Documents/Staticfiles/Mot_Motobridge_Brochure_Es_021414.Pdf)

- Motorola. (2014, Agosto 13). Radios Portátiles Serie Dgmtm8000 / Dgmtm5000 Mototrbotm Hoja De Especificaciones De Producto - Mot_Mototrbo_Dgm8000_Dgm5000_Series_Specsheet_Es_081114.Pdf. Recuperado 6 De Agosto De 2016, De [Http://Www.Motorolasolutions.Com/Content/Dam/Msi/Docs/Business/Products/Two-Way_Radios/Portable_Radios/Wide_Area_Large_Business_Portable_Radios/Dgp8050/_Documents/_Staticfiles/Mot_Mototrbo_Dgm8000_Dgm5000_Series_Specsheet_Es_081114.Pdf](http://www.Motorolasolutions.Com/Content/Dam/Msi/Docs/Business/Products/Two-Way_Radios/Portable_Radios/Wide_Area_Large_Business_Portable_Radios/Dgp8050/_Documents/_Staticfiles/Mot_Mototrbo_Dgm8000_Dgm5000_Series_Specsheet_Es_081114.Pdf)
- Motorola. (2016). Broadband Push-To-Talk: Considerations For Lmr Integration. Recuperado De [Https://Www.Motorolasolutions.Com/Content/Dam/Msi/Docs/Products/Voice-Applications/Wave/Broadband-Push-To-Talk-Considerations-For-Lmr-Integration.Pdf](https://www.Motorolasolutions.Com/Content/Dam/Msi/Docs/Products/Voice-Applications/Wave/Broadband-Push-To-Talk-Considerations-For-Lmr-Integration.Pdf)
- Rong, B., Lebeau, J., Bennani, M., Kadoch, M., & Elhakeem, A. K. (2005). Modeling And Simulation Of Traffic Aggregation Based Sip Over Mpls Network Architecture. En *38th Annual Simulation Symposium* (Pp. 305-311). San Diego, Ca, Usa: Ieee. [Https://Doi.Org/10.1109/Anss.2005.31](https://doi.org/10.1109/ANSS.2005.31)
- Rrpp. (2016, Diciembre). La Cnt Ep Alcanzó Varios Logros En El 2016 | Cnt Información Corporativa | Empresa Pública De Telecomunicaciones Del Ecuador, Opera Servicios De Telefonía Fija Local, Regional E Internacional, Acceso A Internet Estándar Y De Alta Velocidad (Dial-Up, Dsl, Internet Móvil 3g Y Lte), Televisión Satelital Y Telefonía Móvil En El Territorio Nacional Ecuatoriano. Recuperado 25 De Julio De 2017, De [Http://Corporativo.Cnt.Gob.Ec/La-Cnt-Ep-Alcanzo-Varios-Logros-En-El-2016/](http://corporativo.cnt.gob.ec/la-cnt-ep-alcanzo-varios-logros-en-el-2016/)
- Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., & Jacobson, V. (2003). *Rtp: A Transport Protocol For Real-Time Applications* (No. Rfc3550). Rfc Editor. Recuperado De [Https://Www.Rfc-Editor.Org/Info/Rfc3550](https://www.Rfc-Editor.Org/Info/Rfc3550)

Servicio Troncalizado (Strc) | Agencia De Regulación Y Control De Las Telecomunicaciones | Ecuador. (S. F.). Recuperado 7 De Agosto De 2016, De [Http://Www.Arcotel.Gob.Ec/Servicio-Troncalizado-Strc/](http://Www.Arcotel.Gob.Ec/Servicio-Troncalizado-Strc/)

Staff, W. (2015, Agosto 18). Wiscomm.Com - Blog: Motorola Mototrbo Xpr 4000 Series Rear Accessory Connector Pin Functions. Recuperado De [Http://Wiscomm.Blogspot.Com/2015/08/Motorola-Mototrbo-Xpr-4000-Series-Rear.Html](http://Wiscomm.Blogspot.Com/2015/08/Motorola-Mototrbo-Xpr-4000-Series-Rear.Html)

Trinchet, B. O. (2015). *Teaching Networking, Hands-On Labs* (Master Thesis). Universidad De Valladolid, Deggendorf. Recuperado De [Https://Core.Ac.Uk/Download/Pdf/61535073.Pdf](https://Core.Ac.Uk/Download/Pdf/61535073.Pdf)

Www.Ftp3.Syscom.Mx. (S. F.). Recuperado 9 De Agosto De 2016, De [Https://Ftp3.Syscom.Mx/Usuarios/Fotos/Catalogo/Db8062f5b/Db8062f5bdet.Png](https://Ftp3.Syscom.Mx/Usuarios/Fotos/Catalogo/Db8062f5b/Db8062f5bdet.Png)

Www.Grupomontel.Com. (S. F.). Recuperado 9 De Agosto De 2016, De [Http://Grupomontel.Com/Images/Duplexores/Duplexor_Rechazo_De_Banda.Jpg](http://Grupomontel.Com/Images/Duplexores/Duplexor_Rechazo_De_Banda.Jpg)

Www.Motorolasolutions.Com. (S. F.). Recuperado 9 De Agosto De 2016, De [Http://Www.Motorolasolutions.Com/Content/Dam/Msi/Images/Business/Products/Two-Way_Radios/Gateways/Xrt9000/_Images/_Staticfiles/Xrt-9100_Lg.Jpg](http://Www.Motorolasolutions.Com/Content/Dam/Msi/Images/Business/Products/Two-Way_Radios/Gateways/Xrt9000/_Images/_Staticfiles/Xrt-9100_Lg.Jpg)

Zahariadis, T., & Spanos, S. (2004). The Clearest Voice [Sip Vs H.323]. *Communications Engineer*, 2(2), 14-17.



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **López Zhingre, Rodrigo Patricio** con C.C: # 110334700-9 autor del trabajo de titulación: Análisis y diseño de un sistema de comunicación ROIP a través de la red de datos para el modelo de radios Motorola DGM 8000, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 26 de noviembre del 2018

f. _____

Nombre: **López Zhingre, Rodrigo Patricio**

C.C: 110334700-9

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis y diseño de un sistema de comunicación ROIP a través de la red de datos para el modelo de radios Motorola DGM 8000.	
AUTOR(ES)	López Zhingre, Rodrigo Patricio	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Sistema de Posgrado	
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones	
TITULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	26 de noviembre del 2018	No. DE PÁGINAS: 92
ÁREAS TEMÁTICAS:	Teoría de la Comunicación, Comunicaciones Ópticas, Sistemas de Comunicaciones.	
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Sistemas de Comunicación, Frecuencias Radiales, Bases de Datos, Diseños, Ecuador.	
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El presente proyecto de titulación contiene el Análisis Y Diseño De Un Sistema De Comunicación (RoIP) a través De La Red De Datos Para El Modelo De Radios Motorola DGM 8000. Con el análisis y diseño del Sistemas radio sobre IP (RoIP) consiste en ampliar la red de cobertura de los radios Motorola DGM 8000 mediante la red de datos utilizado VoIp, extendiendo la comunicación que está limitada por los repetidores o zona geográfica. En el documento que se expone en el presente trabajo, se realiza un análisis del sistema de comunicación troncalizado, normativa y situación legal de la radio comunicación. Además, se analiza los sistemas y equipos de integración de comunicaciones mediante radio comunicación, presentando las principales características. Se establece cual es la mejor opción de tecnología de integración para las radios Motorola DGM8000. Finalmente, mediante el diseño e implementación del Sistemas radio sobre IP (RoIp) se presenta la solución integral de integración de los equipos de radio comunicación Motorola DGM 8000 mediante los equipos RoIp 102 utilizando la red de datos.</p>	
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0993885250	E-mail: rplopezx@gmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Manuel Romero Paz	
	Teléfono: 0994606932	
	E-mail: mromeropaz@yahoo.com	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		