



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

PROYECTO TÉCNICO:

“ESTUDIO Y DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BAJO COSTO PARA
EMERGENCIAS UTILIZANDO SOFTWARE DEFINED RADIO (SDR)
Y SERVIDOR ASTERISK PARA APLICACIONES EN SITIOS DE
BAJA COBERTURA”

AUTORES:

KAREN IRENE OJEDIS ARREAGA

JIMMY ROGER MOROCHO VERA

TUTOR:

ING. PABLO FABIÁN ECHEVERRÍA ÁVILA, MSC.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2019

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los conceptos desarrollados en el presente proyecto de titulación, el desarrollo del tema, el análisis y respectivas conclusiones de este, corresponden exclusivamente a **Karen Irene Ojedis Arreaga** con cédula de identificación 0931429054 y **Jimmy Roger Morocho Vera** con cédula de identificación 0930839782; y el patrimonio intelectual del mismo a la **Universidad Politécnica Salesiana**.

Guayaquil, Agosto de 2019

(f) Karen Irene Ojedis Arreaga
C.I.: 0931429054

(f) Jimmy Roger Morocho Vera
C.I.: 0930839782

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

Nosotros, **Karen Irene Ojedis Arreaga** con cédula de identidad 0931429054 y **Jimmy Roger Morocho Vera** con cédula de identidad 0930839782, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la titularidad sobre los derechos del actual proyecto de titulación de que somos los autores del tema **“Estudio y diseño de un prototipo de bajo costo para emergencias utilizando Software Defined Radio (SDR) y servidor Asterisk para aplicaciones en sitios de baja cobertura”** mismo que ha sido realizado para la obtención del título de: **INGENIERO ELECTRÓNICO CON MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES**, quedando la universidad facultada para ejercer y usar los derechos cedidos anteriormente.

En la aplicación en lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra anteriormente citada.

En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hagamos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la **Universidad Politécnica Salesiana**.

Guayaquil, Agosto de 2019

(f) Karen Irene Ojedis Arreaga
C.I.: 0931429054

(f) Jimmy Roger Morocho Vera
C.I.: 0930839782

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo Msc. Pablo Fabián Echeverría Ávila certifico que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “Estudio y diseño de un prototipo de bajo costo para emergencias utilizando Software Defined Radio (SDR) y servidor Asterisk para aplicaciones en sitios de baja cobertura”, realizado por los señores Karen Irene Ojedis Arreaga y Jimmy Roger Morocho Vera para la obtención del título de Ingeniero Electrónico.

Por medio de la presente certifico que el documento cumple con los requisitos establecidos en el Instructivo para la Estructura y Desarrollo de Trabajos de Titulación para pregrado de la **Universidad Politécnica Salesiana**.

En virtud de lo anterior, autorizo su presentación y aceptación como una obra auténtica y de alto valor académico.

Guayaquil, Agosto de 2019

(f) Ing. Pablo Echeverría, Msc.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por conocer los deseos de mi corazón y haberme brindado salud y entendimiento para poder hacer realidad este sueño.

A mi padre, el señor Manuel Lupercio Ojedis Palacios por ser mi mentor, por su sabiduría y optimismo ante cualquier situación y por todo en lo que me he convertido gracias a su apoyo incondicional.

Karen Irene Ojedis Arreaga

El presente trabajo está dedicado primero a Dios puesto que me ha provisto de vida, salud y sabiduría para poder culminar esta etapa profesional. A mis padres quienes me han mostrado su amor y sacrificio durante todo este proceso y a mis hermanas que son un impulso en mi vida para seguir esforzándome.

Jimmy Roger Morocho Vera

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, la señora Mónica Trinidad Arreaga Suárez por su sacrificio y estar durante el proceso brindándome su apoyo a pesar de las adversidades.

A mis hermanos, Paúl, Raúl, por aportar en mi vida mucho más de lo que se pueden imaginar y enseñarme el verdadero significado de la hermandad ante cualquier situación en la vida.

A María Eugenia, por creer en mí.

Y a mis amigos, por demostrarme la valentía, bondad y fuerza que todo proyecto personal y/o profesional necesita para poder llevarlo a cabo a lo largo de estos años.

Karen Irene Ojedis Arreaga

Estoy agradecido con Dios por mostrarme su sustento y provisión a lo largo de todo este proceso de formación profesional.

A mis padres que gracias a sus consejos y su apoyo estoy culminando una etapa más.

A mis amigos y hermanos en la fe que siempre estuvieron apoyándome con sus consejos y oraciones.

A mi amiga Karen Ojedis por su paciencia y su determinación para cuando las situaciones se tornaban adversas en el desarrollo de nuestro proyecto.

A los docentes quienes fueron parte de mi formación académica durante mi camino en la universidad.

Gracias al personal administrativo que siempre estuvo dispuesto a guiarme y aconsejarme a lo largo de mi etapa universitaria.

Jimmy Roger Morocho Vera

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRAC	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I	
EL PROBLEMA.....	1
1.1. Planteamiento del problema.	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Importancia y alcance.	2
1.4. Delimitación del problema.....	2
1.4.1. Delimitación espacial.	3
1.4.2. Delimitación temporal.	3
1.4.3. Delimitación académica.....	3
1.5. Justificación.....	4
1.6. Grupo objetivo.....	4
1.6.1. Población.....	4
1.6.2. Muestra.....	5
1.7. Objetivos.....	5
1.7.1. Objetivo general.....	5

1.7.2. Objetivo específicos.....	5
1.8. Metodología.....	5
CAPÍTULO II	
ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1. Investigaciones relacionadas.....	7
2.2. Sistema Global para Comunicaciones Móviles.....	8
2.2.1. Arquitectura de la red GSM.....	8
2.2.1.1. NSS.....	9
2.2.1.1.1. MSC.....	10
2.2.1.1.2. GMSC.....	10
2.2.1.1.3. AuC.....	10
2.2.1.1.4. HLR.....	10
2.2.1.1.5. VLR.....	10
2.2.1.1.6. EIR.....	11
2.2.1.2. BSS.....	11
2.2.1.2.1. BSC.....	11
2.2.1.2.2. BTS.....	12
2.2.1.3. MS.....	12
2.2.1.3.1. SIM.....	12
2.3. Radio definida mediante software.....	13
2.4. Requerimientos del sistema.....	13
2.4.1. Componentes hardware.....	15
2.4.1.1. Access Point hAP lite TC MikroTik.....	15
2.4.1.2. USRP NI U2920.....	16
2.4.1.3. Antena GSM VERT400.....	18
2.4.2. Componentes software.....	18
2.4.2.1. Servidor Asterisk.....	18
2.4.2.1.1. Vaxphone SIP VOIP Softphone.....	19
2.4.2.2. Servidor OpenBTS.....	19

2.4.2.2.1. SMQueue.....	20
2.4.2.2.2. SIPAuthServe.	20
CAPÍTULO III	
MARCO METODOLÓGICO.....	21
3.1. Configuración del servidor Asterisk PBX.....	21
3.1.1. Instalación de dependencias.	21
3.1.2. Instalación de Dahdi.	22
3.1.3. Instalación de LibPRI.	22
3.1.4. Instalación de Asterisk.....	22
3.1.5. Configuración de modules.conf.	24
3.1.6. Configuración de extension.conf.	24
3.1.7. Configuración de sip.conf.	26
3.2. Configuración del terminal para Call Center.....	27
3.2.1. Instalación de Softphone.	27
3.2.2. Configuración de Softphone.	27
3.3. Configuración del servidor OpenBTS.	28
3.3.1. Instalación de dependencias.	28
3.3.2. Instalación del Driver para USRP NI U2920.	28
3.3.3. Instalación de aplicaciones.....	31
3.3.4. Configuración de extension.conf.	33
3.3.5. Configuración de sip-custom-context.conf.	33
3.3.6. Configuración de parámetros en OpenBTS.	34
3.3.7. Agregar terminal Móvil a la Red GSM.	37
3.4. Configuración del terminal Móvil para Red GSM.	38
3.4.1. Configuración APN.....	38
3.4.2. Conexión a la red.....	39
3.5. Configuración del Access Point hAP lite TC Mikrotik.	40
CAPÍTULO IV.....	
RESULTADOS.....	42

4.1.	Verificación previa.....	42
4.2.	Ejecución del servidor Asterisk PBX.....	43
4.3.	Ejecución del servidor OpenBTS.....	47
4.4.	Servicios de la red GSM.....	49
4.4.1.	Llamadas entre terminales.....	49
4.4.2.	SMS entre terminales.	50
4.4.3.	Llamadas al Call Center desde la red GSM.....	51
CAPÍTULO V.....		
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		53
5.1.	Resultados obtenidos.....	53
CONCLUSIONES.....		57
RECOMENDACIONES.....		58
TRABAJOS FUTUROS.....		59
CRONOGRAMA.....		60
PRESUPUESTO.....		61
ACRÓNIMOS.....		62
REFERENCIAS.....		64
ANEXOS.....		67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Limitación de la Unidad Educativa ‘Domingo Comín’, vista satelital.	3
Figura 2. Arquitectura de una Red GSM.	9
Figura 3. Estructura interna del NSS.	9
Figura 4. Estructura de una BSS.	11
Figura 5. Esquema interno de bloques de un terminal móvil.	12
Figura 6. Diagrama del sistema propuesto en el presente trabajo de titulación.	15
Figura 7. Access Point hAP lite TC MikroTik.	16
Figura 8. Dispositivo USRP 2920.	17
Figura 9. Antena GSM VERT400.	18
Figura 10. Arquitectura híbrida de OpenBTS.	20
Figura 11. Comandos de instalación de dependencias.	21
Figura 12. Comandos de instalación de dependencias.	21
Figura 13. Comandos de instalación de dependencias.	21
Figura 14. Comandos de instalación de dependencias.	22
Figura 15. Instalación de Dahdi.	22
Figura 16. Instalación de LibPRI.	22
Figura 17. Instalación de Asterisk.	22
Figura 18. Instalación de Asterisk.	23
Figura 19. Instalación de Asterisk.	23
Figura 20. Instalación de Asterisk.	23
Figura 21. Instalación de Asterisk.	23
Figura 22. Instalación de Asterisk.	23
Figura 23. Configuración de Asterisk.	23
Figura 24. Configuración de Asterisk.	24
Figura 25. Ejecutar Asterisk.	24
Figura 26. Configuración del fichero modules.conf.	24
Figura 27. Configuración del fichero extension.conf.	25
Figura 28. Configuración del fichero sip.conf.	26
Figura 29. a) Configuración de la dirección IP del servidor Asterisk. b) Configuración del usuario mediante el número de la extensión establecido en sip.conf. c) Configuración de la contraseña del correspondiente usuario establecido en sip.conf.	27
Figura 30. a) Parámetros del softphone en el smartphone luego de la configuración establecida. B) Registro del softphone en la PBX.	28
Figura 31. Instalación de dependencias.	28

Figura 32. Instalación de dependencias de USRP.	29
Figura 33. Conexión del USRP al Ordenador.	29
Figura 34. Configuración de red de la interfaz Ethernet en el ordenador.....	30
Figura 35. Configuración del adaptador de red ethernet en DHCP.....	30
Figura 36. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.	31
Figura 37. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.	31
Figura 38. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.	31
Figura 39. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.	32
Figura 40. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.	32
Figura 41. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.	32
Figura 42. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.	32
Figura 43. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.	32
Figura 44. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.	32
Figura 45. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.	33
Figura 46. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.	33
Figura 47. Configuración del fichero extension.conf.	33
Figura 48. Configuración del fichero sip-custom-contex.conf.	33
Figura 49. Configuración de OpenBTS.	34
Figura 50. Configuración de OpenBTS.	34
Figura 51. Configuración de OpenBTS.	34
Figura 52. Configuración de OpenBTS.	34
Figura 53. Configuración de OpenBTS.	34
Figura 54. Configuración de OpenBTS.	35
Figura 55. Configuración de OpenBTS.	35
Figura 56. Configuración de OpenBTS.	35
Figura 57. Configuración de OpenBTS.	35
Figura 58. Configuración de OpenBTS.	35
Figura 59. Configuración de OpenBTS.	36
Figura 60. Configuración de OpenBTS.	36
Figura 61. Configuración de OpenBTS.	36
Figura 62. Configuración de OpenBTS.	36
Figura 63. Configuración de OpenBTS.	36
Figura 64. Agregar usuarios OpenBTS.	37
Figura 65. Agregar usuarios OpenBTS.	37
Figura 66. Agregar usuarios OpenBTS.	37
Figura 67. Agregar usuarios OpenBTS.	37
Figura 68. Agregar usuarios OpenBTS.	38

Figura 69. Agregar usuarios OpenBTS.	38
Figura 70. a) Selección de modo en red GSM. b) Crear APN para OpenBTS	39
Figura 71. a) Selección de la red GSM OpenBTS. b) Suscripción del terminal a red GSM OpenBTS. c) SMS indicando registro exitoso en la red GSM OpenBTS.....	39
Figura 72. Interconexión de los servidores Asterisk y OpenBTS mediante el AP....	40
Figura 73. Interconexión de los componentes que conforman el sistema propuesto.	42
Figura 74. Verificación de la conexión de los componentes del sistema propuesto.	43
Figura 75. Ejecución y verificación del servicio de Asterisk.....	44
Figura 76. Direcciones IP de cada una de las interfaces de red del ordenador que actúa como servidor Asterisk.....	44
Figura 77. Mensajes de estado del Call Center en el servidor Asterisk.	45
Figura 78. Audios utilizados por la IVR para interacción con la extensión 9911.....	45
Figura 79. Visualización del estado de las conexiones SIP mediante el CLI de Asterisk.....	46
Figura 80. Direcciones IP de cada una de las interfaces de red del ordenador que actúa como servidor OpenBTS.....	46
Figura 81. Ejecución de OpenBTS, SIPAuthServer, Smqueue.....	47
Figura 82. Estado de llamadas en el servidor OpenBTS.....	47
Figura 83. Visualización del estado de las conexiones SIP mediante el CLI de Asterisk en OpenBTS.....	48
Figura 84. Instalación de diferentes sistemas radiantes en la estación base.	48
Figura 85. Suscripción de dos terminales móviles a la red GSM de OpenBTS.	49
Figura 86. a) Primer teléfono móvil, realizar llamada. b) Segundo teléfono móvil, recepción de llamada.....	50
Figura 87. a) Primer teléfono móvil, envió de mensaje d texto. b) Segundo teléfono móvil, recepción y respuesta mediante mensajes de texto.	50
Figura 88. a) Llamada al canal de emergencia mediante la extensión 9911. b) Pruebas realizadas para verificar el funcionamiento de la IVR, opción no válida....	51
Figura 89. a) Llamada entrante conmutada desde la IVR a la extensión del asesor en el Call Center. b) Conversación entre el terminal móvil en la red GSM y la extensión en el Call Center.	51
Figura 90. a) Opción 2, realizar una denuncia. b) Al marcar #, se empieza a grabar el audio.....	52
Figura 91. Denuncias realizas mediante la IVR en el sistema Asterisk.	52
Figura 92. Código fichero extensions.conf OpenBTS.....	67

Figura 93. Código fichero extensions.conf OpenBTS.....	68
Figura 94. Código fichero extensions.conf OpenBTS.....	69
Figura 95. Código fichero extensions.conf Asterisk.....	69
Figura 96. Código fichero extensions.conf Asterisk.....	70
Figura 97. Código fichero extensions.conf Asterisk.....	71
Figura 98. Código fichero extensions.conf Asterisk.....	72
Figura 99. Código fichero extensions.conf Asterisk.....	73
Figura 100. Código fichero extensions.conf Asterisk.....	74
Figura 101. Código fichero extensions.conf Asterisk.....	75
Figura 102. Validación del sistema en el Laboratorio de Telecomunicaciones.....	75
Figura 103. Validación del sistema en el Laboratorio de Telecomunicaciones.....	76
Figura 104. Validación del sistema en el Laboratorio de Telecomunicaciones.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bandas de frecuencia del sistema GSM.	8
Tabla 2. Características Técnicas del Access Point hAP lite TC MikroTik.	16
Tabla 3. Características Técnicas del USRP NI U2920.	17
Tabla 4. Extensiones en el servidor Asterisk PBX.	26
Tabla 5. Configuración del hAP lite TC MikroTik.	40
Tabla 6. Configuración DHCP para los servidores.	41

RESUMEN

AÑO	TÍTULO	ALUMNOS	DIRECTOR	TEMA DE TITULACIÓN
2019	Ingeniero Electrónico	Karen Irene Ojedis Arreaga Jimmy Roger Morocho Vera.	Ing. Pablo Fabián Echeverría Ávila, Msc.	Estudio y diseño de un prototipo de bajo costo para emergencias utilizando Software Defined Radio (SDR) y servidor Asterisk para aplicaciones en sitios de baja cobertura

El presente trabajo de titulación detalla el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de telecomunicaciones de bajo costo mediante Software Defined Radio, el cual brinda acceso al Servicio Móvil Avanzado y simula un canal de comunicación con una entidad de emergencia. Este trabajo nace como respuesta a la falta de conectividad o baja cobertura que existe en algunos sectores del país, los cuales debido a su ubicación, geografía o condición socioeconómica carecen de una infraestructura de telecomunicaciones, indispensable para establecer un canal de comunicación en situaciones de emergencia, como: terremotos, tsunamis, movimientos de masa, erupciones volcánicas, entre otros; con entidades de emergencia públicos o privados como el Servicio Integrado de Seguridad ECU 911 en Ecuador. El sistema diseñado está compuesto por dos servidores interconectados mediante una Local Area Network privada la cual se establece mediante un Access Point. En el primer servidor, se emplea como hardware un Universal Software Radio Peripheral U2920 de National Instruments y como software el proyecto OpenBTS para la implementación de una estación base. Mientras en el segundo servidor, se emplea como software el proyecto Asterisk para el establecimiento de una central telefónica con Call Center e Interactive Voice Response. Se utilizan varios terminales móviles que se suscriben a la red 2G Global System for Mobile Communications, accediendo al servicio de llamadas telefónicas y mensajes de texto. Además, se emplea un smartphone, utilizando una aplicación softphone, como extensión del Call Center simulando un operador del ECU 911 dentro de la zona de cobertura de la red. El sistema propuesto se valida en el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, donde se encuentran disponibles los componentes hardware empleados para el desarrollo e implementación del mismo. El prototipo desarrollado es compacto y portable lo cual facilita su instalación en cualquier zona del país, independientemente de su ubicación o geografía. Además, pretende aportar a la inclusión de las Tecnologías de la Información y Comunicación, reduciendo de la brecha digital en el país.

ABSTRAC

YEAR	DEGREE	STUDENTS	DIRECTOR	DEGREE SUBJECT
2019	Electronic Engineer	Karen Irene Ojedis Arreaga Jimmy Roger Morocho Vera.	Ing. Pablo Fabián Echeverría Ávila, Msc.	Study and design of a low cost emergency prototype using Software Defined Radio (SDR) and Asterisk server for applications in low coverage zones.

In the present degree work the design, development and implementation of a low-cost telecommunications system through Software Defined Radio is detailed, which provides Advanced Mobile Service access and simulates a communication channel with an emergency entity. This work is born as response to the lack of connectivity or low coverage that exists in some rural sectors of the country, that due to their location, geography or socioeconomic status lack a telecommunications infrastructure, essential to establish a communication channel in emergency situations, such as: earthquakes, tsunamis, mass movements, volcanic eruptions, among others, with public or private emergency entities such as Integrated Security Service ECU 911 in Ecuador. The designed system is composed of two interconnected servers through a private Local Area Network which is established using an Access Point. At the first server, an Universal Software Radio Peripheral U2920 from National Instruments as hardware and OpenBTS project as software for a base transceiver station implementation are used. Although, in the second server, Asterisk project to establishment a telephone exchange with Call Center and Interactive Voice Response is used. Also, several mobile terminals that subscribe to the 2G Global System for Mobile Communications network are used, accessing to phone calls and text messages services. In addition, a smartphone, using a softphone application, as an extension of the Call Center simulating an ECU 911 operator within the network coverage area is used. The proposed system is validated in the Telecommunications Laboratory of the Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil Headquarters, where the hardware components used for its development and implementation are available. The developed prototype is compact and portable facilitating its installation in any area of the country, regardless of its location or geography. In addition, it aims to contribute the Information and Communication Technologies inclusion, reducing the digital divide in the country.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las comunicaciones móviles se han constituido como una de las herramientas de uso masivo en la vida cotidiana del ser humano y de vital importancia en situaciones de emergencia. Sin embargo, no siempre está disponible el servicio de telefonía móvil, debido al colapso de la red originado por la demanda excesiva de usuarios en un mismo sector (estadios o coliseos), inexistencia de una infraestructura de telecomunicaciones debido a la ubicación, geografía o condición socioeconómica de una zona o la destrucción de la infraestructura como efecto de la generación de eventos adversos como: terremotos, tsunamis, inundaciones, movimientos de masa, incendios forestales, erupciones volcánicas, entre otros.

En el Plan Nacional de Respuesta ante Desastres elaborado por la Secretaría de Gestión de Riesgos en Ecuador (SGR), se exponen como actúan los organismos de emergencia a nivel nacional ante un evento adversos, cabe mencionar que en ningún apartado del mismo se especifica cómo actúan estas entidades ante eventos que se susciten en zonas alejadas donde no existe una infraestructura de telecomunicaciones disponible, por lo que los únicos organismos de emergencia presentes en dichos sectores no actúan con información en tiempo real debido a la falta de sistemas de telecomunicaciones en la zona, llegando tarde a los llamados de auxilio. (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018)

Partiendo de investigaciones realizadas, se definen los requerimientos necesarios para realizar el levantamiento de una red 2G Global System for Mobile Communications (GSM) o Sistema Global para Comunicaciones Móviles mediante una estación base de bajo costo, compacta y funcional en cualquier zona del país, accediendo al servicio de llamadas telefónicas, mensajes de texto (SMS, Short Message Service) y un canal de comunicación con una entidad de emergencia que simule un operador del ECU 911 empleando una Interactive Voice Response (IVR) mediante un Call Center.

En el Capítulo I: El Problema, se detallan las necesidades que tienen las personas para poder acceder al servicio de telecomunicaciones móviles en situaciones de emergencia, los antecedentes suscitados en dichos eventos a nivel nacional. En base a lo anterior, se define la delimitación espacial, temporal y académica del trabajo de titulación, además de los objetivos general y específicos.

En el Capítulo II: Estado del Arte, se presenta un resumen sobre los trabajos relacionados que han sido realizados a nivel global, se presenta una síntesis de los conceptos de GSM, Software Defined Radio (SDR) o Radio Definida mediante Software. Además, se definen los componentes hardware y software empleados en la ejecución del proyecto.

En el Capítulo III: Marco Metodológico, se describe todo el proceso de configuración del sistema propuesto: configuración del Access Point (AP), establecimiento del servidor Asterisk para simular una PBX (Private Branch Exchange), configuración del smartphone como terminal en el Call Center, configuración del servidor OpenBTS y de los terminales móviles para su conexión a la red GSM creada.

En el Capítulo IV: Resultados, se muestra la ejecución del servidor Asterisk PBX y de OpenBTS, así como también se presentan los resultados obtenidos al ejecutar los servicios de la red GSM mediante la suscripción de los teléfonos móviles, llamadas telefónicas, envío de mensajes de texto y uso del Call Center simulando un operador de una central telefónica del ECU 911 comprobando de esta manera la funcionalidad del sistema.

Finalmente, en el Capítulo V: Análisis de Resultados, se exponen los resultados obtenidos en el transcurso de la ejecución del presente trabajo de titulación.

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema.

Los mecanismos de socorro que ejecutan acciones para amortiguar los efectos generados por los frecuentes desastres naturales o eventos adversos, no son siempre inmediatos en los sectores rurales. La ubicación, geografía o condición socioeconómica de estas zonas, limita el despliegue de infraestructuras de telecomunicaciones resilientes, que frente a un desastre natural son la principal vía para evitar la pérdida de vidas humanas, así como reducir las pérdidas materiales y económicas.

Además, el colapso de la infraestructura de telecomunicaciones no siempre se produce por eventos adversos, también es común la saturación de la red cuando existe una aglomeración de abonados concentrados en una misma zona. La falta de un canal estable para comunicarse con una entidad de emergencia en tiempo real, en este caso en Ecuador el Servicio Integrado de Seguridad ECU 911, limita la atención de las llamas de socorro.

1.2. Antecedentes.

En Ecuador, existen zonas rurales de baja población donde la cobertura del Servicio Móvil Avanzado (telefonía celular) es limitado o nula debido a su ubicación, geografía o condición socioeconómica. La retribución económica limita a los proveedores la inversión en estos sectores, así como restringe a los habitantes la adquisición de este tipo de servicios. Frente a un desastre natural o alguna emergencia, la mayoría de las personas de estos sectores quedan totalmente aisladas, disminuyendo la posibilidad de ser atendidos por las entidades de emergencia de forma inmediata.

En Ecuador, el 16 de abril (16A) de 2016 ocurrió un terremoto de magnitud de 7.8 con epicentro en la costa ecuatoriana entre las provincias de Esmeraldas y Manabí, con un total de 661 personas fallecidas, 113 personas rescatadas con vida y más de 28.678 personas albergadas. Según el informe emitido por la SGR, las infraestructuras más importantes (distribución del sistema eléctrico y telecomunicaciones) se reestablecieron 48 horas después del terremoto, siendo de vital importancia para reestablecer la comunicación con entidades y agentes de emergencia presentes en el sitio y en el resto del país. Durante las 48 horas posteriores al terremoto, los sectores donde se generaron el epicentro y las réplicas (provincias de Manabí y Esmeraldas) quedaron incomunicados, resultando imposible

realizar una llamada de socorro a las entidades de emergencia como el Servicio Integrado de Seguridad ECU 911 (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016).

OpenBTS es un proyecto software Open Source, comenzado por Harvind Samra y David A. Burgess, cuyo objetivo principal es reducir el costo de la prestación de los servicios de una red GSM en zonas rurales a nivel global. La implementación y simulación de este servicio simplifica radicalmente la implementación de una red de telefonía móvil de bajo costo (Range Network, 2018).

1.3. Importancia y Alcance.

Según la ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones), entre el 2008 y el 2017 en Ecuador, el crecimiento de las líneas telefónicas móviles es evidente, llegando a establecerse 15.055.240 líneas activas, una cantidad que sigue en aumento cada año (ARCOTEL, 2019).

Tomando como referencia el terremoto del 16A en Ecuador, (con epicentro en Pedernales, provincia de Manabí) la infraestructura de telecomunicaciones de la red de telefonía fija y móvil que se vio totalmente afectada se restableció 48 horas después del incidente. Ocasionando que las personas afectadas de gravedad, alejadas a la zona afectada, no contaran con un medio para notificar a las entidades de emergencia sobre su situación.

En este contexto, se propone el estudio y diseño de un prototipo de radio base GSM de bajo costo, compacta y funcional con un canal de comunicación con una entidad de emergencia, simulando al Servicio Integrado de Seguridad ECU 911 mediante una IVR con un operador. El éxito del prototipo propuesto, promoverá la creación de políticas e iniciativas que facilitan la inversión y creación de proyectos para llevar conectividad en las zonas más remotas del Ecuador.

La funcionalidad del sistema propuesto se pone a prueba en el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, a través de teléfonos móviles registrados dentro del rango de cobertura la red GSM.

1.4. Delimitación del Problema.

En el presente apartado, se establece la delimitación que tiene el presente trabajo de titulación, se especifica el lugar en donde es validada la estación base implementada.

1.4.1. Delimitación Espacial.

El prototipo generado es validado en el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, ubicado en las Calles Av. Domingo Comín y Chambers, código postal 090109 (véase Figura 1).



Figura 1. Limitación de la Unidad Educativa 'Domingo Comín', vista satelital.
Fuente: Véase (Google, 2017).
Elaborado: Los autores.

1.4.2. Delimitación Temporal.

La elaboración del estudio investigativo y el diseño del prototipo tiene un tiempo mínimo de 6 meses a partir de su aprobación, con entrega en el periodo 2018 – 2019. En este trabajo de titulación, se ponen en práctica los conocimientos adquiridos durante el periodo de formación como Ingeniero Electrónico en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, marcando énfasis en temas relacionados con cableado estructurado, redes, radio enlaces, entre otros; consultándose la bibliografía en: libros, artículos científicos, revistas científicas, tesis y páginas web oficiales.

1.4.3. Delimitación Académica.

Mediante el diseño y desarrollo de este prototipo, se realizan prácticas a través de simulaciones en el Laboratorio de Telecomunicaciones, donde se ponen a prueba los conocimientos adquiridos durante todo el proceso de formación académica.

Los elementos empleados para la implementación del prototipo son los siguientes:

- Sistema Operativo GNU/Linux, distribución UBUNTU 16.04 LTS de 32-bits, el cual se emplea para la instalación del software OpenBTS y Asterisk 11.7.0.4.
- SDR (Universal Software Radio Peripheral) USRP U2920 NI (National Instrument), proporcionado por la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, disponible en el Laboratorio de Telecomunicaciones.
- Antena VERT400 con un rango de frecuencia de trabajo entre 824 MHz a 960 MHz y 1710 MHz a 1990 MHz, adecuada para la banda GSM.
- CPU (Central Processing Unit) EXTRATECH (Intel Core i3).
- Laptop Toshiba Satellite L55W-C (Intel Core i5-6200, CPU 2.30 GHz).
- Access Point hAP lite TC MikroTik.
- Adaptadores de red Gigabit Ethernet USB 2.0.
- Teléfonos móviles celulares que empleen tecnología GSM 2G.
- Smartphone empleando aplicación softphone para extensión VoIP (Voice over Internet Protocol).

1.5. Justificación.

Actualmente, es difícil acceder e instalar sistemas de telecomunicaciones móviles de emergencia. En especial en ciertas zonas rurales del país, donde no es posible una respuesta inmediata cuando se producen diferentes eventos adversos o situaciones de emergencia que necesitan ser atendidas en tiempo real para salvaguardar la vida de los ciudadanos.

Se propone el diseño e implementación de una estación base GSM de bajo costo, compacta y funcional con un canal de comunicación con una entidad de emergencia, validando el sistema en un ambiente de laboratorio para verificar su operación; generando un producto capaz de ser instalado en cualquier sector del país sin importar su ubicación, geografía y nivel socioeconómico

1.6. Grupo Objetivo.

A continuación, se describe la población y muestra en donde se valida el sistema desarrollado.

1.6.1. Población.

La población son todas las personas que se encuentran en el rango de cobertura de la BTS (Base Transceiver Station), dentro del Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil.

1.6.2. Muestra.

La muestra son las distintas localizaciones, en donde una persona asignada es la encargada de manipular el sistema para la recepción de llamadas y mensajes de texto, simulando también a un operador del ECU 911.

1.7. Objetivos.

1.7.1. Objetivo General.

Estudiar y diseñar un prototipo de Radio Base Móvil de bajo costo para emergencias utilizando Software Defined Radio (SDR) y Servidor Asterisk para aplicaciones en sitios de baja cobertura.

1.7.2. Objetivo Específicos.

- Diseñar y adaptar una BTS de emergencia a través del uso de hardware, y software libre Asterisk y SDR para zonas de baja cobertura.
- Configurar la BTS de emergencia a través de USRP (OpenBTS) y servidor Asterisk.
- Registrar dispositivos móviles que estén dentro de la cobertura GSM móvil.
- Crear una central telefónica PBX para emergencias a través del uso del software libre Asterisk con contestadora automática (9911).
- Establecer una comunicación a través de simulación con un ente de emergencia preestablecido (ECU 9911).

1.8. Metodología.

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación, se opta por emplear la metodología por fases, el cual está compuesto por 4 fases detalladas a continuación:

Fase 1: Investigación, obtención del estado del arte actual sobre el manejo de situaciones de emergencia a nivel nacional, identificando el modo de respuesta actual ante el cese de cobertura y acceso de telefonía móvil en zonas y sectores del país. Además, síntesis de conceptos de telefonía móvil y Software Defined Radio.

Fase 2: Configuración, se especifica cómo es realizada la configuración de cada elemento que conforma la estación base GSM de bajo costo conjuntamente con el Call Center empleando una IVR.

Fase 3: Validación, comprende todo el proceso de ejecución de los servicios implementados en el laboratorio de telecomunicaciones, mediante la suscripción de

teléfonos móviles a la red GSM creada, la realización de llamadas, el envío de mensajes de texto y el acceso a un canal de emergencias simulando al ECU 911 mediante la IVR con un operador del Call Center.

Fase 4: Resultados, se incluye todo el análisis del funcionamiento de la BTS implementada.

ESTADO DEL ARTE

2.1. Investigaciones Relacionadas.

En (Mpala & Stam, 2013), los autores proponen la implementación de OpenBTS en áreas rurales, realizando un sistema de telecomunicaciones para proveer el servicio de telecomunicaciones móviles a bajo costo en Zambia, África. Resaltan las principales restricciones que limitan o impiden el desarrollo de este tipo de sistemas independiente del país: costos, licencias, ubicación, geografía, economía. Concluyendo que la accesibilidad a las Tecnologías de la Información y Comunicación facilitan el crecimiento económico de los países en vía de desarrollo, en especial en los sectores rurales.

Por otra parte en (Prasannan, et al., 2013) propone un sistema de bajo costo, baja potencia y reconfigurable, mejorando la situación socioeconómica de zonas rurales. El desarrollo en zonas rurales es lento debido al escaso retorno económico que representa para las empresas implementar sistemas GSM, planteando OpenBTS como un sistema accesible al retorno del capital.

En un desastre natural, cualquiera que sea este, es necesario el establecimiento de un sistema de telecomunicaciones tanto para los operadores de emergencia como para las víctimas en la zona afectada. En (Singh, et al., 2017), se hace referencia a los daños que se generan en la infraestructura de telecomunicaciones durante y después de este tipo de evento adverso. Proponiendo una estación base en un vehículo aéreo no tripulado reemplazando a las estaciones base terrestres afectadas. No solo está enfocado a desastres naturales sino también en sectores con aglomeración de personas.

Los autores en (Marciano, Ramirez, Martinez, & Barela, 2016), proponen un sistema para enfrentar los efectos de los desastres naturales y la ubicación geográfica en los sectores rurales, implementando un sistema emergente como vía de emergencia en comunidades vulnerables basados en una red GSM. Mencionan que utilizar proyectos Open Source ayuda a reducir costos en el desarrollo del proyecto. Concluyendo que la pronta atención a una emergencia es vital para salvar la vida de un ciudadano.

OpenBTS es considerada una solución sencilla y rápida para implementar sistemas de telecomunicación GSM en (Putri & Juhana, 2017), para la búsqueda de víctimas en un desastre natural, empleando un vehículo de emergencia para convertir el

sistema en un sistema móvil. Desarrollando un sistema para ubicar las víctimas mediante su posición brindada por la red GSM.

2.2. Sistema Global para Comunicaciones Móviles.

GSM de sus siglas en inglés Global System for Mobile Communications, se considera un sistema de comunicaciones móviles digital que constituye la segunda generación de sistemas móviles (2G), el mismo que puede ser caracterizado como un sistema móvil celular digital de telefonía por radio que permite la transmisión y recepción de sistemas digitales por voz y datos. Este sistema permite que un terminal móvil pueda operar con un único número de teléfono en todos los países que adoptaron el mismo sistema móvil (Becvar, Mach, & Pravda, 2014).

GSM inicialmente utilizó la frecuencia de 900 MHz, pero tras su rápida expansión, las redes de telecomunicación pública empezaron a usar las frecuencias de 1800 MHz y 1900 MHz, hasta la actualidad GSM posee cuatro versiones principales basadas en las bandas: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900 (Velasco, 2013) (véase Tabla).

Tabla 1. Bandas de frecuencia del sistema GSM.

Banda	Nombre	Rango de frecuencia (Uplink)	Rango de frecuencia (Downlink)	ARFC	Offset
GSM - 850	GSM 850 P-GSM 900	824 - 849 (MHz)	869 - 894 (MHz)	128 - 251	45 MHz
GSM - 900	E-GSM 900 R-GSM 900	890 - 915 (MHz)	935 - 960 (MHz)	935 - 960	45 MHz
GSM - 1800	GSM 1800	1710 - 1785 (MHz)	1805 - 1880 (MHz)	512 - 885	95 MHz
GSM - 1900	GSM 1900	1850 - 1910 (MHz)	1930 - 1990 (MHz)	512 - 810	80 MHz

Fuente: Véase (Niviuk, 2018).

Elaborado: Los Autores.

2.2.1. Arquitectura de la Red GSM.

Una red GSM está compuesta por tres componentes principales: Network Switching System (NSS), Base Station System (BSS) y la Mobile Station (MS); las mismas que conforma la Public Land Mobile Network (PLMN) (véase Figura 2). En los siguientes apartados se encuentran detallados cada uno de los componentes más relevantes de la arquitectura de la red GSM.

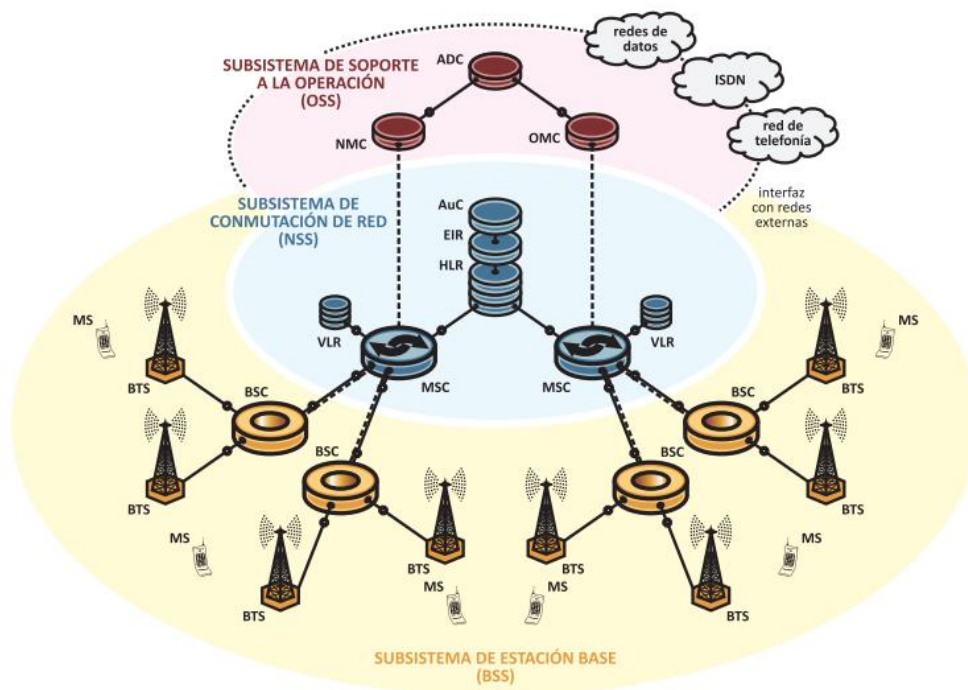


Figura 2. Arquitectura de una Red GSM.
 Fuente: Véase (Becvar, Mach, & Pravda, 2014).
 Elaborado: Véase (Becvar, Mach, & Pravda, 2014).

2.2.1.1. NSS.

El sistema de conmutación o NSS es el responsable de procesar las llamadas enviadas por la red PSTN (Public Switched Telephone Network) y de gestionar las funcionalidades que se relacionen directamente con el usuario, a la hora de encaminar una llamada el NSS emplea varias bases de datos auxiliares, además de un conjunto de conmutadores MSC (Mobile service Switching Center) (véase Figura 3) (Echeverría & Machado, 2016).

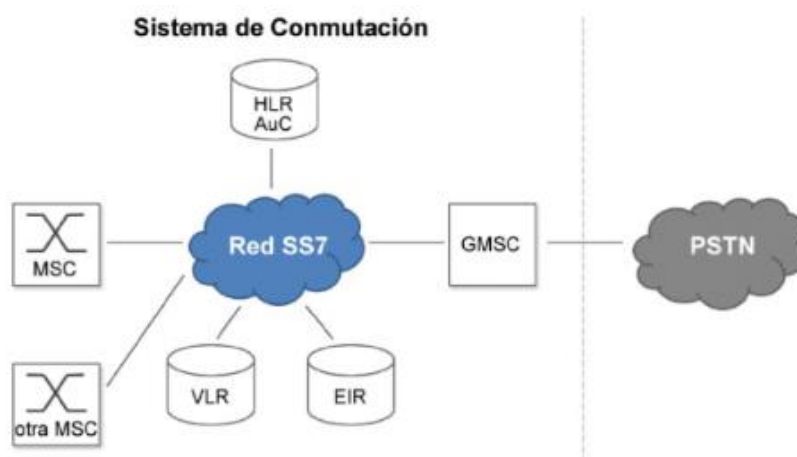


Figura 3. Estructura interna del NSS.
 Fuente: Véase (Echeverría & Machado, 2016).
 Elaborado: Véase (Echeverría & Machado, 2016).

2.2.1.1.1.MSC.

La central de conmutación móvil o MSC es la encargada de iniciar, terminar y canalizar las llamadas a través del BSC (Base Station Center) y BS que correspondan al abonado llamado, basándose en la información almacenada en las bases de datos auxiliares (Becvar, Mach, & Pravda, 2014). Su funcionalidad se asemeja a una centralita telefónica fija de red, la diferencia es que los abonados pueden moverse dentro de la red por lo que su base de datos interna es actualizada más a menudo.

2.2.1.1.2.GMSC.

El Gateway Mobile Switching Center es el punto hacia el cual es encaminada una terminación de llamada cuando no se tiene conocimiento de la ubicación de la estación móvil de donde fue realizada, entonces el GMSC tiene la responsabilidad de encaminar la llamada al MSC correcto (Pachón de la Cruz, 2004).

2.2.1.1.3.AuC.

El AuC (Authentication Center) o Centro de Autenticación, verifica si el servicio es solicitado por un abonado legítimo. Primero verifica el Internacional Mobile Subscriber Identity (IMSI) sin transmitir información personal del abonado, genera claves de encriptación y la autenticación es producida. El AuC es empleado cada vez que el MS (Mobile Station) se conecta a la red, recibe o efectúa una llamada o se actualiza su posición (Nicola, 2014).

2.2.1.1.4.HLR.

El HLR (Home Location Register) mantiene el registro de todos los abonados de un área específica. La AuC proporciona la autenticación de abonado y cada participante de la red se almacena en un único HLR. Entonces cada vez que un celular móvil ingresa a un nuevo país, se envía un mensaje al HLR original, diciendo que el abonado está en una red diferente (Becvar, Mach, & Pravda, 2014).

2.2.1.1.5.VLR.

El VLR (Visitor Location Register) almacena de forma temporal la información más reciente sobre la situación de un terminal móvil en el rango de su MSC. Cada conmutador MSC tiene su propio VLR aún dentro de una misma red GSM. Cuando un móvil se traslada de un área cubierta por las células conectadas a otro MSC, el nuevo MSC carga la información desde el HLR hacia su VLR, así se reduce el tiempo de procesamiento de las llamadas debido al almacenamiento de datos de forma local.

El VLR solicita y obtiene datos del HLR y cuando el terminal móvil abandona la zona visitada los datos son eliminados del VLR (Echeverría & Machado, 2016).

2.2.1.1.6. EIR.

El Registro de Identidad de Equipos o EIR (Equipment Identity Register) es utilizado para mantener una relación de las identidades de los equipos abonados, a través de él resulta posible identificar aquellos usuarios autorizados, equipos robados, cancelados, entre otros (Pachón de la Cruz, 2004).

2.2.1.2. BSS.

Un BSS es el responsable de garantizar todo lo relacionado con el correcto funcionamiento de la señal de radio, consiste en una colección de transmisores conocidos como Base Transceiver Stations (BTS) o Estaciones Base (véase Figura 4). Cada BTS es el centro de una celda y emite señales de radio a los móviles cercanos, a la vez que escucha sus respuestas; estas BTS tienen una capacidad de procesamiento extra empleada para corregir errores en las señales recibidas y para encriptar las conversaciones en los casos requeridos. El BSS también incluye un controlador intermedio conocido como BSC que actúa como punto concentrados de BTSs (Echeverría & Machado, 2016).

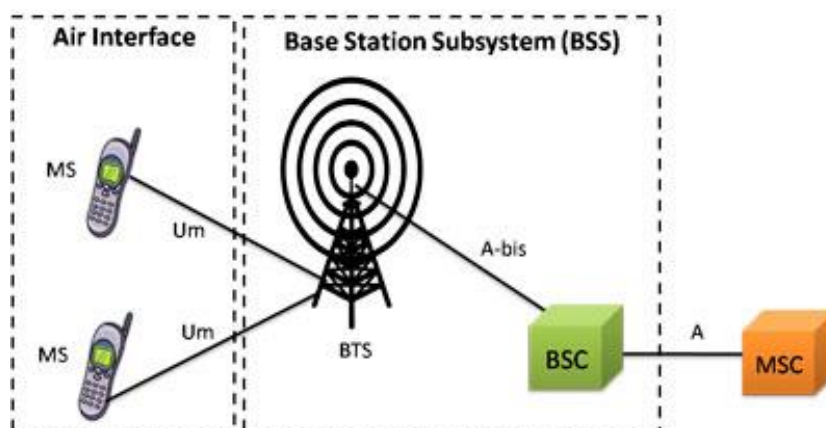


Figura 4. Estructura de una BSS.
Fuente: Véase (Echeverría & Machado, 2016).
Elaborado: Véase (Echeverría & Machado, 2016).

2.2.1.2.1. BSC.

El Controlador de Estaciones Base o BSC se encarga de todas las funciones centrales y de control del BSS. Es un centro de conmutación de canales de alta capacidad que controla todos los aspectos relacionados con la red GSM, se encarga

de la asignación de frecuencias y de la realización de los handovers, cada BSC controla varias BTS y a su vez una MSC controla varias BSC (Lizon, 2009).

2.2.1.2.2. BTS.

La BTS o estación base es el componente que proporciona una interfaz de radio a los móviles a través de distintos transceptores y antenas, para la conectividad entre la red y las estaciones móviles (Lizon, 2009). Obtiene la información de dichos equipos y la transfiere a la BSC, quien es la que actúa en función de ella.

2.2.1.3. MS.

El terminal móvil MS se compone de las partes correspondientes a la transmisión y recepción, un microprocesador de control, la tarjeta SIM y otros accesorios como auriculares, teclado, pantalla, entre otros (Becvar, Mach, & Pravda, 2014). Un MS se divide en dos módulos Mobile Equipment (ME) y Subscriber Identity Module (SIM) (véase Figura 5).

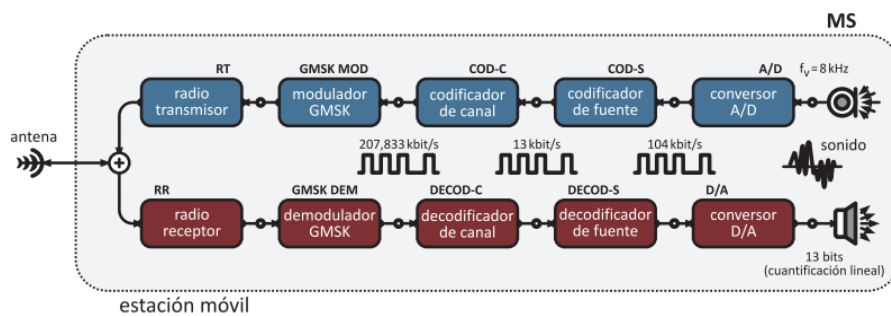


Figura 5. Esquema interno de bloques de un terminal móvil.

Fuente: Véase (Becvar, Mach, & Pravda, 2014).

Elaborado: Véase (Becvar, Mach, & Pravda, 2014).

2.2.1.3.1. SIM.

La Tarjeta de Identidad de Usuario o más conocida como SIM, es un módulo que es implementado en el móvil mediante una pequeña tarjeta electrónica. Cada vez que se realiza una llamada la información del usuario contenida en la SIM es transferida a la red, dicha información identifica de forma única al abonado. A través de este sistema de identificación también se puede bloquear el uso de un terminal robado (Lizon, 2009). Una SIM contiene: El identificador de usuario o IMSI, claves para criptografía, agenda de usuario, contraseña de restricción de uso de SIM y los SMSs recibidos y guardados por el usuario (Nicola, 2014).

2.3. Radio Definida mediante Software.

Software Defined Radio o Radio Definida mediante Software es una tecnología compuesta por la unión de componentes hardware y software. El principio de SDR es realizar todas las aplicaciones e implementaciones en el software utilizando un hardware configurable en lugar de tener diferentes plataformas para diferentes aplicaciones. Como cualquier otra innovación a lo largo de la historia, esta tecnología nació de un proyecto militar de los Estados Unidos denominado SpeakEasy. (Pinar & Murillo, 2011)

Al trabajar con SDR se emplean diferentes conocimientos de telecomunicaciones. Todo el procesamiento se realiza en el ordenador con la señal en banda base, mientras que los procesos que involucran la frecuencia central y radio frecuencia con las señales analógicas se realiza en el hardware.

Existen diferentes herramientas software disponibles en el mercado, así como dispositivos hardware cuyos precios varía desde los \$ 20 a \$ 10.000, dependiendo de su aplicación

Su aplicabilidad es interesante, se puede realizar modulaciones y demodulaciones de señales analógicas y digitales, implementar deferentes tecnologías inalámbricas, crear sistemas de comunicación emergentes de bajo costo, entre otros.

2.4. Requerimientos del Sistema.

Se establecen los requerimientos necesarios para el diseño, desarrollo e implementación del sistema propuesto. Basándose en los objetivos, antecedentes, diferentes variables y actores establecidos en el Capítulo anterior.

Se requiere un sistema de telecomunicaciones de bajo costo mediante el empleo de Software Defined Radio, que brinda acceso al Servicio Móvil Avanzado (red móvil 2G GSM) y simule un canal de comunicación con una entidad de emergencia (Call Center).

Basándose en los objetivos el sistema debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Establecer una red de telefonía móvil GSM, que brinde llamadas telefónicas y mensajes de texto.

- Establecer un Call Center configurado mediante una IVR, que brinde una extensión para hablar con un asesor y una opción para grabar denuncias.
- Registrar teléfonos móviles para que se suscriban cuando se encuentren dentro de la cobertura de la red GSM.
- Sistema radiante que no genere interferencias con los servicios de las bandas concesionadas a los proveedores de telecomunicación por parte de la ARCOTEL.
- El prototipo debe ser compacto y portable para facilitar la instalación del mismo en cualquier zonda del país, independientemente de su ubicación o geografía.

El diseño del sistema de telecomunicaciones permite acceder al servicio de llamadas telefónicas, mensajes de texto y un canal de comunicación con una entidad de emergencia que simule un operador del ECU 911 empleando una IVR mediante un Call Center (véase Figura 6).

El sistema está compuesto por dos servidores interconectados mediante un Access Point que crea una LAN (Local Area Network) privada, también permite conectar terminales IP (Internet Protocol) para la extensión del Call Center. Además, se crea una LAN inalámbrica privada para conectar smartphones con softphone.

En el primer servidor, mediante un USRP 2920 del fabricante National Instrument, un ordenador y el software OpenBTS se establece el servicio de una estación base GSM, que brinda el servicio a los diferentes terminales móviles registrados que estén dentro del rango de cobertura del sistema radiante. Se emplean antenas con diferente ganancia para realizar pruebas de laboratorio de la red GSM implementada.

En el segundo servidor, mediante un ordenador y el software Asterisk se configura una PBX o central telefónica para establecer un Call Center con IVR, que brinde dos opciones a los abonados que llamen a la misma, contactarse con un asesor y realizar una denuncia. Un smartphone utilizando una aplicación softphone, actúa como extensión del Call Center, al cual se conmutan todas las llamadas que seleccionen la primera opción. Los que escojan la segunda opción, pueden realizar una denuncia, la misma se graba automáticamente en el ordenador, pudiendo ser escuchada al terminar la llamada.

Los terminales móviles registrados en la red GSM, acceden al servicio de llamadas telefónicas y mensajes de texto, además de contar con un canal de emergencia que simula al Sistema Integrado de Seguridad ECU 911 mediante la extensión 9911.

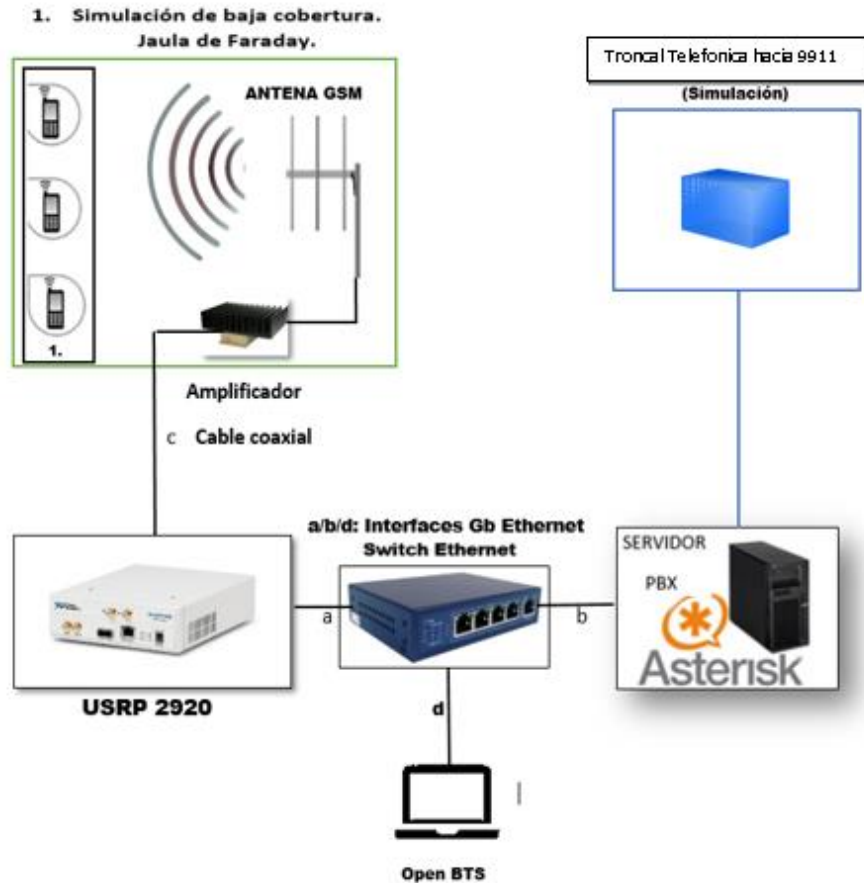


Figura 6. Diagrama del sistema propuesto en el presente trabajo de titulación.
Fuente: Los Autores.
Elaborado: Los Autores.

Se describen las diferentes plataformas hardware y software empleadas en el desarrollo del sistema propuesto. El ambiente de validación del sistema propuesto es el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil.

2.4.1. Componentes Hardware.

Se describen los diferentes componentes hardware empleados en la implementación del presente trabajo de titulación.

2.4.1.1. Access Point hAP lite TC MikroTik.

La marca MikroTik ofrece una variedad de soluciones para implementar redes privadas mediante un Access Point o router inalámbrico, en este caso se utiliza el

home Access Point lite (hAP lite) (véase Figura 7), un dispositivo de bajo costo y fácil de configurar. En (véase Tabla 2), se indican las características técnicas del AP.

Tabla 2. Características Técnicas del Access Point hAP lite TC MikroTik.

Detalle	
Arquitectura	SMIPS
CPU	QCA9533
Sistema Operativo	RouterOS
RAM	32 MB
Almacenamiento	16 MB
Temperatura de funcionamiento	-20 °C a 70 °C
Voltaje Micro USB	5 V
Ganancia antena 2.4 GHz	1.5 dBi
Estándar 2.4 GHz	802.11 b/g/n
Generación Wi-Fi	4
Rate 2.4 GHz	300 Mbps
Puertos Ethernet 10/100	4

Fuente: Véase (MikroTik, 2019).
Elaborado: Los Autores.



Figura 7. Access Point hAP lite TC MikroTik.
Fuente: Véase (MikroTik, 2019).
Elaborado: Véase (MikroTik, 2019).

2.4.1.2. USRP NI U2920.

Los dispositivos USRP cuyas características técnicas y aplicaciones los han ubicado en el mercado de telecomunicaciones, trabajan como un transceptor de radio frecuencia ajustable (véase Figura 8). Empleando convertidores analógico-digital (ADC) de alta velocidad para la recepción de señales analógicas en RF (Radio Frequency) a señales en banda base IQ (Fase y Cuadratura) la cual ingresa al ordenar para ser tratada por los diferentes software y convertidores digital-analógico (DAC) de alta velocidad para la transmisión de señales en banda base IQ a señales analógicas en RF. Las características técnicas (véase Tabla 3) pueden variar

dependiendo de las tarjetas (daughter boards) acopladas a la misma (National Instrument, 2017) (National Instruments, 2019).



Figura 8. Dispositivo USRP 2920.
Fuente: Véase (National Instruments, 2019).
Elaborado: Véase (National Instruments, 2019).

Los dispositivos USRP de National Instrument son compatibles con los de Ettus Research, por lo cual para trabajar en el OS Linux se emplea como driver el UHD (USRP Hardware Driver) del fabricante Ettus Research.

Posterior a la configuración de la interfaz de red Gigabit Ethernet en el OS, para trabajar con el dispositivo USRP, la velocidad del intercambio de datos está limitado por el tipo de tecnología.

Tabla 3. Características Técnicas del USRP NI U2920.

Transmisor		
Rango de frecuencia	50 MHz a 2.2 GHz	
Pasos de frecuencia	< 1kHz	
Máximo potencia de salida	50 MHz a 1.2 GHz 1.2 GHz a 2.2 GHz	50 mW a 100 mW 30 mW a 70 mW
Rango de ganancia	0 dB a 31 dB	
Pasos de ganancia	1.0 dB	
Precisión de frecuencia	2.5 ppm	
Ancho de banda	16-bit 8-bit	20 MHz 40 MHz
Tasa de muestreo	16-bit 8-bit	25 MS/s 50 MS/s
DAC	2 canales, 400MS/s, 16-bit	
Receptor		
Rango de frecuencia	50 MHz a 2.2 GHz	
Pasos de frecuencia	< 1kHz	
Rango de ganancia	0 dB a 31.5 dB	
Pasos de ganancia	0.5 dBm	
Figura de ruido	5 dB a 7 dB	
Precisión de frecuencia	2.5 ppm	
Ancho de banda	16-bit 8-bit	20 MHz 40 MHz
Tasa de muestreo	16-bit 8-bit	25 MS/s 50 MS/s
ADC	2 canales, 100MS/s, 14-bit	

Fuente: Véase (National Instrument, 2017).
Elaborado: Los Autores.

2.4.1.3. Antena GSM VERT400.

Es una antena omnidireccional de 3 dBi no mayor a 20 cm de longitud, trabaja en la banda GSM, fácil de instalar y acoplar directamente al USRP mediante su conector SMA Male (véase Figura 9) (Ettus Research, 2019).



Figura 9. Antena GSM VERT400.
Fuente: Véase (Ettus Research, 2019).
Elaborado: Véase (Ettus Research, 2019).

Para trabajar en un ambiente de laboratorio como el propuesto en el presente trabajo de titulación, esta antena como sistema radiante es la adecuada para dar cobertura al Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil.

Para aumentar la cobertura de la red GSM solo es necesario cambiar el sistema radiante por una antena con mayor ganancia, en este caso, es necesario acoplarla al USRP mediante un cable coaxial con conector SMA (SubMiniature version A) Male.

2.4.2. Componentes Software.

Se describen los diferentes componentes software empleados en la implementación del presente trabajo de titulación, todos son Open Source disponibles en Internet.

2.4.2.1. Servidor Asterisk.

Asterisk se ha convertido en una plataforma convergente gratuita y Open Source para diseñar e implementar aplicaciones de telefonía, evolucionando según los cambios tecnológicos en el campo de las telecomunicaciones. Ha revolucionado la industria de las telecomunicaciones ofreciendo en una sola PBX múltiples servicios (Russell, Madsen, & Van Meggelen, 2013). En sistemas como OpenBTS, es el encargado de conmutar las llamadas VoIP mediante protocolo SIP (Session Initiation Protocol) buscando la información de suscriptores en la base de datos (Ledema, 2015).

Su arquitectura es diferente a otras PBX disponibles en el mercado, las estaciones de trabajo y enlaces se encuentran disponibles en cualquier parte del sistema, ofreciendo mayor libertad para la configuración de las mismas. Emplea diferentes

módulos para su funcionamiento, los cuales según las características de la red pueden ser establecidos y configurados según la necesidad (Russell, Madsen, & Van Meggelen, 2013).

Asterisk trabaja en servidores con OS Linux, adaptándose a las diferentes necesidades como ninguna otra PBX, además es compatible con otros sistemas de telecomunicaciones Open Source o licenciados disponibles en el mercado (Russell, Madsen, & Van Meggelen, 2013) (Asterisk, 2018).

2.4.2.1.1. Vaxphone SIP VOIP Softphone.

MizuDroid es una aplicación (app) gratuita para el Sistema Operativo Android que permite implementar un softphone SIP profesional utilizando un smartphone, reduciendo costos en la adquisición de un teléfono IP. Esta aplicación es fácil de configurar y es compatible con diferentes PBX disponibles en el mercado (Mizutech, 2019).

MizuDroid es útil para implementar las extensiones de atención al cliente en el Call Center en el Servidor Asterisk, la configuración de sus parámetros se basará en la información establecida en la configuración del servidor Asterisk.

2.4.2.2. Servidor OpenBTS.

OpenBTS es un proyecto abierto a la innovación, que agrupa diferentes componentes hardware y software Open Source para crear una red GSM, con la finalidad de reemplazar protocolos de telecomunicaciones complejos, comerciales y patentados mediante protocolos IP con una arquitectura software flexible y ligera. Utiliza un sistema híbrido que permite interconectar los teléfonos móviles suscritos en la red GSM con teléfonos en la PSTN mediante protocolos IP mediante Internet (véase Figura 10) (Ledema, 2015) (Range Network, 2018).

Utiliza SDR como componente hardware principal para crear la interfaz de aire GSM mediante software, comunicándose directamente con los dispositivos.

Su sistema se ejecuta en un servidor con OS Linux, donde diferentes aplicaciones son las encargadas de implementar los diferentes servicios que ofrece la red GSM. Implementar servicios más complejos requieren mayor capacidad de procesamiento, como: CPU, RAM (Random Access Memory) y almacenamiento.

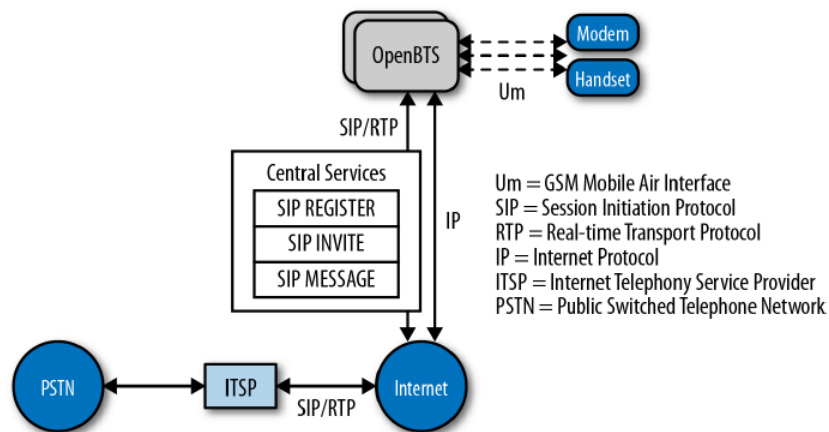


Figura 10. Arquitectura híbrida de OpenBTS.

Fuente: Véase (Ledema, 2015).

Elaborado: Véase (Ledema, 2015).

2.4.2.2.1. SMQueue.

SIP MESSAGE Queue (SMQueue) una aplicación utilizada por OpenBTS, procesa las solicitudes de Mensajes SIP que genera OpenBTS cuando un dispositivo envía un mensaje de texto o SMS, almacenándolos en la cola de mensajes, organizándolos en un horario de envío hacia la red y reestructurando el horario cuando el teléfono móvil no está disponible (Ledema, 2015).

2.4.2.2.2. SIPAuthServe.

SIP Authorization Server (SIPAuthServe) es una herramienta software encargada de procesar las solicitudes de Registros SIP que se generan en OpenBTS cuando se conecta una nuevo terminal móvil a la red GSM desplegada (Ledema, 2015).

Cuando se suscribe correctamente un terminal móvil, SIPAuthServe es responsable de actualizar la base de datos de suscriptores con la correspondiente dirección IP, permitiendo que se inicialice, realice y reciba llamadas de otros terminales (Ledema, 2015).

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Configuración del Servidor Asterisk PBX.

Mediante una Laptop Toshiba Satellite L55W-C (Intel Core i5-6200, CPU 2.30 GHz) con partición de disco, se realiza la configuración del Servidor Asterisk PBX. Instalado el Sistema Operativo Ubuntu 16.04 32 bits, se actualizan sus repositorios y dependencias. Es necesario instalar algunas dependencias y aplicaciones para configurar los diferentes servicios de la central telefónica PBX con su respectivo Call Center, IVR y extensiones (Linuxize, 2018) (Asterisk, 2018).

3.1.1. Instalación de Dependencias.

Antes de instalar Asterisk, se instalan algunas dependencias, se ejecuta una nueva terminal y se digita la siguiente línea de comando:

```
$ sudo apt install wget build-essential subversion libelf-dev autoconf shtool  
make libtool gawk libusb-1.0 libncurses5-dev libssl-dev libxml2-dev libsqlite3-  
dev uuid-dev vim-nox libgtk2.0-dev doxygen libnewt-dev wget gcc g++ make  
ncurses-dev sox libsox-fmt-all libedit-dev
```

Figura 11. Comandos de instalación de dependencias.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

También, se instala un reproductor de audio para validar las grabaciones que se generan a través de la opción de denuncia de la IVR.

```
$ sudo add-apt-repository ppa:starws-box/deadbeef-player  
$ sudo apt-get update  
$ sudo apt-get install deadbeef
```

Figura 12. Comandos de instalación de dependencias.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Se accede al directorio donde se descargan los archivos comprimidos de las aplicaciones y se procede a descomprimir las mismas. Se digitan las siguientes líneas de comando secuencialmente:

```
$ cd /usr/local/src  
$ sudo wget https://downloads.asterisk.org/pub/telephony/asterisk/asterisk-16-  
current.tar.gz  
$ sudo wget https://downloads.asterisk.org/pub/telephony/libpri/libpri-  
current.tar.gz  
$ sudo wget https://downloads.asterisk.org/pub/telephony/dahdi-linux-  
complete/dahdi-linux-complete-current.tar.gz
```

Figura 13. Comandos de instalación de dependencias.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.


```
$ ls -alh
$ sudo tar -zxvf libpri-current.tar.gz
$ sudo tar -zxvf dahdi-linux-complete-current.tar.gz
$ sudo tar -zxvf asterisk-16-current.tar.gz
```

Figura 14. Comandos de instalación de dependencias.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

3.1.2. Instalación de Dahdi.

Descargada y descomprimida la aplicación, se accede a su directorio para compilar e instalar Dahdi. Se utilizan las siguientes líneas de comando:

```
$ uname -a
$ sudo apt-get install linux-headers-`uname -r`
$ uname -a
$ cd dahdi-linux-complete-3.0.0+3.0.0/
$ sudo make all
$ sudo make install
$ sudo make install-config
$ cd ..
```

Figura 15. Instalación de Dahdi.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

3.1.3. Instalación de LibPRI.

De igual forma, descargada y descomprimida la aplicación, se accede a su directorio para compilar e instalar LibPRI. Se digitan las siguientes líneas de comando:

```
$ cd libpri-1.6.0
$ sudo make
$ sudo make install
$ cd ..
```

Figura 16. Instalación de LibPRI.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

3.1.4. Instalación de Asterisk.

Se accede al directorio de Asterisk para ejecutar y compilar los ficheros necesarios. Se utilizan las siguientes líneas de comando:

```
$ cd asterisk-16.3.0
$ ls
$ sudo contrib/scripts/get_mp3_source.sh
$ sudo contrib/scripts/install_prereq install
```

Figura 17. Instalación de Asterisk.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se configura el prefijo telefónico del país, estableciendo +593 correspondiente a Ecuador. Además, se elige el formato MP3 (MPEG-2 Audio Layer III) para los archivos de audio. Se da clic en *Save and Exit* para guardar los cambios.

```
$ sudo ./configure
$ sudo make menuselect
```

Figura 18. Instalación de Asterisk.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Finalmente, se instala Asterisk digitando las siguientes líneas de comando.

```
$ sudo make -j2
$ sudo make install
$ sudo make samples
$ sudo make basic-pbx
$ sudo make config
$ sudo ldconfig
```

Figura 19. Instalación de Asterisk.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Es necesario crear un usuario en el sistema para Asterisk, en este caso para la PBX.

```
$ sudo adduser --system --group --home /var/lib/asterisk --no-create-home --
gecos "Asterisk PBX" asterisk
```

Figura 20. Instalación de Asterisk.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se edita el contenido del fichero *asterisk*, descomentando las líneas *AST_USER* y *AST_GROUP*.

```
$ sudo nano /etc/default/asterisk
```

Figura 21. Instalación de Asterisk.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se cambia el dueño y las propiedades de ejecución de los archivos para ejecutar Asterisk en el ordenador.

```
$ sudo usermod -a -G dialout,audio asterisk
$ sudo chown -R asterisk: /var/{lib,log,run,spool}/asterisk
$ sudo /usr/lib/asterisk /etc/asterisksudo j
$ sudo chmod -R 750 /var/{lib,log,run,spool}/asterisk /usr/lib/asterisk
/etc/asteriskh
```

Figura 22. Instalación de Asterisk.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se inicializan y habilitan los servicios de Asterisk

```
$ sudo systemctl enable asterisk
$ sudo systemctl start asterisk
```

Figura 23. Configuración de Asterisk.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se habilitan los puertos en el Firewall del sistema, SIP utiliza el puerto 5060, esto permite realizar llamadas entre extensiones y servidores.

```
$ sudo ufw allow 5060/udp
$ sudo ufw allow 5062/udp
$ sudo ufw allow 10000:20000/udp
```

Figura 24. Configuración de Asterisk.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Se ejecuta la consola CLI (Command-line interface) de Asterisk para visualizar el estado de la PBX. Se emplea para verificar los servicios, llamadas realizadas, errores de ejecución, entre otros.

```
$ sudo asterisk -vvvvvvr
```

Figura 25. Ejecutar Asterisk.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

3.1.5. Configuración de modules.conf.

En el directorio /etc/asterisk/ se encuentra el fichero modules.conf, se configura para que cargue automáticamente todos los módulos al iniciar Asterisk. Se descomenta la siguiente línea y se establece su valor en yes.

```
autoload=yes
```

Figura 26. Configuración del fichero modules.conf.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

3.1.6. Configuración de extension.conf.

En el directorio /etc/asterisk/ se encuentra el fichero extension.conf, se establecen las extensiones para las terminales softphone y la que simulará al ECU 9911, Además, se configuran las funciones de la IVR.

```

[LocalSets]

; ejemplo de prueba
;exten = 9911,1,Answer()
;same = n,Wait(5)
;same = n,Playback(hello-world)
;same = n,Hangup(16)

exten = 9001,1,Dial(SIP/${EXTEN})

;IVR
exten = 9911,1,Goto(IvrECU,start,1)

;Opciones
[IvrECU]
exten = start,1,Answer()
same = n,Wait(2)
;same = n,Playback(ecu/Usted-se-ha-comunicado)
same = n,Background(ecu/Usted-se-ha-comunicado) ; create voice
menus
same = n,WaitExten(10)

exten = 1,1,Playback(ecu/Por-favor-espere-en-la-linea)
same = n,Wait(1)
same = n,Dial(SIP/9001)
same = n,Playback(ecu/Gracias-por-comunicarse-con-el-911)
same = n,Hangup(16)

exten = 2,1,Playback(ecu/Realice-su-denuncia)
same = n,Wait(1)
same = n,Record(/var/lib/asterisk/record/denuncia-${STRFTIME(${EPOCH},,%d%m%Y-
%H%M%S)}:wav)
same = n,Wait(2)
same = n,Playback(ecu/Gracias-por-comunicarse-con-el-911)
same = n,Hangup(16)

exten = i,1,Answer() ; invalid entries
same = n,Playback(ecu/Extension-invalida)
same = n,Playback(ecu/Gracias-por-comunicarse-con-el-911)
same = n,Hangup(16)

exten = t,1,Answer() ; timeout is 10 seconds
same = n,Playback(ecu/Gracias-por-comunicarse-con-el-911)
same = n,Hangup(16)

```

Figura 27. Configuración del fichero extension.conf.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

La IVR cuenta con una contestadora automática, simulando al ECU 911 en este caso 9911, donde saluda al usuario e indica las dos opciones disponibles, si el abonado no realiza ninguna acción automáticamente se termina la llamada. La primera opción, permite al usuario contactarse con un asesor conmutando la llamada a la extensión 9001. Mientras que la segunda opción, permite al usuario realizar una denuncia, grabando y guardando el audio en el sistema.

3.1.7. Configuración de sip.conf.

Se establecen dos extensiones en la PBX, la primera se asociada al Call Center y la segunda para realizar las respectivas pruebas del funcionamiento del IVR (véase Tabla 4).

Tabla 4. Extensiones en el servidor Asterisk PBX.

Usuario de Prueba	9001	9002
Servidor	192.168.88.2:5060	192.168.88.2:5060
Extensión	9001	9002
Contraseña	asterisk	asterisk

Fuente: Los Autores.
Elaborado: Los Autores.

En el directorio /etc/asterisk/ se encuentra el fichero sip.conf, donde se establece la información de las extensiones, sus credenciales y protocolos de comunicación. Además, se establece la información para la conmutación de llamadas con el servidor OpenBTS, indicando el direccionamiento de VoIP.

```
;Plantilla para los telefonos
[celulares](!)
type=friend
context=LocalSets
host=dynamic
nat=force_rport,comedia
dtmfmode=rfc2833
disallow=all
allow=gsm
allow=ulaw
allow=alaw

;Dispositivos
[9001](celulares)
description=9001
secret=asterisk

[9002](celulares)
description=9002
secret=asterisk

[openbts]
type=friend
host=192.168.88.3
context=LocalSets
dtmfmode=rfc2833
disallow=all
allow=gsm
allow=ulaw
allow=alaw
qualify=yes
```

Figura 28. Configuración del fichero sip.conf.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

3.2. Configuración del Terminal para Call Center.

Se utiliza cualquier smartphone con OS Android para convertirlo en terminal SIP mediante la aplicación softphone MizuDroid. Este dispositivo se configura como la extensión a la cual la IVR conmutará las llamadas desde la red GSM (Google, 2019) (Mizutech, 2019).

3.2.1. Instalación de Softphone.

El proceso de instalación es sencillo, se instala como cualquier otra aplicación de OS Android desde *Google Play Store*, se busca y se da clic en el botón de instalar.

3.2.2. Configuración de Softphone.

En el botón de tres puntos ubicado en la parte superior derecha, se selecciona la opción *Settings*. Se establecen los parámetros como: dirección IP del servidor Asterisk definido en el AP mediante DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) seguido del puerto utilizado por el protocolo SIP, el nombre y contraseña del usuario definido en el fichero sip.conf. Finalizado el establecimiento de los parámetros, se da clic en la opción *Ok* para guardar los cambios (véase Figura 29).

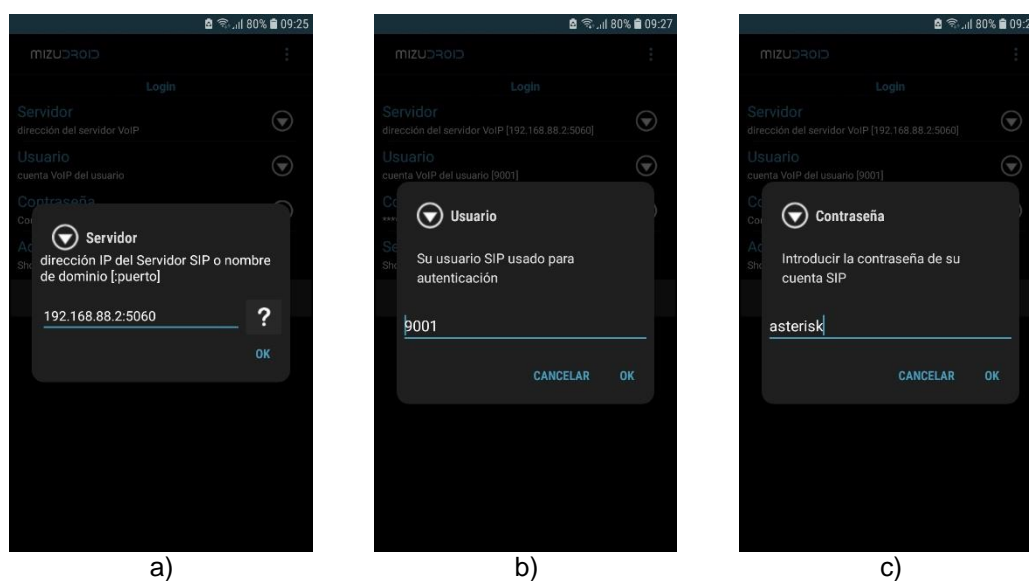


Figura 29. a) Configuración de la dirección IP del servidor Asterisk. b) Configuración del usuario mediante el número de la extensión establecido en sip.conf. c) Configuración de la contraseña del correspondiente usuario establecido en sip.conf.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se enciende el Wi-Fi (Wireless Fidelity) del smartphone, conectándose a la red inalámbrica creada por el AP, se espera a que se establezca la conexión con la PBX esto indica que el teléfono se encuentra registrado (véase Figura 30).

3.3. Configuración del Servidor OpenBTS.

Utilizando un CPU EXTRATECH (Intel Core i3) y un USRP U2920 NI, se realiza la configuración del Servidor OpenBTS. Instalado el Sistema Operativo Ubuntu 16.04 32 bits, se actualizan sus repositorios y dependencias. Es necesario instalar algunas dependencias y aplicaciones para configurar los diferentes servicios de la red GSM (Range Network, 2018) (Ledema, 2015).

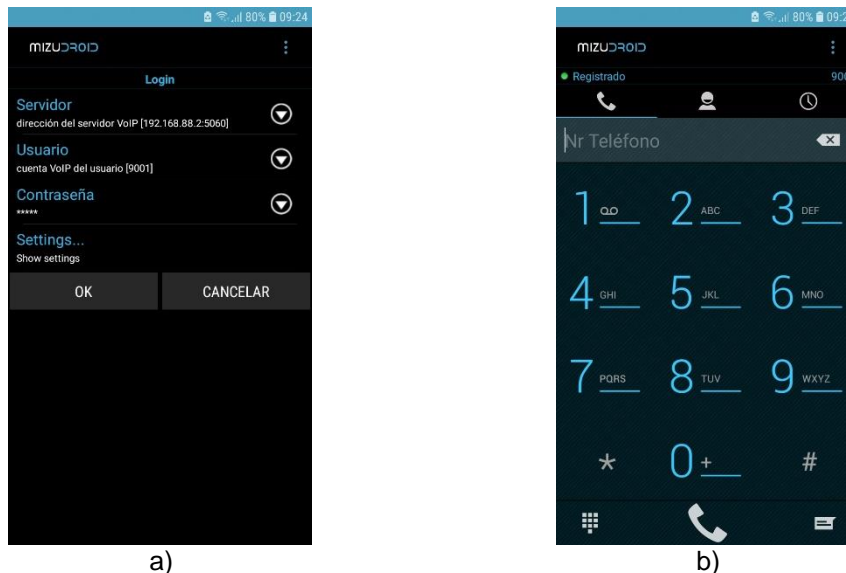


Figura 30. a) Parámetros del softphone en el smartphone luego de la configuración establecida. B) Registro del softphone en la PBX.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

3.3.1. Instalación de Dependencias.

Antes de instalar OpenBTS, se instalan algunas dependencias, se ejecuta una nueva terminal y se digita la siguiente línea de comando:

```
$ sudo apt-get install sqlite sqlliteman dpkg-dev debhelper sudo libboost-dev  
autoconf libtool libosip2-dev libortp-dev libusb-1.0-0-dev g++ sqlite3  
libsqlite3-dev erlang libreadline6-dev libncurses5-dev ntp bind9 bind9utils  
libopts25 software-properties-common python-software-properties  
$ sudo apt-get -f install  
$ sudo add-apt-repository ppa:chris-lea/zeromq
```

Figura 31. Instalación de dependencias.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

3.3.2. Instalación del Driver para USRP NI U2920.

OpenBTS está configurado para trabajar con los USRP N210 de Ettus Research, pero funcionan correctamente con el USRP U2920 de National Instrument debido a su compatibilidad de hardware y software (Ettus Research, 2019).

Se instala el repositorio y driver UHD para el USRP, se digitan las siguientes líneas de comando:

```
$ sudo add-apt-repository ppa:ettusresearch/uhd  
$ sudo apt-get update  
$ sudo apt-get install libuhd-dev libuhd003 uhd-host
```

Figura 32. Instalación de dependencias de USRP.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se energiza el USRP utilizando su adaptador AC/DC, se conecta el USRP mediante su interfaz Ethernet con la interfaz de red Ethernet del ordenador utilizando un cable de red (véase Figura 33). Se configuran los parámetros de la interfaz de red Ethernet del ordenador, estableciendo IPv4 (Internet Protocol Version 4) en Manual, la dirección IP, máscara de red y gateway en la misma subred de operación del USRP (véase Figura 34).



Figura 33. Conexión del USRP al Ordenador.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Para verificar la conexión del USRP con el ordenador, se utiliza el comando `uhd_find_devices`. Para visualizar las características técnicas que posee el USRP con el cual se está trabajando, se utiliza el comando `uhd_usrp_probe` que presenta información de las tarjetas instaladas, frecuencia, ancho de banda, entre otros.

El único adaptador de red Ethernet que posee el ordenador se configura para trabajar con el USRP, quedando el mismo sin interfaces de red para conectarse al AP y tener conexión a Internet. Se emplea un adaptador de red Ethernet USB para conectar el ordenador al AP, se establecen sus parámetros en la configuración por defecto (véase Figura 35).

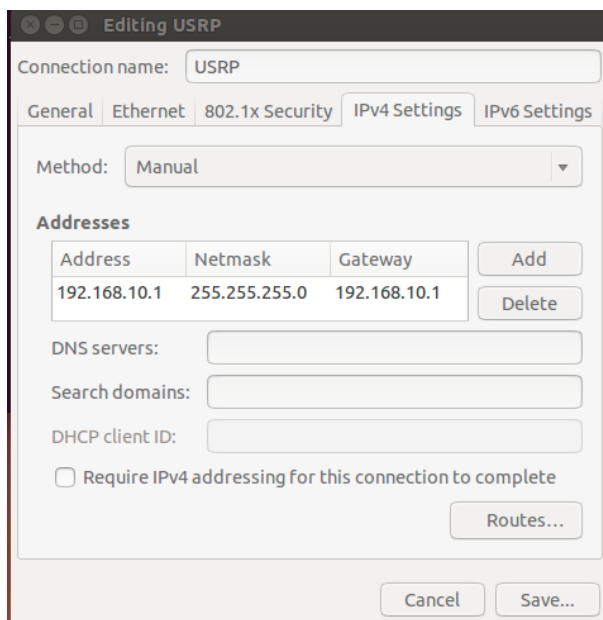


Figura 34. Configuración de red de la interfaz Ethernet en el ordenador.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

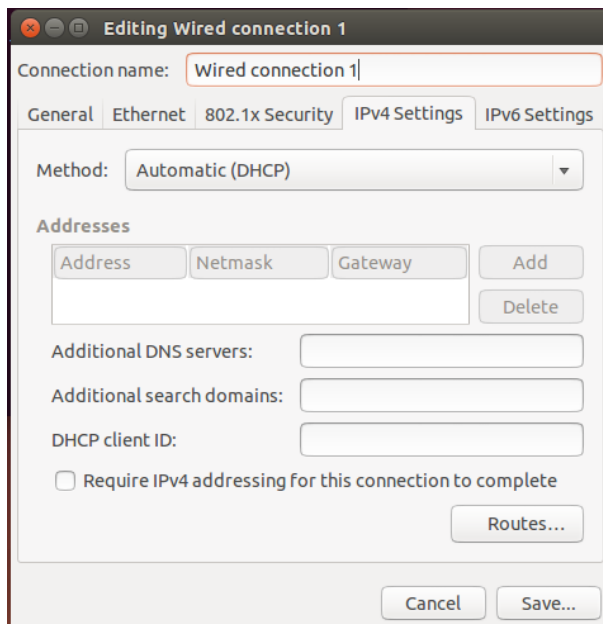


Figura 35. Configuración del adaptador de red ethernet en DHCP.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

3.3.3. Instalación de Aplicaciones.

Se instalan las aplicaciones necesarias para ejecutar los servicios de OpenBTS. Se utiliza las siguientes líneas de comando para agregar los repositorios de algunas herramientas que servirán para descargar el proyecto.

```
$ sudo add-apt-repository ppa:git-core/ppa
$ sudo apt-get update
$ sudo apt-get install git libzmq3 python-zmq
$ git --version
$ sudo add-apt-repository ppa:chris-lea/libsodium
$ sudo echo "deb http://ppa.launchpad.net/chris-lea/libsodium/ubuntu trusty
main" >> /etc/apt/sources.list;
$ sudo echo "deb-src http://ppa.launchpad.net/chris-lea/libsodium/ubuntu trusty
main" >> /etc/apt/sources.list;
$ sudo apt-get update && sudo apt-get install libsodium-dev
```

Figura 36. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se descarga el código del proyecto y se cambia la rama para la instalación. Se digitan las siguientes líneas de comando.

```
$ cd
$ sudo git clone https://github.com/RangeNetworks/dev.git
$ cd dev
$ sudo ./clone.sh
$ sudo ./switchto.sh 5.0
$ sudo ./state.sh
```

Figura 37. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Mediante la siguiente línea de comando, se construye el código del Proyecto basándose en la plataforma SDR del USRP N210.

```
$ sudo ./build.sh N210
```

Figura 38. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se descargan las versiones más recientes de cada una de las aplicaciones a instalar dentro del directorio especificado en la terminal. Si se verifica el contenido del directorio se encuentran las diferentes aplicaciones necesarias. Se utilizan las siguientes líneas de comando:

```
$ cd BUILDS/  
$ ls  
$ cd /dev/BUILDS/2016-02-19-15-16-19
```

Figura 39. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

La dependencia Coredumper se instala digitando la siguiente línea de comando.

```
$ sudo dpkg -i libcoredumper1_1.2.1-1_i386.deb  
$ sudo dpkg -i libcoredumper-dev_1.2.1-1_i386.deb
```

Figura 40. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se instala la dependencia A5/3 mediante la siguiente línea de comando.

```
$ cd dpkg -i liba53_0.1_i386.deb
```

Figura 41. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

La dependencia range-config se instala digitando la siguiente línea de comando.

```
$ sudo dpkg -i range-configs_5.0.0_all.deb  
$ sudo apt-get install ntp bind9 bind9utils libopts25  
$ sudo apt-get -f install
```

Figura 42. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se instala la dependencia Asterisk mediante la siguiente línea de comando.

```
$ sudo dpkg -i range-asterisk*.deb  
$ sudo apt-get install -f
```

Figura 43. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

La dependencia SIPAuthServe se instala digitando la siguiente línea de comando.

```
$ sudo dpkg -i sipauthserve_5.0_i386.deb  
$ sudo apt-get install -f
```

Figura 44. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se instala la dependencia Smqueue mediante la siguiente línea de comando.

```
$ sudo dpkg -i smqueue_5.0_i386.deb
# apt-get install -f
```

Figura 45. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Finalmente, OpenBTS se instala digitando la siguiente línea de comando.

```
$ sudo dpkg -i openbts_5.0_i386.deb
$ sudo apt-get install -f
```

Figura 46. Instalación de aplicaciones de OpenBTS.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

3.3.4. Configuración de extension.conf.

En el directorio /etc/asterisk/ se encuentra el fichero extension.conf, se establece la extensión SIP 9911 que hace referencia al servidor Asterisk, simulando al ECU 911. Cuando los terminales suscritos a la red GSM realicen llamadas al 9911 el sistema automáticamente conmuta las llamadas al Call Center, siendo atendido el usuario por el IVR con sus diferentes opciones.

```
exten => 9911,          1,Set(CDR(hangupdirection)=A)          $
same =>                n,Dial(SIP/asterisk/${EXTEN})
same =>                n,Hangup(16)
```

Figura 47. Configuración del fichero extension.conf.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

3.3.5. Configuración de sip-custom-context.conf.

En el directorio /etc/asterisk/ se encuentra el fichero sip.conf, donde se establece la información para la conmutación de llamadas con el servidor Asterisk PBX, indicando el direccionamiento de VoIP.

```
; Servidor Elastix
; Las llamadas del otro servidor buscan en el contexto señalado las extensiones
[asterisk]
type=friend
host=192.168.88.2
context=default
dtmfmode=rfc2833
disallow=all
allow=gsm
allow=ulaw
allow=alaw
qualify=yes
```

Figura 48. Configuración del fichero sip-custom-context.conf.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

3.3.6. Configuración de Parámetros en OpenBTS.

Se habilitan los puertos en el Firewall del sistema, SIP utiliza el puerto 5060, esto permite realizar llamadas entre extensiones y servidores.

```
$ cd /home/openbts/Desktop/OpenBTS
$ ls
$ sudo ./transceiver
```

Figura 49. Configuración de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se conecta y se verifica la comunicación con el USRP U2920. Existe un ejemplo de OpenBTS, para comprobar la comunicación con el USRP, se digita la siguiente línea de comando

```
$ cd /home/openbts/Desktop/OpenBTS
$ ls
$ sudo ./transceiver
```

Figura 50. Configuración de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Para inicializar los diferentes servicios en el servidor OpenBTS, se ejecutan mediante cuatro terminales diferentes cada una de las aplicaciones, en la primera terminal se inicializa el servicio de Asterisk mediante la siguiente línea de comando:

```
$ sudo asterisk -vvvvvvr
```

Figura 51. Configuración de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

En la segunda terminal se ejecuta la aplicación Smqueue.

```
$ cd /usr/local/sbin
$ sudo ./smqueue
```

Figura 52. Configuración de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

En la tercera terminal, se digita las siguientes líneas de comando para ejecutar la aplicación SIPAuthServe:

```
$ cd /usr/local/sbin
$ sudo ./sipauthserve
```

Figura 53. Configuración de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Finalmente, en la cuarta terminal se ejecuta la consola CLI de OpenBTS para realizar las configuraciones de la estación base.

```
$ cd /root/dev/openbts/debian/tmp/OpenBTS
$ sudo ./OpenBTS
```

Figura 54. Configuración de OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Para detener cada uno de los servicios se ejecuta Control+C en las respectivas terminales.

En la terminal donde se encuentra el CLI de OpenBTS existe una lista de comandos que sirven para visualizar y configurar los diferentes parámetros de funcionamiento de la estación base. Para observar la configuración actual de la estación base se digita el siguiente comando:

```
OpenBTS> config GSM.Radio
```

Figura 55. Configuración de OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Para modificar el código de operación de la SIM, se utilizan los siguientes comando

```
OpenBTS> config GSM.Identity.MCC 740
OpenBTS> config GSM.Identity.MNC 02
```

Figura 56. Configuración de OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Para realizar modificaciones en la banda de trabajo GSM, se digita la siguiente línea de comando:

```
OpenBTS> config GSM.Radio.Band
```

Figura 57. Configuración de OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Para comprobar los valores de ganancia asociados al equipo se utiliza la siguiente línea de comando:

```
OpenBTS> devconfig GSM.Radio.RxGain
```

Figura 58. Configuración de OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Para visualizar el nivel de ruido debido a la interferencia de otras fuentes se digita la siguiente línea de comandos:

```
OpenBTS> noise
```

Figura 59. Configuración de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Para comprobar el nivel de potencia, se utiliza la siguiente línea de comando:

```
OpenBTS> power
```

Figura 60. Configuración de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Para configurar DTMF (Dual Tone Multi Frequency) se activan los siguientes parámetros:

```
OpenBTS> config SIP.DTMF.RFC2976 1  
OpenBTS> config SIP.DTMF.RFC2833 1
```

Figura 61. Configuración de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Para modificar el nombre actual de la red GSM, se emplea la siguiente línea de comando:

```
OpenBTS> config GSM.Identity.ShortName NAME
```

Figura 62. Configuración de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Para configurar el mensaje de bienvenida cuando un teléfono se suscribe a la red GSM, se digitan las siguientes líneas de comando:

```
OpenBTS> config Registration.Message  
OpenBTS> devconfig Control.LUR.FailedRegistration.Message Su dispositivo no se  
encuentra registrado en esta red.  
OpenBTS> devconfig Control.LUR.NormalRegistration.Message Bienvenido a la red  
celular de Laboratorio.  
OpenBTS> devconfig Control.LUR.OpenRegistration.Message Bienvenido a la red  
celular de Laboratorio. IMSI:
```

Figura 63. Configuración de OpenBTS.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

3.3.7. Agregar Terminal Móvil a la Red GSM.

Para observar cada uno de los dispositivos agregados recientemente al servidor, se realiza mediante el IMSI (International Mobile Subscriber Identity / Intercambio de Identidad de Suscriptor Móvil), se ejecuta el siguiente el comando:

```
OpenBTS> tmsis
```

Figura 64 Agregar usuarios OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Donde 1 indica autorizado y 0 indica no autorizado.

Para añadir un suscriptor a la red GSM para acceder a los diferentes servicios, se ingresa al directorio y se ejecuta el script *nmcli.py*, el cual es una herramienta para añadir manualmente suscriptores:

```
$ cd
$ ls
$ cd dev/NodeManager
$ ls
$ sudo ./nmcli.py se ve la inforamción
```

Figura 65. Agregar usuarios OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Se verifica los suscriptores añadidos mediante la lectura del *nmcli.py*:

```
$ sudo ./nmcli.py sipauthserve subscribers read
```

Figura 66. Agregar usuarios OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Para añadir un suscriptor se ejecuta la siguiente línea de comando, añadiendo: el nombre del usuario, el IMSI del terminal móvil, añadiendo sin espacios antes del código las letras IMSI, y número celular. Para conocer el código IMSI asociado a la SIM del teléfono celular. Otra opción, es conocer el IMEI (International Mobile Station Equipment Identity / Identidad Internacional del Equipo Móvil) del teléfono celular, se digita la combinación **#06#*, luego se relaciona dicho código con su respectivo IMSI al digitar el comando *tmsis* en el CLI de OpenBTS.

```
$ sudo ./nmcli.py sipauthserve subscribers create Nombre IMSI_Numero Número
celular
```

Figura 67. Agregar usuarios OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Para eliminar un suscriptor, se ejecuta la siguiente línea de comando agregando el IMSI del suscriptor a eliminar

```
$ sudo ./nmcli.py sipauthserve subscribers delete imsi IMSI746581920988000
```

Figura 68. Agregar usuarios OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Se verifica mediante el comando tmsis si los suscriptores se encuentran autorizados, verificando la columna TMSI_ASSIGNED de 0 a 1, a veces se necesita volver a registrar los teléfonos.

```
OpenBTS> tmsis
IMSI          TMSI      IMEI          AUTH CREATED  ACCESSED  TMSI_ASSIGNED
746581920919206 0xf8e21 3564929416520251 56s          5s          1
```

Figura 69. Agregar usuarios OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

3.4. Configuración del Terminal Móvil para Red GSM.

Se puede utilizar cualquier terminal móvil o smartphone que soporten el modo de red de la tecnología 2G GSM, además de verificar la misma compatibilidad de la tarjeta SIM independientemente de la operadora de red a la cual este suscrito. Independiente de la marca, modelo o versión de los terminales móviles o smartphones los pasos para la configuración son genéricos.

3.4.1. Configuración APN.

Utilizando un teléfono de la marca Samsung, se realizan algunas configuraciones para seleccionar el modo de red en 2G GSM y establecer la red OpenBTS en el teléfono móvil. Para cambiar el modo de red se accede mediante: Ajustes>Conexiones>Redes Móviles>Modo de Red y se selecciona Solo GSM o GSM only (véase Figura 70).

También se agrega un nuevo Nombre de Punto de Acceso o Access Point Network (APN), se accede mediante: Ajustes>Conexiones>Redes Móviles>Nombre de Punto de Acceso>Agregar, se ingresan los datos de la red OpenBTS, se guardan los cambios y se selecciona el nuevo APN (véase Figura 71).

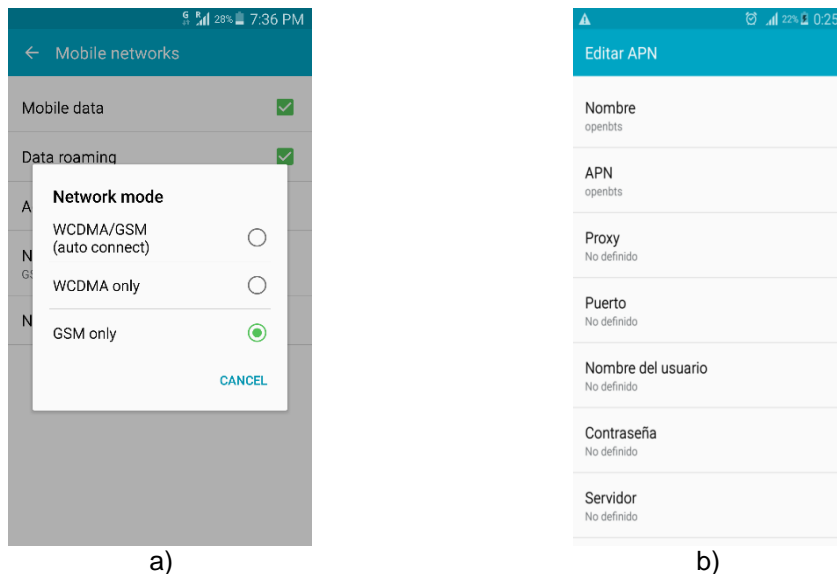


Figura 70. a) Selección de modo en red GSM. b) Crear APN para OpenBTS
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

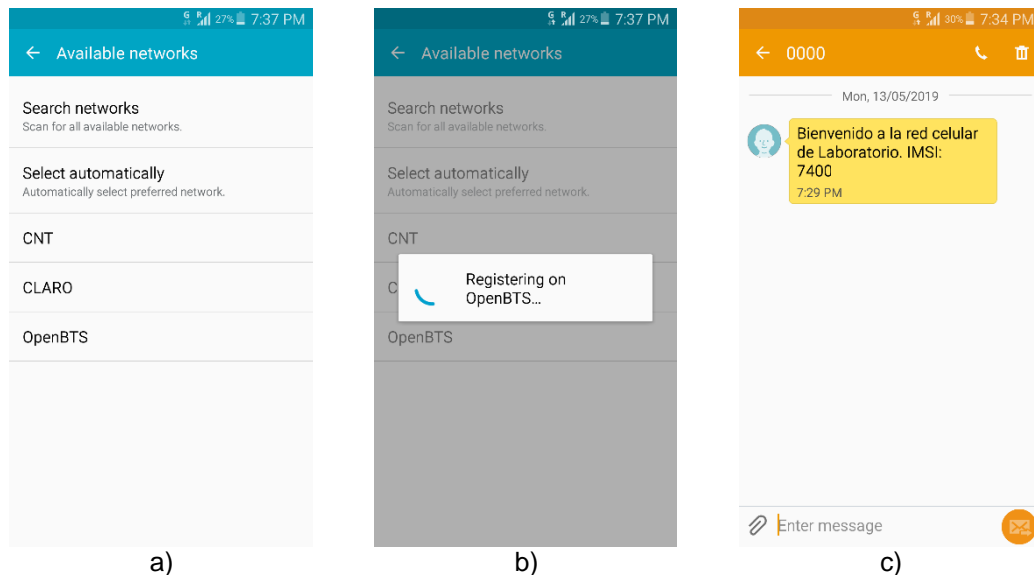


Figura 71. a) Selección de la red GSM OpenBTS. b) Suscripción del terminal a red GSM OpenBTS. c) SMS indicando registro exitoso en la red GSM OpenBTS.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

3.4.2. Conexión a la Red.

Se accede mediante: Ajustes>Conexiones>Redes Móviles>Operadoras de Red, se buscan las redes disponibles y se selecciona la indicada con el nombre OpenBTS o una diferente que no corresponde a ningún proveedor del servicio de telecomunicaciones del Ecuador. Si el teléfono móvil se suscribe correctamente a la red GSM creada por el servidor OpenBTS, automáticamente se recibe un mensaje de saludo de parte de la red GSM indicando el IMSI del teléfono.

En el ícono de la señal de red se nota la letra R, indicando que está activado el Roaming de la red GSM mediante OpenBTS.

3.5. Configuración del Access Point hAP lite TC Mikrotik.

Mediante el AP, se realiza la interconexión de los diferentes elementos que conforman el sistema propuesto mediante el switch y la red inalámbrica que despliega el mismo. El equipo con el servidor Asterisk se conecta mediante su puerto Ethernet al AP, al contrario del equipo con servidor OpenBTS que se conecta mediante el adaptador de red USB Ethernet (véase Figura 72).



Figura 72. Interconexión de los servidores Asterisk y OpenBTS mediante el AP.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se cambian los valores de fábrica del router inalámbrico, estableciendo una red LAN privada configurándose los diferentes parámetros (véase Tabla 5), como: nombre de usuario, contraseña de usuario, subred mediante IPv4, gateway, máscara de red, SSID (Service Set Identifier), contraseña de red inalámbrica, tipo de seguridad, entre otros.

Tabla 5. Configuración del hAP lite TC MikroTik.

Detalle	
Nombre Usuario	admin
Contraseña Usuario	admin
Network	192.168.88.0/24
Gateway	192.168.88.1
SSID	OpenBTS1
Contraseña SSID	OpenBTS1

Fuente: Los Autores.
Elaborado: Los Autores.

Además, para evitar conflictos con el direccionamiento IP de los servidores Asterisk y OpenBTS, utilizando DHCP se reserva una IP estática a su correspondiente MAC (Media Access Control) (véase Tabla 6).

Tabla 6. Configuración DHCP para los servidores.

Servidor	Dirección IP
AsteriskPBX	192.168.88.2/24
OpenBTS	192.168.88.3/24

Fuente: Los Autores.
Elaborado: Los Autores.

RESULTADOS

4.1. Verificación Previa.

Antes de inicializar los diferentes servicios que conforman los componentes del sistema propuesto, se conectan los dos servidores mediante cable Ethernet a través de sus respectivas interfaces de red al Access Point, se conecta mediante cable Ethernet el USRP U2920 al servidor OpenBTS, se acopla el sistema radiante al USRP a través del conector SMA Female y se conecta el smartphone con la aplicación softphone a la LAN inalámbrica creada por el AP para que trabaje como extensión del Call Center (véase Figura 73). Cuando se encuentre establecida la red GSM a través del servidor OpenBTS y el USRP U2920, se suscriben dos terminales móviles a la misma para probar los diferentes servicios (llamadas y mensajes de texto). Se debe considerar que en la figura (véase Figura 6) se incluye una Jaula de Faraday al diseño propuesto, dicho sistema se propone para simular un ambiente de laboratorio que permita comprobar el funcionamiento de la red GSM en zonas de baja cobertura, ya que al simular un sistema dentro de dicha jaula se vuelven nulas todas las redes de cobertura disponibles en el sector, luego de realizar las primeras pruebas del sistema diseñado se comprobó que no es necesaria la inclusión de una Jaula de Faraday en el sistema, ya que la red implementada es independiente de las demás redes disponibles.



Figura 73. Interconexión de los componentes que conforman el sistema propuesto.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Para evitar problemas al inicializar los servicios o pérdida en la calidad de las llamadas telefónicas y mensajes de texto, se verifica la correcta conexión de cada uno de los componentes antes de inicializar cada servidor (véase Figura 74). Además, se comprueba la suscripción de los teléfonos móviles a la red GSM creada por OpenBTS para evitar inconvenientes al momento de probar los diferentes servicios, también para impedir gastos económicos innecesarios y multas al abonado o línea que se utilice al momento de realizar la evaluación.



Figura 74. Verificación de la conexión de los componentes del sistema propuesto.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

4.2. Ejecución del Servidor Asterisk PBX.

Se ejecutan los servicios del servidor Asterisk utilizando los comandos establecidos en la sección anterior (véase Figura 75) en una nueva terminal.

En otra terminal, se verifica el direccionamiento IP de las interfaces de red, se observa la configuración establecida mediante DHCP en el Access Point (véase Figura 76). Mediante el número de paquetes recibidos y transmitidos se comprueba que existe conexión entre servidores al realizar llamadas. Mediante la interfaz de red inalámbrica del ordenador, se puede acceder a Internet para realizar cualquier consulta externa como resolver problemas que se presenten en el transcurso de ejecución del sistema o para brindar ayuda o soluciones en situaciones de

emergencia a los diferentes abonados que llamen a la extensión de emergencia 9911.



Figura 75. Ejecución y verificación del servicio de Asterisk.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

```
root@asteriskpbx-Satellite-L55W-C:/home/asteriskpbx# ifconfig
ens0e0c52445: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.88.2 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.88.255
    inet6 fe80::3b76:18a:5d7d:bd04 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 08:00:2c:53:44:55 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 28 bytes 5379 (5.3 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 76 bytes 19480 (19.4 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 388 bytes 50780 (50.7 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 388 bytes 50780 (50.7 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

wlp100: flags=193<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.88.242 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.88.255
    inet6 fe80::55ac:ff88:c48a:d882 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 4c:29:88:0e:58:2e txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 1455 bytes 1893700 (1.8 MB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 853 bytes 187800 (187.8 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@asteriskpbx-Satellite-L55W-C:/home/asteriskpbx#
```

Figura 76. Direcciones IP de cada una de las interfaces de red del ordenador que actúa como servidor Asterisk.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se verifica el estado de la aplicación Asterisk identificando posibles errores en su ejecución (véase Figura 77).

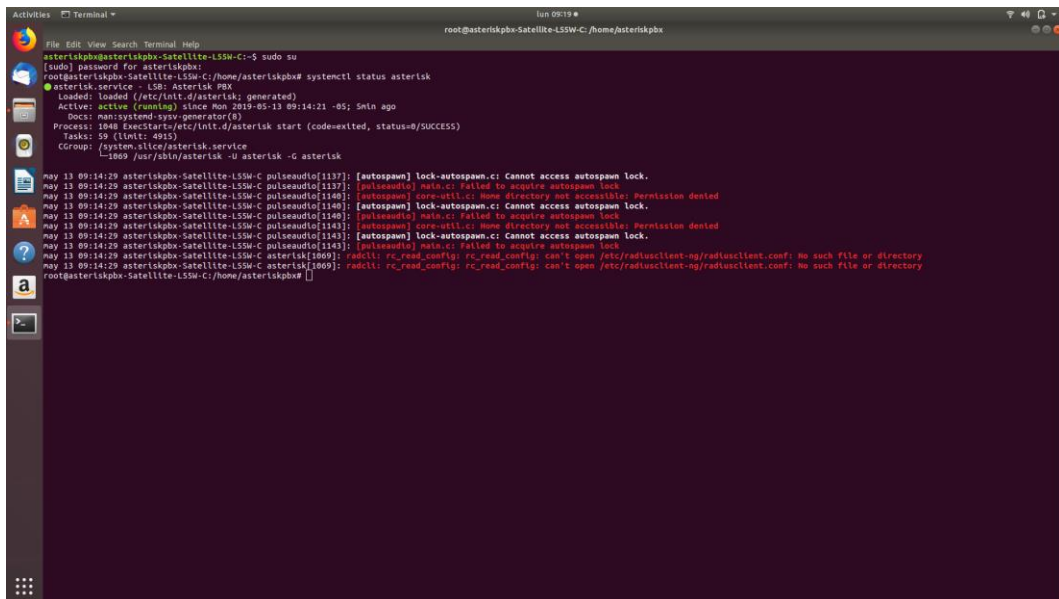


Figura 77. Mensajes de estado del Call Center en el servidor Asterisk.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Los audios utilizados por la IVR que simula la entidad de emergencia ECU 911 mediante la extensión 9911 en el Call Center, se encuentran en el directorio de audios de Asterisk para facilitar su lectura (véase Figura 78).

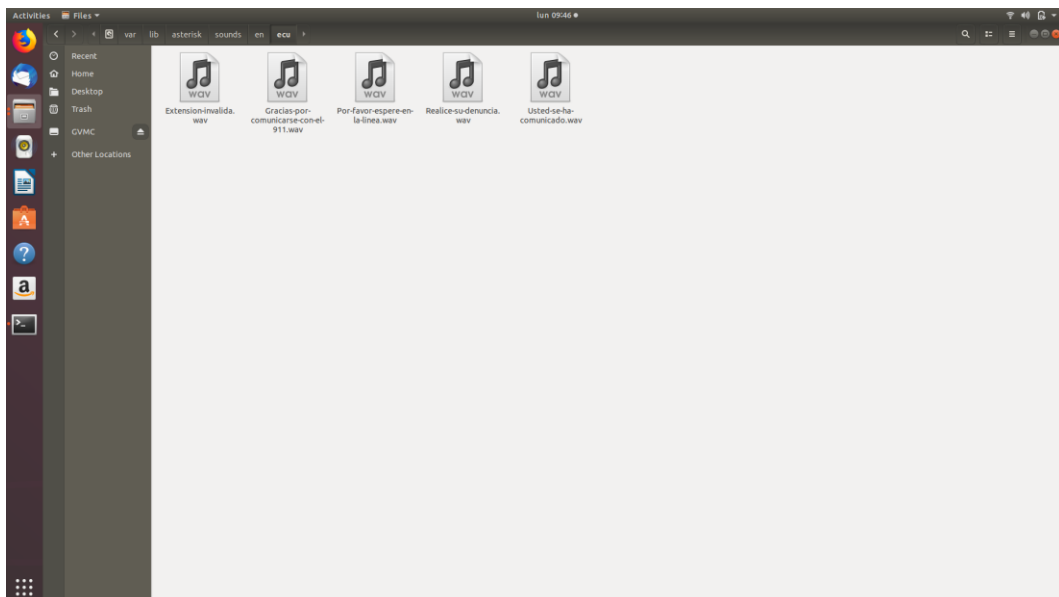


Figura 78. Audios utilizados por la IVR para interacción con la extensión 9911.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

En una nueva terminal, se visualiza el estado e información de las extensiones y conexiones SIP configuradas en la central telefónica (véase Figura 79). Se comprueba la comunicación entre el servidor Asterisk y el servidor OpenBTS, su estado (*Status*) se encuentra en *Ok*. También, se visualiza la información de la extensión 9001 correspondiente al asesor en la IVR que simula la entidad de emergencia ECU 9911.

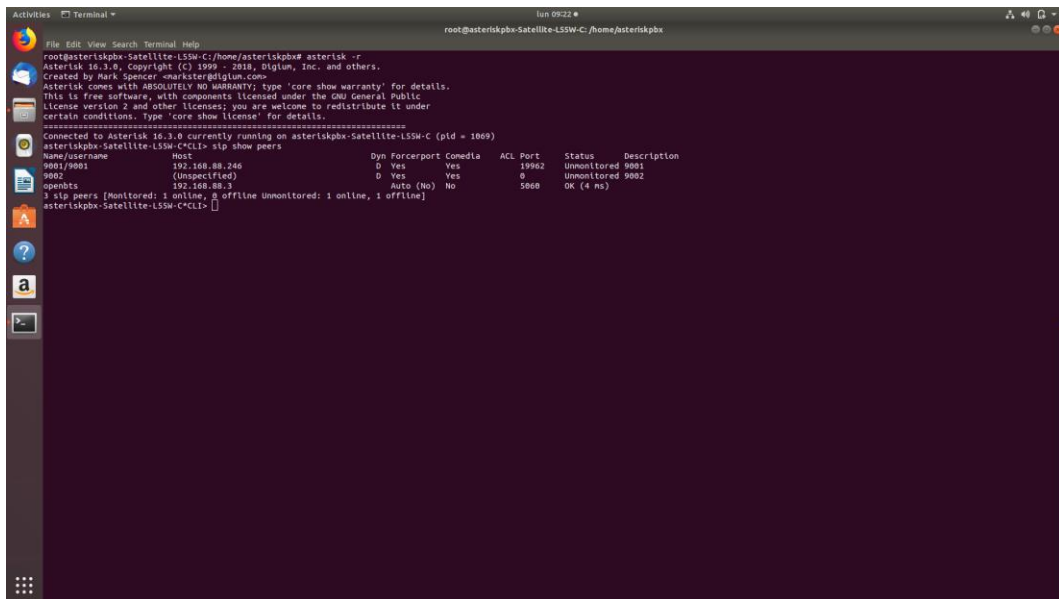


Figura 79. Visualización del estado de las conexiones SIP mediante el CLI de Asterisk.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

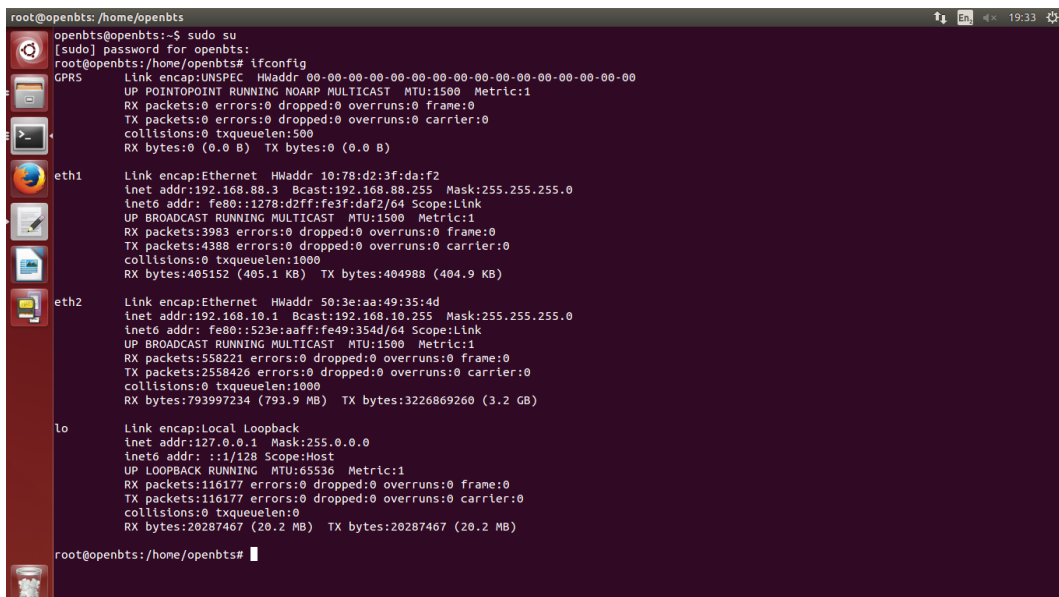


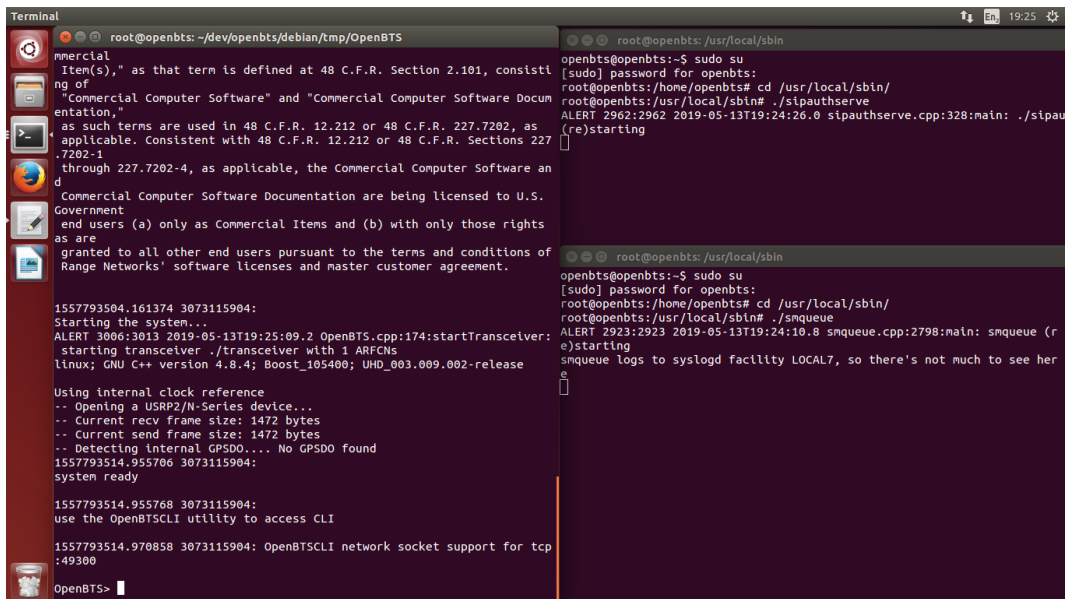
Figura 80. Direcciones IP de cada una de las interfaces de red del ordenador que actúa como servidor OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

4.3. Ejecución del Servidor OpenBTS.

Se verifica el direccionamiento IP de las interfaces de red, se observa la configuración establecida mediante DHCP en el Access Point (véase Figura 80). Mediante el número de paquetes recibidos y transmitidos, se comprueba que existe conexión entre servidores y con el USRP U2920. En tres terminales diferentes, se ejecutan los servicios del servidor OpenBTS utilizando los comandos establecidos en la sección anterior (véase Figura 81).



```
Terminal
root@openbts: ~/dev/openbts/debian/tmp/OpenBTS
mmercial
Item(s)," as that term is defined at 48 C.F.R. Section 2.101, consisti
of
"Commercial Computer Software" and "Commercial Computer Software Docu
mentation,"
as such terms are used in 48 C.F.R. 12.212 or 48 C.F.R. 227.7202, as
applicable. Consistent with 48 C.F.R. 12.212 or 48 C.F.R. Sections 227
.7202-1
through 227.7202-4, as applicable, the Commercial Computer Software and
Commercial Computer Software Documentation are being licensed to U.S.
Government
end users (a) only as Commercial Items and (b) with only those rights
as are
granted to all other end users pursuant to the terms and conditions of
Range Networks' software licenses and master customer agreement.

1557793504.161374 3073115904:
Starting the system...
ALERT 3006:3013 2019-05-13T19:25:09.2 OpenBts.cpp:174:startTransceiver:
starting transceiver ./transceiver with 1 ARFCNs
Linux; GNU C++ version 4.8.4; Boost_105400; UHD_003.009.002-release

Using internal clock reference
-- Opening a USRP2/N-Series device...
-- Current rcv frame size: 1472 bytes
-- Current send frame size: 1472 bytes
-- Detecting internal GPSDO... No GPSDO found
1557793514.955706 3073115904:
system ready

1557793514.955768 3073115904:
use the OpenBTSCLI utility to access CLI

1557793514.970858 3073115904: OpenBTSCLI network socket support for tcp
.49300
OpenBTS>

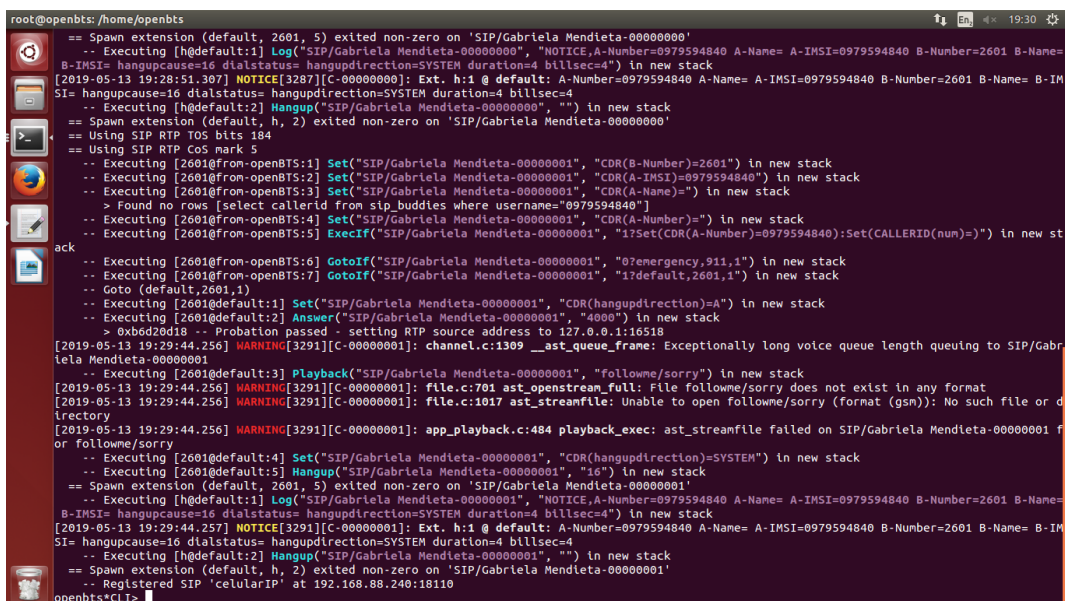
root@openbts: /usr/local/sbin
openbts@openbts:~$ sudo su
[sudo] password for openbts:
root@openbts:/home/openbts# cd /usr/local/sbin/
root@openbts:/usr/local/sbin# ./sipauthserve
ALERT 2962:2962 2019-05-13T19:24:26.0 sipauthserve.cpp:328:main: ./sipau
(re)starting

root@openbts: /usr/local/sbin
openbts@openbts:~$ sudo su
[sudo] password for openbts:
root@openbts:/home/openbts# cd /usr/local/sbin/
root@openbts:/usr/local/sbin# ./squeue
ALERT 2923:2923 2019-05-13T19:24:10.8 squeue.cpp:2798:main: squeue (r
e)starting
squeue logs to syslogd facility LOCAL7, so there's not much to see her
e
```

Figura 81. Ejecución de OpenBTS, SIPAuthServer, Squeue.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.



```
root@openbts: /home/openbts
== Spawn extension (default, 2601, 5) exited non-zero on 'SIP/Gabriela Mendieta-00000000'
-- Executing [hdefault:1] Log("SIP/Gabriela Mendieta-00000000", "NOTICE,A-Number=0979594840 A-Name= A-IMSI=0979594840 B-Number=2601 B-Name=
B-IMSI= hangupcause=16 dialstatus= hangupdirection=SYSTEM duration=4 billsec=4") in new stack
[2019-05-13 19:28:51.307] NOTICE[3287][C-00000000]: Ext. h11 @ default: A-Number=0979594840 A-Name= A-IMSI=0979594840 B-Number=2601 B-Name= B-IM
SI= hangupcause=16 dialstatus= hangupdirection=SYSTEM duration=4 billsec=4
-- Executing [hdefault:2] Hangup("SIP/Gabriela Mendieta-00000000", "") in new stack
== Spawn extension (default, h, 2) exited non-zero on 'SIP/Gabriela Mendieta-00000000'
== Using SIP RTP TOS bits 184
== Using SIP RTP CoS mark 5
-- Executing [2601@fron-openbts:1] Set("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "CDR(B-Number)=2601") in new stack
-- Executing [2601@fron-openbts:2] Set("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "CDR(A-IMSI)=0979594840") in new stack
-- Executing [2601@fron-openbts:3] Set("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "CDR(A-Name)=") in new stack
> Found no rows [select callerid from sip_buddies where username='0979594840']
-- Executing [2601@fron-openbts:4] Set("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "CDR(A-Number)=") in new stack
-- Executing [2601@fron-openbts:5] ExecIf("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "1?Set(CDR(A-Number)=0979594840):Set(CALLERID(num)=)") in new st
ack
-- Executing [2601@fron-openbts:6] GotoIf("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "0?emergency,911,1") in new stack
-- Executing [2601@fron-openbts:7] GotoIf("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "1?default,2601,1") in new stack
-- Goto (default,2601,1)
-- Executing [2601@default:1] Set("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "CDR(hangupdirection)=A") in new stack
-- Executing [2601@default:2] Answer("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "4000") in new stack
> 0xb6d20d18 -- Probation passed - setting RTP source address to 127.0.0.1:16518
[2019-05-13 19:29:44.256] WARNING[3291][C-00000001]: channel.c:1309 __ast_queue_frame: Exceptionally long voice queue length queuing to SIP/Gabr
iela Mendieta-00000001
-- Executing [2601@default:3] Playback("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "followme/sorry") in new stack
[2019-05-13 19:29:44.256] WARNING[3291][C-00000001]: file.c:701 ast_openstream_full: File followme/sorry does not exist in any format
[2019-05-13 19:29:44.256] WARNING[3291][C-00000001]: file.c:1017 ast_streamfile: Unable to open followme/sorry (format (gsn)): No such file or d
irectory
[2019-05-13 19:29:44.256] WARNING[3291][C-00000001]: app_playback.c:484 playback_exec: ast_streamfile failed on SIP/Gabriela Mendieta-00000001 f
or followme/sorry
-- Executing [2601@default:4] Set("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "CDR(hangupdirection)=SYSTEM") in new stack
-- Executing [2601@default:5] Hangup("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "16") in new stack
== Spawn extension (default, 2601, 5) exited non-zero on 'SIP/Gabriela Mendieta-00000001'
-- Executing [hdefault:1] Log("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "NOTICE,A-Number=0979594840 A-Name= A-IMSI=0979594840 B-Number=2601 B-Name=
B-IMSI= hangupcause=16 dialstatus= hangupdirection=SYSTEM duration=4 billsec=4") in new stack
[2019-05-13 19:29:44.257] NOTICE[3291][C-00000001]: Ext. h11 @ default: A-Number=0979594840 A-Name= A-IMSI=0979594840 B-Number=2601 B-Name= B-IM
SI= hangupcause=16 dialstatus= hangupdirection=SYSTEM duration=4 billsec=4
-- Executing [hdefault:2] Hangup("SIP/Gabriela Mendieta-00000001", "") in new stack
== Spawn extension (default, h, 2) exited non-zero on 'SIP/Gabriela Mendieta-00000001'
-- Registered SIP 'celularIP' at 192.168.88.240:18110
openbts*CLI>
```

Figura 82. Estado de llamadas en el servidor OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

```

root@openbts: /home/openbts
openbts@openbts:~$ sudo su
[sudo] password for openbts:
root@openbts: /home/openbts# asterisk -vvvvvr
Privilege escalation protection disabled!
See https://wiki.asterisk.org/wiki/?id=KFAQ for more details.
Asterisk 11.7.0.4, Copyright (C) 1999 - 2013 Digium, Inc. and others.
Created by Mark Spencer <markster@digium.com>
Asterisk comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY; type 'core show warranty' for details.
This is free software, with components licensed under the GNU General Public
License version 2 and other licenses; you are welcome to redistribute it under
certain conditions. Type 'core show license' for details.
=====
Running as user 'asterisk'
Running under group 'www-data'
Connected to Asterisk 11.7.0.4 currently running on openbts (pid = 1061)
openbts*CLI> sip show peers
Name/username      Host                               Dyn Forcerport ACL Port   Status   Description      Real
line
00101100010        127.0.0.1                          N          5062     Unmonitored
asterisk           192.168.88.2                       a          5060     OK (5 ms)
celularIP/celularIP 192.168.88.240                     D N       18110    Unmonitored celularIP
zoiper             (Unspecified)                     D a       0        Unmonitored
4 sip peers [Monitored: 1 online, 0 offline Unmonitored: 2 online, 1 offline]
openbts*CLI>

```

Figura 83. Visualización del estado de las conexiones SIP mediante el CLI de Asterisk en OpenBTS.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.



Figura 84. Instalación de diferentes sistemas radiantes en la estación base.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

En la consola de OpenBTS, se verifica el estado de la aplicación OpenBTS identificando posibles errores en su ejecución, llamadas entrantes, en curso y terminadas (véase Figura 82).

Se visualiza el estado e información de las extensiones y conexiones SIP configuradas en la estación base (véase Figura 82), se comprueba la comunicación entre el servidor OpenBTS y el servidor Asterisk, su estado (*Status*) se encuentra en *Ok*.

Se prueba la señal de radiación de la estación base con diferentes sistemas radiantes, diferentes a la antena por defecto del USRP U2920, para establecer el rango de cobertura de la red GSM (véase Figura 84).

4.4. Servicios de la Red GSM.

4.4.1. Llamadas entre Terminales.

Suscritos dos teléfonos móviles, se prueba el servicio de telefonía móvil. En el primer teléfono móvil, se digita el número con el cual se registró el segundo teléfono móvil mediante la aplicación de OpenBTS, explicado en la sección anterior. El proceso de marcado es similar al realizado habitualmente en la operadora de preferencia, la única diferencia es que se suscriben a la Operadora OpenBTS (véase Figura 85 a Figura 86).



Figura 85. Suscripción de dos terminales móviles a la red GSM de OpenBTS.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

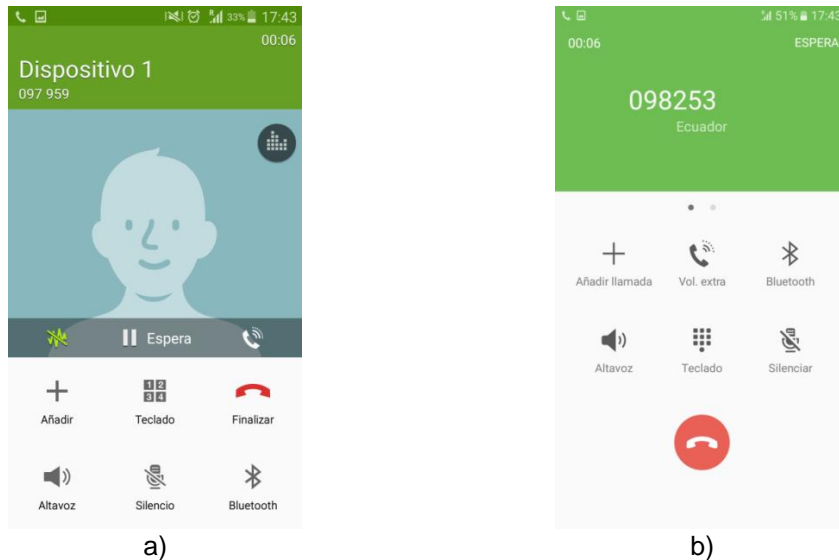


Figura 86. a) Primer teléfono móvil, realizar llamada. b) Segundo teléfono móvil, recepción de llamada.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Si se posee saldo en las tarjetas SIM utilizadas en los teléfonos móviles suscritos a la red GSM de OpenBTS, no se descuenta ningún valor del mismo al realizar las llamadas telefónicas o mensajes de texto.

4.4.2. SMS entre Terminales.

El servicio de mensajería de texto es un proceso similar al realizado habitualmente con las operadoras de preferencia. Se realiza una conversación entre los dos terminales móviles suscritos (véase Figura 87).

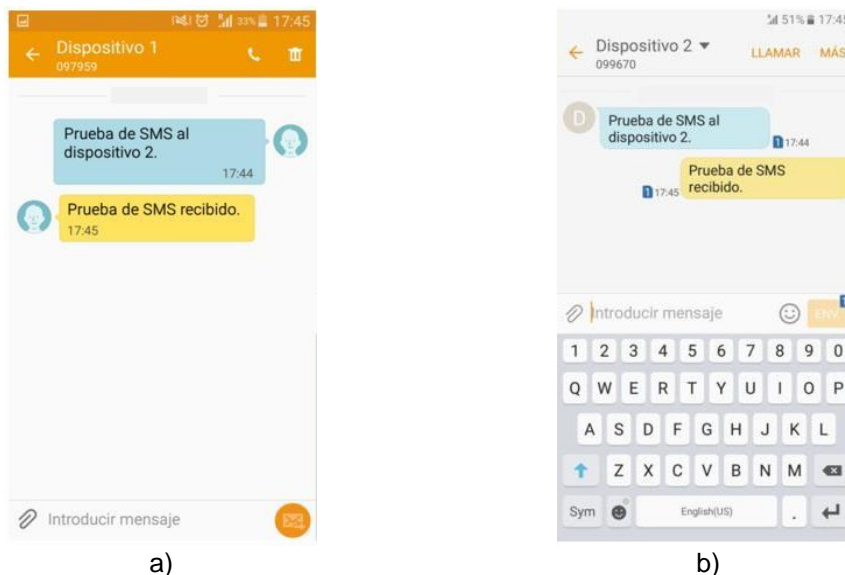


Figura 87. a) Primer teléfono móvil, envió de mensaje d texto. b) Segundo teléfono móvil, recepción y respuesta mediante mensajes de texto.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

4.4.3. Llamadas al Call Center desde la red GSM.

Para probar el canal de emergencia mediante la IVR que simula al Servicio Integrado de Seguridad ECU 911, desde un teléfono suscrito en la red GSM, se realiza la llamada al número de emergencia 9911, donde conmutada la llamada entre el servidor OpenBTS y el servidor Asterisk, automáticamente se escucha el mensaje de saludo de la IVR identificándose las opciones a las cuales el abonado tiene acceso (véase Figura 88).

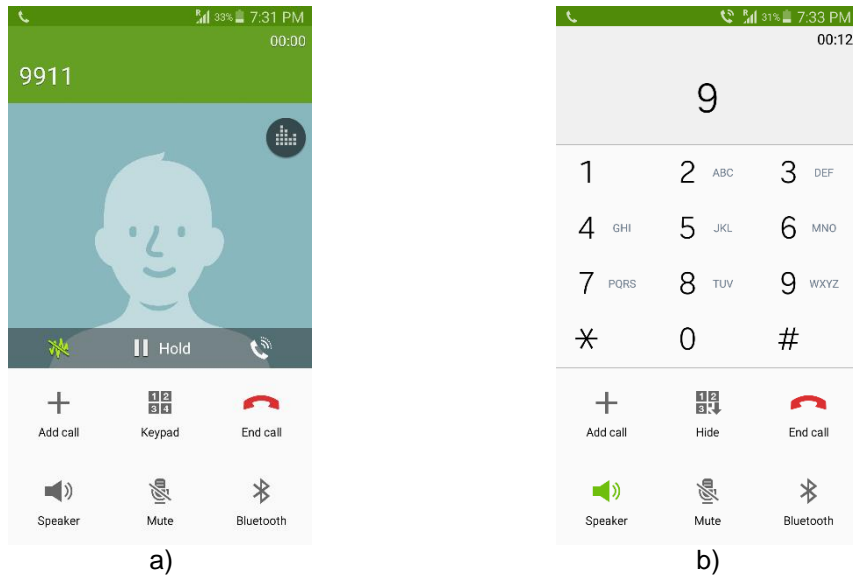


Figura 88. a) Llamada al canal de emergencia mediante la extensión 9911. b) Pruebas realizadas para verificar el funcionamiento de la IVR, opción no válida.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

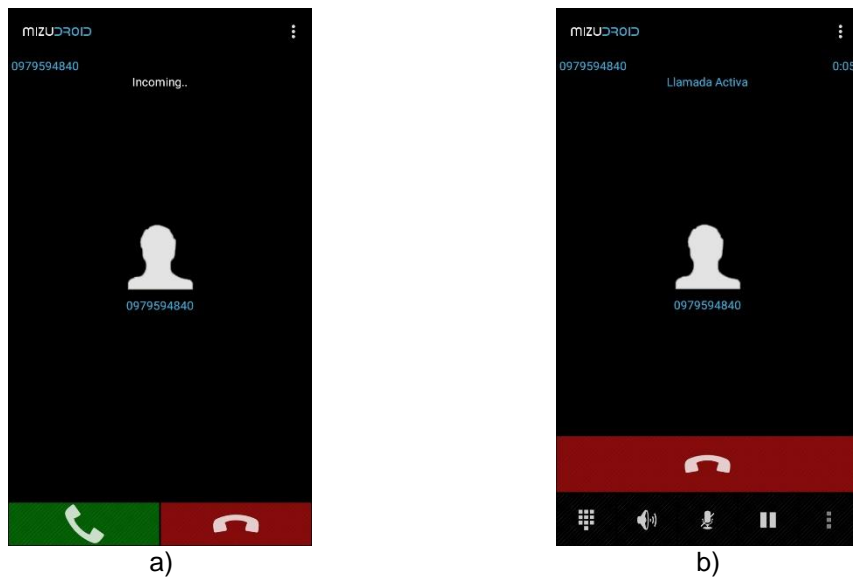


Figura 89. a) Llamada entrante conmutada desde la IVR a la extensión del asesor en el Call Center. b) Conversación entre el terminal móvil en la red GSM y la extensión en el Call Center.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Se prueban las diferentes opciones disponibles en la IVR. Si no se marca ningún número luego de un periodo de tiempo establecido, se corta automáticamente la llamada telefónica mediante un mensaje de despedida. Si se presiona la opción 1, se conmuta la llamada con el asesor a través de la extensión establecida en Asterisk (véase Figura 89).

Si se presiona la tecla 2, se accede a la opción de grabar un audio para realizar una denuncia, se digita la tecla # para empezar la grabación de audio que se guarda en el directorio de audios de Asterisk (véase Figura a Figura 91).

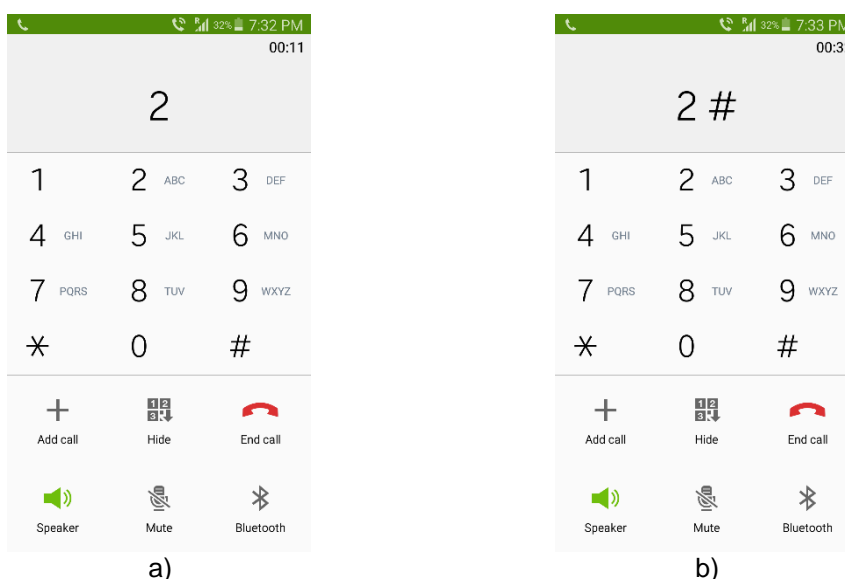


Figura 90. a) Opción 2, realizar una denuncia. b) Al marcar #, se empieza a grabar el audio.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

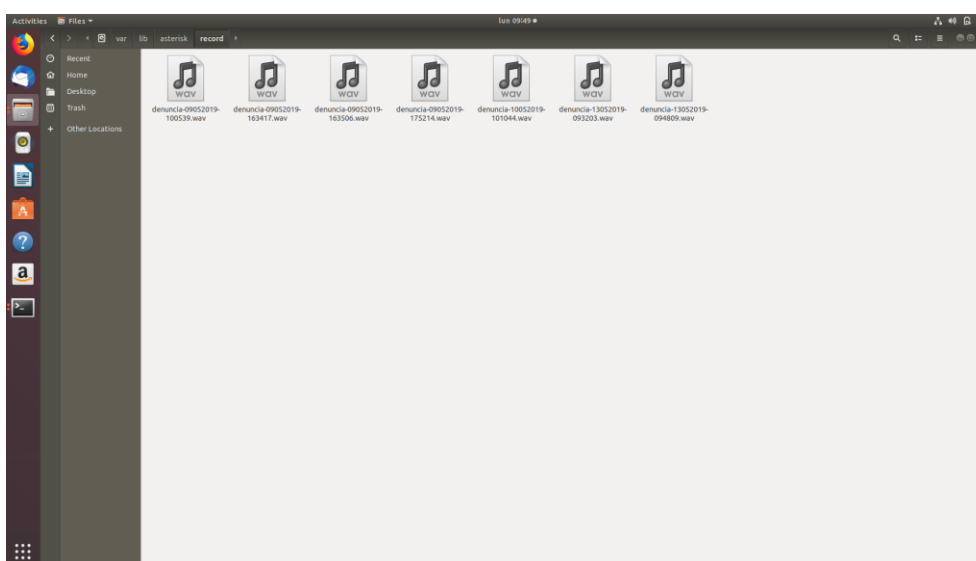


Figura 91. Denuncias realizadas mediante la IVR en el sistema Asterisk.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Resultados Obtenidos.

En la presente sección, se presenta el análisis de los resultados obtenidos en el transcurso del presente trabajo de titulación, orientándose al cumplimiento de los objetivos y requerimientos propuestos. Además, se presentan los resultados generados luego de probar el sistema diseñado.

El prototipo diseñado, se puede implementar como respuesta al problema de conectividad existente en algunos sectores rurales del país, por el bajo costo, compacto, funcionalidad y nivel de escalabilidad del sistema, este prototipo puede instalarse en distintas zonas rurales del país sin importar la ubicación, geografía o nivel socioeconómico de la población.

El sistema desarrollado puede ser replicado y empleado en situaciones de emergencia reales, considerando la posibilidad de realizar mejoras en el sistema y utilizar diferentes accesorios según la situación de emergencia, como: instalación de torres temporales, torres móviles, adecuación de un generador de energía alterna, un sistema de baterías con paneles solares para alimentar el sistema en cualquier zona del país.

El proyecto Open Source OpenBTS, es versátil, indagando en su configuración y aplicaciones, se pueden establecer diferentes opciones según sea la necesidad del proyecto basándose en los requerimientos técnicos del mismo. La implementación de una estación base mediante OpenBTS, reduce los costos en el presupuesto cuando se trata de implementar el proyecto en un ambiente de laboratorio. El costo disminuye aún más cuando se opta por utilizar otro tipo de plataformas SDR disponibles en el mercado mucho más accesibles que los Universal Software Radio Peripheral que son compatibles con el proyecto OpenBTS.

De igual manera el proyecto Asterisk, en su versión Open Source, presenta diferentes opciones para implementar una variedad de soluciones a problemas de telecomunicaciones fijas o móviles, según sea la necesidad.

Al trabajar con proyectos Open Source, se encuentra información disponible en Internet a través de las diferentes páginas oficiales, blogs, wikis o empresas relacionadas a nivel nacional y global. Esta red es útil para encontrar soluciones a

los diferentes problemas planteados o que se presentan en el transcurso del desarrollo del proceso de instalación del sistema propuesto

Configurar los Universal Software Radio Peripheral es sencillo, en ocasiones se presentan problemas con los drivers, pero tiene solución indagando en la descripción del problema.

El Call Center configurado en el servidor Asterisk es independiente de la red Global System for Mobile Communications establecida en el servidor OpenBTS, los mismo solo comparten la interconexión mediante cableado Ethernet a través del Access Point.

En el diagrama de red del sistema propuesto, no es necesario utilizar un switch para conmutar los paquetes de datos entre los servidores, el Access Point además de crear una LAN inalámbrica, realiza la conmutación a través de sus cuatro puertos Ethernets.

Al no poder marcar la extensión 911 directamente desde el teléfono móvil por la configuración de la Subscriber Identity Module, para evitar que por error de suscripción de red Global System for Mobile Communications se marque al verdadero ECU 911, evitándose generar una sanción a la línea telefónica o al abonado, se utiliza la extensión 9911, la cual simula el canal de emergencia siendo la mejor opción para trabajar en un ambiente de laboratorio, como se propone en el presente trabajo de titulación.

Utilizar cableado Ethernet para la interconexión de los servidores mejora la calidad de las llamadas realizadas desde la red Global System for Mobile Communications al Call Center, cuando se conmutan las llamadas. La calidad de las llamadas disminuye cuando se conectan las extensiones mediante interfaces de red inalámbricas, en este caso solo disminuye cuando se utiliza un smartphone mediante una aplicación softphone.

Se comprueba el correcto funcionamiento del proyecto OpenBTS con la plataforma Software Defined Radio Universal Software Radio Peripheral U2920 de National Instrument, debido a la compatibilidad del driver UHD de Ettus Research.

Las señales radioeléctricas emitidas por cada uno de los componentes del sistema son independientes, no se presentan interferencias en el espectro radioeléctrico, debido a que la red Global System for Mobile Communications mediante el servidor OpenBTS emite sus señales dentro de la banda de Global System for Mobile Communications, mientras que el Access Point utilizado por el servidor Asterisk para interactuar con sus respectivas extensiones (softphone mediante MizuDroid) opera en la banda Wi-Fi de 2.4 MHz.

Para que el terminal móvil opere correctamente en la red Global System for Mobile Communications creada mediante OpenBTS, se debe utilizar teléfonos celulares que soporten el modo de red de la tecnología 2G Global System for Mobile Communications, además de verificar la misma compatibilidad de la tarjeta SIM. Esto se verifica mediante la información técnica de la página oficial del dispositivo o directamente en el smartphone, en este caso en la marca Samsung se accede mediante: Ajustes>Conexiones>Redes Móviles>Modo de Red.

La operatividad de la red Global System for Mobile Communications creada por OpenBTS está limitada por la potencia del equipo y del sistema radiante instalado en el mismo. Esto indica el rango de cobertura al cual los terminales móviles puedan acceder a los diferentes servicios de la red. Además, el rango de operación del Access Point limita la conexión de los terminales que actúan como extensiones del servidor Asterisk, se puede ampliar la cobertura del Access Point instalando dispositivos que repiten la señal Wi-Fi.

La red 2G Global System for Mobile Communications establecida mediante OpenBTS, puede prescindir de un operador técnico una vez que se ejecutan todos los servicios correspondientes. Las llamadas telefónicas, mensajes de texto y conexión a la Interactive Voice Response que simula el canal de emergencia en el Call Center, se conmutan automáticamente por la aplicación Asterisk.

Se comprueba la correcta funcionalidad del sistema diseñado mediante la validación de cada servicio. Las llamadas telefónicas entre diferentes usuarios suscritos a la red Global System for Mobile Communications, se realizan de forma exitosa, sin presentarse ruido, eco o interferencias en el transcurso de la llamada. El envío de los mensajes de texto, se realiza con normalidad, sin la pérdida de información o mensajes en cada periodo de pruebas, la velocidad de entrega depende del nivel de cobertura que se tiene en cada terminal móvil con respecto a la cobertura de la red

Global System for Mobile Communications. Finalmente, la llamada a la extensión de la Interactive Voice Response se conmuta exitosamente, las diferentes opciones funcionan correctamente cuando se marca el dígito correspondiente.

Para evitar interferencias en las bandas concesionadas por parte de la ARCOTEL a los diferentes proveedores de servicios de telecomunicaciones a nivel nacional, no se emplea un amplificador para aumentar la potencia de la señal y cobertura de la red GSM creada por OpenBTS. Para pruebas en el ambiente de laboratorio, únicamente se varia el sistema radiante.

Para la inserción masiva de este tipo de tecnologías, las entidades estatales deben considerar reducir o retirar las tasas arancelarias para la importación de los mismos.

CONCLUSIONES

- Con la implementación del presente trabajo de titulación se fortalece el proceso de aprendizaje en temas relacionados a telecomunicaciones aplicando metodologías teórico-práctico, donde los estudiantes comprendan el funcionamiento de las comunicaciones inalámbricas.
- El establecimiento de la red GSM mediante OpenBTS en zonas con escasa cobertura, permite a los ciudadanos acceder a nuevos servicios de telecomunicaciones, reduciéndose la brecha digital.
- Se comprueba el funcionamiento del envío de señales DTMF RFC (Request for Comments) a través de la red GSM hacia la central PBX mediante el registro de teléfonos celulares móviles.
- Los móviles suscritos a la red GSM acceden a las diferentes opciones presentes en la IVR según el número digitado, simulando y comprobando así la contestadora automática del ECU 911.
- Optar por proyectos Open Source permite explorar y soportar nuevas oportunidades de prototipos, además de reducir considerablemente los costos de inversión para su implementación.

RECOMENDACIONES

- En caso de realizar una implementación en campo se debe mejorar la seguridad del sistema, cambiar las contraseñas utilizados por defecto en este trabajo de titulación. Se optó por las mismas para recordar las credenciales.
- Si se desea implementar el sistema diseñado en zonas de baja cobertura, se debe considerar que hay que diseñar un sistema radiante que permita ampliar el área de cobertura de la red en base a la geología y ubicación del sector.
- Establecer la configuración WAN del AP en automática, permite brindar acceso a Internet a los terminales conectados, simplemente con conectar el cable de red al correspondiente puerto.
- Además de conectar teléfonos móviles a la red GSM mediante el registro de su SIM, se puede crear un sistema mixto conectando teléfonos IP o aplicaciones softphone.
- Para obtener una clara comunicación entre los terminales suscritos a la red GSM, se recomienda mantenerse dentro del rango de cobertura de la red. Así mismo al momento de acceder a los servicios brindados por la IVR se debe digitalizar los números secuencialmente según indique la operadora.

TRABAJOS FUTUROS

- En futuras investigaciones, realizar pruebas de cobertura de la red GSM implementada, variando los elementos del sistema radiante mediante la utilización de antenas sectoriales y una omnidireccional. Obviamente, en un ambiente de laboratorio para evitar generar interferencias en las redes de las operadoras de telecomunicaciones que brindan el Servicio Móvil Avanzado en el país.
- En proyectos posteriores, establecer el servicio GPRS (General Packet Radio Services) que brinda la red GSM, para permitir a los terminales registrados acceder directamente a Internet mediante datos móviles, disminuyendo la barrera digital en los sectores más remotos donde no existe cobertura por parte de las operadoras de telecomunicaciones.
- Dependiendo de la aplicación, implementar teléfonos IP que trabajen con el Call Center en la PBX establecida. Creándose un ambiente real de pruebas, considerando los diferentes aspectos contra la utilización de aplicaciones softphone.
- En trabajos futuros, realizar pruebas de conectividad con un ente de emergencia real, en este caso en Ecuador el Servicio Integrado de Seguridad ECU 911, permitiendo evaluar la viabilidad real de implementar las BTSs mediante el sistema desarrollado. Tener en cuenta aspectos como: seguridad, tecnología, protocolos, entre otros.

CRONOGRAMA

Actividades	SEP 2018				OCT 2018				NOV 2018				DIC 2018				ENE 2019				FEB 2019			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
INVESTIGACIÓN FASE I	■	■	■	■																				
INVESTIGACIÓN FASE II					■	■	■	■																
COMPILACIÓN DE INFORMACIÓN									■	■	■	■												
RECOLECCIÓN DE FIRMAS													■	■	■	■	■	■	■	■				
TRABAJO EN EL DOCUMENTO FINAL A PRESENTAR					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
PROYECTO LISTO PARA PRESENTACIÓN																								■
REUNIÓN CON TUTOR	■				■				■				■				■				■			

Cronograma de actividades a desarrollar.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

PRESUPUESTO

Estimación del presupuesto.

Descripción	Cantidad	P. Unitario	Total
Cable ethernet	10	\$5,00	\$ 50,00
Conector SMA	5	\$1,50	\$ 7,50
Conector Tipo N	5	\$3,00	\$ 15,00
Cable RG58	5	\$0,60	\$ 3,00
Conectores RJ45	6	\$0,50	\$ 3,00
Cortafrio	2	\$4,00	\$ 8,00
Ponchador	1	\$8,00	\$ 8,00
Pela Cable	2	\$12,00	\$ 24,00
Tester	1	\$9,00	\$ 9,00
Amplificador	1	\$1.500,00	\$1.500,00
NI USRP 2920	1	\$5.000,00	\$5.000,00
Antena GSM	1	\$395,00	\$ 395,00
Repetidor	1	\$300,00	\$ 300,00
CPU	1	\$400,00	\$ 400,00
PC	1	\$170,00	\$ 170,00
Soporte de Antenas	1	\$37,00	\$ 37,00
Switch	1	\$23,00	\$ 23,00
Gastos de ingeniería	1	\$60,00	\$ 60,00
Total			\$8.012,50

Fuente: Los Autores.
Elaborado: Los Autores.

ACRÓNIMOS

ADC	Analog Digital Converter
AP	Access Point
APN	Access Point Network
ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
AuC	Authentication Center
BSC	Base Station Center
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
BTS	Base Transceiver Station
CLI	Command-line interface
CNT	Corporación Nacional de Telecomunicaciones
CPU	Central Processing Unit
DAC	Digital Analog Converter
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DTMF	Dual Tone Multi Frequency
EIR	Equipment Identity Register
ER	Ettus Research
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
GNU	GNU is not Unix
GPRS	General Packet Radio Services
GSM	Global System for Mobile Communications
HLR	Home Location Register
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IP	Internet Protocol
IPv4	Internet Protocol Version 4
IQ	In Phase and Quadrature
IVR	Interactive Voice Response
LAN	Local Area Network
LTS	Long Term Support
MAC	Media Access Control
ME	Mobile Equipment
MP3	MPEG-2 Audio Layer III
MS	Mobile Station
MSC	Mobile service Switching Center
MSC	Mobile Switching Centre Server
NI	National Instrument
NMC	Network Management Center
NSS	Network Switching Subsystem
OMC	Operation and Maintenance Center
OS	Operative System
PBX	Private Branch Exchange
PC	Personal Computer
PLMN	Public Land Mobile Network
PSTN	Public Switched Telephone Network
RAM	Random Access Memory
RF	Radio Frequency
RFC	Request for Comments
SDR	Software Defined Radio
SGR	Secretaria de Gestión de Riesgos
SIM	Subscriber Identity Module
SIP	Session Initiation Protocol
SMA	SubMiniature version A
SMS	Short Message Service
SSID	Service Set Identifier
UHD	USRP Hardware Drive

UPS	Universidad Politécnica Salesiana
USRP	Universal Software Radio Peripheral
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over Internet Protocol
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network

REFERENCIAS

- ARCOTEL. (2019). *Página oficial*. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/>
- Asterisk. (2018). *Página oficial*. Obtenido de <https://www.asterisk.org/>
- Becvar, Z., Mach, P., & Pravda, I. (2014). *Redes móviles* (1 ed.). Prada, República Checa: improvet. Recuperado el 20 de Junio de 2019, de http://improvet.cvut.cz/project/download/C4ES/Redes_moviles.pdf
- Echeverría, J. A., & Machado, J. R. (2016). *Sistemas Celulares Estándar GSM*. Recuperado el 3 de Julio de 2019, de [researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/308879041_Sistemas_Celulares_Estandar_GSM#pdf](https://www.researchgate.net/publication/308879041_Sistemas_Celulares_Estandar_GSM#pdf)
- Ettus Research. (2019). *Knowledge Base*. Obtenido de https://kb.ettus.com/Knowledge_Base
- Ettus Research. (2019). *VERT400 Antenna*. Obtenido de <https://www.ettus.com/all-products/vert400/>
- Google. (2017). *Google Maps*. Obtenido de Google: <https://www.google.com.ec/maps>
- Google. (2019). *Google Play Store*. Obtenido de <https://play.google.com/store?hl=en>
- Ledema, M. (2015). *Getting Started with OpenBTS*. Sebastopol, CA 95472: O'Reilly Media, Inc.
- Linuxize. (2018). *How To Install Asterisk on Ubuntu 18.04*. Obtenido de https://linuxize.com/post/how-to-install-asterisk-on-ubuntu-18-04/?fbclid=IwAR3QAezqMXOTLnE21L5en8z959MShqzLDkAt1S_pY2hpxBu_jibNdAoJvo
- Lizon, R. (2009). El sistema GSM. *ruinet*, 105. Recuperado el 9 de Julio de 2019, de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/19023/Memoria_Lizon_Gonzalez_Roberto.pdf
- Marciano, J., Ramirez, P., Martinez, P., & Barela, M. (2016). ROGER: Robust and rapidly deployable GSM base station and Backhaul for emergency response. *2016 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 128-135.
- MikroTik. (2019). *hAP lite TC*. Obtenido de <https://mikrotik.com/product/RB941-2nD-TC>
- Mizutech. (2019). *MizuDroid SIP VOIP Softphone*. Obtenido de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mizuvoip.mizudroid.app&hl=en>
- Mpala, J., & Stam, G. (2013). Open BTS, a GSM Experiment in Rural Zambia. *e-Infrastructure and e-Services for Developing Countries*, 65-73.

- National Instrument. (2017). *SPECIFICATIONS USRP-2920: Software Defined Radio Device*. USA: National Instrument.
- National Instruments. (2019). *USRP-2920: Radio Definido por Software USRP*. Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/support/model.usrp-2920.html>
- Nicola, F. (2014). Redes Celulares (GSM, GPRS). *Universidad Nacional de Rosario*, 27. Recuperado el 6 de Julio de 2019, de <https://www.dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/distribuidos/material/monografias/RedesGSM.pdf>
- Niviuk. (2018). *Wireless frequency bands*. Obtenido de <http://niviuk.free.fr/index.html>
- Pachón de la Cruz, Á. (2004). Evolución de los sistemas móviles celulares GSM. *Icesi*, 34. Recuperado el 3 de Julio de 2019, de http://www.icesi.edu.co/contenido/pdfs/apachon_gsm.pdf
- Pinar, I., & Murillo, J. (2011). *Laboratorio de Comunicaciones Digitales Radio Definida por Software*. España.
- Prasannan, N., Xavier, G., Manikkoth, A., Gandhiraj, R., R, P., & K, S. (2013). OpenBTS Based Microtelecom Model: A Socio-Economic Boon To Rural Communities. *2013 International Multi-Conference on Automation, Computing, Communication, Control and Compressed Sensing (iMac4s)*, 856-861.
- Putri, T., & Juhana, T. (2017). Mobile-openbts implementation of natural disaster victims search. *2017 3rd International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, 149-154.
- Range Network. (2018). *OpenBTS*. Obtenido de <http://openbts.org/>
- Russell, B., Madsen, L., & Van Meggelen, J. (2013). *Asterisk: the Definitive Guide*. Sebastopol, CA 95472: O'Reilly Media, Inc.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2016). *INFORME DE SITUACION N°65 – 16/05/2016 Terremoto 7.8 - Pedernales*. Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Informe-de-situacion-n-65-especial-16-05-20161.pdf>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (Abril de 2018). *Plan Nacional de Respuesta ante Desastres*. (SGR, Ed.) Obtenido de [gestionderiesgos.gob.ec: https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/Plan-Nacional-de-Respuesta-SGR-RespondeEC.pdf](https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/Plan-Nacional-de-Respuesta-SGR-RespondeEC.pdf)
- Singh, R., Thompson, M., Mathews, S., Agbogidi, O., Bhadane, K., & Namuduri, K. (2017). Aerial Base Stations for Enabling Cellular Communications during

Emergency Situation. *2017 International Conference on Vision, Image and Signal Processing (ICVISIP)*, 103-108.

Velasco, N. (2013). *Red celular GSM*. Recuperado el 1 de Julio de 2019, de bibing.us.es:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F4+Red+GS+M.pdf>

ANEXOS

Código fuente

Archivos principales modificados para la configuración del IVR, simulación de la centralita del ECU 911 (9911). Este código no se encuentra especificado en el capítulo 3 del presente trabajo ya que es muy extenso. Las demás configuraciones realizadas están detalladas de forma específica en el capítulo 3.

OpenBTS

Código fuente archivo extensions.conf

```
; Para comentar una línea utilizamos (;)

#include extensions-range.conf
    ;System dialplan

[globals](+)
GW1=voipms-LosAngeles                ;Primary
sip account used for handling calls to the PSTN, change the name to match sip.conf
GW2=voipms-Seattle
    ;Secondary sip account for handling calls to the PSTN, change the name to
match sip.conf
emergency=911                        ;Change
this number to what your PSTN provider use for emergency number
DialIMSITimeoutVM=30                 ;how long
to ring before going to voicemail
DialIMSITimeout=180                  ;how long
to ring before indicating no answer
DialPSTNTimeout=3600                ;how long
to ring before indicating no answer (must be high as the timer is also used during
early media)
AnswerDelay=4000                    ;how long
to wait in order to allow the channel to be establish (give the MS time to establish
the voice channel)

[emergency](+)                       ;Here you
define the number that must be treated as an emergency call
http://en.wikipedia.org/wiki/emergency\_telephone\_number
exten => _[sS][00][sS], 1,Set(CDR(B-Number)=${emergency})
    ;Defined by the GSM standard
```

Figura 92. Código fichero extensions.conf OpenBTS.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

```

exten => _112!,          1,Set(CDR(B-Number)=${emergency})
        ;EU
exten => _911!,          1,Set(CDR(B-Number)=${emergency})
        ;US
;exten => _999!,        1,Set(CDR(B-Number)=${emergency})
        ;UK

[to-e164](HangupCause)
        ;Here you can change how dialing patterns is handled for when you recive a
call from openBTS
exten => _011!,          1,Return(+${EXTEN:3})
        ;US international dialing prefix
exten => _00!,           1,Return(+${EXTEN:2})                                ;EU
international dialing prefix
exten => _1NXXNXXXXXX,   1,Return(+${EXTEN})
        ;US NANP8
exten => _NXXNXXXXXX,    1,Return(+1${EXTEN})                                ;US NANP7
exten => _X!,            1,Return(${EXTEN})                                  ;Unknown
local call
exten => _+!,           1,Return(${EXTEN})                                    ;E.164
exten => _[*#a-zA-Z]!,   1,Return(${EXTEN})
        ;Unknown

[to-pstn](+)                                ;Here you
can change how dialing patterns is handled for when you send a call to the PSTN
http://www.voip-info.org/wiki/view/Asterisk+Dialplan+Patterns
exten => _011!,          1,Set(CDR(B-Number)=+${EXTEN:3})
        ;US international dialing prefix
exten => _00!,           1,Set(CDR(B-Number)=+${EXTEN:2})
        ;EU international dialing prefix
exten => _1NXXNXXXXXX,   1,Set(CDR(B-Number)=+${EXTEN})
        ;US NANP8
exten => _NXXNXXXXXX,    1,Set(CDR(B-Number)=+1${EXTEN})
        ;US NANP7

[from-pstn](+)                                ;Here you
can change how dialing patterns is handled for when you recive a call from the
PSTN
exten => _011!,          1,Set(CDR(B-Number)=+${EXTEN:3})
        ;US international dialing prefix

```

Figura 93. Código fichero extensions.conf OpenBTS.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

```

exten => _00!,          1,Set(CDR(B-Number)=+${EXTEN:2})
                ;EU international dialing prefix
exten => _1NXXNXXXXXX, 1,Set(CDR(B-Number)=+${EXTEN})
                ;US NANP8
exten => _NXXNXXXXXX, 1,Set(CDR(B-Number)=+1${EXTEN})
                ;US NANP7

[default](+)
                ;Here you
can add any dialplan the phones must be able to call internally
exten => 111,          1,Goto(VoicemailMain,${CDR(A-Number)},1)
                ;extension used for accessing the voicemail

exten => 9911,          1,Set(CDR(hangupdirection)=A)          $
same =>                n,Dial(SIP/asterisk/${EXTEN})
same =>                n,Hangup(16)

;same =>                n,Answer()          $
;same =>                n,Echo()
;same =>                n,Set(CDR(hangupdirection)=SYSTEM)
;same =>                n,Hangup(16)

exten => 9001,          1,Set(CDR(hangupdirection)=A)          $
same =>                n,Dial(SIP/asterisk/${EXTEN})
same =>                n,Hangup(16)

#include extensions-range-test.conf          ;Test
numbers, should be removed in a production system

```

Figura 94. Código fichero extensions.conf OpenBTS.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.

Asterisk

Código fuente archivo extensions.conf

```

[globals]
; General internal dialing options used in context Dial-Users.
; Only the timeout is defined here. See the Dial app documentation for
; additional options.
INTERNAL_DIAL_OPT=,30

[Hints]

```

Figura 95. Código fichero extensions.conf Asterisk.

Fuente: Los autores.

Elaborado: Los autores.


```

; Allow dynamic hint creation for every extension.
exten = _11XX,hint,PJSIP/${EXTEN}

[Features]
; Extension to check user voicemail. We don't require the user to enter
; their pincode.
exten = 8000,1,Verbose(1, "User ${CALLERID(num)} dialed the voicemail feature.")
same = n,VoiceMailMain(${CALLERID(num)}@example,s)
same = n,Hangup()

; Exten to dial the main IVR internally.
exten = 1100,1,Verbose(1, "User ${CALLERID(num)} dialed the IVR.")
same = n,Goto(Main-IVR,2565551100,1)

;Extension to enter a conference intended only for employees
exten = 6000,1,Verbose(1, "User ${CALLERID(num)} dialed the employee conference.")
same = n,Confbridge(employees)
same = n,Hangup()

;Extension to enter a conference intended for employees and customers
exten = 6500,1,Verbose(1, "User ${CALLERID(num)} dialed the employee/customer
mixed conference.")
same = n,Confbridge(mixed)
same = n,Hangup()

[External-Features]
; Extension for users to remotely check voicemail. Here we require the caller to
; enter their mailbox and pincode.
exten = 2565551234,1,Verbose(1, "User ${CALLERID(num)} dialed into remote
voicemail.")
same = n,VoiceMailMain(example)
same = n,Hangup()

[Dialing-Errors]
; Handle any extensions dialed internally that don't otherwise exist.
; Comment out or remove this extension if you would rather have the calls
; ignored.
exten = _X.,1,Verbose(1, "User ${CALLERID(num)} dialed an invalid number.")
same = n,Playback(pbx-invalid)
same = n,Hangup()

[Internal-Setup]
; Here we capture internal calls to do anything we need to do before sending
; them onto all the possible internal locations. Such as disabling CDR on

```

Figura 96. Código fichero extensions.conf Asterisk.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

```

; internal to internal calls.
exten = _X.,1,NoOp()
    same = n,Set(CDR_PROP(disable)=1)
    same = n,Goto(Internal-Main,${EXTEN},1)

; The Internal-Main context provides a way for internal callers to get access to
most
; features and functions configured for them. External callers may be sent
; directly to some of the contexts you see included here, so the included
; contexts are not necessarily internal only.
[Internal-Main]
; The order of includes here is important for matching the right extensions.
include = Hints
include = Features
include = Dial-Users
include = Dialing-Errors

; Dial-Users handles calls to internal extensions.
; Calls coming into this context may be *external* or *internal* in origin.
[Dial-Users]
exten = _11XX,1,Verbose(1, "User ${CALLERID(num)} dialed ${EXTEN}.")
    same = n,Set(SAC_DIALED_EXTEN=${EXTEN})
    same = n,Gotoif(${DEVICE_STATE(PJSIP/${EXTEN})} = BUSY)?dialed-BUSY,1:)
    same = n,Dial(PJSIP/${EXTEN}${INTERNAL_DIAL_OPT})
    same = n,Goto(dialed-${DIALSTATUS},1)

exten = dialed-NOANSWER,1,NoOp()
    same = n,VoiceMail(${SAC_DIALED_EXTEN}@example,u)
    same = n,Hangup()

exten = dialed-BUSY,1,NoOp()
    same = n,VoiceMail(${SAC_DIALED_EXTEN}@example,b)
    same = n,Hangup()

exten = dialed-CHANUNAVAIL,1,NoOp()
    same = n,Playback(pbx-invalid)
    same = n,Hangup()

exten = _dialed-.,1,Goto(dialed-NOANSWER,1)

exten = h,1,Hangup()

; Callers in the directory may dial 0 which will jump to the
; 'o' extension.

```

Figura 97. Código fichero extensions.conf Asterisk.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

```

exten = 0,1,Goto(1111)

; Outbound-Dial
;
; Before we dial, see if the extension matches our restricted number patterns.
; Note that this is a basic set of numbers which could incur a fee if dialed.
; The NANP includes many other numbers that you may want to block. If you feel
; it is necessary to block further number patterns you'll have to add them below
; or you may consider implementing a blacklist via methods beyond the scope of
; this example.
[Outbound-Dial]
exten = _011.,1,Hangup()
exten = _900NXXXXXX,1,Hangup()
exten = _1900NXXXXXX,1,Hangup()
exten = _976XXXX,1,Hangup()
exten = _NXX976XXXX,1,Hangup()
exten = _1NXX976XXXX,1,Hangup()
; Dial outbound through our SIP ITSP.
exten = _X.,1,Verbose(1, "Didn't match any restricted numbers, proceeding with
outbound dial.")
    same = n,Set(CALLERID(num)=256555${CALLERID(num)})
    same = n,Dial(PJSIP/${EXTEN}@dcs-endpoint)
    same = n,Hangup()

; Calls from internal endpoints will enter into one of the two following
; contexts based on their dialing privilege.
[Local]
include = Internal-Setup

exten = _NXXXXXX,1,Goto(Outbound-Dial,1256${EXTEN},1)
exten = _256NXXXXXX,1,Goto(Outbound-Dial,1${EXTEN},1)
exten = _1256NXXXXXX,1,Goto(Outbound-Dial,${EXTEN},1)

[Long-Distance]
include = Local

exten = _NXXNXXXXXX,1,Goto(Outbound-Dial,1${EXTEN},1)
exten = _1NXXNXXXXXX,1,Goto(Outbound-Dial,${EXTEN},1)

; The DID-Extensions context captures inbound calls from our ITSP that have a
; DID number where the last four digits matches an internal extension.
[DID-Extensions]
exten = _25655511XX,1,Verbose(1, "External caller dialed inbound to DID
${EXTEN}")

```

Figura 98. Código fichero extensions.conf Asterisk.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

```

same = n,Goto(Dial-Users,${EXTEN:6},1)

; Our main IVR program for receiving inbound callers.
; The IVR script reads "Thank you for calling Super Awesome Company, Waldo's
; premier provider of perfect products. If you know your party's extension,
; you may dial it at any time. To establish a sales partnership, press one. To
; speak with a customer advocate, press two. For accounting and other
; receivables, press three. For a company directory, press four. For an
; operator, press zero."
; demo-congrats is currently used as a placeholder.
[Main-IVR]
exten = 2565551100,1,Verbose(1, "New caller, ${CALLERID(num)} dialed into the
IVR.")
same = n,Answer()
same = n(start),Background(basic-pbx-ivr-main)
same = n,WaitExten(10)
same = n,Background(basic-pbx-ivr-main)
same = n,Hangup()

exten = 0,1,Verbose(1, "Caller ${CALLERID(num)} dialed the operator.")
same = n,Goto(Dial-Users,1111,1)
exten = 1,1,Verbose(1, "Caller ${CALLERID(num)} dialed the Sales queue.")
same = n,Goto(External-Features,2565551200,1)
exten = 2,1,Verbose(1, "Caller ${CALLERID(num)} dialed the Customer Experience
queue.")
same = n,Goto(External-Features,2565551250,1)
exten = 3,1,Verbose(1, "Caller ${CALLERID(num)} dialed Accounting and
Receivables.")
same = n,Goto(Dial-Users,1106,1)
exten = 4,1,Verbose(1, "Caller ${CALLERID(num)} dialed the directory.")
same = n,Directory(example,Dial-Users)

exten = i,1,Playback(option-is-invalid)
same = n,Goto(2565551100,start)

exten = t,1,Playback(are-you-still-there)
same = n,Goto(2565551100,start)

; Calls from our ITSP SIP account arrive in DCS-Incoming. We should be careful
; to route calls very explicitly so as to avoid any security issues, such as
; accidentally giving outbound dial access to inbound callers.
;
; Each context includes extension pattern matching to match the inbound DID
; dialed appropriately.

```

Figura 99. Código fichero extensions.conf Asterisk.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

```

[DCS-Incoming]
include = Main-IVR
include = DID-Extensions
include = External-Features

[LocalSets]

; ejemplo de prueba
;exten = 9911,1,Answer()
;same = n,Wait(5)
;same = n,Playback(hello-world)
;same = n,Hangup(16)

exten = 9001,1,Dial(SIP/${EXTEN})

;IVR
exten = 9911,1,Goto(IvrECU,start,1)

;Opciones
[IvrECU]
exten = start,1,Answer()
same = n,Wait(2)
;same = n,Playback(ecu/Usted-se-ha-comunicado)
same = n,Background(ecu/Usted-se-ha-comunicado) ; create voice
menus
same = n,WaitExten(10)

exten = 1,1,Playback(ecu/Por-favor-espere-en-la-linea)
same = n,Wait(1)
same = n,Dial(SIP/9001)
same = n,Playback(ecu/Gracias-por-comunicarse-con-el-911)
same = n,Hangup(16)

exten = 2,1,Playback(ecu/Realice-su-denuncia)
same = n,Wait(1)
same = n,Record(/var/lib/asterisk/record/denuncia-${STRFTIME(${EPOCH},,%d%m%Y-%H%M%S}):wav)
same = n,Wait(2)
same = n,Playback(ecu/Gracias-por-comunicarse-con-el-911)
same = n,Hangup(16)

exten = i,1,Answer() ; invalid entries
same = n,Playback(ecu/Extension-invalida)

```

Figura 100. Código fichero extensions.conf Asterisk.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

```
same = n,Playback(ecu/Gracias-por-comunicarse-con-el-911)
same = n,Hangup(16)

exten = t,1,Answer() ; timeout is 10 seconds
same = n,Playback(ecu/Gracias-por-comunicarse-con-el-911)
same = n,Hangup(16)
```

Figura 101. Código fichero extensions.conf Asterisk.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.

Fotografías del sistema en ejecución

Ejecución del sistema diseñado para validación en el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.

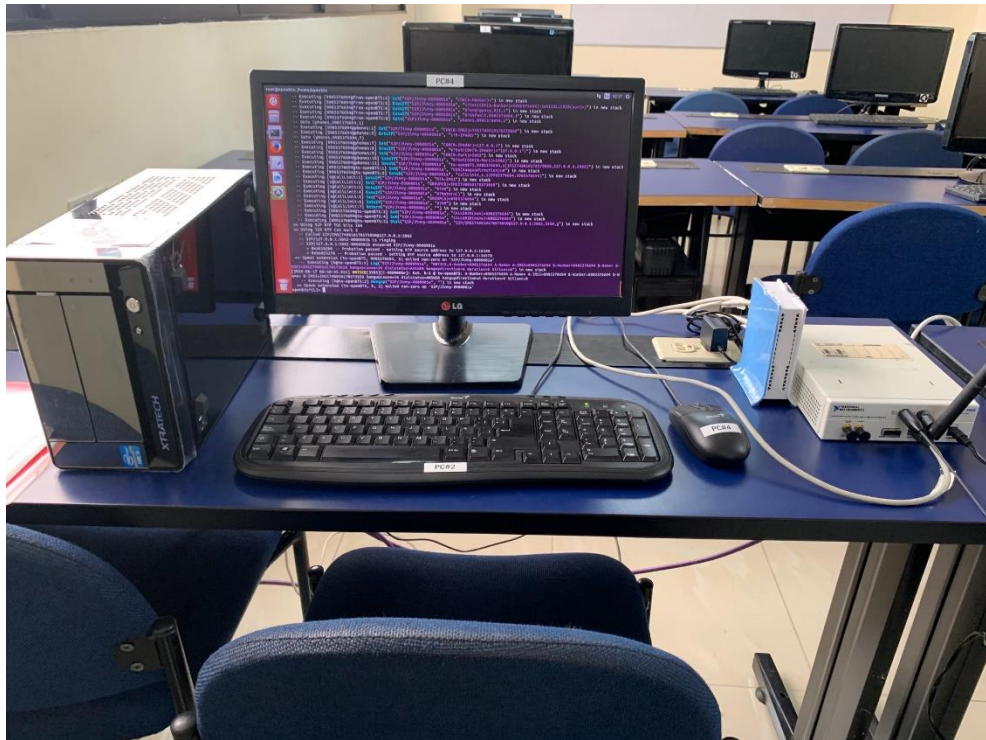


Figura 102. Validación del sistema en el Laboratorio de Telecomunicaciones.

Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.



Figura 103. Validación del sistema en el Laboratorio de Telecomunicaciones.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.



Figura 104. Validación del sistema en el Laboratorio de Telecomunicaciones.
Fuente: Los autores.
Elaborado: Los autores.