

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



# **Interconexión de Radios de VHF con Plantas Telefónicas IP.**

PRESENTADO POR:

**WILLIAM ALEXANDER BONILLA RIVAS**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2015

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIA GENERAL :

**DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR :

**MSc. e ING. JOSÉ WILBER CALDERÓN URRUTIA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título :

**Interconexión de Radios de VHF con Plantas  
Telefónicas IP.**

Presentado por :

**WILLIAM ALEXANDER BONILLA RIVAS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE**

San Salvador, marzo 2015

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE**

# ÍNDICE.

---

---

|  |          |
|--|----------|
| <b>OBJETIVOS. ....</b>   | <b>1</b> |
| <b>GENERALES.....</b>  | <b>1</b> |
| <b>ESPECÍFICOS.....</b>  | <b>1</b> |
| <br>   |          |
| <b>ALCANCES. ....</b>  | <b>2</b> |
| <br>   |          |
| <b>ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS USADOS EN ÉSTE DOCUMENTO. ....</b>             | <b>3</b> |
| <br>   |          |
| <b>CAPITULO I: SERVICIOS DE VOZ SOBRE REDES LAN-WAN Y RADIOS VHF. ....</b> | <b>6</b> |
| <b>1. INTRODUCCIÓN. ....</b>   | <b>6</b> |
| 1.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE RADIO.....                                       | 7        |
| 1.2 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.....   | 7        |
| 1.3 ENLACES VHF.....   | 9        |
| 1.4 CARACTERÍSTICAS DE PROPAGACIÓN.....                                    | 11       |
| 1.4.1 Radiación del calor en la tierra. ....                               | 14       |
| 1.4.2 Fuentes de alta presión. ....  | 14       |
| 1.4.3 Desvanecimiento troposférico.....                                    | 14       |
| 1.5 CARACTERÍSTICAS DE PROPAGACIÓN EN LA BANDA VHF. ....                   | 14       |
| 1.6 ANTENAS VHF.....   | 15       |
| 1.7 EQUIPO DISPONIBLE COMERCIALMENTE. ....                                 | 15       |
| 1.8 ALGUNAS APLICACIONES. ....   | 18       |
| 1.8.1 Sistemas radio móviles terrestres convencionales. ....               | 18       |
| 1.8.2 Telemedicina. ....   | 19       |
| 1.8.3 Sistemas VoIP. ....  | 20       |
| 1.9 RADIOS MOTOROLA PRO-3100.....  | 20       |
| 1.10 POTENCIA Y FRECUENCIA DE OPERACIÓN DE LOS RADIOS. ....                | 23       |
| 1.11 CARGA FANTASMA.....   | 26       |
| 1.12 LOS SERVICIOS DE TELEFONÍA ANALÓGICOS.....                            | 27       |
| 1.13 OPERACIÓN DE UN SISTEMA BÁSICO DE TELEFONÍA.....                      | 28       |
| 1.14 LA SEÑALIZACIÓN ANALÓGICA.....  | 29       |
| 1.15 TONOS DUALES DE MÚLTIPLES FRECUENCIAS (DTMF).....                     | 30       |
| 1.16 SEÑALIZACIÓN E&M.....   | 31       |
| 1.16.1 Tipos de señalización E&M.....                                      | 32       |
| 1.17 LOS ENRUTADORES (ROUTERS).....  | 38       |
| 1.17.1 Router Cisco 2620XM.....  | 38       |
| 1.17.1.1 VIC-2E/M.....   | 40       |
| 1.17.1.2 VIC-2FXS.....   | 43       |
| 1.17.1.3 VIC-2FXO.....   | 43       |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.17.1.4 Configuración básica de las tarjetas FXS y FXO. ....                                    | 44        |
| 1.18 ARQUITECTURA BÁSICA DE LAS REDES DE COMUNICACIONES DE VOIP.....                             | 45        |
| 1.19 SEÑALIZACIÓN Y ENRUTAMIENTO DE VOIP.....  | 46        |
| 1.19.1 Señalización entre routers y PBX. ....  | 47        |
| 1.19.2 Señalización VoIP.....  | 47        |
| 1.20 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....   | 48        |
| 1.20.1 Protocolo H.323. ....   | 48        |
| 1.20.2 Protocolo de Inicio de Sesión (SIP). ....   | 48        |
| 1.20.3 Comparativas SIP/H.323. ....  | 49        |
| 1.21 ELASTIX.....  | 50        |
| 1.21.1 Justificación de implementación. ....   | 51        |
| 1.22 CISCO CALL MANAGER EXPRESS (CISCO CME).....   | 52        |
| 1.23 CODECS.....   | 53        |
| 1.23.1 Códecs más comunes en Elastix.....  | 53        |
| 1.23.2 Otras comparativas entre códecs. ....   | 54        |
| <br>   |           |
| <b>CAPITULO II: OPCIONES TÉCNICAS PARA LA INTEGRACIÓN DE RADIOS VHF CON PLANTAS DE VOIP.....</b> | <b>56</b> |
| <b>2.INTRODUCCIÓN. ....</b>  | <b>56</b> |
| 2.1 RADIOS MOTOROLA PRO3100: OPCIONES DE CONFIGURACIÓN.....                                      | 56        |
| 2.2 PBX'S DE VOIP Y SUS OPCIONES PARA INTEGRAR COMUNICACIONES E&M. ....                          | 67        |
| 2.2.1 RADIO MOTOROLA PRO3100 COMO ELEMENTO TERMINAL. ....  | 67        |
| 2.2.1.1 CONFIGURACIÓN DEL CISCO CME. ....  | 70        |
| 2.2.1.2 Configuración de Elastix.....  | 72        |
| 2.3 REQUERIMIENTOS BÁSICOS.....  | 75        |
| 2.3.1 Hardware.....  | 75        |
| 2.3.1.1 Gateways.....  | 76        |
| 2.3.1.2 Módulos de voz.....  | 76        |
| 2.3.2 Versiones de Software.....   | 77        |
| 2.3.2.1 Gateways.....  | 77        |
| 2.3.2.2 Cisco Call Manager Express.....  | 78        |
| 2.4 CONFIGURACIONES.....   | 78        |
| 2.4.1 Router Cisco 2620XM.....   | 78        |
| 2.4.2 Interfaz entre puerto J0501 y VIC-2E/M. ....   | 85        |
| <br>   |           |
| <b>CAPITULO III: DESARROLLO DE LA SOLUCION PROPUESTA.....</b>                                    | <b>88</b> |
| <b>3.INTRODUCCIÓN. ....</b>  | <b>88</b> |
| 3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE SOLUCIÓN IMPLEMENTADA. ....  | 88        |
| 3.2 COBERTURA DE LA SOLUCIÓN IMPLEMENTADA.....   | 90        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.3 ACCESO PARA EL USUARIO FINAL. ....   | 92         |
| 3.3 PROPUESTAS AVANZADAS DE IMPLEMENTACIÓN. ....                                 | 94         |
| 3.3.1 Radios Motorola PRO3100 como elementos para establecer un enlace.<br>..... | 94         |
| 3.3.2 Integración con hardware libre.....  | 95         |
| 3.5 EXPERIENCIA EHAS. ....   | 96         |
| <br>   |            |
| <b>RECOMENDACIONES. ....</b>   | <b>102</b> |
| <br>   |            |
| <b>CONCLUSIONES. ....</b>  | <b>103</b> |
| <br>   |            |
| <b>BIBLIOGRAFÍA. ....</b>  | <b>104</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS.

---

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Espectro electromagnético.....   | 8  |
| Figura 2. Asignaciones FM en El Salvador según la SIGET. ....  | 10 |
| Figura 3. Asignaciones para banda de TV según la SIGET. ....   | 11 |
| Figura 4. Trayectorias de propagación.....   | 12 |
| Figura 5. Regiones de la atmósfera. ....   | 13 |
| Figura 6. Dispositivos disponibles en el mercado para radiocomunicaciones. ....  | 16 |
| Figura 7. Radio estación base marca Icom, popular en el mercado.....   | 17 |
| Figura 8. Radios base de la marca Motorola.....  | 17 |
| Figura 9. Topología convencional de un sistema de radio móvil. ....  | 19 |
| Figura 10. Motorola PRO3100 a utilizar. ....   | 22 |
| Figura 11. Interfaz para PC del radio Motorola PRO3100.....  | 22 |
| Figura 12. Pinout de la interfaz para PC y forma de conexión para E&M tipo V. ....   | 22 |
| Figura 13. Wattímetro Bird modelo 43.....  | 23 |
| Figura 14. Medición de potencia de transmisión del Motorola PRO3100.....   | 24 |
| Figura 15. Conexiones para mediciones de frecuencia de la portadora.....   | 24 |
| Figura 16. Medición de frecuencia obtenida.....  | 25 |
| Figura 17. Elementos AKA “slug” para la medición de potencia y frecuencia. ....  | 25 |
| Figura 18. Dummy load o carga fantasma de 50Ω y 150W.....  | 26 |
| Figura 19. Señales de audio.....   | 27 |
| Figura 20. Intercambio de información de control de línea.....   | 29 |
| Figura 21. Acceso al Registro de Ubicación Base (HLR) y registro de Ubicación de Visitante.....                              | 29 |
| Figura 22. Representación de gestión de red.....   | 29 |
| Figura 23. Circuito analógico/digital con interfaces E&M. ....   | 31 |
| Figura 24. E&M tipo I: Es la interface más común en Norte América. ....  | 34 |
| Figura 25. E&M tipo II: Dos nodos de señalización pueden ser conectados de forma back-to-back.....                           | 35 |
| Figura 26. E&M tipo III: No es comúnmente usado en sistemas modernos. ....   | 36 |
| Figura 27. E&M tipo V: El tipo V es simétrico y permite que dos nodos de señalización se conecten de forma back-to-back..... | 37 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 28. Router Cisco serie 2600.....                               | 39 |
| Figura 29. Módulo de red para router Cisco serie 2600. ....           | 39 |
| Figura 30. Vista frontal de las VIC-2E/M. ....                        | 41 |
| Figura 31. VIC-2E/M implementadas en el proyecto. ....                | 41 |
| Figura 32. VIC-2FXS para conexión de teléfonos analógicos. ....       | 43 |
| Figura 33. VIC-2FXO utilizados para salir a la PSTN.....              | 43 |
| Figura 34. Cable de configuración para Motorola PRO3100.....          | 56 |
| Figura 35. Interfaz de software de configuración de radios. ....      | 58 |
| Figura 36. Software ya instalado en OS Windows. ....                  | 59 |
| Figura 37. Conexión de cable de configuración. ....                   | 59 |
| Figura 38. Lectura de configuración del radio. ....                   | 59 |
| Figura 39. Información del radio.....                                 | 60 |
| Figura 40. Información de parámetros de radiofrecuencia. ....         | 61 |
| Figura 41. Frecuencia configurada.....                                | 61 |
| Figura 42. Potencia configurada.....                                  | 61 |
| Figura 43. Configuración de radio. ....                               | 62 |
| Figura 44. Configuración de pines programables del puerto J0501. .... | 63 |
| Figura 45. Potencia de transmisión. ....                              | 64 |
| Figura 46. Personalización del equipo. ....                           | 64 |
| Figura 47. Selección de ancho de banda. ....                          | 65 |
| Figura 48. Selección de tipo de squelch.....                          | 66 |
| Figura 49. Montaje de los elementos que intervienen. ....             | 68 |
| Figura 50. Topología con radio como elemento terminal. ....           | 68 |
| Figura 51. Creación de cuentas SIP en Elastix .....                   | 72 |
| Figura 52. Ingreso de datos para cuenta SIP.....                      | 73 |
| Figura 53. Configuración de troncales.....                            | 74 |
| Figura 54. Edición de troncales SIP. ....                             | 74 |
| Figura 55. Edición de rutas salientes. ....                           | 75 |
| Figura 56. Esquema de conexión 1.....                                 | 79 |
| Figura 57. Esquema de conexión 2.....                                 | 80 |
| Figura 58: Configuración básica de Servidor Tftpd. ....               | 80 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 59. Puertos de modelos Cisco 2600 .....                                | 81  |
| Figura 60. Cable consola y adaptador usb-serial .....                         | 81  |
| Figura 61. Asignación de IP para carga de nuevo IOS .....                     | 82  |
| Figura 62. Centro de redes y recursos compartidos.....                        | 83  |
| Figura 63. Estado de Conexión de área local.....                              | 83  |
| Figura 64.Propiedades de Conexión de área local.....                          | 84  |
| Figura 65. Configuración de IP estática. ....                                 | 84  |
| Figura 66. Verificación de la versión de IOS. ....                            | 85  |
| Figura 67. Circuito detector de audio para PTT.....                           | 86  |
| Figura 68. Circuito terminado. ....   | 86  |
| Figura 69. Esquema de implementación. ....                                    | 89  |
| Figura 70. Cobertura en la banda de VHF con los radios Motorola PRO3100. .... | 90  |
| Figura 71. Enlace VHF entre UES Santa Ana y UES Central. ....                 | 91  |
| Figura 72. Perfil de enlace.....  | 91  |
| Figura 73. Datos de propagación en Radio Mobile. ....                         | 92  |
| Figura 74. Teléfono IP y analógico.....                                       | 92  |
| Figura 75. Diagrama de bloques de la solución. ....                           | 93  |
| Figura 76. Raspberry Pi. ....   | 96  |
| Figura 77. Logotipo de EHAS.....  | 96  |
| Figura 78. Topología EHAS.....  | 98  |
| Figura 79. Esquema VHF .....  | 99  |
| Figura 80. Esquema HF. ....   | 99  |
| Figura 81. Red Mixta Wifi-VHF.....  | 100 |

## ÍNDICE DE TABLAS.

---

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Frecuencias utilizadas en DTMF según marcaje.....           | 30 |
| Tabla 2. Configuración básica de tarjetas E&M.....                   | 42 |
| Tabla 3. Configuración básica tarjetas FXS/FXO. ....                 | 45 |
| Tabla 4. Comparativo H.323/SIP.....                                  | 50 |
| Tabla 5. Principales codecs y características.....                   | 55 |
| Tabla 6. Configuración de router. ....                               | 69 |
| Tabla 7. Configuración de Cisco CME. ....                            | 71 |
| Tabla 8. Detalles del par de llamada. ....                           | 73 |
| Tabla 9. Hardware de Cisco soportado y cantidad de puestos VIC. .... | 76 |
| Tabla 10. Módulos de red e interfaces soportadas.....                | 76 |
| Tabla 11. Requerimientos técnicos de los diferentes IOS.....         | 77 |
| Tabla 12. Asignación de IP para la instalación de IOS.....           | 81 |
| Tabla 13. Instalación de IOS en router Cisco 2620XM.....             | 84 |

## **OBJETIVOS.**

---

### **GENERALES**

Proponer alternativas de interconexión de radios del tipo VHF con centrales telefónicas del tipo IP, ya sean éstas de software libre o privativo.

### **ESPECÍFICOS**

Establecer los requerimientos de hardware y software que permitan cumplir con las especificaciones del presente trabajo.

Implementar la solución propuesta y demostrar su viabilidad.

Especificar los servicios que podrían implementarse y proponer aplicaciones de utilidad aplicadas a pequeñas y medianas empresas.

Construcción de una base para la elaboración de guías prácticas a impartirse en el laboratorio de telemática de la Universidad de El Salvador.

## **ALCANCES.**

---

Diseñar, construir o adecuar el hardware que sea necesario para viabilizar la conexión de radios VHF con centrales telefónicas del tipo IP.

De las alternativas existentes en nuestro entorno, seleccionar la central telefónica IP que facilite el proceso anterior.

Demostrar la viabilidad del sistema propuesto, mediante pruebas de comunicación de voz entre terminales de usuarios telefónicos (analógicos y/o digitales) de la central telefónica elegida y los radios VHF.

Desarrollar guías de laboratorio que puedan implementarse en la EIE y que a su vez demuestre la factibilidad de la solución propuesta.

## **ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS USADOS EN ÉSTE DOCUMENTO.**

### **A**

A: Amperes.

AF: Audio Frecuencia.

AM: Amplitud Modulada.

### **B**

BLOS: Beyond Line of Sight.

### **C**

CME: Call Manager Express.

CO: Central Office.

CUCM: Cisco Unified Communications Manager.

### **D**

DC: Direct Current.

DP: Dial-Pulse.

DTMF: Dual-Tone Multi-Frequency.

### **E**

EHAS: Enlace Hispano Americano de Salud.

E&M: Ear and Mouth.

### **F**

FM: Frecuencia Modulada.

FXO: Foreign eXchange Office.

FXS: Foreign eXchange Subscriber.

### **G**

GHz: Gigahertz.

GND: Ground.

GPL: General Public License.

### **H**

HLR: Home Location Register.

Hz: Hertz.

### **I**

IAX: Inter-Asterisk eXchange.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IOS: Internetwork Operating System.

IP: Internet Protocol.

ISM: Industrial, Scientific and Medical.

ITU: International Telecommunication Union.

IVR: Interactive Voice Response.

## **K**

kHz: Kilohertz.

## **L**

LAN: Local Area Network.

LOS: Line of Sight.

## **M**

MHz: Megahertz.

## **P**

PBX: Private Branch Exchange.

PC: Personal Computer.

PSTN: Public Switched Telephone Network.

PTT: Push-to-Talk.

## **R**

RF: Radiofrecuencia.

RTP: Real-time Transport Protocol.

## **S**

SIGET: Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.

SIP: Session Initiation Protocol.

## **T**

TCP: Transmission Control Protocol.

TDM: Time-Division Multiplexing.

TIC: Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

## **U**

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

**V**

V: Volts.

VIC: Voice Interface Card.

VLAN: Virtual Local Area Network.

VLR: Visitor Location Register.

VoIP: Voice over Internet Protocol.

**W**

W: Watts.

WAN: Wide Area Network.

### **1. INTRODUCCIÓN.**

En los últimos años ha sido evidente el crecimiento de la transmisión de voz sobre redes LAN-WAN, siendo de nuestro particular interés, la transmisión inalámbrica. En redes de ese tipo se aplica lo indicado en el protocolo IEEE 802.11, en donde se definen (entre otras cosas) las características de los canales de radio que se utilizan, es decir frecuencias de RF, potencias admisibles, tipo de antenas, ancho de banda, etc. Este tipo de aplicaciones han sido una alternativa para los servicios como telemedicina propuestos por entidades como EHAS (Enlace Hispano Americano de Salud), quienes tienen como una de sus metas principales mejorar los procesos de atención de salud e impactar positivamente en la calidad de vida de las personas.

EHAS es una fundación que trabaja para mejorar la atención de salud en zonas rurales y aisladas de países en desarrollo, utilizando para ello las TIC (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones). El fin de éste organismo es poner la tecnología al servicio de las personas para llevar la salud donde no llega, conectando al personal de atención para que puedan consultar sus dudas, enviar y recibir información epidemiológica o coordinar el traslado de pacientes urgentes, etc.

Una de las limitantes más importante de la transmisión inalámbrica de voz por medio de WiFi es la cobertura de estas, debido a la potencia utilizada y a la frecuencia de trabajo; para superar esta limitante, se puede trabajar en la adaptación de sistemas de antenas de mayor ganancia o en su defecto, integrar el servicio utilizando dispositivos que trabajen en mejores condiciones de potencia y frecuencia, por ejemplo radios comerciales de VHF los cuales (bajo ciertas condiciones) pueden proporcionar cobertura de entre 60 km y 100 km con muy buen grado de disponibilidad de servicio.

Para lograr la integración de radios de VHF con redes que proporcionan servicio de VoIP, es necesario tomar en cuenta los procesos de señalización que sirve para el control de dichos radios y considerar además la longitud de paquetes, ancho de banda, potencia y frecuencia de operación, entre otras cosas, para que la integración sea efectiva.

En el presente capítulo se describirán las características del segmento radio asociadas al modelo de equipo a utilizar (el Motorola PRO-3100), así como el proceso de señalización que emplea y aquellos aspectos que deben considerarse a la hora de integrarlos con redes de servicio de VoIP, centrandó nuestra atención en routers marca Cisco.

## **1.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE RADIO.**

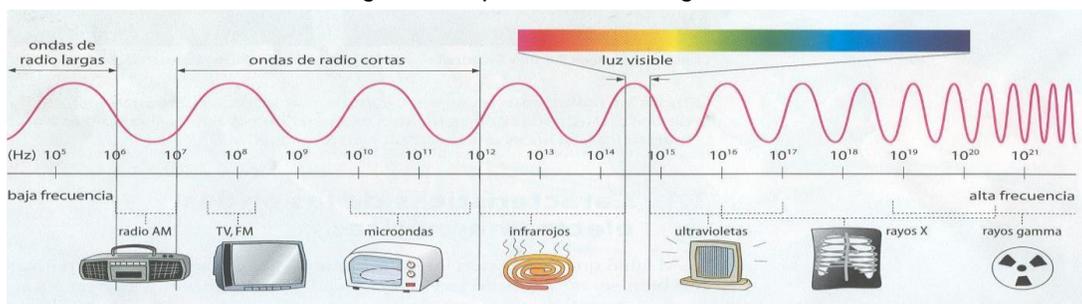
Las ondas de radio pertenecen a la familia de la radiación electromagnética, que incluye a los rayos x, luz ultravioleta y luz visible. Una onda de radio se define en términos de su amplitud, frecuencia y longitud de onda. La amplitud de la onda de radio, o intensidad, puede ser visualizada como la distancia entre su pico y su punto más bajo. Es medida en voltios y usualmente expresada en RMS (Valor Medio Cuadrático). La frecuencia de una onda de radio es el número de repeticiones o ciclos que completa en un período de tiempo y se expresa en Hertz (Hz).

La longitud de la onda de radio es la distancia entre las crestas de una onda. El producto de la longitud de onda por la frecuencia es una constante que equivale a la velocidad de propagación. Por lo tanto, mientras la frecuencia aumenta, la longitud de onda disminuye y viceversa. Ya que las ondas de radio se propagan a la velocidad de la luz (300 millones de metros por segundo).

## **1.2 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.**

En la Figura 1 se muestra el conjunto de ondas electromagnéticas conocidas y aplicaciones en las que suelen ser utilizadas. La región de interés para el presente trabajo es la de radiofrecuencia, ubicada entre los 3Hz y 300GHz.

Figura 1. Espectro electromagnético.



Recuperado de: [http://fresno.pntic.mec.es/msap0005/2eso/2ESO-anterior/tema\\_5.htm](http://fresno.pntic.mec.es/msap0005/2eso/2ESO-anterior/tema_5.htm).

Este rango de frecuencias es muy utilizado en las comunicaciones por la capacidad de alcanzar cientos de kilómetros de cobertura bajo ciertas condiciones, en algunos casos influyen de gran manera las condiciones atmosféricas, de hecho, estas pueden ser mencionadas como algunas de las limitantes: pueden ser reflejadas o absorbidas por partículas cargadas situadas en la ionosfera. Sin embargo, no todas las bandas de frecuencias son igual de vulnerables, entre más bajas, menos propensas son a desvanecimientos.

Las radiofrecuencias se pueden dividir en las siguientes bandas:

- ELF: Extremely Low Frequency (3Hz a 30Hz).
- SLF: Super Low Frequency (30Hz a 300Hz).
- ULF: Ultra Low Frequency (300Hz a 3kHz).
- VLF: Very Low Frequency (3kHz a 30kHz).
- LF: Low Frequency (30kHz a 300kHz).
- MF: Medium Frequency (300kHz a 3MHz).
- HF: High Frequency (3MHz a 30MHz).
- VHF: Very High Frequency (30MHz a 300MHz).
- UHF: Ultra High Frequency (300MHz a 3GHz).
- SHF: Super High Frequency (3GHz a 30GHz).
- EHF: Extremely High Frequency (30GHz a 300GHz).

A partir de 1GHz estamos hablando ya de las microondas. Por encima de 300 GHz la absorción de la radiación electromagnética por la atmósfera terrestre es tan alta que

la atmósfera se vuelve opaca a ella, hasta que, en los denominados rangos de frecuencia infrarrojos y ópticos, vuelve de nuevo a ser transparente.

Las bandas ELF, SLF, ULF y VLF comparten el espectro de la AF (audiofrecuencia), que se encuentra entre 20Hz y 20kHz aproximadamente. Sin embargo, éstas se tratan de ondas de presión, como el sonido, por lo que se desplazan a la velocidad del sonido sobre un medio material. Mientras que las ondas de radiofrecuencia, al ser ondas electromagnéticas, se desplazan a la velocidad de la luz y sin necesidad de un medio material.

### **1.3 ENLACES VHF.**

La banda de frecuencia VHF se define como el rango de frecuencias de 30 MHz a 300 MHz. Las longitudes de onda en VHF varían desde 10 metros en la parte baja a un metro en la parte alta. Esto significa que el tamaño de las antenas y los componentes de sintonización utilizados en el radio VHF son mucho más pequeños y livianos que aquellos utilizados en bandas con rangos de frecuencias menores. Sin embargo, existen métodos para simular una longitud mayor de la antena, se recomienda consultar el libro: “Antennas, For All Applications” de John Kraus. Frecuencias más altas y longitudes de onda más cortas de los radios VHF tienen gran incidencia en el alcance del radio.

Las ventajas de los enlaces VHF son diversas, ya que permite la comunicación entre dispositivos terminales a corta y mediana distancia. Sin embargo, las transmisiones en ésta banda carecen de la habilidad de saltos ionosféricos (salvo bajo ciertas condiciones atmosféricas) por lo que están limitadas a las comunicaciones de línea de vista (LOS). Con estaciones de buena calidad es posible cubrir radios de alrededor de los 50 km, sin embargo, quienes han experimentado en ésta banda de frecuencias hablan de distancias mayores, hasta los 100 km de cobertura (revisar experiencia EHAS). Así, por las características que presenta éste medio, se utiliza para el envío de voz (radio FM) e imagen (televisión abierta), entre otras.

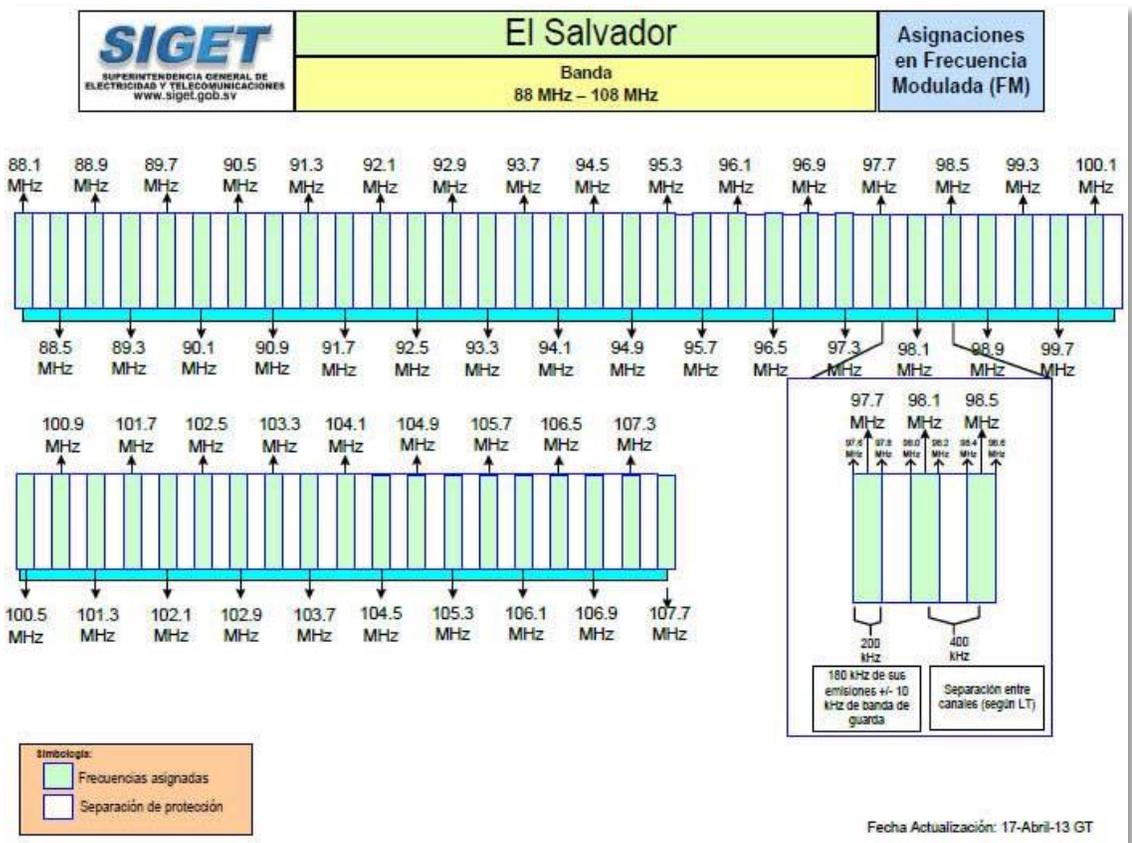
Existen rangos de frecuencias que son de uso libre, pero licenciados. La SIGET es el ente regulador de las telecomunicaciones en el país y con el que se puede consultar

la disponibilidad de un rango específico de frecuencias para su explotación. Dentro de ésta banda, siempre VHF, encontramos tres intervalos destinados al uso de radioaficionados, en las que, la SIGET, debe calificar e inscribir al usuario en el registro para autorizar el uso de las mismas. Estas bandas son:

- Banda de los 6 metros: de 50MHz a 54MHz.
- Banda de los 2 metros: de 144MHz a 148MHz.
- Banda de los 1.25 metros: de 220MHz a 225MHz.

La situación actual de las frecuencias ubicadas en la banda VHF, según la SIGET, es la siguiente:

Figura 2. Asignaciones FM en El Salvador según la SIGET.



Fuente: Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.

Figura 3. Asignaciones para banda de TV según la SIGET.



Fuente: Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.

Las Figura 2 y Figura 3 proporcionan una idea del rango de frecuencias que actualmente están siendo utilizadas por empresas de comunicaciones, según datos de la SIGET. Es evidente en las gráficas que entre cada ancho de banda asignado, hay un intervalo de frecuencias libre, cuya función es la de evitar el traslape entre las transmisiones de cada estación.

#### 1.4 CARACTERÍSTICAS DE PROPAGACIÓN.

La propagación describe cómo las señales se irradian desde una fuente de transmisión hacia afuera. La acción es simple de imaginar cuando las ondas de radio viajan en línea recta, sin embargo, la trayectoria correcta que toman las ondas de radio, es usualmente más compleja.

Existen dos modos básicos de propagación:

- Ondas terrestres y
- Ondas espaciales.

Las ondas terrestres viajan a lo largo de la superficie de la tierra, mientras que las ondas espaciales "rebotan" hacia la tierra, como se ilustra en la Figura 4

Las ondas terrestres tienen tres componentes:

- Ondas de superficie.
- Ondas directas.
- Ondas terrestres reflejadas.

Figura 4. Trayectorias de propagación



Fuente: Harris Corporation (2000). Comunicaciones de radio en la era digital, Vol. II (Pag. 17).

Las ondas de superficie viajan a lo largo de la superficie de la tierra y son capaces de llegar más allá del horizonte, a éste proceso se le llama: Refracción de superficie. La energía de estas ondas es absorbida por la tierra. El alcance efectivo de las ondas de superficie es determinado por la frecuencia y conductividad de la superficie sobre la que viajan las ondas, pero se estima un 30% más. La absorción se incrementa con la frecuencia. Las señales de radio transmitidas que utilizan una portadora que viaja como onda de superficie, dependen de la potencia del transmisor, de la sensibilidad del receptor, de las características de la antena y del tipo de trayectoria.

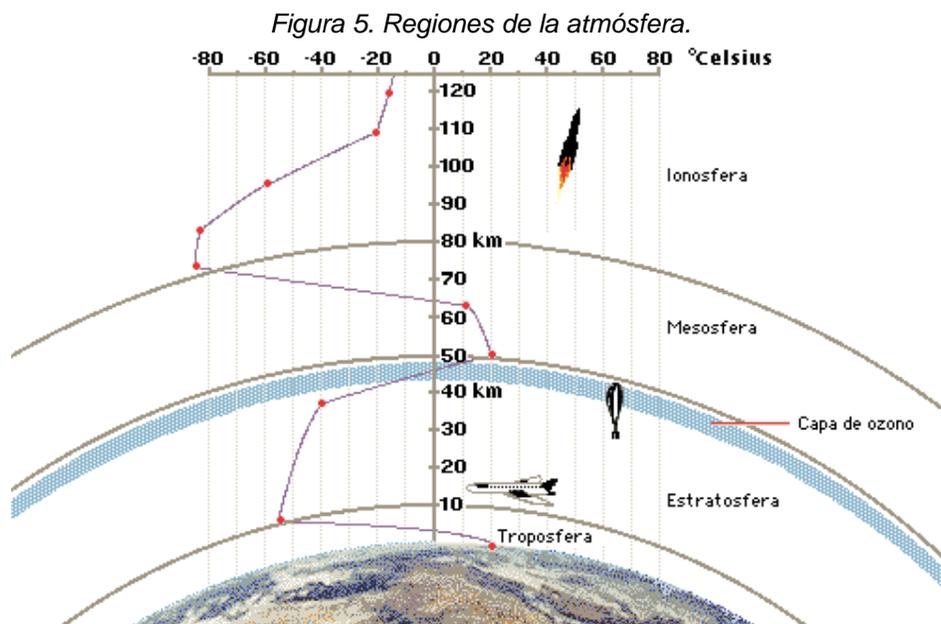
Las ondas directas son las que viajan en línea recta, debilitándose a medida que aumenta la distancia. Pueden doblarse o refractarse por la atmósfera, lo que extiende ligeramente su rango útil, más allá del horizonte. Las antenas transmisoras y receptoras deben tener la capacidad de “verse” entre sí para que tengan lugar las comunicaciones, de tal forma que la altura de la antena es crítica en la determinación del alcance.

A las ondas directas se las conoce en ocasiones como ondas de línea de vista, LOS (Line Of Sight). Este es el modo primario de propagación de las ondas de radio en VHF y UHF.

Las ondas terrestres reflejadas constituyen la porción de la onda propagada que se refleja desde la superficie de la tierra entre el transmisor y el receptor.

Las ondas espaciales hacen posible las comunicaciones más allá de la línea de vista, BLOS (Beyond Line Of Sight). En las frecuencias bajo 30 MHz, las ondas de radio son refractadas (o dobladas), regresando a la tierra a cientos o miles de kilómetros de distancia. Dependiendo de la frecuencia, de la hora del día y de las condiciones atmosféricas, una señal puede rebotar varias veces antes de llegar a un receptor.

Al propagarse a través del aire, debemos tomar en cuenta tres regiones en las que se puede dividir la atmósfera: tropósfera, estratósfera e ionosfera.



*Recuperado de: <http://www.monografias.com/trabajos5/quiam/quiam.shtml>.*

Cada una de éstas regiones puede influenciar de cierta manera dependiendo de la banda de frecuencias a la que se desea transmitir, por ejemplo, al hacerlo en la banda de frecuencias HF (High Frequency), de 3MHz a 30MHz, las ondas de radio se reflejan en la ionosfera, sufriendo una leve atenuación, pero permitiendo que rebote en ella haciéndole llegar a un punto dentro de la región que se pretende cubrir, es así que no se hace necesario establecer una línea de vista entre transmisor y receptor. Las siguientes condiciones habituales del clima pueden crear importantes inversiones de temperatura.

#### **1.4.1 RADIACIÓN DEL CALOR EN LA TIERRA.**

Después de la puesta del sol, la temperatura del aire cercano a la superficie del terreno se enfría, llevando hacia arriba el aire caliente. Este último permanece arriba, creando la inversión de temperatura (capas de este aire caliente sobre capas de aire frío). El enfriamiento continúa durante la noche y hasta antes del amanecer creando una inversión hasta una altura de 500 metros. Esta situación se ve favorecida por las noches de verano y desfavorecida por el viento y las nubes.

#### **1.4.2 FUENTES DE ALTA PRESIÓN.**

Estos frentes aplastan el aire, lo comprime y elevan su temperatura. Capas de este aire caliente sobre las capas de aire frío se forman entre los 500 y los 3000 metros. Se intensifica durante la noche y a la mañana temprano, cuando la temperatura de la superficie se enfría y se mantiene. Es notable el efecto que producen las capas alternadas de aire caliente y frío, permitiendo refracción a lo largo de grandes áreas.

#### **1.4.3 DESVANECIMIENTO TROPOSFÉRICO.**

Turbulencias en la baja atmósfera y pequeñas variaciones en el clima generan el desvanecimiento de las señales de VHF. Condiciones locales (lluvias, aire caliente ascendente de las ciudades, humedad caliente ascendente de los ríos o lagos), desestabilizan el camino de la onda y por lo tanto afectan la propagación.

Los aviones en movimiento generan una agitación sonora debido al reflejo de las señales. Estas llegan por un camino alternativo en diferente fase, cambiando constantemente con la trayectoria del avión.

#### **1.5 CARACTERÍSTICAS DE PROPAGACIÓN EN LA BANDA VHF.**

Las frecuencias de radio en VHF y UHF se propagan principalmente a lo largo de trayectorias de línea de vista. Mientras que varias características de propagación en frecuencias menores a los 30 MHz se asocian con la ionosfera y con las reflexiones de onda que emana, los efectos de la topografía local y condiciones en la atmósfera más baja mayormente gobiernan la propagación en VHF y UHF. En frecuencias superiores a 30 MHz, las ondas terrestres son absorbidas casi inmediatamente y tienen un impacto beneficioso imperceptible.

Las frecuencias en las bandas de VHF y UHF usualmente penetran la ionósfera y se disparan hacia el espacio. Esto significa que el reflejo de la ionósfera no puede ser utilizado para extender confiablemente el rango de comunicaciones de estas frecuencias. En su mayoría, las antenas de transmisión y recepción deben contar con una trayectoria bastante despejada entre ellas para que tengan lugar las comunicaciones.

## **1.6 ANTENAS VHF.**

Existe una extensa variedad de antenas utilizadas en las comunicaciones VHF. Nos enfocaremos en algunos de los tipos más comunes.

La antena látigo vertical es usada frecuentemente debido a que es omnidireccional y tiene ángulos de despegue bajos. Es de polarización vertical. Un reflector, que consiste de una segunda látigo vertical, puede añadir directividad al patrón de radiación de una antena látigo.

Otro tipo útil de antena es la de dipolo de alimentación central de  $1/4$  de onda, que es básicamente dos veces el largo del cable que es alimentado por el centro. Esta es una antena de polarización horizontal y es utilizada frecuentemente para aplicaciones vehiculares y en estaciones fijas.

Una "V" invertida (a veces llamada "dipolo inclinada") produce una combinación de radiación horizontal y vertical con cobertura omnidireccional.

Para el uso de estaciones fijas en grandes elevaciones (colinas altas o en la cima de montañas) puede utilizarse una antena log periódica direccional para comunicaciones de línea de vista muy largas, de 160 kilómetros o más.

## **1.7 EQUIPO DISPONIBLE COMERCIALMENTE.**

Los equipos de radio son importantes para las comunicaciones entre personal de empresas que se dedican al trabajo de campo, como la ingeniería, seguridad privada, aeronáutica, aplicaciones militares, etc. Estos poseen la ventaja de

establecer comunicación entre dos dispositivos que se encuentran en zonas de difícil acceso.

Este tipo de equipos son abundantes en el mercado y los fabricantes son diversos, entre ellos: Motorola, Kenwood, Yaesu, Icom, Midland, etc. Una ventaja adicional de estos dispositivos es su relativo bajo costo, ya que comúnmente varían entre los \$100 a los \$600. Claro que también existe equipo profesional con mayores capacidades y módulos para otras aplicaciones.

*Figura 6. Dispositivos disponibles en el mercado para radiocomunicaciones.*



*Fuente: Kenwood Corporation.*

Los equipos para comunicaciones de radio ofrecen múltiples capacidades de acuerdo a la necesidad que se desea cubrir. Algunos de ellos incluso se ofrecen con teclados DTMF e interfaces para programar características adicionales o comunicarse con una PC.

Entre los equipos más comúnmente usados entre los radioaficionados se encuentra el Icom IC2200H (

Figura 7). Es principalmente utilizado en la banda de 2 metros (144MHz a 148 MHz) y tiene características como:

- Potencia de salida de hasta 65W.
- Rango de operación: entre 136MHz y 174MHz en FM.

- Operación digital. A través de una tarjeta opcional se puede establecer comunicación con modulación digital de voz y datos (4800 bps).
- Programable por usuario o computadora.

*Figura 7. Radio estación base marca Icom, popular en el mercado.*



*Fuente: Icom Incorporated.*

Esta clase de equipos tienen un costo de alrededor de los \$230 y se pueden obtener de las tiendas accesorios para aumentar sus capacidades. Existen otros equipos portátiles como los Walkie-Talkie y dispositivos móviles para aplicaciones profesionales, similares al que se observa en la figura anterior.

Otra opción en el mercado muy aceptable, son los radios de la marca Motorola. Esta es una marca bastante común en el mercado y con buenos estándares de calidad en sus productos.

*Figura 8. Radios base de la marca Motorola.*



*Fuente: Motorola, Inc.*

De ésta marca es común encontrar el Motorola PRO3100, con costos alrededor de los \$250. Este equipo cuenta con las siguientes características:

- Potencia de transmisión de hasta 35W.
- Transmisión en el intervalo de 136MHz a 174MHz.

- Disponibilidad de 4 canales de frecuencias con espaciados de 12.5kHz, 20kHz y 25kHz.
- 2 botones programables.
- Interfaz para PC.

En cuanto a antenas disponibles en el mercado se pueden encontrar diversos productos y precios según sea su uso: base, móviles o portátiles. Las antenas base suelen ser las de mayor valor, arriba de los \$70, mientras que las portátiles y móviles son más económicas, encontrándose cercanas a los \$30. Las características que se deben buscar son la potencia de transmisión, que depende de la cobertura que deseamos explorar, la frecuencia, impedancia, ganancia y polarización.

## **1.8 ALGUNAS APLICACIONES.**

Parte de la banda de frecuencias VHF es utilizada en transmisión de radio FM y televisión abierta, por tanto, para explotar una parte del espectro de frecuencias regulado, se debe solicitar a la SIGET la respectiva concesión. Algunas de las aplicaciones que suele tener este rango de frecuencias pueden ser las siguientes:

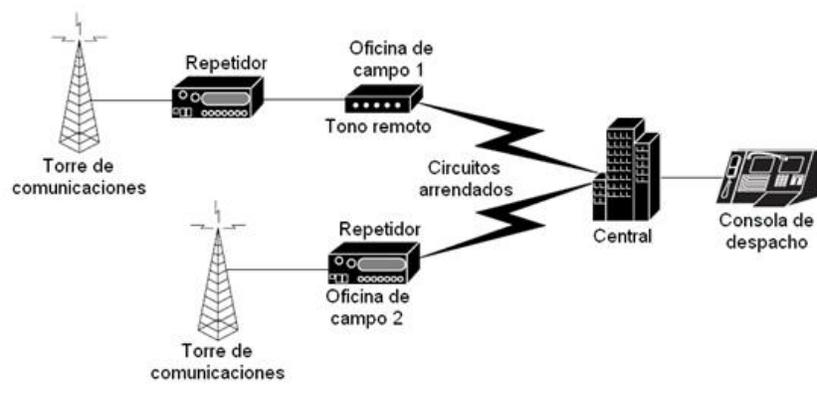
- Radiocomunicación privada.
- Radio navegación.
- Sistemas troncalizados comerciales.
- Televisión abierta, etc.

### **1.8.1 SISTEMAS RADIO MÓVILES TERRESTRES CONVENCIONALES.**

Las radiofrecuencias son ampliamente utilizadas en comunicaciones de voz half-duplex, como la que se da entre los dispositivos de radio que utilizan la banda ciudadana. A esta red de comunicación se le suele llamar en conjunto: sistemas radio móviles terrestres, y son una colección de unidades de radios portátiles y estacionarias diseñadas para comunicarse unas con las otras sobre frecuencias predefinidas. Estos se distribuyen dondequiera que se necesite comunicación instantánea entre dispositivos fijos que se encuentran dispersos geográficamente y dispositivos móviles. Entre los típicos usuarios de estos sistemas se incluyen

organizaciones de seguridad pública como departamentos de policía, bomberos, personal médico, entre otros. Sin embargo, también encuentran un uso en el sector privado para actividades como construcción, mantenimiento de edificios y seguridad en sitios. En los sistemas típicos de radio, una consola de despacho central o estaciones base controlan las comunicaciones a las unidades móviles o unidades portátiles en el campo. También en estos sistemas suelen emplearse repetidores para extender el rango de cobertura. Una topología básica de estos sistemas es el de la Figura 9.

Figura 9. Topología convencional de un sistema de radio móvil.



Fuente: Cisco System, Inc. (2006). Cisco Land Mobile Radio over IP Solution Reference Network Design.

Este tipo de sistemas de radio pueden ser tan simples como dos unidades portátiles comunicándose entre ellas mismas y una estación base sobre canales pre-programados. O pueden ser bastante complejos, consistiendo de cientos de unidades remotas, múltiples consolas de despacho, asignación de canales dinámicos y otros elementos.

### 1.8.2 TELEMEDICINA.

La telemedicina, busca brindar un medio de comunicación al personal sanitario rural, y además pretende ofrecer una serie de servicios de acceso a información y capacitación que acerquen a los médicos y sanitarios rurales a una situación parecida a la que tiene el personal que trabaja en las grandes ciudades.

Los servicios que se pueden llevar con ésta iniciativa van desde consultas a evaluaciones médicas a distancia mediante la implementación de sistemas de voz y datos de bajo costo y amplia cobertura. Entre otras cosas, se pueden consultar bases de datos en línea para el control de enfermedades epidemiológicas, etc.

Organizaciones como EHAS (Enlace Hispanoamericano de Salud) utilizan la banda VHF-UHF para conectar estaciones médicas distantes y compartir servicios de internet, VoIP y tecnologías WiFi a través de un medio económico, de mayor cobertura y menos vulnerable a pérdidas por transmisión.

Esta organización actualmente es capaz de realizar tele-estetoscopias a distancia para diagnosticar enfermedades respiratorias, tele-microscopia para diagnosticar malaria o tele-ecografía para realizar controles de calidad a embarazadas en zonas rurales, entre otros avances.

### **1.8.3 SISTEMAS VOIP.**

Los servicios VoIP ofrecen muchas facilidades de comunicación, como teleconferencias, videollamadas, mensajería, etc. Existe la posibilidad de poder brindar éstos por medio de un enlace HF/VHF/UHF y la utilización adecuada de interfaces y dispositivos de red, con ello es posible ofrecer estos servicios en áreas aisladas de las grandes ciudades.

### **1.9 RADIOS MOTOROLA PRO-3100.**

Estos radios operan en la banda VHF, entre las frecuencias de 136MHz y 174MHz. El modelo disponible en la Escuela de Ingeniería Eléctrica (EIE), tienen la capacidad de trabajar en 4 canales configurables, siendo el ancho de banda de cada uno de ellos de 25kHz, 20kHz ó 12.5kHz, dependiendo de las necesidades del usuario y la potencia de transmisión.

La potencia de transmisión oscila entre 1W y 30W, para baja potencia, y entre 25W y 45W para alta potencia, dependiendo de las opciones solicitadas al fabricante. La Figura 10 muestra la forma física de los radios en cuestión, de los que se destaca lo siguiente:

- Tres indicadores LED (rojo, amarillo y verde) para estado de canal, rastreo y monitoreo, respectivamente.
- Cuatro botones para selección de canal y sus respectivos indicadores LED.
- Dos botones etiquetados como P1 y P2.
- Una bocina frontal.
- Un micrófono con función PTT incorporado.
- Una perilla de on/off y control de volumen.

Los botones P1 y P2 son programables y el distribuidor puede configurarlos como accesos directos para varias funciones del radio. Estos pueden acceder hasta a dos funciones, según el tipo de presión ejercida sobre el botón:

- Presión breve: Presionar y soltar rápidamente.
- Presión prolongada: Presionar y mantener presionados los botones programables durante cierto período de tiempo (1 segundo y medio o el valor programado).
- Mantener presionado: Presionar y mantener presionados los botones programables mientras se verifica el estado o se realizan los ajustes.

Una de las principales ventajas que ofrece éste equipo es la disponibilidad de un puerto de comunicaciones con la PC (véase figura 11), de donde se pueden extraer los terminales para la señalización del mismo, así como los terminales para Transmisión (o Tx) y para Recepción (o Rx). A través de éste, también se pueden programar las diferentes funciones del equipo mediante la utilización del programa “Professional Radio CPS R06.12.02” y el cable de comunicación AARKN4083.

Figura 10. Motorola PRO3100 a utilizar.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

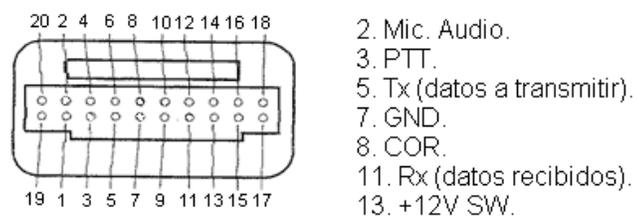
Figura 11. Interfaz para PC del radio Motorola PRO3100.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

En la Figura 12 se muestra parte del pinout de la interfaz de datos del Motorola PRO3100; posee 20 pines, de los cuales, sólo se caracterizan los que se implementarán para la ejecución del proyecto.

Figura 12. Pinout de la interfaz para PC y forma de conexión para E&M tipo V.



Recuperado de: <http://emergency-radio.blogspot.com/2013/08/motorola-gm-360-pinout.html>.

## 1.10 POTENCIA Y FRECUENCIA DE OPERACIÓN DE LOS RADIOS.

Como ya se mencionó, es importante conocer la potencia y frecuencia específica de los radios a utilizar y para asegurar dicha información, es conveniente verificarlo en laboratorio, para lo cual se pueden seguir procedimientos sencillos, tal como se describe a continuación:

- Medición de Potencia:

El instrumento de medición a utilizar es el vatímetro Bird modelo 43, el cual permite medir potencia de radiofrecuencia (RF) en líneas de transmisión coaxial de 50 ohmios. Se puede utilizar con modulación de onda continua, de TV, de FM y AM, pero no con modulación de impulsos. El medidor provee lecturas directas en Watts con una escala graduada para 25, 50 y 100 de la escala completa. La forma física del mismo se observa en la Figura 13.

*Figura 13. Wattímetro Bird modelo 43.*



*Fuente: Laboratorio de telemática (2014).*

Para efectuar la medición de potencia de transmisión con el que la señal sale del Motorola PRO3100, se establece la conexión entre el radio y en el conector N hembra al lado izquierdo y la carga se coloca del lado derecho del instrumento. Para

la unión entre el dispositivo terminal y la carga se utiliza uno de los accesorios adecuados, como en la Figura 14:

*Figura 14. Medición de potencia de transmisión del Motorola PRO3100.*



*Fuente: Laboratorio de telemática (2014).*

- Medición de Frecuencia.

Con este instrumento, también es posible utilizar una de las pastillas con el conector BNC hembra al frente del instrumento para atenuar 40dB la señal e introducirla a instrumentos de medición sensibles, como frecuencímetros, que generalmente las amplitudes máximas para la medición se encuentran alrededor de un voltio RMS. Con ésta configuración se podría determinar: frecuencia de operación y características de la señal transmitida en tiempo real (véase Figura 15).

*Figura 15. Conexiones para mediciones de frecuencia de la portadora.*



*Fuente: Laboratorio de telemática (2014).*

Los resultados obtenidos confirman una frecuencia dentro de los rangos especificados con anterioridad, 139 MHz, frecuencia a la que opera la señal portadora. En la Figura 16 se muestra el valor obtenido.

Figura 16. Medición de frecuencia obtenida.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

Los complementos del vatímetro Bird 43 lo conforman un set de pastillas (véase Figura 17) para la medición de la potencia, las cuales se especifican para un cierto rango de frecuencias y una potencia máxima. Se sustituyen en el dispositivo según sea la necesidad de la medición.

Figura 17. Elementos AKA “slug” para la medición de potencia y frecuencia.



Fuente: Bird Technologies.

La flecha indica la dirección en la que se dirige la energía, si se coloca en dirección al dispositivo transmisor, lo que se obtendrá en la medición es la potencia reflejada, es decir, la potencia que va de la antena hacia el radio.

## 1.11 CARGA FANTASMA.

También llamadas “dummy loads” (véase Figura 18), son elementos que sirven para realizar pruebas en transmisores/receptores y se colocan en lugar de la antena para simular una carga. Las especificaciones son: impedancia de  $50\Omega$ , disipación de potencia hasta  $150W$  y conector tipo N hembra. Existen cargas con especificaciones diferentes, con mayor o menor disipación de potencia e impedancias de  $75\Omega$ ,  $200\Omega$  y  $450\Omega$ . Su construcción interna es simple, pero por las cantidades de potencia que maneja se hace un dispositivo a veces robusto. Las dummy loads no son más que un arreglo de resistencias con capacidad de disipar grandes cantidades de potencia, por ello poseen disipadores de gran volumen sobre ellas, para evitar el calentamiento en los elementos pasivos.

Entre algunas de las aplicaciones de estos elementos están: comprobación de potencia, comprobación de pérdidas, comprobación de línea y prueba de baluns.

*Figura 18. Dummy load o carga fantasma de  $50\Omega$  y  $150W$ .*



*Fuente: Laboratorio de telemática (2014).*

Las pruebas de laboratorio se realizarán colocando la carga en uno de los radios, con ello no se tienen coberturas muy amplias, con lo que evitamos invadir

frecuencias restrictivas, además de radiar a las personas que se encuentren cerca del área de trabajo.

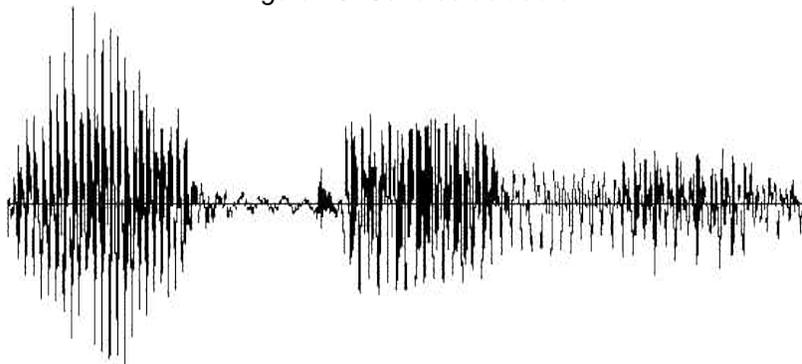
## **1.12 LOS SERVICIOS DE TELEFONÍA ANALÓGICOS.**

Para poder implementar redes de comunicaciones de manera digital, como lo es con la tecnología VoIP, se deben tener en cuenta los principales conceptos de la telefonía analógica y el funcionamiento de los actuales sistemas telefónicos. Es así como se pretende integrar en un sistema el transporte voz y datos con los medios (no tradicionales) que se encuentran disponibles.

Con “análogo”, nos referimos a la transmisión de información electrónica que se consigue adhiriendo señales de frecuencia o amplitud variable a una onda portadora de una frecuencia dada.

Las difusiones tradicionales de media como radio, televisión y PSTN usan tecnología analógica, normalmente representado por una serie de ondas senoidales variantes. El término análogo se puede remontar a la similitud entre las fluctuaciones reales de la voz humana y la “análogo”, comparable, la modulación de una onda portadora. La voz humana utiliza el rango de 20Hz a 20kHz, concentrándose la mayor parte de la energía entre los 300Hz y los 3300Hz. Una señal de audio tradicional se visualiza como en la Figura 19.

*Figura 19. Señales de audio.*



*Recuperada de: [http://www.conscious-robots.com/raul/voz\\_old/voz\\_estud.htm](http://www.conscious-robots.com/raul/voz_old/voz_estud.htm).*

### 1.13 OPERACIÓN DE UN SISTEMA BÁSICO DE TELEFONÍA.

Las señales analógicas son ondas continuas capaces de representar un número ilimitado de valores. Los sistemas telefónicos usan líneas analógicas conmutadas para proveer comunicaciones de voz convirtiendo ondas de sonido (vibraciones que se mueven en el aire) en señales eléctricas, como en la Figura 19. Un sistema telefónico convencional, compuesto por dos teléfonos, opera de la siguiente manera:

- A. Ambos teléfonos están colgados, es decir, son circuitos abiertos.
- B. El auricular se levanta causando que se cierre ese circuito y que la corriente comience a fluir. El teléfono se considera entonces “descolgado”. Esto envía una señal a la compañía telefónica y el sistema genera un tono de marcado.
- C. El cliente marca un número de teléfono, el que será destinatario. Las señales resultantes son recibidas mediante un método denominado “en banda” por el conmutador de la central.
- D. La central que maneja el teléfono destinatario envía una señal de llamada al receptor o destinatario y una señal de llamada al ejecutor de la misma para hacerle saber que la petición de respuesta ha sido completada y la llamada se está efectuando.
- E. Cuando el teléfono es contestado, otra señal es enviada a la central para detener el llamado y comenzar a contabilizar el proceso. El tiempo que le toma a la central completar la conexión entre la persona llamante y la persona llamada es denominado como “tiempo de configuración de llamada”.
- F. Cuando el teléfono es colocado nuevamente en su base por ambas partes, el circuito se abre nuevamente, la corriente cesa, y el tono de marcado se detiene. Cuando esto ocurre, el teléfono se considera “colgado”. Las centrales telefónicas emplean la información “colgado/descolgado” adicionalmente a los números a los cuales se llaman o de donde se llaman, duración de llamada y cargo por minuto o fracción para generar datos de facturación.

El mismo principio es aplicado para una central telefónica con muchos más clientes. El número de ellos dependerá de la complejidad de la propia central.

## 1.14 LA SEÑALIZACIÓN ANALÓGICA.

Una definición de señalización (se puede consultar en la recomendación UIT-T Q.9) puede ser: Intercambio de información (de otra forma que no sea mediante la palabra) relacionada específicamente con el establecimiento, la liberación y otras formas de control de las comunicaciones, y con la gestión de la red, en la explotación automática de telecomunicaciones.

Con el término de señalización nos referimos a señales específicas que son transmitidas a través de los circuitos telefónicos, los que se usan para proporcionar información de control de línea, datos de usuario, gestión de la red, entre otros. Su papel fundamental es servir como mecanismo para transferir información entre nodos del sistema de telecomunicaciones:

- Control de tráfico:



Figura 20. Intercambio de información de control de línea.

- Acceso a base de datos:

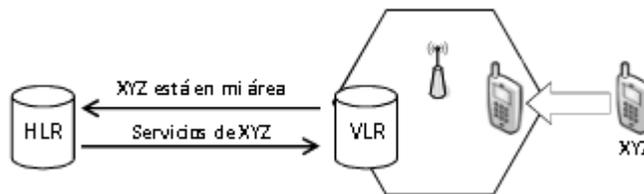


Figura 21. Acceso al Registro de Ubicación Base (HLR) y registro de Ubicación de Visitante.

- Gestión de la red:



Figura 22. Representación de gestión de red.

En la nube de la PSTN (Public Switched Telephone Network), un circuito abierto (sin corriente fluyendo) indica una condición de “colgado”. Mientras que la condición de “descolgado” es indicada por un circuito cerrado (corriente fluyendo constantemente).

Algunos sistemas telefónicos antiguos usaban metodologías de señalización de dirección como el Dial-Pulse (DP) o el Dual-Tone Multifrequency (DTMF), pero por cuestiones de mejoras técnicas el DTMF reemplazó al DP y aún a la fecha se sigue usando éste método para ciertas aplicaciones. Sin embargo, la señalización más popular y conocida para la troncalización analógica es la E&M, la cual se explicará con detalle más adelante.

### 1.15 TONOS DUALES DE MÚLTIPLES FRECUENCIAS (DTMF).

Este tipo de señalización utiliza una señal de tono audible para indicar un número. Dos tonos audibles son puestos en la línea para indicar que se ha presionado una tecla. Por ejemplo, si se marca el número 1, el tono de alta frecuencia colocado en la línea será 1209MHz, mientras el tono de más baja frecuencia asociado con el número 1 será de 697MHz.

Tabla 1. Frecuencias utilizadas en DTMF según marcaje.

|                          |        | Tonos de alta frecuencia |         |         |         |
|--------------------------|--------|--------------------------|---------|---------|---------|
|                          |        | 1209MHz                  | 1336MHz | 1477MHz | 1633MHz |
| Tonos de baja frecuencia | 697MHz | 1                        | 2       | 3       | A       |
|                          | 770MHz | 4                        | 5       | 6       | B       |
|                          | 852MHz | 7                        | 8       | 9       | C       |
|                          | 941MHz | *                        | 0       | #       | D       |

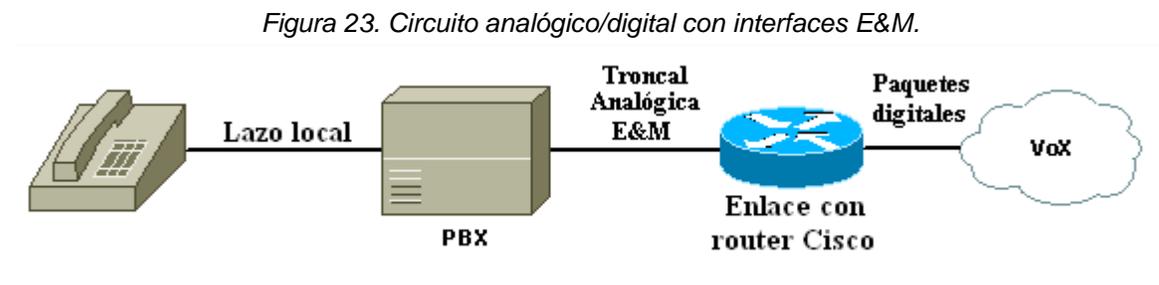
Fuente: Cisco System, Inc. (2002). *Configuring Cisco Voice Over IP.*

Las señales DTMF han sustituido a la marcación por pulsos, como ya antes se mencionó, utilizada por los antiguos teléfonos con disco. Con el sistema DTMF, cada vez que se pulsa una tecla del teléfono se generan dos tonos de frecuencias específicas. Los tonos DTMF son señales analógicas, pero siguen siendo necesarios al hacer las llamadas telefónicas, por ejemplo para interactuar con un sistema de

atención automatizado (IVR) en las que se solicita marcar una tecla para seleccionar entre múltiples opciones.

### 1.16 SEÑALIZACIÓN E&M.

Un típico circuito analógico/digital E&M es el que se muestra en la Figura 23, donde se hace uso de un 31ateway de Cisco, donde la voz pasa de ser una señal analógica a paquetes de voz.



*Fuente: Cisco System, Inc. (2006). Analog E&M Voice Signaling Overview.*

Esta señalización no es la que se usa en las redes telefónicas actuales, sin embargo, sigue siendo una de las más utilizadas como método para proveer troncalización análoga. Comúnmente se le llama a éste método: “Ear & Mouth” o, más correctamente, “Earth & Magnet”. La parte llamada “Earth” de éste “sobrenombre” representa la tierra eléctrica; la parte “Magnet” representa el electro magneto usado para generar tono en el auricular del teléfono. Éste tipo de señalización provee estados señalizados que indican condiciones de “colgado” y “descolgado”, desapareciendo la probabilidad de que una troncal de dos vías se apodere simultáneamente de ambos terminales.

Las centrales telefónicas hoy en día usan una batería DC invertida como señalización entre centrales locales y remotas intercambiando llamadas, y así indicar un estado de circuitos conmutados. La central más cercana a la parte que solicita la llamada selecciona un circuito troncal desocupado. Un cambio de polaridad en la troncal indica, a la central local originando la conexión, que el teléfono está colgado y

que por lo tanto suene, o que está descolgado y dé tono de ocupado. La central distante completa la operación revirtiendo la polaridad de voltaje para indicar que la parte a la que se está llamando ha contestado. La señalización E&M usa un par de conductores extra en líneas troncales locales o distantes, uno designado como terminal “E” y otro como terminal “M”. El terminal “E” recibe señales, mientras que el terminal “M” las transmite.

### **1.16.1 TIPOS DE SEÑALIZACIÓN E&M.**

Hay 5 tipos o modelos diferentes de interfaces E&M: Tipo I, II, III, IV y V. Cada uno tiene un arreglo de cables diferente y por lo tanto, un enfoque distinto para transmitir señalización de supervisión E&M (señalización colgado/descolgado o también On-Hook/Off-Hook).

Para entender mejor las señales de supervisión, una breve descripción de las abreviaturas utilizadas:

- E (Ear o Earth): terminal de señal desde la troncal (Central Office) hasta el extremo de señalización.
- M (Mouth o Magnet): terminal de señal del extremo de señalización hasta el troncal (Central Office).
- SG (Signal Ground): Señal de tierra. Usado en E&M tipos II, III, IV.
- SB (Signal Battery): Señal de batería. Usado en E&M tipos II, III, IV.
- T/R (Tip/Ring): T/R par de audio.
- T1/R1 (Tip-1/Ring-1): Par de audio para operaciones a 4 hilos.

Los tipos E&M mencionados definen mecanismos diferentes para imponer señalización en el terminal “E” o reconociendo señalización impuesta en el terminal “M”. En general, a partir de la configuración tipo II se usan en aplicaciones radios móviles terrestres porque la ausencia de conectividad DC entre la radio y el router asegura que no son creados lazos de tierra. El tipo V ofrece la opción de conectar puertos E&M en forma “back-to-back” usando un cable rollover (volteado), pero solo

en el modo de “dos conductores”. Se debe aclarar que los dispositivos colocados en ambos puertos E&M deben ser colocados y conectados al mismo sistema de tierra o potencia.

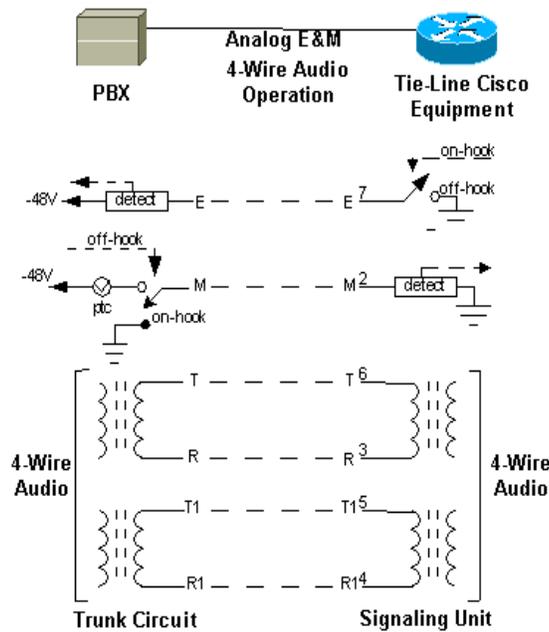
La señalización E&M define el lado de la señalización y el de la troncal para cada conexión. El lado de la señalización es la PBX, mientras que el lado de la troncalización puede ser un banco de canales, un router con la interfaz adecuada, etc. El lado señalizador envía indicadores de “colgado/descolgado” sobre el terminal “M”, y el lado de la troncal envía estos mismos indicadores sobre el terminal “E”. Este sistema provee a cada lado del enlace con un canal dedicado para la señal.

Este tipo de señalización usa de seis a ocho pines, distribuidos en un conector RJ-48, dependiendo del tipo de E&M utilizado. El descuelgue y las llamadas entrantes son señalizadas usando uno de los cinco tipos E&M. Las interfaces para esta implementación generalmente no ocupan un tono de llamada, pero en lugar de ello utilizan señalizaciones como: immediate-start, wink-start o delay-start, para indicar descolgado o que existen llamadas entrantes.

En las siguientes figuras se muestran los tipos de conexiones que se pueden dar entre el puerto y un dispositivo terminal. La frase “dos conductores” o “cuatro conductores” hace referencia a un sistema que ocupa un canal, ya sea para transmisión o recepción, o ambos, respectivamente, para establecer la comunicación. Por ser más completo, se muestran las conexiones para 4 conductores.

NOTA: En sistemas radio móviles terrestres, el tipo I no se utiliza porque no es conducente a interfaces con éste tipo de sistemas ya que requiere una interconexión del sistema de tierra o potencia del radio y el router. Sin embargo se muestra el modelo de interface para fines de conocimiento general.

Figura 24. E&M tipo I: Es la interface más común en Norte América.



Fuente: Cisco System, Inc. (2006). *Understanding and Troubleshooting Analog E&M Interface Types and Wiring*.

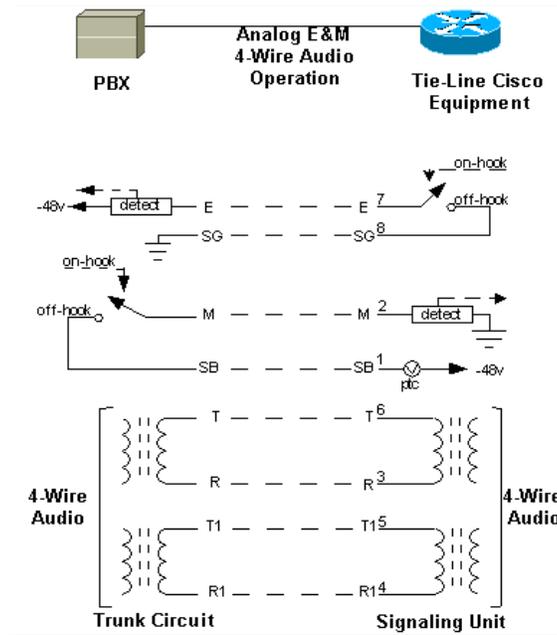
**Tipo I:** Durante la inactividad, el terminal “E” debe estar abierto mientras que el terminal “M” debe estar conectado a tierra. Una PBX indica la condición de “descolgado” conectando el terminal “M” a la batería. El lado del router o la central indica una condición de “descolgado” conectando el terminal “E” a tierra. Las conexiones para una E&M tipo I se muestran en la Figura 24.

Un resumen de sus características entonces:

- Utiliza dos conductores para señalización de supervisión: E y M.
- Durante la inactividad, el conductor E se abre y el conductor M se cortocircuita.
- La PBX (que actúa como troncal del lado del circuito) se conecta al terminal M y éste hacia la batería para indicar condición de “descolgado”.
- El router (unidad señalizadora), conecta el terminal “E” a tierra para indicar condición de “descolgado”.

Tipo II: Durante la inactividad, ambos terminales “E” y “M” deben estar abiertos. Una PBX indica condición de descolgado conectando el terminal “M” al terminal “SB”, el cual es conectado a la batería del lado de la central telefónica. El router o la central, indican condición de descolgado conectando el terminal “E” al terminal “SG”, el cual a su vez está conectado a tierra de la PBX. La figura 25 muestra el circuito a implementarse para una condición a 4 conductores o líneas.

Figura 25. E&M tipo II: Dos nodos de señalización pueden ser conectados de forma back-to-back.



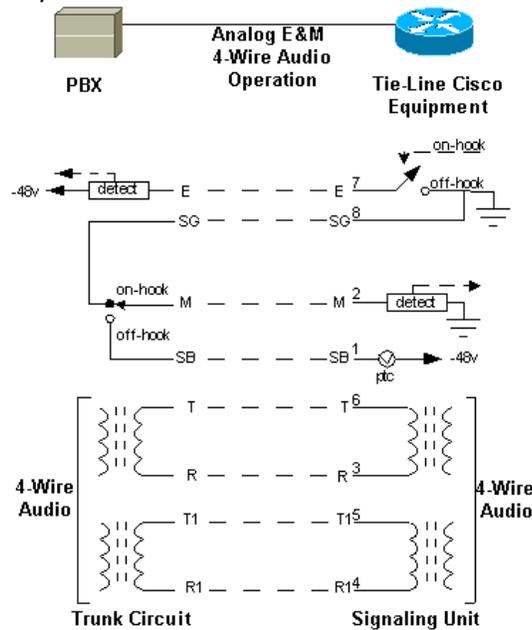
Fuente: Cisco System, Inc. (2006). *Understanding and Troubleshooting Analog E&M Interface Types and Wiring*.

En resumen:

- Este tipo utiliza 4 conductores para supervisión: E, M, SB y SG.
- Durante inactividad, ambos conductores E y M se encuentran abiertos.
- La PBX (actúa como troncal al lado del circuito) conecta el conductor M al conductor de señal de batería (SB), este mismo se encuentra conectado a la batería del lado de la señalización indicando condición de “descolgado”.
- El router (unidad señalizadora), conecta el conductor E al conductor de señal de tierra (SG) que a su vez está conectado a la tierra del circuito del lado de la troncal para indicar la condición de “descolgado”.

Tipo III: No es comúnmente usado. Durante la inactividad, el terminal “E” está abierto y el “M” puesto a tierra al conectarlo al terminal SG de la central telefónica. Una PBX indica la condición de descuelgue desconectando el terminal M del terminal SG y colocándolo al terminal SB de la central telefónica. El lado de la central o router indica la condición de descolgado conectando el terminal E a tierra.

Figura 26. E&M tipo III: No es comúnmente usado en sistemas modernos.



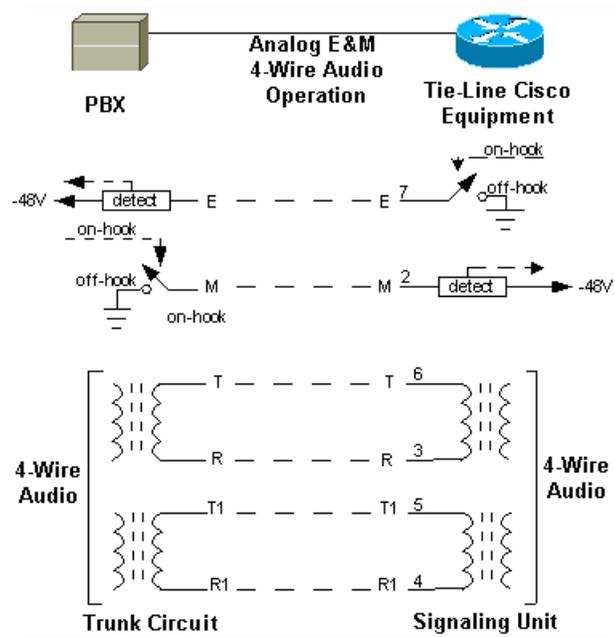
Fuente: Cisco System, Inc. (2006). *Understanding and Troubleshooting Analog E&M Interface Types and Wiring*.

Sus características resumidas son las siguientes:

- Este tipo utiliza 4 conductores para supervisión: E, M, SB y SG.
- Durante inactividad, el conductor E está abierto y el M conectado a la tierra del conductor SG del lado de la señalización.
- La PBX (actúa como troncal al lado del circuito) desconecta el conductor M del conductor SG y lo conecta al conductor SB del lado de la señalización indicando la condición de “descolgado”.
- El router (unidad señalizadora), conecta el conductor E a tierra indicando la condición de “descolgado”.

Tipo V: Común en EEUU y Europa. Durante la inactividad, los terminales E y M deben estar abiertos. Una PBX indica el descuelgo conectando el terminal M a tierra. El lado del router o central telefónica indica ésta misma condición conectando el terminal E a tierra. Éste tipo de conexión es simétrica y permite la configuración “back-to-back”.

Figura 27. E&M tipo V: El tipo V es simétrico y permite que dos nodos de señalización se conecten de forma back-to-back.



Fuente: Cisco System, Inc. (2006). *Understanding and Troubleshooting Analog E&M Interface Types and Wiring*.

En resumen, para éste tipo de configuración:

- Utiliza dos conductores para supervisión: E y M.
- Durante inactividad, los conductores E y M están abiertos.
- La PBX (actúa como troncal al lado del circuito) conecta el conductor M a tierra indicando condición de “descolgado”.
- El router (unidad señalizadora), conecta el conductor E a tierra indicando la condición de “descolgado”.

La integración de este tipo de radios con plantas de VoIP requiere del hardware necesario para la administración de la señalización antes descrita; la principal alternativa a explorar son los enrutadores de acceso modular de la marca Cisco serie 2600, los cuales tienen la ventaja de implementar plantas de VoIP propias (Call Manager Express, CUCM, etc) o bien integrarse a otras existentes (Elastix/Asterisk, entre otras) y además poseen hardware que se puede adecuar para la administración de la señalización E&M, lo cual se detalla en los siguientes apartados.

### **1.17 LOS ENRUTADORES (ROUTERS).**

Los routers son necesarios para permitir llamadas entre locaciones VoIP y fuera de la red, o locaciones en la PSTN. Es decir, podemos hacer llamadas desde una unidad telefónica IP a un teléfono analógico tradicional y viceversa a través del router, también llamado puerta de enlace.

Los routers también proveen redundancia. Cuando la red VoIP está congestionada o cuando la WAN portadora de tráfico VoIP se cae, el router desvía la llamada saliente de la WAN hacia la PSTN. Los routers en cada locación de VoIP, permiten a las oficinas comunicarse unas con otras a través de la PSTN cuando la WAN está caída o congestionada. El router que llama, convierte los paquetes digitales de voz en un flujo tradicional de división de tiempo multiplexado (TDM) y transmite la llamada a través de la PSTN. El router destinatario convierte el flujo de voz TDM entrante en paquetes digitales para el procesamiento del teléfono IP destinatario.

#### **1.17.1 ROUTER CISCO 2620XM.**

Una de las partes más importantes del proyecto es el dispositivo enrutador utilizar, es decir el router, a través del cual se levantan o configuran las interfaces para establecer comunicaciones con otros periféricos de la red. La ventaja que brindan los equipos Cisco es el soporte, ya que muchas soluciones de comunicación se basan en estos dispositivos y pueden servir de referencia para proyectos similares. Los routers que se utilizan son los de la serie 2600 (Figura 28), cuyas características se explican enseguida.

*Figura 28. Router Cisco serie 2600.*



*Fuente: Cisco System, Inc. (2006).*

Los routers de la serie Cisco 2600 son routers de acceso modular con conexiones LAN y WAN que pueden ser configuradas por medio de módulos intercambiables y tarjetas de interfaces WAN.

Específicamente, las interfaces LAN soportadas por el 2620XM son las siguientes: puerto del tipo RJ-45 para cable consola, entrada para fast ethernet (10/100), espacio para módulo de red, dos espacios para tarjetas de interfaces WAN y un espacio para módulos avanzados de integración.

Los módulos de red (Network Modules) permiten expandir el número de interfaces presentes en el equipo, soportando servicios múltiples para voz y datos, acceso de marcado analógico e ISDN y concentración de dispositivos seriales. En la Figura 29 se muestra un módulo de red con dos tarjetas de interfaces de voz (VIC's).

*Figura 29. Módulo de red para router Cisco serie 2600.*



*Fuente: Cisco System, Inc. (2006).*

Los routers, al igual que una computadora personal, necesitan de un sistema operativo para coordinar funciones e interactuar con el usuario. A éste software se le denomina IOS (Internetwork Operating System) y posee un set de instrucciones por medio de las cuales, se asignan tareas al dispositivo, configuración de interfaces, etc. Los tipos de IOS soportados por las series 2600 de Cisco, son los siguientes:

- IP Base.
- IP Voice.
- Enterprise Base.
- Enterprise Services.
- Advanced IP Services.
- Advanced Enterprise Services.
- SP Services.
- Advanced Security.

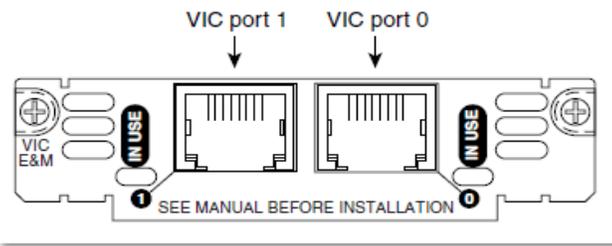
El 2620XM tiene un sistema IP Base de fábrica, que posee las características más básicas para operar. Las diferencias entre las versiones mencionadas anteriormente es el paquete de funciones con los que han sido compilados y no todos pueden ejercer las mismas funciones específicas en una red. El IOS tiene mucho que ver con el soporte también de algunas VIC disponibles en el mercado para los routers Cisco.

A continuación se mencionan las interfaces de voz que se implementarán junto los elementos antes mencionados para la utilización de los dispositivos terminales como teléfonos analógicos, teléfonos IP, softphone o radios.

#### **1.17.1.1 VIC-2E/M.**

Este tipo de interfaz E&M es compatible con las instalaciones de líneas telefónicas o entre centrales telefónicas. Las VIC (Voice Interface Card) se usarán para integrar VoIP con las señales analógicas de los radios. Estas tarjetas, originalmente fueron creadas para el uso con PBX y router Cisco, sin embargo, para el caso, se usarán para conectar radios analógicos y brindar una solución de comunicación similar al servicio que ofrecen empresas como “Red” de INTEL FON.

Figura 30. Vista frontal de las VIC-2E/M.



Fuente: Cisco System, Inc. (2006). *Understanding and Troubleshooting Analog E&M Interface Types and Wiring.*

Esta tarjeta electrónica consta de dos puertos para conectores tipo RJ-45 y un indicador LED para cada uno, el que se enciende cuando se ha establecido un enlace con el dispositivo conectado al respectivo puerto.

Figura 31. VIC-2E/M implementadas en el proyecto.



Fuente: Cisco System, Inc. (2006).

Las puertos de voz E&M, como ya se ha mencionado anteriormente, han sido diseñados para conectar directamente a una PBX y por lo tanto debe de coincidir con las especificaciones de la PBX en particular a utilizar, que en nuestro caso será el radio Motorola PRO3100. Las siguientes configuraciones son obligatorias para implementar un puerto E&M:

- Tipo de señal (signal).
- Tono de llamada en progreso (cptone).
- Operación (operation).
- Tipo (type).
- Impedancia (impedance).

Una configuración básica del puerto E&M consiste en una serie de instrucciones que se asignan al router. Un ejemplo de ella es la siguiente:

*Tabla 2. Configuración básica de tarjetas E&M.*

```
1 router>enable
2 router#configure terminal
3 router(config)#voice-port nm-module/vic-module/port-number
4 router(config-voiceport)#signal [wink-start|immediate|delay-dial]
5 router(config-voiceport)#cptone country code
6 router(config-voiceport)#operation [2-wire|4-wire]
7 router(config-voiceport)#type [1|2|3|5]
8 router(config-voiceport)#impedance [600c|600r|900c|complex1|complex2]
9 router(config-voiceport)#end
```

*Fuente: Cisco System, Inc. (2002). Configuring Cisco Voice Over IP.*

Las líneas 1 y 2 son instrucciones básicas de acceso al router para realizar configuraciones en el equipo. A partir de la línea 3 hasta la 8 son instrucciones particulares para lograr el comportamiento deseado de los puertos en la red.

Con la línea 3 indicamos al router la ubicación del puerto a configurar, número de módulo NM, número de VIC y número de puerto, respectivamente. La línea 4 sirve para indicar el tipo de señalización de supervisión a utilizar, las posibles opciones son las que se encuentran entre los corchetes divididas por barras verticales. Con la línea 5 especificamos los códigos para señalización de llamada en progreso por país, el que se utiliza por defecto es “us”. El tipo de operación (2 hilos | 4 hilos) se define en la línea 6, y esto depende de las capacidades del dispositivo terminal que se conectará, en el caso del Motorola PRO3100, se utiliza la operación a 4 hilos. El tipo de señalización E&M se define en la línea 7 y es necesario aclarar que el tipo 4 no es utilizado por la tecnología Cisco. Con la línea 8 se especifica la impedancia de la línea terminal a integrar con el puerto E&M. Cerramos la configuración de la interface con el comando “end”, en la línea 9.

### 1.17.1.2 VIC-2FXS

Las tarjetas FXS (Foreign Exchange Station) son interfaces que sirven para conectar directamente teléfonos estándar, faxes y dispositivos similares. Los puertos son entradas para conectores del tipo RJ-11. Para cada puerto posee un LED indicador que se enciende al haber tráfico en ellos.

*Figura 32. VIC-2FXS para conexión de teléfonos analógicos.*



*Fuente: Cisco System, Inc. (2006).*

Estas tarjetas, al igual que las E&M, se colocan en los módulos de red de los routers para extender capacidades y tienen que ser configurados para su correcto funcionamiento.

### 1.17.1.3 VIC-2FXO

Las tarjetas FXO (Foreign Exchange Office), son similares a las FXS en cuanto a apariencia física, pero se debe tener el cuidado de no confundirlas, ya que podría dañarla. Este es el puerto que recibe la línea analógica para conectarse a la PSTN. Provee señalización de colgado y descolgado y dan lugar para la implementación de centrales telefónicas.

*Figura 33. VIC-2FXO utilizados para salir a la PSTN.*



*Fuente: Cisco System, Inc. (2006).*

#### 1.17.1.4 Configuración básica de las tarjetas FXS y FXO.

Éste tipo de tarjetas tienen configuraciones por defecto adecuadas a la mayoría de las situaciones. Por tanto, la intervención del usuario raramente es necesaria. Sin embargo, las siguientes configuraciones son obligatorias (aunque tengan valores por defecto) para cualquier puerto FXS o FXO:

- Tipo de señal.
- Tono de llamada en progreso.
- Frecuencia de timbrado.
- número de timbrados.
- Tipo de marcado (sólo FXO).
- Modo de conexión PLAR.
- Umbral de música.
- Descripción.
- VAD.
- Confortamiento de ruido.

Como en el caso de las tarjetas E&M, una configuración habitual, consistiría en las líneas que se pueden observar en la Tabla 3.

Las líneas que son iguales a las del caso E&M, funcionan de la misma manera en éste caso. La línea 4 especifica el tipo de señalización que se implementará, entre corchetes y separados por barras aparecen las opciones disponibles. Con la línea 6 se especifica el tipo de conexión que se realizará; en el caso de usar una PBX se debe especificar “tie-line”, si se utilizará una línea privada de colgado automático, la opción es “plar”, mientras que si se utiliza una extensión de una conexión PLAR externa, se utiliza “plar-opx”. Con la línea 7 se especifica el tipo de marcado, en el caso de las FXO. Las líneas 8 y 9 se encargan de colocar un valor numérico a la frecuencia de timbrado y el número de veces que sonará. Cada uno de los patrones que se muestran en las opciones de la línea 10 especifica un patrón existente para el tono de timbrado. Con la línea 12 se especifica en dB el umbral para sostener algo

de música. La línea 13 agrega una descripción a la FXS/FXO en particular. Con la línea 14 se configura la generación de ruido de fondo para el confort del usuario cuando no existe sonido. La línea 15 tiene cierta importancia, ya que se puede utilizar también con las tarjetas E&M, el comando VAD establece un nivel de ruido a superar para “abrir” el canal de voz y enviar una señal que cae en la categoría de “voz” y no como ruido.

Tabla 3. Configuración básica tarjetas FXS/FXO.

```
1 router>enable
2 router#configure terminal
3 router(config)#voice-port nm-module/vic-module/port-number
4 router(config-voiceport)#signal [loop-start|ground-start]
5 router(config-voiceport)#cptone country-code
6 router(config-voiceport)#connection {tie-line | plar | plar-opx} string
7 router(config-voiceport)#dial-type {dtmf | pulse}
8 router(config-voiceport)#ring frequency [25| 50]
9 router(config-voiceport)#ring number number
10 router(config-voiceport)#ring cadence {[pattern01 | pattern02 |
    pattern03 | pattern04 | pattern05 | pattern06 | pattern07 |
    pattern08 | pattern09 | pattern10 | pattern11 | pattern12]
    | [define pulse interval]}
11 router(config-voiceport)#impedance [600c|600r|900c|complex1|complex2]
12 router(config-voiceport)#music-threshold number
13 router(config-voiceport)#description string
14 router(config-voiceport)#comfort-noise
15 router(config-voiceport)#vad
16 router(config-voiceport)#end
```

Fuente: Cisco System, Inc. (2002). *Configuring Cisco Voice Over IP*.

## 1.18 ARQUITECTURA BÁSICA DE LAS REDES DE COMUNICACIONES DE VoIP.

La idea básica de funcionamiento de éste tipo de tecnología es establecer una comunicación uno a uno y bidireccional entre los elementos que se encuentran

conectados a una red, con la calidad suficiente para garantizar el entendimiento entre los usuarios que intervienen.

Una de las principales desventajas de las redes IP es que son de tipo “best effort”, es decir que no se puede garantizar que los paquetes lleguen a su destino o que lleguen completos a éste, teniendo como consecuencia la imposibilidad de establecer un parámetro de calidad de servicio (QoS) de manera fácil, aunque actualmente hay mecanismos disponibles para lograr una QoS lo suficientemente eficiente, pero este tema requiere de un estudio dedicado que se presentará próximamente en la escuela de ingeniería eléctrica.

El nivel de aplicación es donde se ubican los programas capaces de establecer intercambios con los niveles inferiores de la arquitectura, de intercambiar elementos que en conjunto, constituyen el sistema de comunicación propuesto y estas son las plantas telefónicas IP.

### **1.19 SEÑALIZACIÓN Y ENRUTAMIENTO DE VoIP.**

Como una introducción a los conceptos básicos para comprender cómo una llamada de VoIP es completada y a los protocolos que entran en juego en la realización de la misma se presentan algunos conceptos de direccionamiento y enrutamiento de los paquetes de voz.

Algunos de los protocolos de señalización más utilizados son:

- H.323: es un estándar de la UIT para conferencia interactiva, surge a través de la evolución del estándar H.320 ISDN, con las características de ser flexible y complejo.
- MGCP: Media Gateway Control Protocol, es un protocolo que sirve para el control de dispositivos, donde un gateway es controlado por otro gateway maestro. Su arquitectura se diferencia de los demás protocolos VoIP por ser del tipo cliente – servidor. Aunque meramente no es catalogado como un estándar, su sucesor, Megaco está aceptado y definido como una recomendación en la RFC 3015, consultar.

- SIP: Session Initiation Protocol, es un protocolo de sesión definido en principio en la RFC 2543, consultar, que luego fue redefinido por la RFC 3261, consultar. Su objetivo es proporcionar el mecanismo para establecer, modificar y abandonar una sesión entre dos terminales, así como poder localizar y registrar usuarios, quedando fuera de su ámbito el tipo de datos a transmitir en la sesión o la forma de transporte de los mismos.
- SCCP o “skinny”: es un protocolo propietario de control de terminal, de Cisco. y se define como un conjunto de mensajes entre un cliente ligero y el Call Manager. Ejemplos conocidos de clientes ligeros son los de la serie Cisco 7900 de teléfonos IP como el Cisco 7960, Cisco 7940 y el Cisco 7920. Skinny es un protocolo ligero que permite una comunicación eficiente con un sistema Cisco Call Manager. El Call Manager actúa como un proxy de señalización para llamadas iniciadas a través de otros protocolos como H.323, SIP, RDSI o MGCP.

La señalización VoIP es la más usada en tres distintas áreas: señalización desde la PBX al router, señalización entre routers y señalización desde el router a la PBX.

### **1.19.1 SEÑALIZACIÓN ENTRE ROUTERS Y PBX.**

Cuando se señala de una PBX a un router, el usuario levanta el auricular, señalizando una condición de descolgado. La conexión entre PBX y router aparece como una línea troncal hacia la PBX, lo cual indica (señaliza) al router para apoderarse de la troncal. Una vez que se ha apoderado de la troncal, la PBX adelanta al router los dígitos marcados de la misma manera en que los dígitos deberían ser adelantados a la compañía telefónica o a otra PBX. La interfaz señalizadora de la PBX al router podría ser alguno de los métodos de señalización más comúnmente usados para apoderarse de una línea troncal, como FXS, FXO, E&M o T1/E1.

### **1.19.2 SEÑALIZACIÓN VOIP.**

En arquitecturas de redes sin conexión como las redes IP, la responsabilidad del establecimiento de sesiones y señalización recae sobre la estación terminal. Para emular con éxito los servicios de voz sobre una red IP se requieren mejoras en el “stack” de señalización.

El protocolo RTCP provee transferencia de información fiable una vez que se establece el flujo de audio.

## **1.20 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.**

Los protocolos de comunicación son los mecanismos que utilizan los medios digitales de transmisión de datos para interpretar un mensaje como una señal de voz, donde se establecen los lineamientos que se deben seguir para establecer la comunicación entre dos puntos remotos. Existen varios protocolos para el establecimiento de las comunicaciones, entre ellos los más representativos son el H.323 (una familia de protocolos en realidad) y el SIP.

### **1.20.1 PROTOCOLO H.323.**

Es una norma creada desde 1996 por la UIT que se ha ido actualizando continuamente hasta esta fecha, se encuentra en la versión 7 y es parte de un conjunto de normativas (H.225.0, H.245, H.450, H.460) que rigen los protocolos de comunicación de la telefonía IP para la codificación y transferencia de voz y video, se basó en estándares ya existentes como H.320, RTP y Q.931, los codecs de audio que se utilizan bajo esta norma son G.711, G.722, G.723.1, G.728, G.729. Codecs de video H.261, H.263.

### **1.20.2 PROTOCOLO DE INICIO DE SESIÓN (SIP).**

Es un protocolo que proporciona los mecanismos necesarios para establecer, modificar y abandonar una sesión entre dos terminales, además de localizar y registrar usuarios. Dentro de éste protocolo no existe una especificación sobre el tipo de datos a transmitir o en la forma de cómo se transportan. Este un protocolo de señalización que funciona a nivel de aplicación, utilizado para gestionar las sesiones multimedia entre dos o más terminales. Se basa en mensajes de texto para la comunicación, petición y respuesta, reutilizando los conceptos de otros estándares para HTTP y SMTP. Es del tipo peer-to-peer, es decir que la logística de la comunicación es almacenada en los extremos de cada usuario SIP.

El protocolo SIP es el encargado de la comunicación exclusivamente solo para establecer una llamada, modificarla y finalizarla. SIP se vale de otros protocolos para

transportar la voz. El propósito funcional de SIP es la comunicación entre dispositivos multimedia.

El protocolo SIP utiliza los siguientes protocolos para el transporte de la voz:

- RTP: Utilizado para el transporte de la voz y el video. Provee los servicios para la transmisión y entrega de información en tiempo real.
- RTCP: Es un protocolo de control para RTP y permite obtener información de la calidad de servicio proporcionada por el protocolo RTP.
- SDP: Utilizado para para la negociación direcciones, puertos y los protocolos de transporte a utilizar por parte de los clientes SIP finales.

### **1.20.3 COMPARATIVAS SIP/H.323.**

Vamos ahora a entrar a comparar las dos aproximaciones, pero en vez de hacerlo de forma general, nos vamos a centrar en los puntos que atañen a nuestro estudio, básicamente, aquellas diferencias entre ambos que puedan dar pie a diferencias en la calidad de servicio, o más concretamente, a la resolución del problema que planteamos de poder garantizar esta calidad. Para ello hemos estudiado las características de ambos, deduciendo luego cuál de los dos, si alguno, ofrece mejores condiciones para el trato de la calidad de servicio. En la Tabla 4 se muestran las diferencias más relevantes entre ambas aproximaciones.

De cualquier forma, en un futuro parece que se tiende a una convergencia SIP-H.323, o al menos a una coexistencia donde ninguno suplantarán al otro, sino que serán utilizados en función de las necesidades de cada escenario específico. Lo que cobra especial relevancia es el diseño de pasarelas SIP-H.323 para la interoperabilidad entre estas redes.

En cuanto al problema de la calidad de servicio, las cosas están bastante equilibradas, H.323 tiene más mecanismos que SIP para dar una mejor calidad de servicio, pero al estar hablando de una red IP, de nuevo, no hay garantías acerca de la misma, y al depender tanto H.323 como SIP del protocolo RTP/RTCP, la capacidad de controlar mediante una aplicación, por ejemplo, la calidad de servicio ofrecida es prácticamente la misma en ambos casos.

Tabla 4. Comparativo H.323/SIP

| H.323  | SIP  |
|--|--|
| Diseñado con requerimientos de conferencia multimedia, siguiendo una estructura unificada que pretende dar robustez e interoperabilidad.   | Diseñado forma modular con el propósito de establecer una sesión genérica entre dos puntos, sin centrarse específicamente en una conferencia multimedia de vídeo y audio.  |
| Estandarización de control de llamada y servicios suplementarios perfectamente definida y compatible con los servicios de telefonía tradicional.   | Falta de madurez en cuanto a dicha estandarización, el IETF está trabajando sobre ello para dotar de un sistema de servicios suplementarios robusto a SIP, que incluya interoperabilidad con la telefonía tradicional, así como con H.323. |
| Provee mejor funcionalidad e interoperabilidad con respecto a servicios suplementarios. Esto es porque se separa perfectamente la parte de servicios suplementarios de la parte de control de la llamada básica. | La llamada básica en SIP se extiende incluyendo elementos como servicios suplementarios, lo que puede dar lugar a problemas de interoperabilidad y compatibilidad entre distintas plataformas.   |
| H.323 está diseñado para dar soporte a VoIP. El soporte para otras aplicaciones es limitado, y se ha sido añadido posteriormente.  | SIP permite que un amplio rango de aplicaciones funcione bajo el mismo protocolo, donde VoIP es sólo una posibilidad más. Provee de mecanismos mucho más efectivos para manejar sesiones que no sean VoIP.                                 |
| Los clientes H.323 han de implementar toda la funcionalidad de H.323, incluso si parte de la misma no es requerida en un momento dado.   | Los clientes SIP son ligeros, dado que sólo han de implementar el protocolo SIP y aquellas cosas que sean necesarias para la aplicación, pudiendo ignorar las que no lo sean.  |

## 1.21 ELASTIX.

Elastix es un sistema operativo basado en la distribución Linux de CentOS, un SO orientado a servidores. Es distribuido bajo licencia GPL versión 2, por lo que puede ser usado con mínimas restricciones y sin recurrir a gastos económicos. Específicamente, Elastix es un servidor de comunicaciones unificadas que integra servicios de PBX VoIP, fax, mensajería instantánea, email y colaboración en un solo paquete. Estos servicios están potenciados con Asterisk, Hylafax, Openfire y Postfix.

No se mencionarán todas las características que posee Elastix, ya que es un sistema bastante robusto y con muchas capacidades en cuanto a servicios se refiere. Sin embargo, algunas del interés en cuanto a PBX VoIP, son las siguientes:

- Grabación de llamadas con interface vía web.
- Voicemails con soporte para notificaciones por email.
- IVRs configurables.
- Soporte para sintetización de voz.
- Cancelador de eco integrado.
- Provisionador de teléfonos vía web.
- Interface de detección de hardware de telefonía.
- Servidor DHCP para asignación dinámica de IP a IP-phones.
- Panel de operador.
- Soporte para protocolos H323, SIP, IAX, MGCP, entre otros.
- Soporte para los codecs: ADPCM, G.711 (A-Law &  $\mu$ -Law), G.722, G.723.1, G.726, G.729, GSM, iLBC.
- Soporte para interfaces analógicas FXS y FXO.
- Troncalización, entre otros.

#### **1.21.1 JUSTIFICACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN.**

Las razones por las que se recomienda usar Elastix son evidentes: es un sistema que por ser de libre distribución cuenta con mucho soporte, documentación, temas y discusiones en foros, etc. Lo que permite encontrar soluciones a problemas comunes de forma sencilla. A diferencia de Asterisk, éste software es más configurable e intuitivo, ya que su entorno gráfico usando el navegador facilita las cosas de gran manera.

En cuanto a los alcances del mismo, Elastix posee muchos servicios que con las lecturas adecuadas se pueden levantar y desarrollar más una central telefónica agregando servidor de email, fax, video-llamadas, etc. Sin embargo, para el caso solo son necesarias sus características como una PBX VoIP, como implementación de IVRs y creación de cuentas SIP para el manejo de varios dispositivos terminales.

## **1.22 CISCO CALL MANAGER EXPRESS (CISCO CME).**

El Cisco Call Manager Express es un paquete de aplicaciones integrada en los IOS de los routers del mismo fabricante para el procesamiento de telefonía IP. Se utiliza para el levantamiento de plantas telefónicas sencillas en empresas relativamente pequeñas, con un máximo de 240 teléfonos IP, o dicho de otra manera, es una planta telefónica capaz de manejar 240 extensiones. Aunque posee algunas limitantes, que se mencionan en seguida, puede cumplir con los requisitos para comunicaciones de voz y video a través de una red de dispositivos.

El CME de Cisco posee características para el manejo de señalización H.323 y SIP, protocolos que, como ya se ha visto con anterioridad, han sido diseñados para la telefonía IP. También tiene compatibilidad para el manejo de dispositivos para conexión a la PSTN y dispositivos analógicos.

Sin embargo, el número de teléfonos IP máximo puede variar dependiendo de las capacidades del router. El Cisco 2620XM, que es el usado en el presente proyecto, soporta un máximo de 36 teléfonos IP. Las 240 unidades conectadas se pueden lograr con el router de servicios integrados Cisco 3845. Es de licencia privativa, lo que puede implicar un soporte técnico gratuito limitado.

Entre las funciones de enlace que el CME ofrece están:

- FXO analógico (señalización loop y ground start).
- Soporte E&M y otros tipos de conmutación compatibles.
- Identificación de llamada.
- Soporte de enlaces digitales (T1/E1).
- Enlaces H.323.
- Enlaces de tipo protocolo de inicio de sesión (SIP).
- Uso de los codecs G.711, G.729a y G.723.
- Entre otras funciones.

Como es de notar, ésta es una de las mejores opciones para la implementación de plantas telefónicas, ya que está integrado con los routers Cisco 2620XM y cubre los requerimientos necesarios para establecer la comunicación entre dispositivos analógicos o digitales y los radios Motorola PRO3100.

### **1.23 CODECS.**

Para el transporte de voz, como ya se ha enfatizado con anterioridad, se usan ciertos protocolos que dependen de las aplicaciones con las que se trabaja, como SIP, H.323, IAX, RTC, RTCP, entre otros. Sin embargo, la voz es una forma analógica por naturaleza y se debe convertir a un formato óptimo para ser transmitida como paquetes digitales. No es adecuado transmitir las señales de voz tal cuales salen después de ser convertidas de digitales a analógicas nuevamente, ya que se desperdician recursos del sistema. Para ello están los “códecs”, el término resulta conocido, debido a que no es exclusivo de la telefonía digital, también se usa para otras aplicaciones en la informática.

Estos tienen la función de adaptar los paquetes digitales de voz para obtener beneficios según su complejidad como la compresión de voz y supresión de silencio en las conversaciones para el ahorro de ancho de banda.

Desde el punto de vista físico, el códec es un ADC, convertidor analógico/digital. El proceso de conversión pasa por las siguientes etapas:

- Muestreo.
- Cuantificación.
- Codificación.

#### **1.23.1 CÓDECS MÁS COMUNES EN ELASTIX.**

Entre los codecs soportados por Elastix están los siguientes: ADPCM, G.711 (A-Law &  $\mu$ -Law), G.722, G.723.1 (pass through), G.726, G.729 (si se compra licencia comercial), GSM e iLBC. A continuación se presentan tres de los más utilizados y conocidos en el medio para la interpretación de los paquetes de voz.

- G.711: Es uno de los codecs más utilizados en telefonía VoIP. Basado en los estándares UIT-T, tiene dos versiones: u-law y a-law, para Estados Unidos y Europa, respectivamente. Se recomienda en redes LAN, más no en enlaces remotos debido a su alto consumo de ancho de banda. Entre las características a destacar: tiene una alta calidad de voz debido a que casi no la comprime, utiliza 64 kbit/s, lo que indica un muestreo de 8 bits a 8kHz. Elastix ya trae el soporte activado para éste códec.
- G.729: Es una implementación licenciada proveniente de una recomendación UIT, es un códec de paga. Recomendable para comunicaciones de VoIP por su alto grado de compresión y calidad de voz, consume poco ancho de banda, lo que le hace adecuado para comunicaciones por internet. A diferencia del G.711, utiliza 8 kbit/s por cada canal, también existen versiones que utilizan los 6.4 kbit/s y 11.8 kbit/s. Se debe comprar una licencia por cada canal para implementar el códec G.729 en comunicaciones unificadas con Elastix.
- GSM: Dentro del estándar que define la telefonía celular, se encuentra éste códec. GSM son las siglas en inglés de: Global System for Mobile communications. Las ventajas en éste caso, al igual que el caso anterior, radican en la compresión de los paquetes de audio que es de 13 kbit/s, con una calidad de voz aceptable, la misma de los teléfonos celulares. Viene habilitado por defecto en Elastix.

### **1.23.2 OTRAS COMPARATIVAS ENTRE CÓDECS.**

La calidad de la voz dependerá de la técnica de muestreo, cuantificación y codificación que se aplique a la señal de interés.

La mayor parte de la energía de una señal de audio se concentra entre las frecuencias de 300Hz a 3.4kHz, lo que indica que debería muestrearse a más de 6.8kHz. Sin embargo, en la práctica se toma normalmente una frecuencia de muestreo igual a los 8kHz.

Con la cuantificación se produce la introducción de un error que se denomina: error de cuantificación, y consiste en aproximar las amplitudes de las muestras tomadas

de la señal original a valores dentro de un margen de niveles previamente fijados. Existen distintas técnicas para esta fase que varían en cuanto a complejidad entre ellas.

La codificación es la técnica que encriptará el archivo digital de voz, es decir, agregará unos y ceros al paquete original para su transmisión y posterior interpretación. Se pueden aplicar codificadores de la forma de onda, vocoders y codificadores híbridos.

Un resumen comparativo de los códecs más utilizados, basado en los procesos de conversión de la señal que realizan cada uno de ellos, se presenta en la siguiente tabla:

*Tabla 5. Principales codecs y características*

| <b>Códec</b>       | <b>Estandarización</b> | <b>Tipo de codificación</b> | <b>Tasa de bits</b> | <b>Frecuencia de muestreo</b> | <b>MOS</b> |
|--------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|------------|
| G.711              | ITU-T                  | PCM                         | 64 kbps             | 8 kHz                         | 4.1        |
| G.726              | ITU-T                  | ADPCM                       | 32 kbps             | 8 kHz                         | 3.85       |
| G.728              | ITU-T                  | CELP                        | 16 kbps             | 8 kHz                         | 3.61       |
| G.729 <sup>a</sup> | ITU-T                  | CELP                        | 8 kbps              | 8 kHz                         | 3.9        |
| GSM                | ETSI                   | RPE-LPT                     | 13 kbps             | 8 kHz                         | 3.4        |

El valor MOS (Mean Opinion Score) es una cuantificación del 1 al 5 en calidad de voz. El “1” corresponde a muy mala calidad de voz, mientras que “5”, a una excelente calidad de voz.

## CAPITULO II: OPCIONES TÉCNICAS PARA LA INTEGRACIÓN DE RADIOS VHF CON PLANTAS DE VOIP.

---

### 2. INTRODUCCIÓN.

Tal como se mencionó antes, el uso de radios de VHF como parte de un sistema de VoIP, permite ampliar el alcance de los mismos; también, posibilita la implementación de un sistema de control logístico vía radio o un sistema de telemedicina de bajo costo. Lo anterior se basa en la comprensión clara de las diversas opciones de gestión y/o configuración de los radios que se utilizarán en el presente trabajo, así como las facilidades de administración ofrecidas por PBX's de VoIP.

En el presente capítulo, se abordarán dichos conceptos, los cuales serán utilizados en la integración objeto de este documento.

#### 2.1 RADIOS MOTOROLA PRO3100: OPCIONES DE CONFIGURACIÓN.

Este modelo particular de radios, permite su gestión a través del software dado por el fabricante y mediante un cable con conectores RJ-45 - serial, como el mostrado en la Figura 34.

*Figura 34. Cable de configuración para Motorola PRO3100.*



Recuperado de: <http://thumbs4.ebaystatic.com/d/l225/m/mpsbNU7-Ba4D3Ic0x8g6DEw.jpg>

Este es un tipo de cable llamado “RIBLESS”, ya que normalmente el radio se conecta a la PC utilizando un cable UTP con conectores RJ-45, una “Radio Interface Box” o RIB y un conector serial o paralelo. En éste caso se suprime la necesidad de utilizar una interfaz intermedia que sería la RIB.

El software utilizado es el “Professional Radio CPS R06.12.02”, existe una versión más reciente pero es más difícil de encontrar en la web, sin embargo, para los usos que se le requiere en ésta investigación es suficiente. El programa es de instalación simple y puede ser descargado desde la siguiente dirección web: “<http://tiaraelectronics.blogspot.com/p/download.html>”.

De los detalles que se deben de tener en cuenta están las regiones de operación de los radios, de preferencia debe ser un software de tipo multiregión, para no tener problemas al usarlo con radios configurados para la región de Latinoamérica, es decir, éste caso en específico.

Las regiones y sus códigos correspondientes existentes son los siguientes:

- LA – Latin America.
- AA – USA.
- AZ – Asian.
- MD – European.

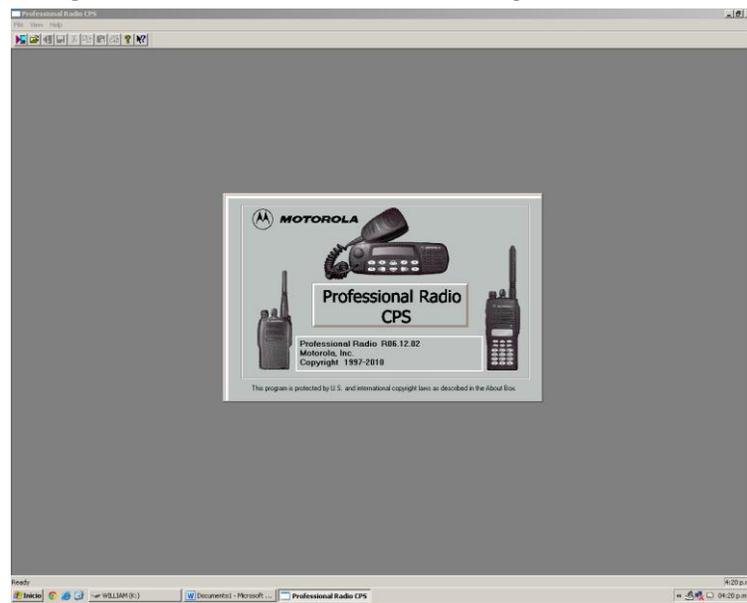
Durante el proceso de pruebas y al momento de comenzar las configuraciones del radio, surgió precisamente éste inconveniente, el de las regiones, ya que el software descargado para dicho fin, estaba orientado para radios con firmware de región MD, por tanto, se recurrió a la siguiente solución para poder hacerlo compatible con el firmware de los radios Motorola PRO3100 disponibles en la escuela de ingeniería eléctrica:

|  |
|--|
| <p><i>Colocar el valor “@%&amp;MAHUS”, sin comillas, en la siguiente llave de registro:<br/>HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Motorola\ProRadio\FSK\SerializedString</i></p> |
|--|

Con la anterior modificación al registro de Windows (se utilizó un equipo con Windows XP instalado), se estará forzando al software a aceptar radios con cualquier tipo de región y así poder configurarlos, de lo contrario, el software despliega un error y no permite la lectura del dispositivo.

La interfaz gráfica o la imagen que se desplegará al establecer comunicación con los radios es la mostrada en la Figura 35.

**Figura 35.** Interfaz de software de configuración de radios.



*Fuente: Laboratorio de telemática (2014).*

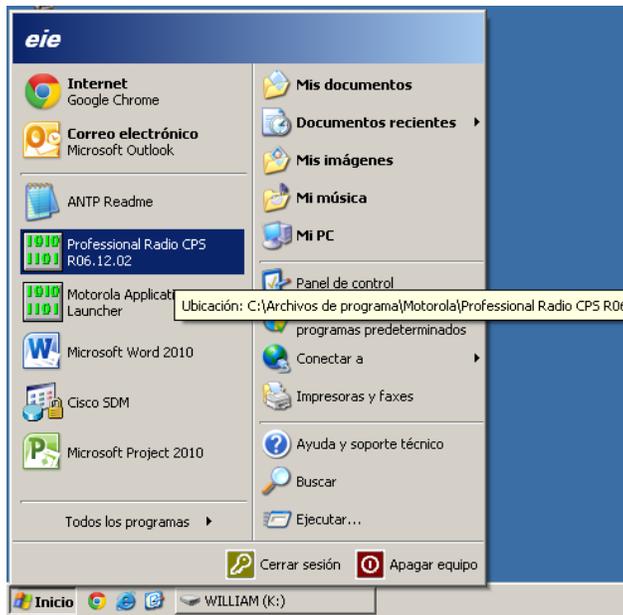
Cuando el software esté instalado y listo para usar, aparecerá la aplicación en el botón “INICIO” de “Windows”, ver la Figura 36.

Para comenzar a configurar el radio, se conecta el cable de programación al puerto J0811 del radio, donde se coloca el micrófono normalmente, que consiste en un Jack hembra del tipo RJ-45, tal como se muestra en la Figura 37.

El dispositivo, al estar conectado con la PC, se “leerá” presionando el botón “read”, con lo que se obtendrá un archivo de configuración al que se le llama “codeplug”, éste contiene los parámetros de la última modificación realizada al firmware para el desempeño del radio, ver

Figura 38.

Figura 36. Software ya instalado en OS Windows.



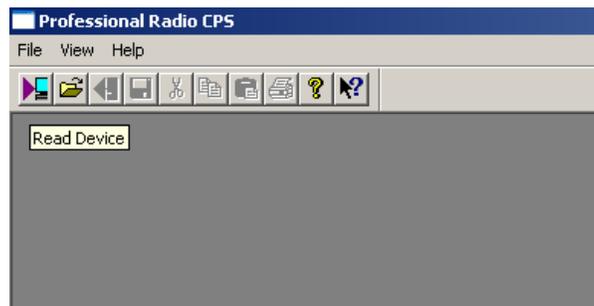
Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

Figura 37. Conexión de cable de configuración.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

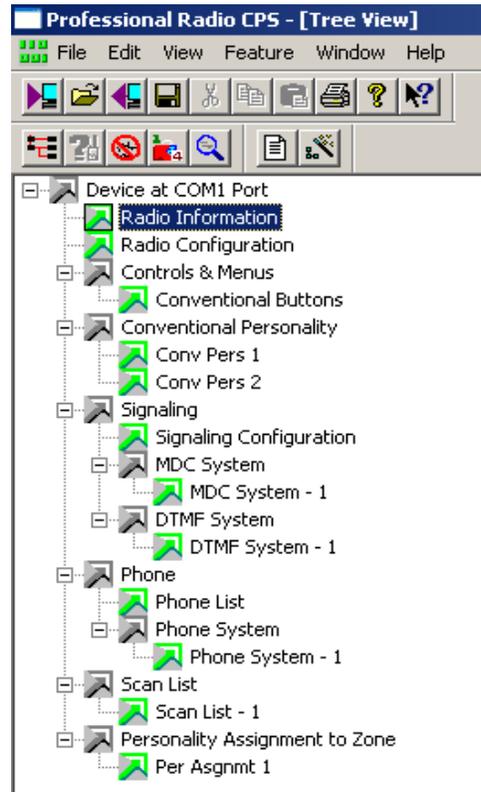
Figura 38. Lectura de configuración del radio.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

Una vez inicializado el programa de gestión, tenemos la posibilidad de acceder a diferentes opciones, Figura 39, y una de ellas, como se mencionó anteriormente, es la información básica del radio, con la que se puede verificar la configuración actual del mismo.

Figura 39. Información del radio.

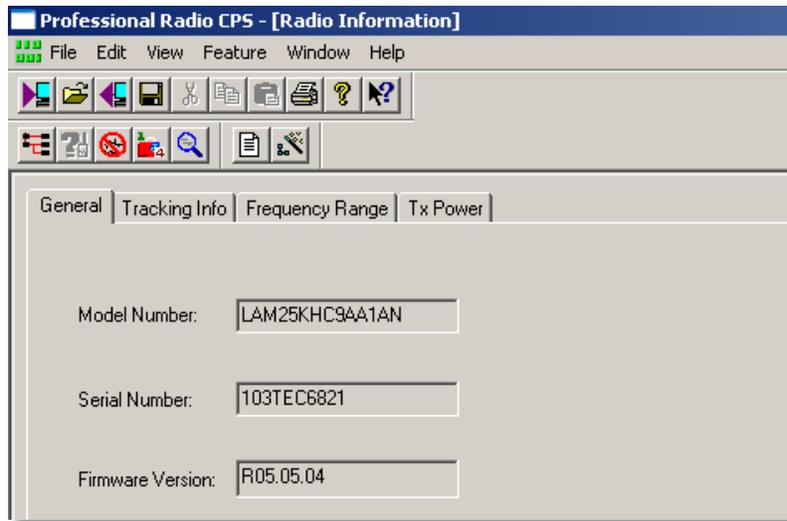


Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

Dentro de la opción “Radio Information”, se presentan una serie de pestañas en las que se contiene información como frecuencia, potencia, modelo del dispositivo, versión del firmware, etc, ver Figura 40.

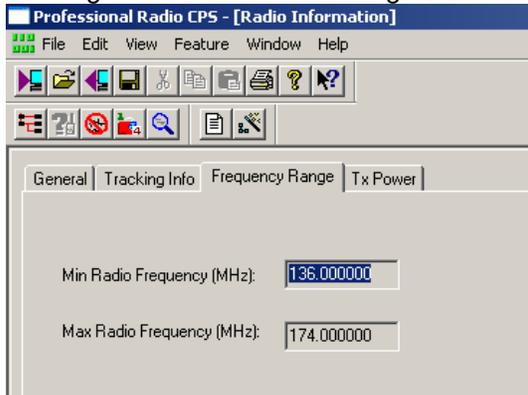
El rango de frecuencias de operación y rango de potencia de transmisión se obtiene de las pestañas “Frequency Range” y “Tx Power”, presentados en las figuras Figura 41 y figura 42.

Figura 40. Información de parámetros de radiofrecuencia.



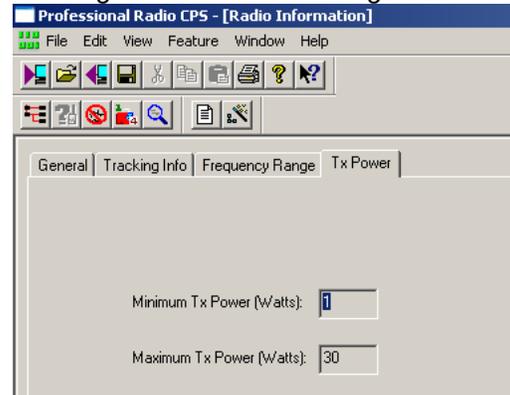
Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

Figura 41. Frecuencia configurada.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

Figura 42. Potencia configurada.



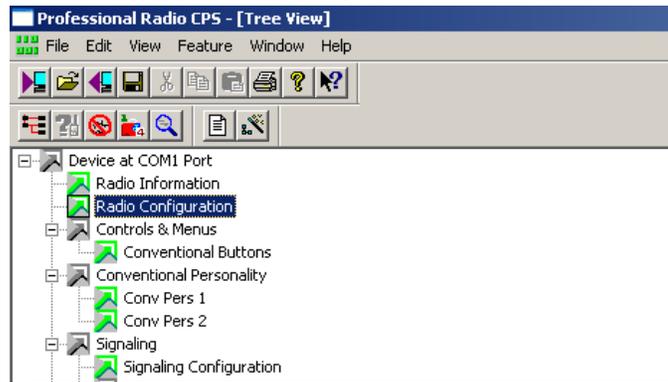
Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

En la pestaña “Tracking Info” se registran las fechas en que el radio fue configurado por primera y última vez, además de la aplicación con la que fue programado, mientras que en “General” se encuentra la versión del firmware, modelo del radio, entre otros detalles técnicos del equipo.

Además de la anterior opción que sirve para conocer más acerca de la última configuración o configuración actual del equipo, se tienen otras muchas opciones en las que se puede acceder a diferentes servicios que ofrecen éstos modelos de Motorola en particular.

En las siguientes figuras se muestran todas las opciones de las que se dispone y se hace énfasis en “Radio Configuration”, una de los apartados más importantes para la implementación del equipo:

Figura 43. Configuración de radio.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

En éste apartado, mostrado en la Figura 43, es posible modificar parámetros como: frecuencia de transmisión/recepción, potencia de transmisión, habilitar/deshabilitar botones programables (P1 y P2 ubicados en la parte frontal del radio), habilitar/deshabilitar pines del puerto J0501 (de accesorios), entre otros.

Para la interconexión de plantas telefónicas IP con los radios, ha sido necesario modificar algunos parámetros para controlar el funcionamiento de los elementos involucrados.

En primer lugar se habilitó un pin como entrada para PTT en el puerto de accesorios (J0501). Estas entradas/salidas son de tecnología TTL, por lo que manejan voltajes de 0 a 5 volts, ver Figura 44.

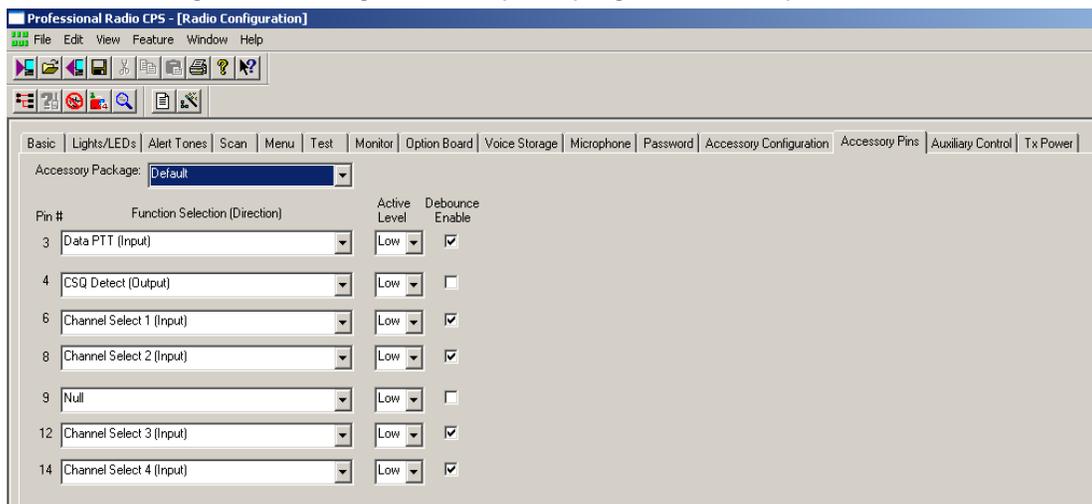
Los pasos que se deben seguir para tener acceso a la configuración mostrada en la figura son los siguientes:

- Ingresar en “Radio Configuration”.
- Clic en la pestaña “Accessory Pins”.
- Ajustar el pin 3 como entrada para señal de PTT con un estado activo de “0” lógico, no necesariamente debe ser éste pin el configurado como tal.

- Adicionalmente se configuran los pines 6, 8, 12 y 14 como canales de radio 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

El pin 4 se usó como detector de “squelch”, es decir, éste tendrá un cambio al detectarse una portadora en el medio, lo cual puede servir como un indicador para control.

Figura 44. Configuración de pines programables del puerto J0501.

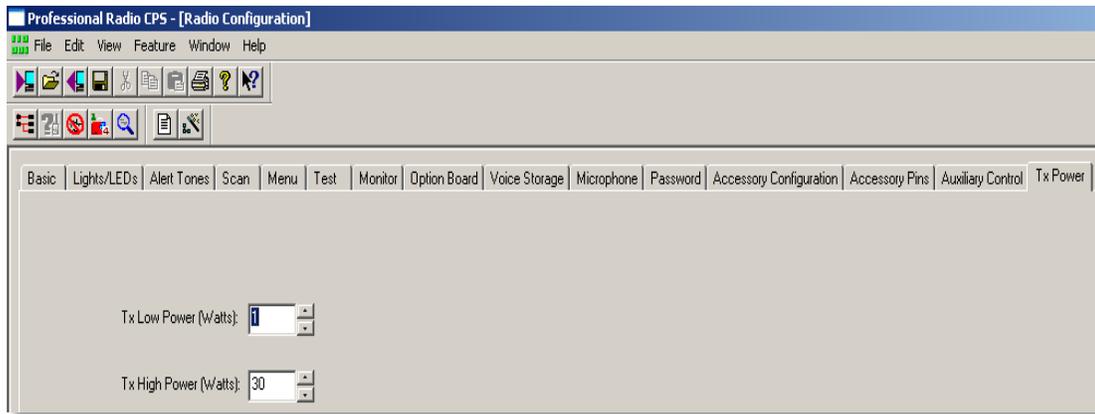


Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

En la Figura 45, se muestra el contenido de la pestaña “Tx Power”, siempre dentro del apartado “Radio Configuration”, donde se puede controlar la potencia de transmisión del radio. Como ya anteriormente se ha mencionado, para fines de prueba se ha ajustado en la mínima, que es 1W, para evitar interferir en las comunicaciones con la frecuencia de prueba si está en uso. Además se evita radiación excesiva y quemaduras por disipación de calor.

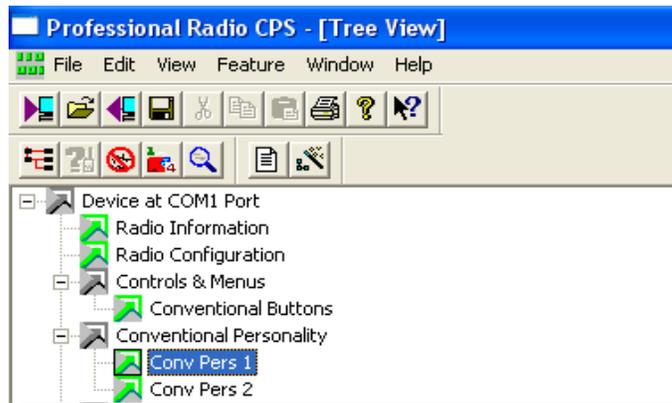
Otro de los apartados de interés para la modificación de parámetros, es el de “Conventional Personality”, donde se pueden modificar características de señalización, frecuencia, ancho de banda, entre otros. Ver Figura 45

Figura 45. Potencia de transmisión.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

Figura 46. Personalización del equipo.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

En cuanto a las frecuencias de transmisión y recepción, para ambos casos se utiliza la misma frecuencia central en el canal 1, 139.13MHz y se seleccionó un ancho de canal de 25kHz, suficientes para el transporte de información de voz, conociendo que el espectro de frecuencias audibles se encuentra entre los 20Hz y 20kHz para un oído sano.

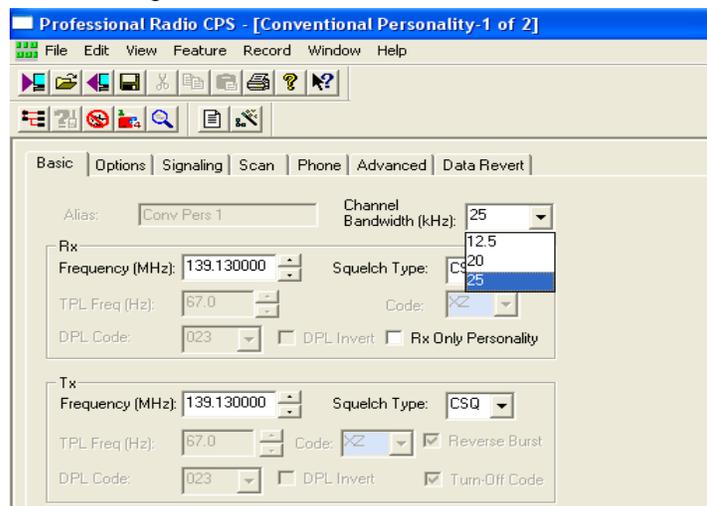
Hace aproximadamente dos décadas la FCC (Federal Communications Commission) permitió el uso de 12.5kHz de banda de paso en las frecuencias pertenecientes a VHF/UHF para el mejoramiento y uso eficiente del espectro radioeléctrico, mejorando así la seguridad de las comunicaciones públicas y privadas en ésta banda, técnica conocida como “narrowbanding” o estrechamiento de banda, basado en el principio

de que las componentes del sonido con mayor energía son las que van 300Hz y los 3300Hz, justamente las mismas frecuencias usadas en telefonía.

La posibilidad de enviar información a través de una banda estrecha de 12.5kHz, puede ser muy útil en aplicaciones donde el ancho de banda es crítico para la transmisión de información o datos.

El radio contiene los filtros adecuados para extraer de la señal de voz los segmentos con mayor contenido de energía para no perder calidad ni legibilidad en la información que se quiere transmitir, en éste caso, voz. Se suprimen así componentes de la señal que pueden ser catalogadas como ruido o de poca relevancia. Las configuraciones se muestran a continuación:

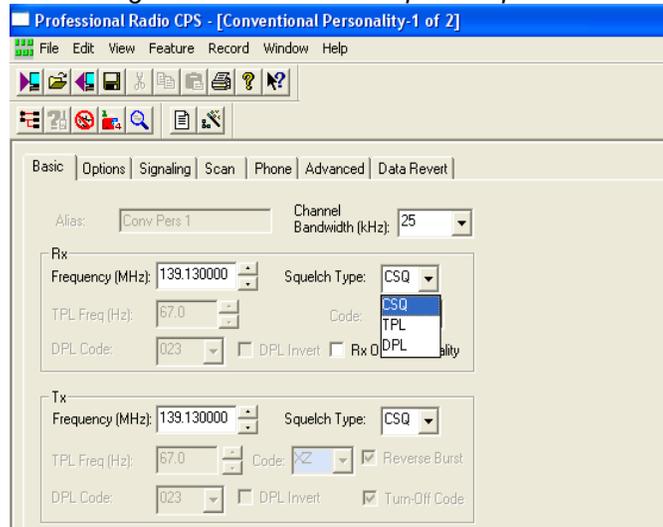
Figura 47. Selección de ancho de banda.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

Las características de los radios Motorola PRO3100 sugieren muchas opciones de implementación que pueden ser utilizadas como herramientas para la transmisión de datos encriptados, tal es el caso de la señalización desarrollada por la marca y otras que adoptaron para la comunicación entre sus equipos o dispositivos.

Figura 48. Selección de tipo de squelch.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

Un Squelch tipo PL (Private Line) es una sub-frecuencia que filtra a los otros usuarios del mismo canal de radio en la misma área, se utilizan para hacer un poco más privadas las comunicaciones entre los dispositivos. Tanto TPL (Tone Private Line) como DPL (Digital Private Line) tienen la misma función, sin embargo la diferencia radica en los tonos que se generan, ya que cada uno tiene un código y una frecuencia asociada, una radio que no tenga programado el correspondiente sub tono no podrá enlazarse con otras unidades que lo tengan habilitado.

CSQ (Carrier Squelch) es cuando no existe sub tono programado. La analogía con los tipos TPL y DPL se puede dar con el DTMF, que son tonos audibles, como ya se mencionó antes, justo como se escuchan al presionar las teclas del teléfono y que sirven para la individualización de las comunicaciones, así como también hacer algún tipo de control vía radio, como las IVRs.

También está la señalización MDC1200, desarrollada por Motorola e implementada en algunos de sus equipos comerciales. MDC es el acrónimo de Motorola Data Communications, utiliza modulación tipo AFSK y una tasa de transferencia de 1200 baudios (bits/segundos). Los dispositivos Motorola lo implementan para enviarse información como caller ID, estado del dispositivo, para establecer un canal privado y el envío de datos que ocupan un ancho de banda muy reducido.

## **2.2 PBX'S DE VOIP Y SUS OPCIONES PARA INTEGRAR COMUNICACIONES E&M.**

Las PBX's de VoIP que se utilizan en el presente trabajo, son las denominadas ELASTIX y CME (tal como se mencionó antes); los aspectos relacionados con sus características de instalación y administración, van más allá de los alcances del presente documento, no obstante, referencias completas sobre dicho tema se pueden encontrar en la tesis: "Integración de plantas telefónicas". Nos limitaremos acá, a retomar los procesos de configuración relacionados con las aplicaciones E&M.

La tecnología de radios disponibles en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES y los modelos de plantas de VoIP antes indicadas, permiten implementar configuraciones como las mostradas en la Figura 50, donde se presenta un esquema de configuración de los elementos para colocar el radio como un elemento terminal que es parte de una red de extensiones.

Las pruebas realizadas a los equipos fueron necesarias para definir de manera adecuada los parámetros de todos los dispositivos que intervienen, observar las condiciones y establecer los enlaces que requieren.

### **2.2.1 RADIO MOTOROLA PRO3100 COMO ELEMENTO TERMINAL.**

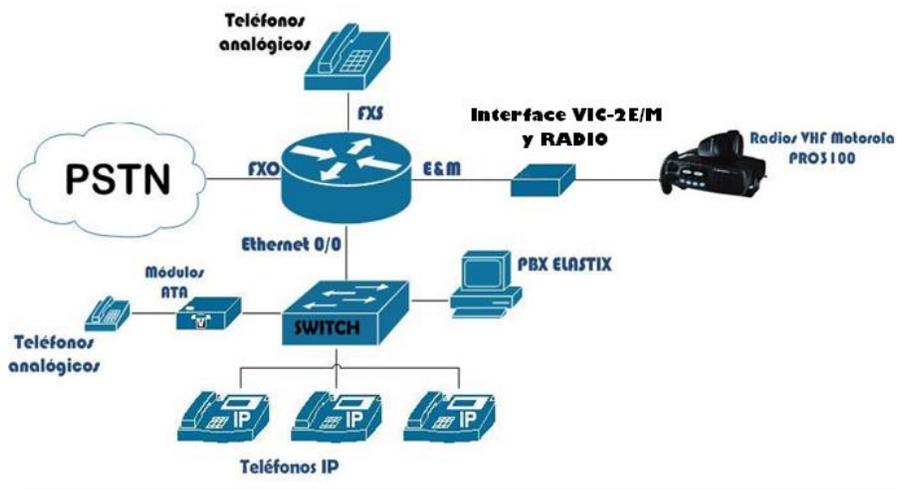
El escenario de demostración está basado en la señalización E&M y el uso de las VIC-2E/M de Cisco, con los router de Cisco y los elementos terminales que componen una red de telefonía IP básica: switch, teléfonos IP, teléfonos analógicos pegados a la red con módulos ATA y los radios.

Con la implementación de esta plataforma de pruebas, se podría hacer una analogía con el servicio de la marca RED de INTELTON, claro que con menos opciones de servicio debido a los alcances del proyecto. Dispositivos terminales de voz interactúan entre sí por medio de dos plantas telefónicas IP, Cisco CME y Elastix. En éste caso, uno de los radios es utilizado como puente para poder establecer enlaces VHF con otros dispositivos terminales que funcionen a la misma frecuencia.

Figura 49. Montaje de los elementos que intervienen.



Figura 50. Topología con radio como elemento terminal.



En la Figura 50 se muestra la topología de implementación, donde es evidente la necesidad de un enrutador que sea capaz de administrar los paquetes de voz de manera adecuada. Además de ello, se deben tener los códecs adecuados para la correcta interpretación de los mensajes contenidos en los paquetes digitales que viajan en la red.

El acceso a la PSTN se hace por medio de las tarjetas FXO, mientras que una tarjeta FXS servirá para integrar dispositivos analógicos directamente a la red, como los teléfonos convencionales. Los puertos E&M son los antiguamente utilizados como

troncales para las PBX, que han sido utilizados para la integración con los radios Motorola PRO3100.

Una planta telefónica IP ha sido levantada en una computadora y conectada a un switch, donde se colocan varios teléfonos IP, para dar el servicio de telefonía en conjunto con el CME de Cisco.

Para poder trasladar los paquetes de voz de un punto a otro, el router debe tener una referencia, es por ello que se configuran los puertos y el tipo de enrutamiento de la siguiente manera:

*Tabla 6. Configuración de router.*

```
enable
configure terminal
interface fastEthernet 0/0
ip address 10.10.0.1 255.255.255.0
no shutdown
exit
voice service voip
  allow-connections h323 to h323
  allow-connections h323 to sip
  no supplementary-service h450.2
  no supplementary-service h450.3
  supplementary-service h450.12 advertise-only
exit
voice class permanent 1
  signal timing oos restart 50000
  signal timing oos timeout disabled
  signal keepalive disabled
  signal sequence oos no-action
exit
voice-port 1/0/0
  auto-cut-through
  voice-class permanent 1
  operation 4-wire
  type 5
  signal lmr
  /*lmr m-lead audio-gate-in*/
  lmr e-lead voice
  no echo-cancel enable
  timeouts call-disconnect 3
exit
voice-port 1/0/1
  auto-cut-through
```

```
operation 4-wire
type 5
signal lmr
lmr e-lead voice
no echo-cancel enable
exit

voice-port 1/1/0
output attenuation 14
echo-cancel coverage 32
cptone ES
exit
voice-port 1/1/1
output attenuation 14
echo-cancel coverage 32
cptone ES
exit
dial-peer voice 1 pots
destination-pattern 100
port 1/1/0
exit
dial-peer voice 2 pots
destination-pattern 101
port 1/1/1
exit
dial-peer voice 3 pots
destination-pattern 5000
port 1/0/0
exit
dial-peer voice 4 voip
destination-pattern 2..
session target ipv4:10.10.0.2
exit
dial-peer voice 5 pots
destination-pattern 5001
port 1/0/1
exit
```

### **2.2.1.1 CONFIGURACIÓN DEL CISCO CME.**

Para la comunicación IP se necesita configurar un DHCP pool en el router para asignar una dirección a teléfonos IP, levantar el servicio “Telephony Service” y asignar los “Dial Peer” correspondiente para interconexión entre dispositivos terminales en las redes LAN. La configuración es la siguiente:

Tabla 7. Configuración de Cisco CME.

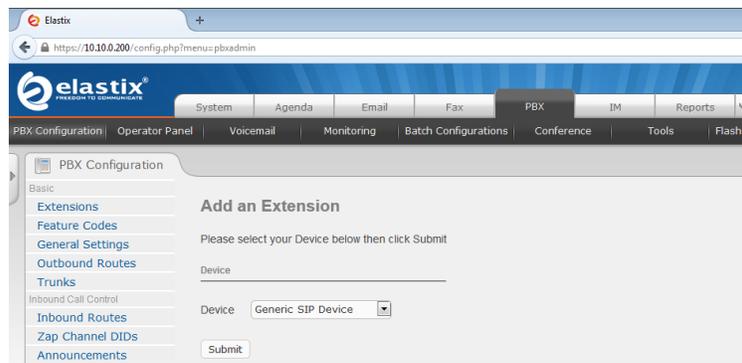
```
CME1(config)# telephony-service setup
#telephony-service setup
--- Cisco IOS Telephony Services Setup ---Do you want to setup DHCP service for your IP Phones?
[yes/no]: no
Do you want to start telephony-service setup? [yes/no]: yes
Configuring Cisco IOS Telephony Services :
Enter the IP source address for Cisco IOS Telephony Services :10.10.0.1
Enter the Skinny Port for Cisco IOS Telephony Services : [2000]: 2000
How many IP phones do you want to configure : [0]: 5
Do you want dual-line extensions assigned to phones? [yes/no]: no
What Language do you want on IP phones :
0 English
1 French
2 German
3 Russian
4 Spanish5
5 Italian
6 Dutch
7 Norwegian
8 Portuguese
9 Danish
10 Swedish
11 Japanese
[0]: 4
Which Call Progress tone set do you want on IP phones :
0 United States
1 France
2 Germany
3 Russia
4 Spain
5 Italy
6 Netherlands
7 Norway
8 Portugal
9 UK
10 Denmark
11 Switzerland
12 Sweden
13 Austria
14 Canada
15 Japan
[0]: 4
What is the first extension number you want to configure : 300
Do you have Direct-Inward-Dial service for all your phones? [yes/no]: no
Do you want to forward calls to a voice message service? [yes/no]: no
Do you wish to change any of the above information? [yes/no]: no
CNF-FILES: Clock is not set or synchronized, retaining old versionStamps
```

---- Setup completed config ---

### 2.2.1.2 Configuración de Elastix.

Para la configuración de la planta Elastix, a la que se le asignó la IP 10.10.0.200, clicar en el link “Extensions” de la pestaña “PBX” botón “PBX Configuration” y en el apartado “device” se elige la opción “Generic SIP Device”. Luego clicar en el botón “Submit”.

Figura 51. Creación de cuentas SIP en Elastix



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

Como un siguiente paso, se procederá a crear una cuenta SIP para el o los teléfonos IP que se piensa integrar, en éste caso solo se configura un dispositivo terminal. Se aplican entonces los parámetros, como se observa en la figura 52.

Siempre ubicado en la “PBX Configuration”, clicar en “Trunks” y luego en “add SIP trunk”, la página en cuestión, se muestra en la figura 53.

Luego ingresar los siguientes parámetros, tal como se muestra en la figura 54.

Para mayor detalle, en la caja de texto nombrada como “PEER Details”, se agregan las siguientes líneas, considerando para el caso que la IP de la puerta de enlace predeterminada es 10.10.0.1:

Tabla 8. Detalles del par de llamada.

```

disallow=all
allow=ulaw
canreinvite=yes
host=10.10.0.1
insecure=very
type=friend
qualify=yes
    
```

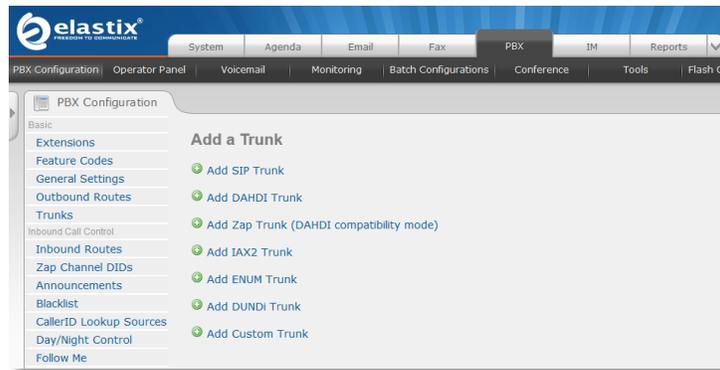
Figura 52. Ingreso de datos para cuenta SIP.

The screenshot displays the configuration page for SIP extension 400. On the left is a navigation menu with categories like Extensions, Inbound Call Control, Internal Options & Configuration, Remote Access, and Option. The main content area is titled 'Extension: 400' and includes several sections:

- Actions:** Delete Extension 400, Add Gabcast Settings, Add Follow Me Settings.
- Edit Extension:**
  - Display Name:
  - CID Num Alias:
  - SIP Alias:
- Extension Options:**
  - Outbound CID:
  - Ring Time:
  - Call Waiting:
  - Call Screening:
  - Pinless Dialing:
  - Emergency CID:
- Assigned DID/CID:**
  - DID Description:
  - Add Inbound DID:
  - Add Inbound CID:
- Device Options:**
  - This device uses sip technology.
  - secret:
  - dtmfmode:
  - type:
  - nat:
  - port:
  - qualify:
- Language:**
  - Language Code:
- Recording Options:**
  - Record Incoming:
  - Record Outgoing:

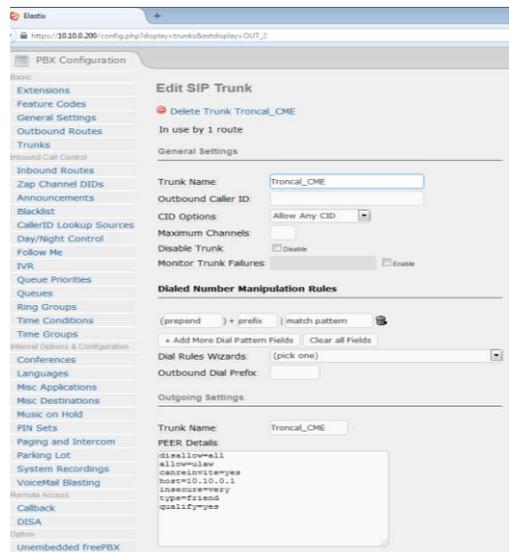
Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

Figura 53. Configuración de troncales.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

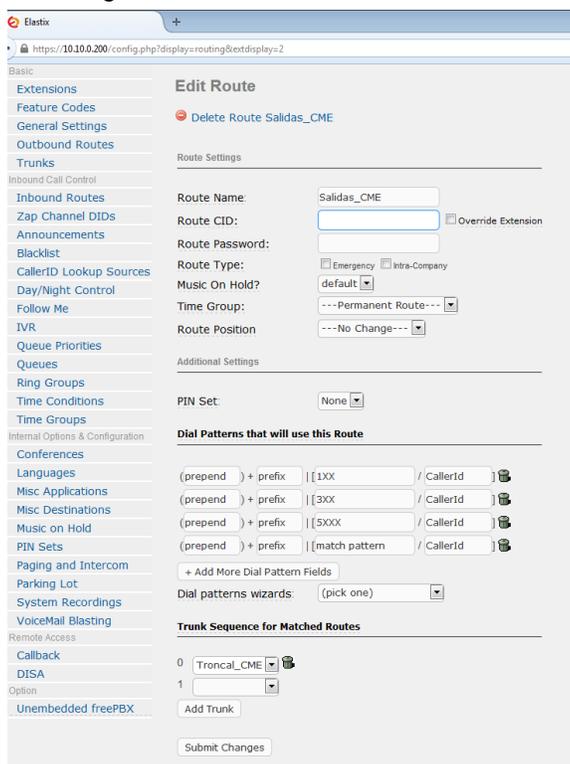
Figura 54. Edición de troncales SIP.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

Luego ir a la opción “outbound routes” y editar las rutas que debe tomar Elastix para la realización de llamadas:

Figura 55. Edición de rutas salientes.



Fuente: Laboratorio de telemática (2014).

## 2.3 REQUERIMIENTOS BÁSICOS.

Los requerimientos que se mencionan a continuación son parte de una serie de documentos sobre dispositivos LMR (Land Mobile Radio) de Cisco. Los sistemas LMR se refieren a dispositivos de tipo radio conectados a una estación base con la capacidad de establecer comunicaciones entre radio – radio, radio – teléfono y otras combinaciones similares.

Cisco Posee gateways capaces de manejar ésta característica y documentación que puede servir de referencia para el manejo de algunos dispositivos con funciones especiales.

### 2.3.1 HARDWARE

En cuanto a los requerimientos de hardware se deben definir los routers o gateways a utilizar, así como los módulos de voz que formarán parte de la solución.

### 2.3.1.1 Gateways.

Los routers Cisco que soportan LMR sobre IP son los siguientes:

Tabla 9. Hardware de Cisco soportado y cantidad de puestos VIC.

| Plataforma                             | Máxima cantidad de puertos analógicos |
|--|---------------------------------------|
| Cisco 2600XM series                    | 4                                     |
| Cisco 2800 series (excepto Cisco 2801) | 10                                    |
| Cisco 3725                             | 8                                     |
| Cisco 3745                             | 16                                    |
| Cisco 3825                             | 16                                    |
| Cisco 3845                             | 24                                    |

### 2.3.1.2 Módulos de voz.

Los sistemas LMR se conectan a los gateways usando, o bien usando tarjetas de interface de voz (Voice Interface Cards “VICs”) analógicas E&M, o voz digital T1, o tarjetas de interfaz WAN (WICs). Estas tarjetas de interface físicas son insertadas dentro de los módulos de red de voz (Network Modules “NMs”) que contienen los procesadores de señal digital (Digital Signal Processors “DSPs”) necesarios para codificar y decodificar el flujo de audio para transmisión sobre la red. Tarjetas de interface válidas y configuraciones de los módulos de red se muestran en la siguiente tabla. Cada VIC E&M soporta dos puertos de voz. Un WIC T1 soporta más de 24 puertos de voz por cada T1.

Tabla 10. Módulos de red e interfaces soportadas.

| MÓDULO DE RED | TARJETA DE INTERFAZ DE VOZ                      | TARJETAS DE INTERFACE/ MÓDULO | CANALES DE VOZ SOPORTADOS EN NM  |
|---------------|---|-------------------------------|--|
| NM-1V         | VIC-2E/M  | 1                             | 2  |
| NM-2V         | VIC-2E/M  | 2                             | 4  |
| NM-HDV        | VVIC-1MFT-T1<br>VVIC-2MFT-T1<br>VVIC-2MFT-T1-DI | 1                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 12 medium complexity per               <ul style="list-style-type: none"> <li>• PVDM1-12</li> </ul> </li> <li>• 6 high complexity per               <ul style="list-style-type: none"> <li>• PVDM-12</li> </ul> </li> <li>• The NM-HDV will support up</li> </ul> |

|           |  |   |  |
|-----------|--|---|--|
|           |  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>to 5 PVDM-12 DSP cards</li> </ul> |
| NM-HD-1V  | VIC2-2E/M  | 1 | 4 any complexity   |
| NM-HD-2V  | VIC2-2E/M  | 2 | 6 any complexity or 8 medium complexity                                  |
| NM-HD-2VE | VIC2-2E/M<br>VWIC-1MFT-T1<br>VWIC-2MFT-T1<br>VWIC-2MFT-T1-DI | 2 | 18 any complexity, 24 medium complexity, or 48 G.711                     |

### 2.3.2 VERSIONES DE SOFTWARE.

Las siguientes secciones listan las versiones de software de los componentes de una red LMR sobre IP.

#### 2.3.2.1 Gateways.

La característica LMR es soportada en el Cisco IOS 12.3(7)T y versiones más recientes.

Tabla 11. Requerimientos técnicos de los diferentes IOS

| PLATAFORMA.                              | CONJUNTO DE CARACTERÍSTICAS.                | MÍNIMO DE FLASH/ DRAM (MB) | FLASH RECOMENDADA/ DRAM (MB) |
|--|---|----------------------------|------------------------------|
| Cisco 2610XM,<br>Cisco 2611XM            | SP Services                                 | 32/128 MB                  | 48/128MB                     |
| Cisco 2620XM,<br>Cisco 2621XM            | SP Services                                 | 32/128 MB                  | 48/128MB                     |
| Cisco 2650XM,<br>Cisco 2651XM            | Advanced Enterprise Services<br>SP Services | 32/128 MB<br>32/128 MB     | 48/128MB<br>48/128MB         |
| Cisco 2811,<br>Cisco 2821,<br>Cisco 2851 | Advanced Enterprise Services<br>SP Services | 64/128 MB<br>64/128 MB     | 64/128 MB<br>64/128 MB       |
| Cisco 3725                               | Advanced Enterprise Services<br>SP Services | 64/128 MB<br>64/128 MB     | 64/128 MB<br>64/128 MB       |
| Cisco 3745                               | Advanced Enterprise Services<br>SP Services | 64/194 MB<br>64/128 MB     | 128/256 MB<br>128/256 MB     |
| Cisco 3825                               | Advanced Enterprise Services                | 64/194 MB                  | 128/256 MB                   |

|            |   |           |            |
|------------|---|-----------|------------|
|            | SP Services                                 |           |            |
| Cisco 3845 | Advanced Enterprise Services<br>SP Services | 64/194 MB | 128/256 MB |

### 2.3.2.2 Cisco Call Manager Express.

Los teléfonos IP de Cisco, utilizan las siguientes versiones de Cisco CallManager y Cisco CallManager Express que pueden ser adheridos a una red LMR sobre IP:

- Cisco CallManager 3.3(2) y Cisco CallManager 3.3(3).
- Cisco CallManager Express 3.1 con Cisco IOS 12.3(7)T.

## 2.4 CONFIGURACIONES.

Para realizar las configuraciones debidas en los router Cisco 2620XM, dependemos de aplicaciones como PuTTY, el cual es un cliente SSH (Secure SHell) y Telnet (TELEcommunication NETwork) con el que nos “logueamos” a servidores remotos y ejecutamos comandos de configuración definidos por el fabricante a través de los IOS de los dispositivos de enrutamiento. Otras aplicaciones útiles son Packet Tracer de Cisco (de software privativo) y GNS3 (software libre), con los que podemos simular o emular, respectivamente, una red de computadoras y servicios IP. Como limitante, no podemos levantar interfaces E&M porque no están disponibles, sin embargo, las rutas que toma el tráfico IP se pueden planificar antes de implementar el proyecto en físico.

El radio Motorola PRO3100 posee su respectivo software para la configuración de características básicas y avanzadas, el CPS. Pero no solo se hacen configuraciones a nivel de software, también están presentes las conexiones de hardware involucrado.

### 2.4.1 ROUTER CISCO 2620XM.

Se deben considerar los pasos para la instalación de la versión del IOS adecuada para la implantación con los elementos de voz involucrados.

El IOS utilizado en las pruebas y prácticas en el laboratorio de telemática puede ser descargado de la siguiente dirección web:

```
https://software.cisco.com/download/release.html?mdfid=277801008&flowid=62811&dvdid=279978467&softwareid=280805680&release=12.4.15T14&relind=AVAILABLE&rellifecycle=MD&reltype=latest&i=rp
```

Los pasos a seguir para la instalación de IOS al router Cisco 2621XM y 2620XM son los siguientes:

- **Paso 1.** Descargar e instalar un software para que funcione como servidor TFTP. Para esta guía se ha utilizado el programa “Tftpd32 Service Edition” que puede descargarse desde el sitio web.

```
http://tftpd32.jounin.net/tftpd32_download.html
```

- **Paso 2.** Utilizar cualquiera de los esquemas de conexión mostrados en la
- Figura 56 y Figura 57. La única consideración a tener en cuenta es que si se utiliza el esquema 1 se hace con cable de red rectos, si por el contrario se utiliza el esquema 2 se realiza con cable de red cruzado.

Figura 56. Esquema de conexión 1.

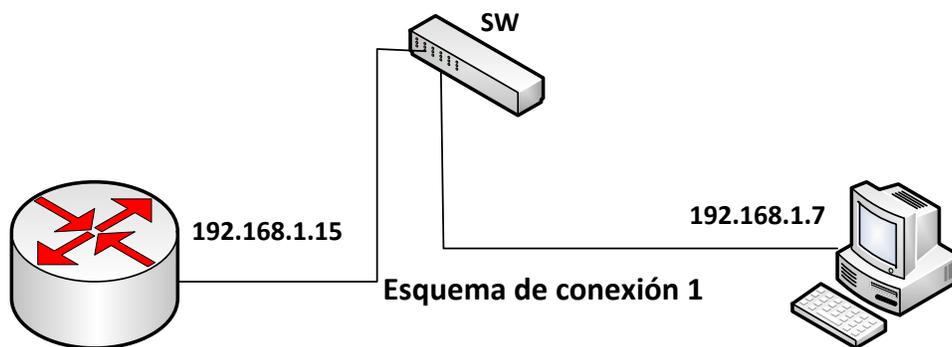
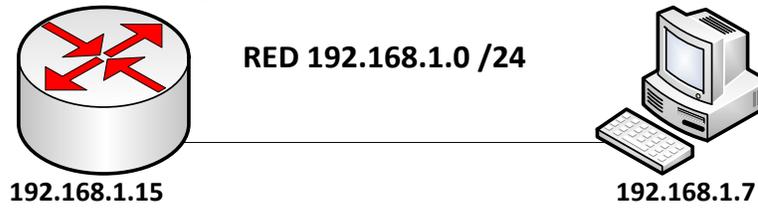


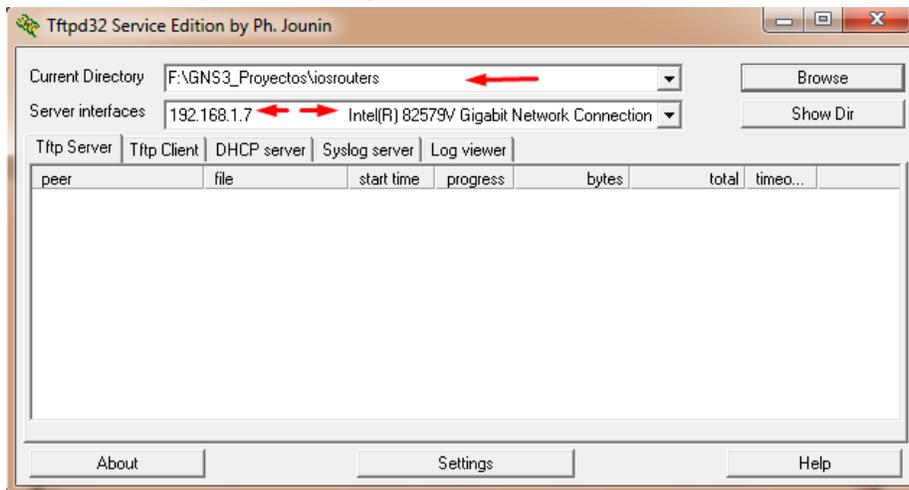
Figura 57. Esquema de conexión 2.



Esquema de conexión 2

- **Paso 3.** Configurar el programa para utilizar la conexión de red en uso, para el caso la dirección IP asignada a la interfaz es la 192.168.1.7, buscar la carpeta que servirá como directorio para el servicio de tftp a toda la red. En esta carpeta deberá de estar el IOS que se desea instalar. Se deberá de habilitar el puerto para este programa en el firewall o en su defecto desactivar el firewall temporalmente mientras se realiza la instalación del IOS.

Figura 58: Configuración básica de Servidor Tftpd.



**Paso 4.** Conectar el cable consola en el puerto de consola del router y en la entrada serial de la PC, de no contar con puerto serial, entonces ocupar un adaptador usb - serial, ver la Figura 59 y

- *Figura 60.*

Figura 59. Puertos de modelos Cisco 2600

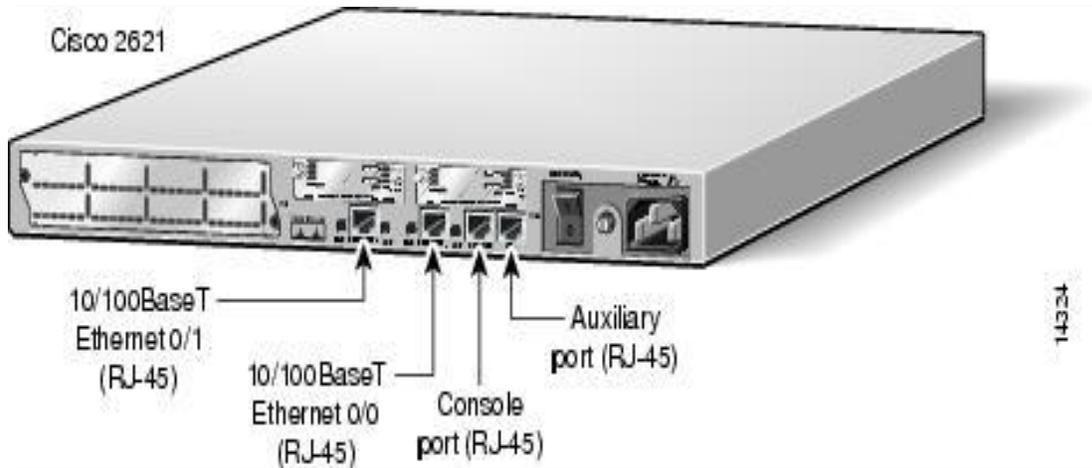


Figura 60. Cable consola y adaptador usb-serial

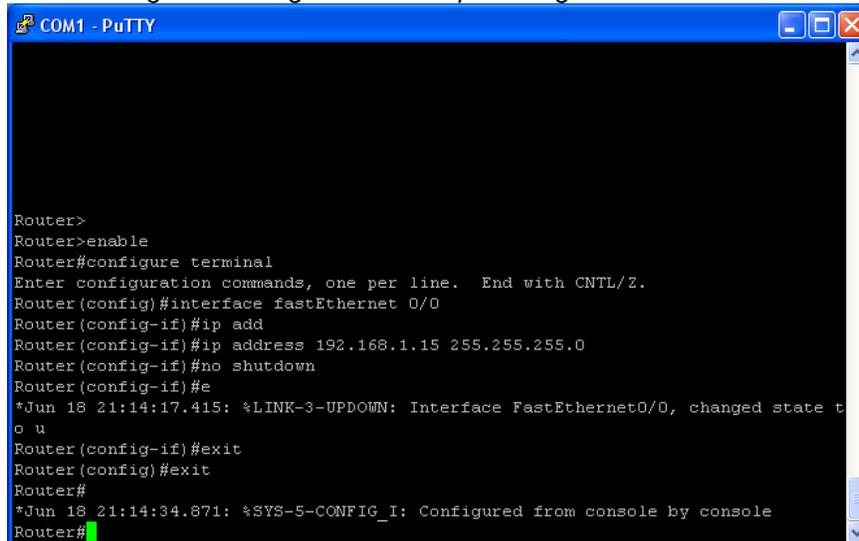


- Paso 5. Encender el router y ejecutar los siguientes comandos para configurar la interfaz de red:

Tabla 12. Asignación de IP para la instalación de IOS.

```
Router>enable
Router#configure terminal
Router(config)#interface fastEthernet 0/0
Router(config-if)#ip address 192.168.1.15 255.255.255.0
Router(config-if)#no shutdown
Router(config-if)#exit
Router(config)#exit
```

Figura 61. Asignación de IP para carga de nuevo IOS



```
COM1 - PuTTY
Router>
Router>enable
Router#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#interface fastEthernet 0/0
Router(config-if)#ip add
Router(config-if)#ip address 192.168.1.15 255.255.255.0
Router(config-if)#no shutdown
Router(config-if)#e
*Jun 18 21:14:17.415: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state t
o u
Router(config-if)#exit
Router(config)#exit
Router#
*Jun 18 21:14:34.871: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
Router#
```

- Paso 6. Encender la PC y configurar la interfaz de red, dentro del Centro de redes y recursos compartidos, dar clic a Conexión de área local, luego clic en el botón de Propiedades, seleccionar el Protocolo de Internet versión 4(TCP/IPv4) y clic en el botón Propiedades, después en el apartado “Usar la siguiente dirección Ip:” poner lo siguiente:
  - ✓ Dirección IP: 192.168.1.7
  - ✓ Mascara de subred: 255.255.255.0

El proceso de configuración de muestra en las Figura 62,

Figura 63, Figura 64 y Figura 65.

Figura 62. Centro de redes y recursos compartidos.

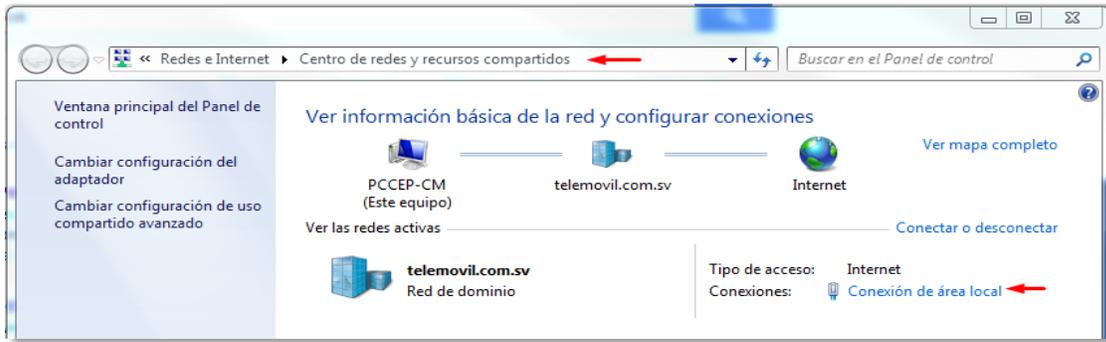


Figura 63. Estado de Conexión de área local.

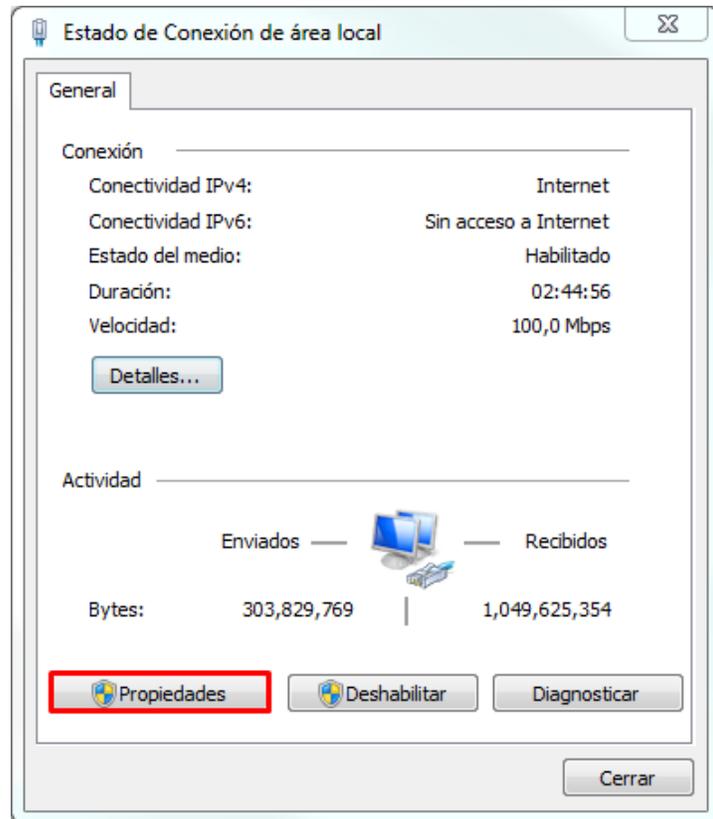


Figura 64. Propiedades de Conexión de área local.

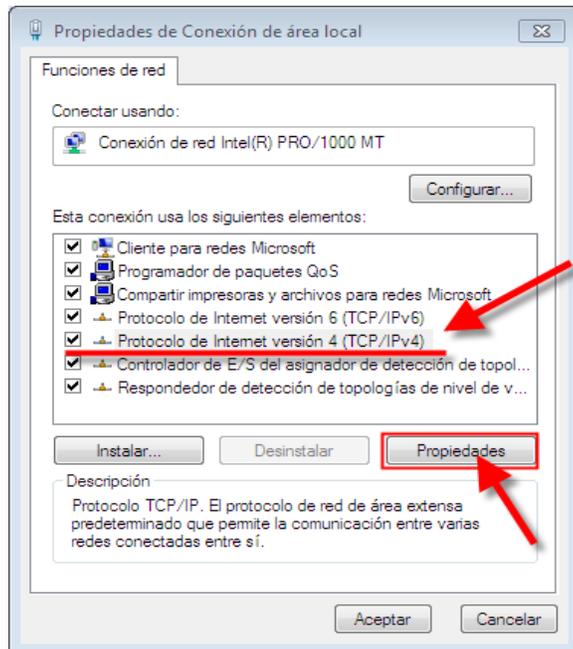
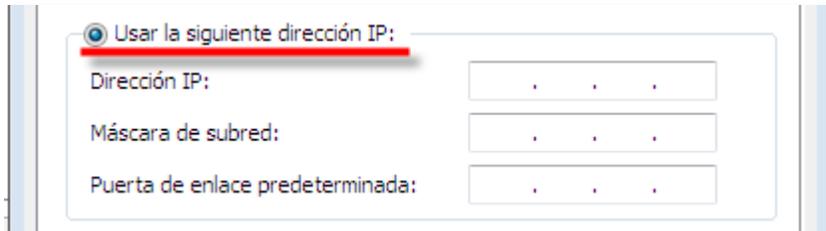


Figura 65. Configuración de IP estática.



- Paso 5. El router y ejecutar los siguientes comandos para instalar el nuevo ios:

Tabla 13. Instalación de IOS en router Cisco 2620XM.

```
Router>enable
Router# copy tftp flash
Router# copy tftp flash
Address or name of remote host []?192.168.1.7
Destination Filename []?c2600-spervicesk9-mz.124-15.T14
Accessing tftp://192.168.1.7/c827v-y6-mz.121-1.XB...
Erase flash: before copying? [confirm]ENTER
Erasing the flash filesystem will remove all files! Continue? [confirm] ENTER
```

Esperar a que termine la instalación, luego ejecutar los comandos.

```
Router# reload
```

Una vez que se reinicie el Router, se comprobar la versión instalada con el comando:

```
Router> show versión
```

*Figura 66. Verificación de la versión de IOS.*

```
Router#show version
Cisco IOS Software, C2600 Software (C2600-SPSERVICESK9-M), Version 12.4(15)T14, RELEASE SOFTWARE (fc2)
Technical Support: http://www.cisco.com/techsupport
Copyright (c) 1986-2010 by Cisco Systems, Inc.
Compiled Tue 17-Aug-10 05:40 by prod_rel_team

ROM: System Bootstrap, Version 12.2(8r) [cmong 8r], RELEASE SOFTWARE (fc1)

Router uptime is 1 minute
System returned to ROM by reload
System image file is "flash:c2600-spservicesk9-mz.124-15.T14.bin"

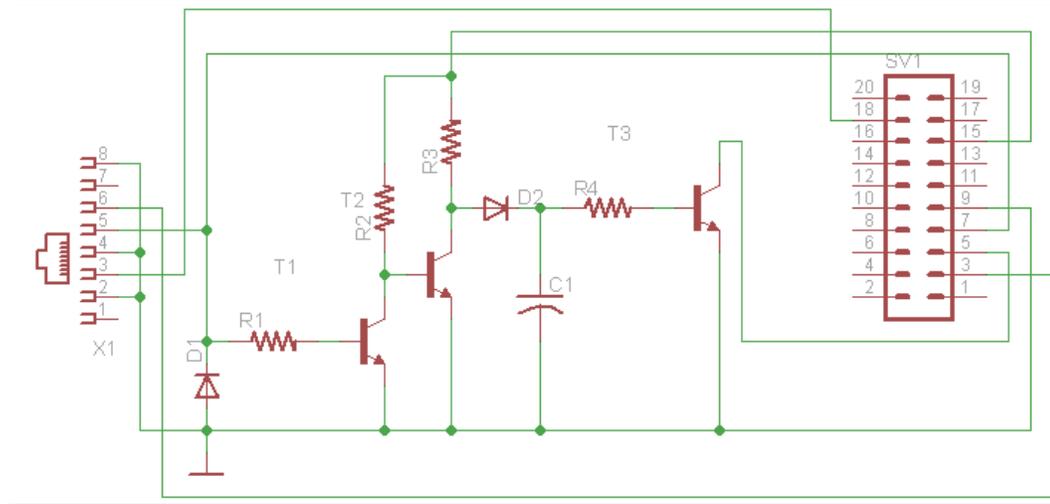
This product contains cryptographic features and is subject to United
States and local country laws governing import, export, transfer and
use. Delivery of Cisco cryptographic products does not imply
third-party authority to import, export, distribute or use encryption.
Importers, exporters, distributors and users are responsible for
compliance with U.S. and local country laws. By using this product you
agree to comply with applicable laws and regulations. If you are unable
to comply with U.S. and local laws, return this product immediately.

A summary of U.S. laws governing Cisco cryptographic products may be found at:
--More--
```

#### 2.4.2 INTERFAZ ENTRE PUERTO J0501 Y VIC-2E/M.

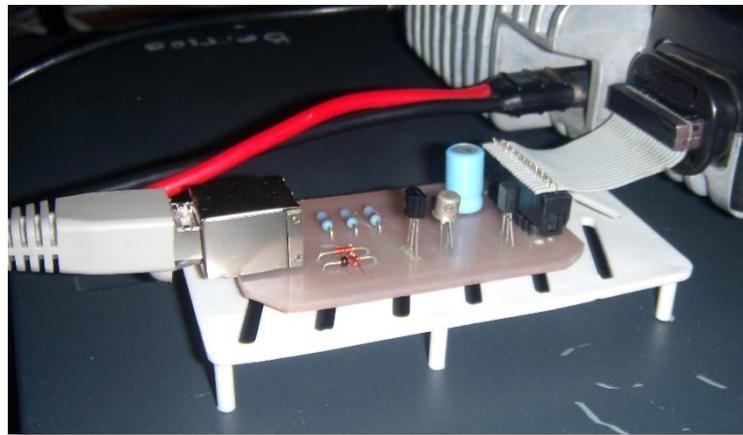
Para simular un interruptor que controlará el PTT del radio, se ha utilizado un detector de audio, el cual tiene una etapa pre amplificadora, una amplificadora y otra etapa que consiste en un transistor funcionando como interruptor, ver Figura 67.

Figura 67. Circuito detector de audio para PTT.



En el circuito de la Figura 67, D1 sirve para recortar los segmentos negativos de la señal de voz, luego la señal pasa a una etapa preamplificadora que aumenta la amplitud de la misma para ser procesada en un amplificador nuevamente. C1 y R4 agregan un pequeño retardo para mantener la salida activa durante un tiempo.

Figura 68. Circuito terminado.



En la Figura 68 se muestra el circuito impreso y con los elementos montados. Los elementos utilizados son:

- 3 Transistores 2N2222.
- 3 Resistencias de 10kΩ.
- 1 Resistencia de 1kΩ.

- 2 Diodos 914.
- 1 Capacitor de 10 $\mu$ F.
- Conector hembra RJ-45.
- Pin headers de 10x10.
- Placa de fibra de vidrio con lámina de cobre.

### **3. INTRODUCCIÓN.**

En el mercado, existen propuestas comerciales de implementación similares, las cuales poseen ciertas características que permitirían un desempeño óptimo de funcionamiento y una serie de servicios mejorados, como la transmisión de datos, uso de IVRs, servidores de correo, etc. Obviamente, esto significa una mayor inversión económica, mayor utilización de recursos y uso de elementos de hardware y software de tipo privativo o, dicho de otra manera, propietario, lo que quiere decir una solución más “hermética” en cuanto a su construcción y funcionamiento.

Cisco ofrece una solución bastante robusta para la integración de muchos elementos terminales, llámese radio, teléfonos IP, softphones y otros, con su Teledespacho que se combina con servidores altamente sofisticados y potentes para uso empresarial. También hay otras opciones en el mercado que se pueden evaluar para el mismo fin.

En el presente capítulo se estudian posibles implementaciones a futuro que podrían mejorar el proyecto y dar la pauta para seguir agregando servicios como servidores de correo, VoIP sobre la banda VHF y presentar nuevos escenarios de prueba. También se retoman los elementos que forman parte de la solución.

#### **3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE SOLUCIÓN IMPLEMENTADA.**

La solución llevada a cabo presenta algunas limitaciones en cuanto a los servicios que presenta. Sin embargo, el objetivo de establecer comunicación entre los elementos terminales tipo radios se ha cumplido. Se puede ampliar el tema para lograr comunicaciones avanzadas entre plantas telefónicas y otros dispositivos compatibles con la red. Entre algunas de las desventajas están:

Se necesita de un detector de audio que simula un interruptor para establecer el PTT, se buscó una solución a nivel de software pero no fue posible.

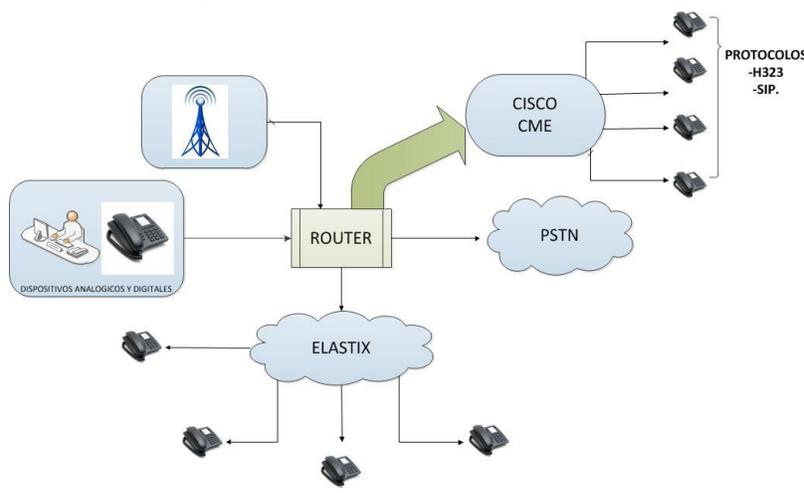
Se utilizó hardware privativo, es decir, los routers tanto como los teléfonos IP son de Cisco y esto deriva en precios considerables a la hora de implementar la solución.

La información más completa que se obtuvo fue de foros y documentos privativos relacionados con la marca Cisco, lo que implica un reto para implementar hardware libre.

También se pueden mencionar algunas de las ventajas que se observan de la solución:

- Existe la intervención de software libre, en éste caso Elastix.
- Se logró interrelacionar elementos de una planta telefónica con otra de diferente naturaleza, es decir, interactúa el software libre con el propietario.
- La integración de diferentes tipos de elementos terminales: radios analógicos, teléfonos digitales y analógicos, softphone, etc.
- Existe la posibilidad de usar hardware libre como un servidor de comunicaciones unificadas con “µelastix”, un sistema desarrollado para Raspberry Pi.
- Se cumplió el objetivo principal: lograr comunicación entre dispositivos de diferente naturaleza.

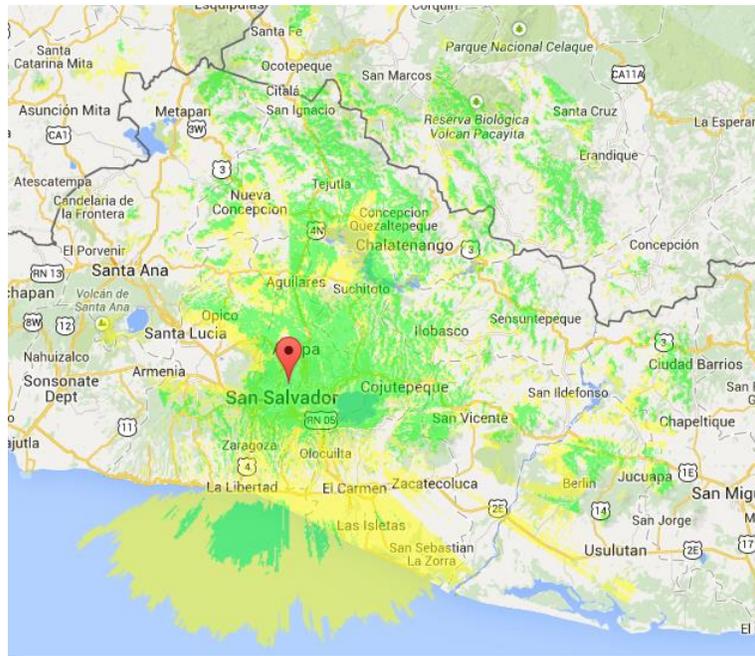
Figura 69. Esquema de implementación.



### 3.2 COBERTURA DE LA SOLUCIÓN IMPLEMENTADA.

El objetivo de la implementación con radios VHF es el nivel de cobertura. Con el programa Radio Mobile se puede tener una idea bastante cercana a la realidad de lo que sería éste detalle, que se presenta en la Figura 70.

*Figura 70. Cobertura en la banda de VHF con los radios Motorola PRO3100.*

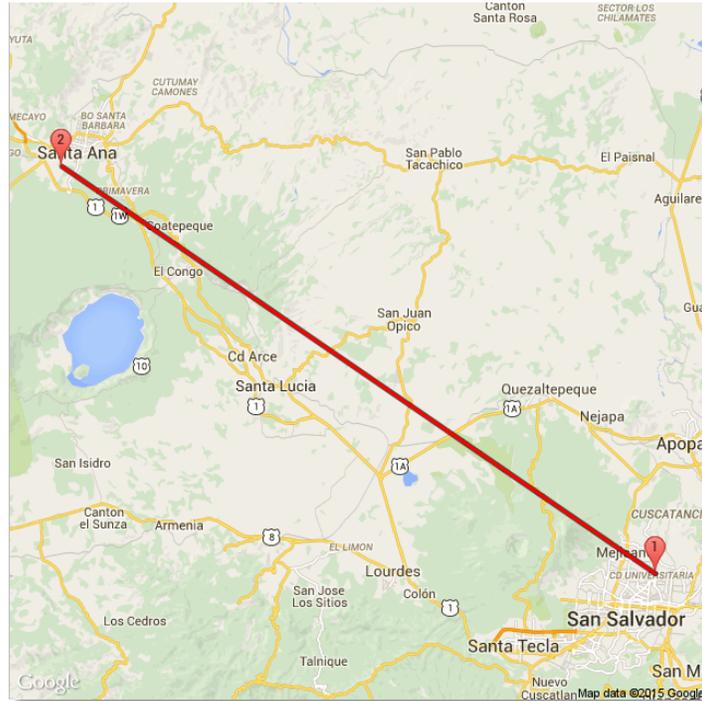


Se situó el punto de transmisión en la escuela de ingeniería eléctrica de la UES, configurando los parámetros de Radio Mobile con una frecuencia de 144MHz, banda de dos metros, y con la potencia a 30W, el máximo que dan los radios. Cabe enfatizar que la aplicación en línea solo permitió utilizar las bandas de frecuencias libres para la simulación.

Las áreas verdes en la Figura 70 se consideran los de mejor cobertura, mientras que las zonas amarillas indicarían una atenuación considerable de la señal. Se debe recordar que las transmisiones en la banda VHF son de tipo LOS o de "línea de vista", es decir, que para tener una buena recepción, no debe haber obstáculos entre los dos puntos, o dicho de otra forma, deben verse directamente tanto transmisor como receptor.

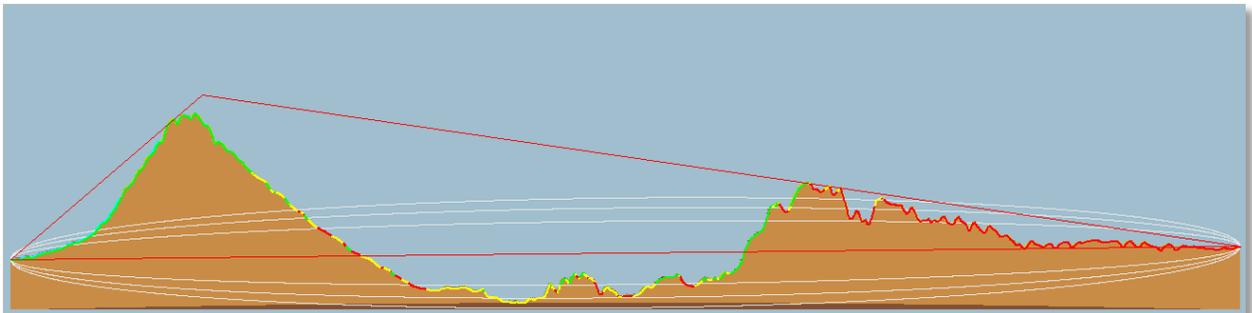
Como un ejemplo de enlace entre dos puntos se presenta Figura 71, un radioenlace entre las sedes de Santa Ana y San Salvador de la Universidad de El Salvador.

Figura 71. Enlace VHF entre UES Santa Ana y UES Central.



Entre estos dos puntos existe un obstáculo que no permite que se vean directamente, el volcán de San Salvador, por lo que en la Figura 72, se observa que la señal llega a su punto con niveles considerables de atenuación.

Figura 72. Perfil de enlace.



Los datos de propagación los proporciona la aplicación, donde entre otras cosas se observa una pérdida total de trayectoria de 174.38 dB:

Figura 73. Datos de propagación en Radio Mobile.

|                  | Propagation |
|------------------|-------------|
| Free space loss  | 109.48 dB   |
| Obstruction loss | 56.47 dB    |
| Forest loss      | 1.00 dB     |
| Urban loss       | 1.20 dB     |
| Statistical loss | 6.23 dB     |
| Total path loss  | 174.38 dB   |

Estos resultados comparando con la Figura 70 proporcionan una idea del desempeño de los enlaces VHF que, entre más alto se coloquen, mayor área de cobertura.

### 3.3 ACCESO PARA EL USUARIO FINAL.

El usuario final solo debe tener acceso a un dispositivo terminal telefónico pegado a la red, ya sea éste digital o analógico. En la escuela se cuenta con equipo los teléfonos 9640 de Cisco, dispositivos ATA para pegar a la red teléfonos analógicos.

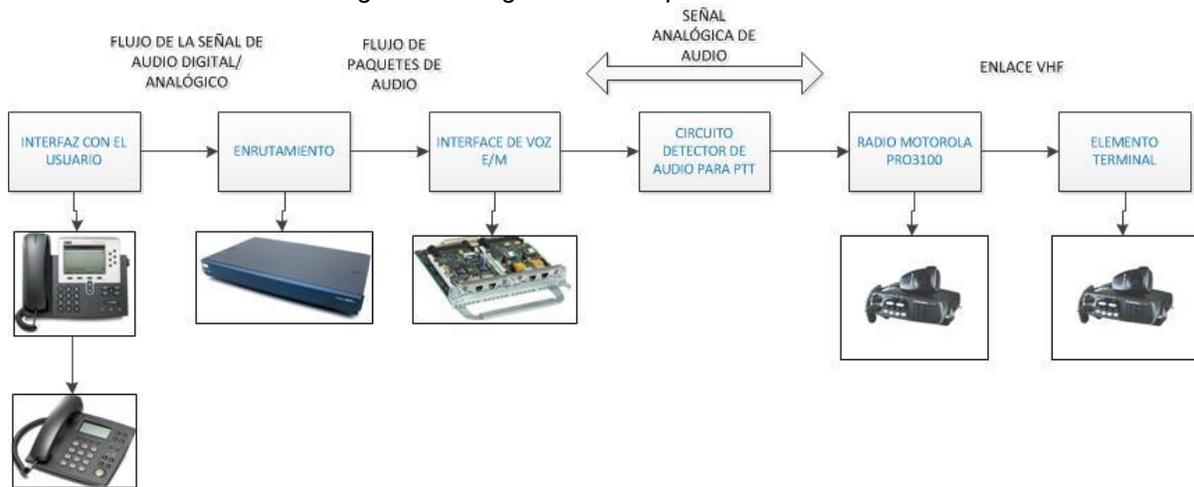
Figura 74. Teléfono IP y analógico.



En el diagrama de bloques de la Figura 75, se muestran las partes que involucra el establecimiento de la llamada con el dispositivo terminal al otro extremo, que en éste caso es el radio Motorola PRO3100.

La información de voz proveniente de la tarjeta E&M es una interpretación o una aproximación a la señal de audio original que procesa el códec G.711 (mismo que ya ha sido descrito con anterioridad). La interfaz con el usuario son elementos terminales como teléfonos analógicos e IP, pero también se pueden anexar a la red: softphones y otros similares.

Figura 75. Diagrama de bloques de la solución.



El enrutamiento de los paquetes de voz lo hace el router Cisco de la serie 2600, el cual posee ranuras para la expansión de los servicios llamadas módulos de red, donde se colocan las tarjetas E&M, FXS, FXO, entre otras. Sin embargo, debido al funcionamiento éstas últimas se necesita un switch para la conmutación del PTT, el cuál debe cerrarse al detectar flujo de voz, para ello se diseñó un circuito con las capacidades de detectar audio y conmutar un transistor, tema o apartado anteriormente explicado.

Al final de éstos bloques tenemos dos radios VHF, el que funciona como punto de transmisión y recepción y el otro como elemento terminal comunicados vía VHF. El caso ideal sería tener varios elementos terminales tipo radio comunicados entre sí, pero implica una mayor inversión de recursos.

### **3.3 PROPUESTAS AVANZADAS DE IMPLEMENTACIÓN.**

El tema de la integración de radios con plantas telefónicas digitales y analógicas da lugar a la visualización de algunos escenarios útiles para distintas aplicaciones. Con el presente trabajo se busca incentivar la explotación de un campo que podría ser de suma importancia en el desarrollo de comunidades remotas o monitorización de estaciones remotas y de difícil acceso, esto con la transmisión de datos digitales sobre una banda de frecuencias no precisamente para ello.

#### **3.3.1 RADIOS MOTOROLA PRO3100 COMO ELEMENTOS PARA ESTABLECER UN ENLACE.**

Este esquema, pretende conectar dos plantas de manera remota, una de ellas, por ejemplo, ubicada en una zona urbanizada y la otra en una rural de difícil acceso. Estas se comunicarán a través de un enlace VHF establecido por los radios Motorola PRO3100.

Por supuesto, las comunicaciones al cruzar por ésta “pasarela” serán del tipo “half duplex” y la teoría de funcionamiento es la siguiente: Al marcar el número correspondiente al puerto E&M, éste se comunicará con el radio 1, el cual, al detectar voz, activará una portador que recibirá el radio 2, al ocurrir esto, hay un cambio de voltaje en el pin RSSI del mismo, lo que hace a su vez que el terminal “M” del puerto en el router 2 se vaya a tierra, éste cierra el circuito y se interpreta como una llamada entrante, que hará sonar el teléfono que se haya predeterminado previamente.

Una propuesta más avanzada de interconexión de plantas IP con elementos analógicos como los son los radios VHF, es el uso de los radios como nodos de conexión entre dos plantas telefónicas IP, una ubicada muy remotamente de la otra y en una zona de difícil acceso.

Más específicamente, lo que hacemos en éste caso es realizar la llamada de puerto a puerto entre las tarjetas E&M, utilizando como medio de transmisión la banda VHF a través de los radios Motorola PRO3100.

A simple vista la utilidad de éste tipo de implementaciones no parece muy obvia, ya que se tienen otras formas para comunicarse entre ambos sistemas. Pero si se observa más detalladamente y se evalúan las opciones, se pueden cuestionar algunos de estos métodos. Por ejemplo, existen redes malladas bajo el protocolo IEEE 802.11, en las que la señal inalámbrica va saltando de un lugar a otro a través de puntos de acceso, en lo que se conoce como una enmienda a éste protocolo, el IEEE 802.11s. Pero obviamente tienen limitantes de cobertura e involucra el uso de muchos elementos a lo largo de una trayectoria. En éste punto cabe recordar que la utilidad del sistema propuesto es más visible en zonas o lugares aislados, donde las redes cableadas de comunicación no tienen destino. Así que se podrían contemplar otro tipo de implementaciones como el uso de módulos GSM para el acceso a la PSTN o a otras plantas telefónicas del mismo dominio.

Existen organizaciones sin fines de lucro que ya han usado este tipo de ideas, no bajo el mismo método que aquí se propone pero si con similares objetivos, la telemedicina ciertamente podría ser uno de ellos.

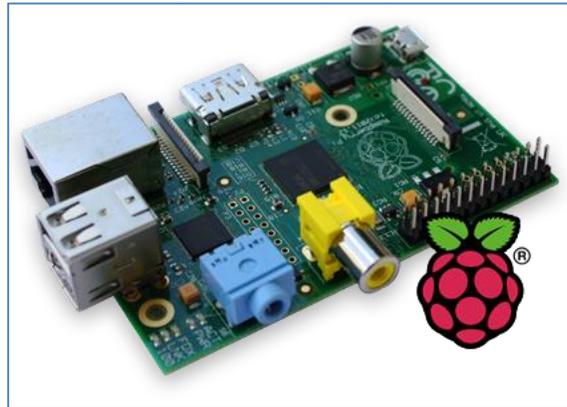
La aplicación que aquí se presenta es para transportar comunicaciones de voz sobre protocolo de internet a través de la banda VHF. Sin embargo, no es una propuesta limitada solamente a servicios de voz, se tiene la idea para la transmisión de datos por éste mismo medio, y así, en futuras realizaciones, levantar servidores de correo electrónico o mensajería.

Pero también hay que mencionar las limitantes como que las comunicaciones son half dúplex, es decir que solo se puede enviar o recibir, pero no ambas al mismo tiempo. Otra limitante importante a considerar es que solo hay cabida para una transmisión máxima de datos de 9600 kbps.

### **3.3.2 INTEGRACIÓN CON HARDWARE LIBRE.**

Una de las mejoras que se proponen para éste proyecto es el uso de hardware libre, mediante el montaje de una planta telefónica de elastix, en éste caso llamada “µelastix” en una unidad como Raspberry Pi.

Figura 76. Raspberry Pi.



El software “μelastix” es una versión liviana de Elastix que puede ser instalada en un micro computador. Tiene muchas de las capacidades que posee el software Elastix convencional, pero se enfoca más que nada a los servicios de telefonía pero con menor capacidad de usuarios conectados.

### 3.5 EXPERIENCIA EHAS.

El Enlace Hispano Americano de Salud, es una organización sin fines de lucro que lleva a cabo proyectos de telecomunicaciones para mejorar la calidad de vida en zonas de difícil acceso, donde no existe manera económicamente viable para la construcción de redes cableadas de comunicación. La idea de ésta organización es poner al alcance de todos las tecnologías de la información y las comunicaciones, implementando servicios de salud y apostando a la telemedicina.

Figura 77. Logotipo de EHAS.



El desarrollo de sus proyectos abarcan zonas rurales y de difícil acceso, como ya se mencionó, y tienen presencia en: Guatemala, Colombia, Cuba, Ecuador y Perú. La importancia de mencionar el trabajo de esta organización, es que la interconexión de los radios con plantas IP tiene cierta comparación con los proyectos de alta complejidad que posee EHAS, los cuales se mencionarán más adelante. Sin

embargo como un primer experimento es difícil alcanzar los niveles de implementación que tiene en la actualidad ésta entidad, que comenzó como un proyecto de acceso libre y ahora se dedican también a vender algunos de ellos, ya que alcanzaron un alto prestigio con lo desarrollado hasta ahora.

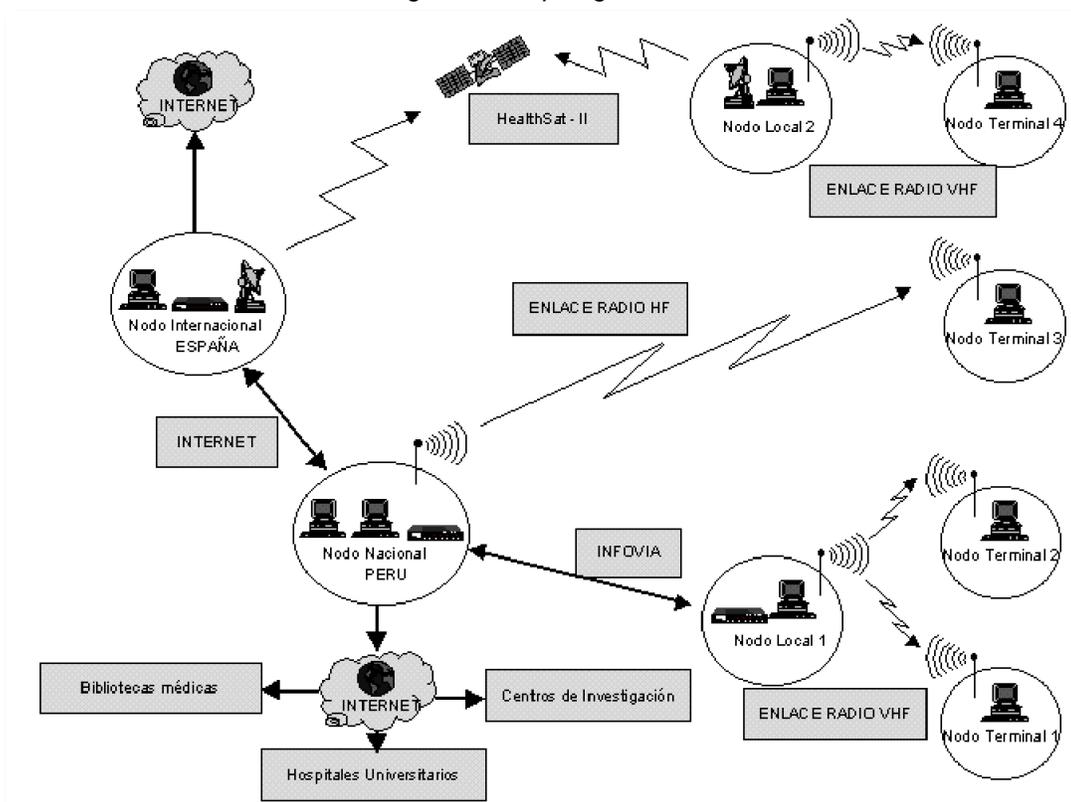
La interconexión de radios VHF con plantas telefónicas IP pretende ser un punto de partida para implementar nuevos servicios a futuro conforme se vaya retomando el tema, que podría tener muchas más aplicaciones en diferentes campos.

Enfocando la atención hacia el punto de vista técnico, EHAS posee una estructura de comunicaciones más bien híbrida en sus campamentos o áreas de montaje. Posee diversos servicios implementados sobre enlaces HF, VHF, UHF, WiFi y redes Mesh. En la Figura 78 se muestra la topología que implementan en sus operaciones actualmente

El objetivo principal de una red de comunicaciones como el que se describe en la topología de la Figura 78 según EHAS, es la de transferir conocimientos tecnológicos y tecnologías de acceso a la información médica a estaciones ubicadas remotamente. Debido a las características del espectro radioeléctrico en cuanto a cobertura y ancho de banda se ha optado por un sistema que utiliza diferentes frecuencias para el transporte de datos.

Se comprende entonces que el sistema es usado en establecimientos de salud, donde, de un lado, como referencia, se tienen a los Centros de Salud situados en lugares con acceso a una línea telefónica o red cableada para datos, y del otro lado se tienen varios puestos de Salud, situados en poblaciones sin acceso a línea telefónica y mal dotadas en infraestructura de carreteras. La comunicación e intercambio de información entre éstos dos puntos resulta ser totalmente ineficiente y es evidente la necesidad existente, especialmente importante en estas zonas rurales en caso de un brote epidémico, desastre natural, reportes del sistema de información sanitaria y sistemas de recepción de medicamentos.

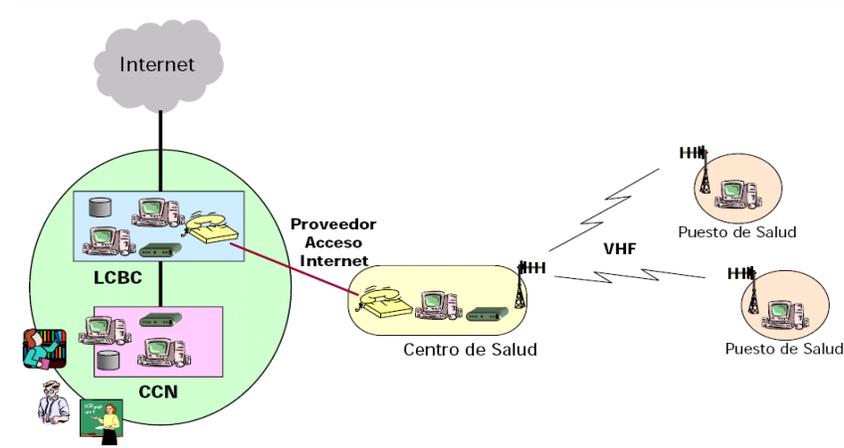
Figura 78. Topología EHAS.



Las investigaciones por el programa EHAS se centran en tres puntos fundamentales: radio VHF - UHF, radio HF y satélites LEO (de baja órbita).

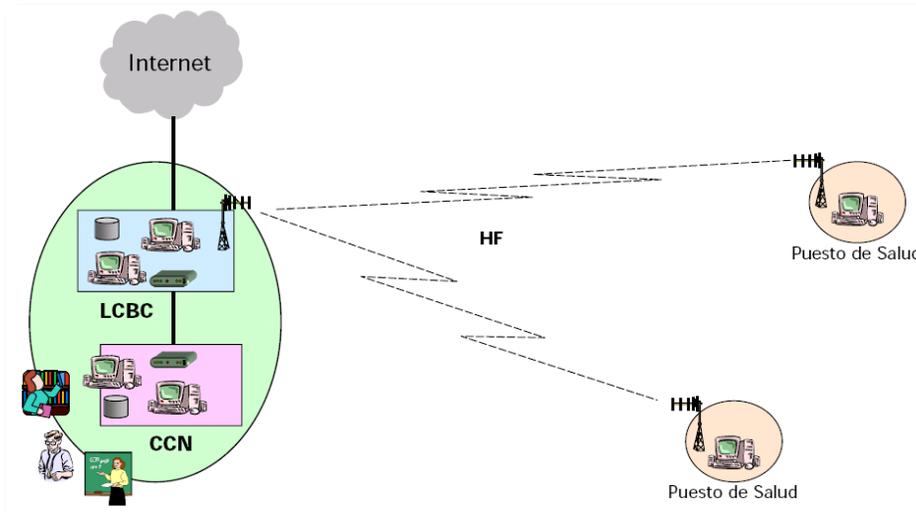
- Radio VHF – UHF: La mayoría de Centros de Salud cuentan con conexión telefónica. No así los Puestos de Salud que dependen de ellos. Por esta razón, el esfuerzo investigador se está centrando en lograr el enlace de los Puestos de Salud con el teléfono más cercano. La opción de menor coste y mayor calidad la ofrecen los enlaces radio en las bandas VHF y UHF en condiciones estándar con anchos de banda de 12.5KHz. Estos enlaces permiten una velocidad de hasta 9.600 bps (bits por segundo), aunque en las subredes del proyecto EHAS actualmente en funcionamiento la velocidad de los enlaces es de 1.200 bps. El inconveniente de esta opción es la limitación de la longitud del enlace (aproximadamente 50 km) y la necesidad de contar con visión casi directa entre antenas.

Figura 79. Esquema VHF



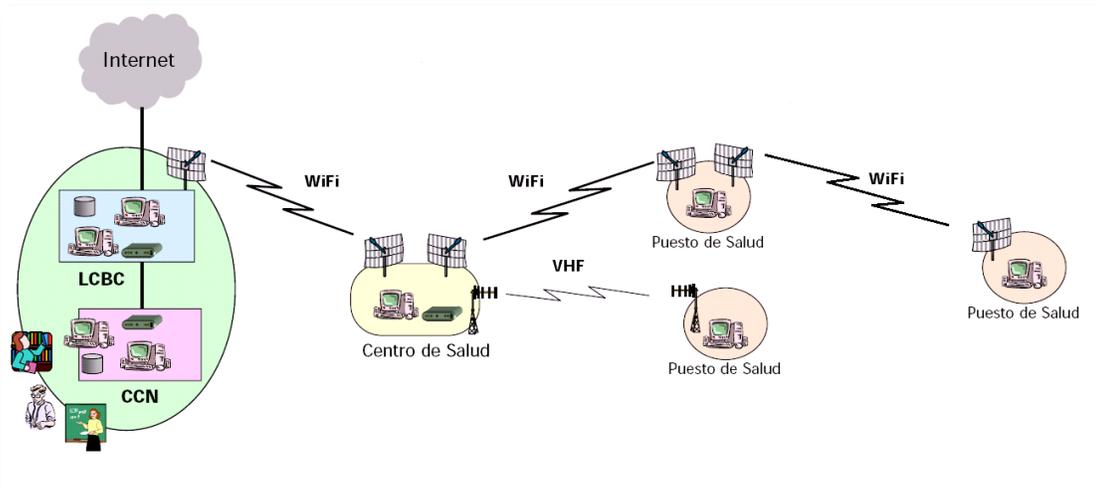
- Radio HF.: En las situaciones de orografía complicada o larga distancia entre el Puesto de Salud remoto y el Centro de Salud, la opción idónea es un enlace HF directamente con la capital. Esta solución, más cara que la anterior, tiene sus limitaciones en la baja velocidad obtenida (300 bps).

Figura 80. Esquema HF.



- Satélites de baja órbita (LEO). Sólo en casos excepcionales se contempla el empleo de satélites LEO para enlazar un Centro de Salud aislado con el resto de la red internacional EHAS. Esta solución permite 9600 bps de velocidad de transmisión y acceso a cualquier punto aislado, pero es la de mayor coste de infraestructura y explotación.

Figura 81. Red Mixta Wifi-VHF.



La topología de la que se parte contempla conexiones de radio, telefónicas y acceso a Internet. De forma genérica, como vemos en la Figura 78, existen tres tipos de nodos:

- **Nodo Terminal:** Es el emplazamiento del usuario final. Habitualmente se tratará de un Puesto de Salud aislado y normalmente sólo tiene un enlace digital vía radio con el Nodo Local (Centro de Salud). En ciertos casos puede tener un enlace HF directo a un Nodo Nacional o Internacional. El usuario utiliza programas convencionales de correo electrónico bajo Microsoft Windows.
- **Nodo Local:** Es el lugar que centraliza la comunicación vía radio con varios Nodos Terminales que dependen de él. Gestiona las comunicaciones entre ellos sin coste de operación. El Nodo Local es un Centro de Salud ubicado en una localidad con línea telefónica, la cual utiliza, mediante conexiones periódicas, para comunicarse con el Nodo Nacional. El servidor utilizado es un sistema Linux con un servidor de correo que sirve como pasarela entre la red de radio y el nodo nacional.
- **Nodo Nacional:** Centraliza la comunicación con todos los Nodos Locales. Además, es la pasarela de nuestra red con el resto de Internet.

- **Nodo Internacional:** Situado en España, este nodo centraliza la información procedente de comunicación vía satélite para servir posteriormente de pasarela al resto de Internet.

El esquema de la Figura 78 funciona en el caso que todos los Nodos Terminales tengan visión directa con su Nodo Local. Si para alguno de ellos resulta imposible conseguir un enlace en VHF con el Nodo Local, es necesario realizar un enlace directo con el nodo Nacional a través de HF (Onda Corta), con las ventajas y desventajas que antes mencionamos. Por último, en el caso extremo de tener un Nodo Local que no tenga acceso a línea telefónica, el correo se direcciona a través del satélite LEO HealthSat II hasta el Nodo Internacional en España y de ahí se reenvía por Internet a su destino.

## **RECOMENDACIONES.**

---

El presente proyecto queda abierto para futuras implementaciones o mejoras que ayuden a la implementación de nuevos servicios de telefonía.

Con la base creada hasta el momento, se da lugar a la posibilidad de configurar métodos de encriptamiento, para lograr comunicaciones privadas entre dispositivos terminales que operen a una misma frecuencia, mediante la utilización de señalización TPL o DPL, propios de los sistemas Motorola, y así aprovechar todas las características que ofrecen éstos equipos.

Se sugiere la adición de micrófonos con teclados DTMF para mejorar las posibilidades de comunicación entre todos los elementos de una planta IP y los dispositivos de radio.

La implementación de una opción para llamadas tipo conferencia podría ser una buena alternativa de servicios a futuro utilizando la base construida hasta ahora.

## **CONCLUSIONES.**

---

La integración de radios del tipo VHF a servicios de comunicación telefónica, permite expandir la cobertura de éstos y con ello facilita la implementación de servicios tales como telemedicina y de alerta temprana utilizando las ventajas de la tecnología de las comunicaciones de VOIP.

Así mismo, con las adaptaciones e implementaciones del caso, estos radios permiten la transmisión de datos de baja velocidad, propios de estaciones de monitoreo remoto (por ejemplo, estaciones meteorológicas o monitoreo volcánico), esto en un ancho de banda de 25kHz que permite una tasa de transferencia de 9600 b/s.

Las metas alcanzadas con el presente trabajo, también podrían aplicarse a para la implementación de centros de despacho asociados a empresas de logística, similares al esquema de operaciones del sector eléctrico en El Salvador, donde se tiene como ente coordinador a la Unidad de Transacciones (UT).

A nivel comercial, el presente trabajo puede considerarse como una alternativa de bajo costo a las soluciones ofrecidas por diversos fabricantes. Con las configuraciones adecuadas se puede lograr un sistema confiable y seguro, ya que en situaciones de emergencia las comunicaciones por radiofrecuencias permanecen activas al ser respaldados por bancos de baterías, y éstas mismas pueden ser encriptadas mediante métodos de señalización que permitan las comunicaciones privadas entre dispositivos terminales.

## BIBLIOGRAFÍA.

---

- [1] SIGET. Ley de telecomunicaciones.
- [2] Cisco System, Inc. (2002). Configuring Cisco Voice Over IP.
- [3] Cisco System, Inc. (2006). Understanding and Troubleshooting Analog E&M Interface Types and WirinG.
- [4] Cisco System, Inc. (2006). Analog E&M Voice Signaling Overview.
- [5] Harris Corporation (2000). Comunicaciones de radio en la era digital, Vol. II.
- [6] Cisco 2621 Modular Access Router with AIM-VPN/BP Security Policy, (1999),  
<http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/routers/access/2600/hardware/installation/notes/security/2621fips.html>
- [7] Cisco Unified Call Manager Express 4.0 (1992-2005),  
[http://www.cisco.com/web/LA/soluciones/comercial/Unified\\_CallManager\\_Express\\_Espa.pdf](http://www.cisco.com/web/LA/soluciones/comercial/Unified_CallManager_Express_Espa.pdf)
- [8] Fine-Tuning Analog and Digital Voice Ports. Cisco Systems Inc (2007-2010),  
[http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/voice/voiceport/configuration/guide/15\\_0/vp\\_15\\_0\\_book/vp\\_tune\\_an-dig\\_vps.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/voice/voiceport/configuration/guide/15_0/vp_15_0_book/vp_tune_an-dig_vps.html)
- [9] Cisco IOS Voice Command Reference,  
[http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/voice/command/reference/vr\\_book.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/voice/command/reference/vr_book.html)
- [10] Aplicación PTT para android via WiFi, <http://zello.com/>
- [11] Tutorial E&M, <http://www.asteriskguru.com/tutorials/em.html>
- [12] Radio over IP (RoIP), <http://omnitronicsworld.com/solutions/radio-over-ip-roip/?gclid=CO7vmfjzvMACFVQV7AodM3wAMQ>
- [13] Equipo para ROIP, [http://www.vocality.com/basics-radio-relay?gclid=CJS3o\\_bzvMACFQxp7AodiEwAzQ](http://www.vocality.com/basics-radio-relay?gclid=CJS3o_bzvMACFQxp7AodiEwAzQ)
- [14] Open Source Amateur Radio Over IP, <http://www.xelatec.com/xipar/about>

- [15] Pichardo Emilio. Creando una centralita telefónica IP SOHO, (2013),  
<http://asterisknica.com/2013/11/20/creando-una-centralita-telefonica-ip-sohopequena-oficina-u-oficina-en-casa/>
- [16] Pichardo Emilio , RoIP – Radio sobre IP utilizando ASTERISK, (2012),  
<http://asterisknica.com/2012/01/23/roip-radio-sobre-ip-con-asterisk/>
- [17] Espectro audible (2014), [http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_audible](http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_audible)
- [18] VHF/UHF Narrowbanding Information (2011),  
<http://transition.fcc.gov/pshs/public-safety-spectrum/narrowbanding.html>
- [19] Narrowband, (2014). <http://en.wikipedia.org/wiki/Narrowband>
- [20] MGCP (2014), <http://es.wikipedia.org/wiki/MGCP>
- [21] RFC 3015, <http://tools.ietf.org/html/rfc3015>
- [22] RFC 2543, <https://www.ietf.org/rfc/rfc2543.txt>
- [23] RFC 3261, <https://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>
- [24] SCCP y Skinny, [http://es.wikipedia.org/wiki/Skinny\\_Client\\_Control\\_Protocol](http://es.wikipedia.org/wiki/Skinny_Client_Control_Protocol)
- [25] Frecuencias para codificación TPL y DPL,  
<http://www.manualslib.com/manual/560437/Motorola-Cp185-Series.html?page=26>
- [26] Foro de consulta para DPL y TPL,  
<http://batboard.batlabs.com/viewtopic.php?t=9912>
- [27] Señalización MDC1200 de Motorola, <http://en.wikipedia.org/wiki/MDC-1200>