



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:  
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RADIO BASE CELULAR DE  
EMERGENCIA PARA EL ENVÍO DE MENSAJERÍA UTILIZANDO RADIO  
DEFINIDAS POR SOFTWARE**

**AUTORES:  
KLEBER JOSEPH LIMONES CALLE  
FERNANDO EDWIN TUTASI BAHAMONDE**

**DIRECTOR:  
ING. CARLOS BÓSQUEZ BÓSQUEZ, MSC.**

**GUAYAQUIL, AGOSTO DEL 2017**

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, Limones Calle Kleber Joseph con cédula de identidad N°.0917932188 y Tutasi Bahamonde Fernando Edwin con cédula de identidad N° 0915329858, declaramos que este trabajo de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RADIO BASE CELULAR DE EMERGENCIA PARA EL ENVÍO DE MENSAJERÍA UTILIZANDO RADIO DEFINIDAS POR SOFTWARE” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Guayaquil, Agosto del 2017

---

Kleber Joseph Limones Calle

CI: 0917932188

---

Fernando Edwin Tutasi Bahamonde

CI: 0915329858

## CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHO

Nosotros, Limones Calle Kleber Joseph con cédula de identidad N°.0917932188 y Tutasi Bahamonde Fernando Edwin con cédula de identidad N° 0915329858, autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RADIO BASE CELULAR DE EMERGENCIA PARA EL ENVÍO DE MENSAJERÍA UTILIZANDO RADIO DEFINIDAS POR SOFTWARE” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Guayaquil, Agosto del 2017

---

Kleber Joseph Limones Calle

CI: 0917932188

---

Fernando Edwin Tutasi Bahamonde

CI: 0915329858

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITA  
POR EL TUTOR**

Por medio de la presente quiero darle a conocer que el proyecto de titulación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RADIO BASE CELULAR DE EMERGENCIA PARA EL ENVÍO DE MENSAJERÍA UTILIZANDO RADIO DEFINIDAS POR SOFTWARE” que se realizó por el Sr. Limones Calle Kleber Joseph y el Sr. Tutasi Bahamonde Fernando Edwin, estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica, ha sido concluida y revisada en su totalidad, tanto el trabajo escrito como práctico.

Particular que informo para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Carlos Bósquez Bósquez, Msc.

DIRECTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.

## DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a Dios por brindarme paciencia y toda la fortaleza que necesite en toda mi carrera universitaria hasta el final.

A mi familia por estar siempre a mi lado aconsejándome y dándome fuerzas para seguir adelante a pesar de todas las dificultades que pasaba en algún momento de mi vida.

A mi madre que toda la vida estuvo a mi lado apoyándome y ayudándome en todo lo que necesitaba, brindándome consejos y fuerzas sin darse por vencida en ningún momento.

A mi padre que con su sacrificio paso tanto tiempo lejos de nuestra familia sin darse por vencido para ayudarme a salir adelante y a pesar de la distancia siempre me acompañó en todo momento bueno y malo que pase, siempre aconsejándome y brindándome todo su apoyo y fortaleza durante toda mi carrera.

A mi hermano que aunque no vivimos juntos siempre me apoyo en todo momento de mi vida de estudiante y le enorgullecía cada proyecto y todo lo que iba consiguiendo en mi vida universitaria.

A mi novia que siempre estuvo conmigo en toda mi carrera, siempre estuvo apoyándome y ayudándome en lo que podía, dándome fuerzas cuando sentía que ya no podía continuar

A mis compañeros y amigos que me acompañaron y apoyaron hasta el final hasta lograr la culminación de este proyecto.

A mis abuelas que en paz descansen que siempre estuvieron orgullosas de todo lo que estaba logrando en mi vida universitaria y esperaban con ansias estar en la ceremonia y finalmente verme graduado.

**Kleber Joseph Limones Calle.**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, a mi madre Nancy María Bahamonde Vite y a mi padre José Fernando Tutasi Jaramillo ya que ellos fueron mi principal inspiración para terminar esta etapa importante de mi vida.

A ellos les debo todo.

**Fernando Edwin Tutasi Bahamonde.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios que me dio las fuerzas necesarias para continuar hasta el final sin darme por vencido a pesar de los obstáculos y de esa manera poder finalizar este proyecto.

Agradezco a mis padres Jhaneth Calle y Kleber Limones que toda la vida han sido un pilar fundamental para poder cumplir todas mis metas y salir adelante, siempre brindándome todo su apoyo, aconsejándome en todo momento para seguir bien encaminado y formarme como una persona de buenos valores, dándome fuerzas para no desanimarme nunca y seguir adelante hasta cumplir este sueño el cual es verme graduado.

A mi hermano Kleber Gabriel Limones que a pesar de ser tan diferentes en gustos siempre se interesó por todo lo que yo iba realizando en mi vida y de alguna manera siempre me ayudaba en lo que pudiera y me brindaba todo su apoyo a pesar de la distancia.

A toda mi familia que siempre confió en mí y de alguna manera aportaron con su granito de arena para permitirme llegar a mi meta y verme finalmente graduado, especialmente agradezco a mis abuelas Alicia Limones y Bella Alcívar que en paz descansen por sentirse tan orgullosas de mí.

A mi novia Lilibeth Cajilema por estar conmigo a lo largo de mi vida universitaria y ayudarme a superar cualquier obstáculo que se interpusiera, siempre apoyarme y estar conmigo en las buenas y en las malas.

A todos mis compañeros y amigos que me apoyaron de alguna manera para poder terminar este proyecto, a mi compañero de tesis Fernando Tutasi por siempre seguir adelante y no darse por vencido, especialmente agradezco a mi amigo Pedro Layana quien desde el colegio siempre me brindó su apoyo incondicional hasta la culminación de este proyecto.

**Kleber Joseph Limones Calle.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Le doy gracias a mis padres que siempre estuvieron conmigo inculcando valores y dándome su apoyo en todo momento para ser de mí un hombre de bien y así poder culminar una etapa de mi vida.

**Fernando Edwin Tutasi Bahamonde.**



## RESUMEN

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RADIO BASE CELULAR DE EMERGENCIA PARA EL ENVÍO DE MENSAJERÍA UTILIZANDO RADIO DEFINIDAS POR SOFTWARE.

Actualmente los sistemas de comunicación en la telefonía celular han ido evolucionando al pasar de los años tales como mensajes de texto, llamadas, video llamadas vía Skype entre otros, los usuarios pueden mantenerse comunicados entre sí siempre y cuando este tenga registrado el número de teléfono de la otra persona. Por este motivo se desarrolla una RBS de emergencia en el cual se podrá enviar mensajes de texto desde la central, la cual será el lugar donde se encuentre el USRP operado desde UBUNTU. Este nuevo sistema de mensajería que se desea implementar servirá de mucha ayuda para las instituciones de servicio de emergencia donde la señal es débil, ya que, los usuarios dentro del rango del USRP podrán recibir los mensajes de texto sin necesidad de que el administrador conozca sus números telefónicos y de esta manera alertarlos y prevenirlos de alguna situación de riesgo que esté ocurriendo o pueda suceder. Así mismo, puede ser de gran impacto para la comunidad científica que se encarga de estudiar las nuevas tecnologías que van apareciendo con el paso del tiempo gracias a los equipos que a través de los años se van volviendo cada vez más evolucionados y con estos poder realizar todo tipo de avances tecnológicos con respecto a la comunicación mediante dispositivos celulares basándose en los prototipos de estaciones bases implementados por las diferentes operadoras que existen en el mundo de acuerdo al país en donde se encuentre el usuario a implementarlo, ya que estos nuevos sistemas de comunicación pueden llegar a implementarse a una escala mayor con un mayor presupuesto como lo es la colocación de un amplificador de potencia, en donde un solo prototipo logre abarcar una gran cobertura celular hasta el punto de poder tomarlo como un nuevo servicio de comunicación pagado tales como lo son las diferentes operadoras hoy en día.

**Palabras Claves:** USRP, OPENBTS, RBS, UBUNTU.

## **ABSTRACT**

### **DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A CELLULAR BASE STATION OF EMERGENCY FOR THE EMISSION OF MESSAGES USING SOFTWARE DEFINED RADIO**

Currently the communication systems in the cellular telephony have evolved over the years such as text messages, calls, video calls via Skype among others, users can keep communicating with each other as long as it has registered the phone number of the other person. For this reason, an emergency RBS is developed in which it is possible to send text messages from the exchange, which will be the place where the USRP is operated from UBUNTU. This new messaging system to be implemented will be very helpful for service institutions where the signal is weak, since users within the range of the USRP will be able to receive text messages without the need for the administrator to know their telephone numbers and thus alert and prevent them from any risk situation that is occurring or may happen. Also, it can be of great impact for the scientific community that is in charge of studying the new technologies that are appearing over time thanks to the equipment that over the years are becoming more and more evolved and with these to realize all kind of technological advances with respect to the communication through cellular devices based on the prototype of base stations implemented by the different operators that exist in the world according to the country where the user is to implement it, since these new communication systems can be implemented on a larger scale with a higher budget such as the placement of a power amplifier, where a single prototype can cover a large cellular coverage to the point of being able to take it as a new paid communication service such as are the different operators today.

**KEYWORDS: USRP, OPENBTS, RBS, UBUNTU**

## ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. EL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 IMPORTANCIA .....	3
1.4 ALCANCE.....	4
1.5 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	5
1.5.1 Delimitación Temporal.....	5
1.5.2 Delimitación Espacial .....	5
1.5.3 Delimitación Académica .....	5
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.7 VARIABLES E INDICADORES .....	6
1.7.1 Variables .....	6
1.7.2 Indicadores .....	7
1.8 OBJETIVOS .....	7
1.8.1 Objetivo General .....	7
1.8.2 Objetivos Específicos .....	7
1.9 METODOLOGÍA.....	7
1.9.1 Métodos .....	8
1.9.2 Técnicas.....	8
1.10 POBLACIÓN Y MUESTRA. ....	8
1.10.1 Población .....	8
1.10.2 Muestra .....	8
1.11 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA .....	9
1.11.1 Beneficiarios.....	9
1.11.2 Innovación.....	9
1.11.3 Impacto .....	10
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1 SISTEMA DE COMUNICACIONES MÓVILES GSM.....	11
2.1.1 El subsistema GSM.....	13
2.1.1.1 El subsistema de estación base (BSS).....	14
2.1.1.2 El subsistema de red (NSS) .....	14
2.1.1.3 El subsistema inteligente de red (IN).....	14

2.1.2	Responsabilidades del subsistema de red .....	14
2.1.2.1	El Centro de Conmutación Móvil (MSC) .....	14
2.1.2.2	Localización de visitantes registrados (VLR) .....	16
2.1.2.3	Registro de posiciones (HLR).....	17
2.1.2.4	El centro de autenticación .....	20
2.2	UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL (USRP) .....	21
2.2.1	El sistema MIMO .....	23
2.2.2	Introducción a MIMO 8x8 .....	24
2.2.3	Arquitectura del sistema MIMO .....	24
2.2.3.1	La frecuencia y sincronización de hora.....	24
2.2.3.2	Los datos de ancho de banda del bus.....	26
2.2.4	Evaluación del sistema.....	27
2.2.4.1	La ejecución en tiempo real y latencia.....	27
2.2.4.2	Fase de alineación vs. Coherencia de fase .....	27
2.2.4.3	Velocidad de datos completa .....	27
2.3	PLATAFORMA OPENBTS.....	28
2.3.1	Hardware .....	29
2.3.2	Archivo de diseño para el código abierto de la SDR.....	29
2.3.2.1	OPENBTS .....	30
2.3.2.2	Transceiver .....	30
2.3.2.3	SMQueue.....	31
2.3.2.4	SIPAuthserve .....	31
2.3.2.5	Autenticación completa .....	31
2.3.2.6	Autenticación en caché .....	32
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
3.1.	ANTECEDENTES.....	34
3.2	SELECCIÓN DE COMPONENTES .....	34
3.2.1	Elementos de la estación base.....	34
3.2.2	Sistema operativo Linux.....	36
3.2.3	Linux con distribución UBUNTU .....	36
3.2.4	Comandos sistema operativo Linux con distribución UBUNTU .....	36
3.3	DISEÑO DE LA ESTACIÓN BASE GSM MEDIANTE UBUNTU .....	42
3.3.1	Compatibilidad GIT .....	42
3.3.2	Instalación de las dependencias .....	43
3.3.3	Instalación de repositorios.....	44

3.3.4 Instalando componentes para OPENBTS .....	48
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	53
4.2 PRUEBAS DE LABORATORIO .....	54
4.3 PRUEBAS DE CAMPO .....	64
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>CRONOGRAMA.....</b>	<b>69</b>
<b>PRESUPUESTO.....</b>	<b>71</b>
<b>ACRÓNIMOS .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>77</b>
ANEXO 1. DATASHEET USRP .....	77
ANEXO 2. ZONA RURAL SIN COBERTURA CELULAR.....	79
ANEXO 3. CONSTRUCCIÓN JAULA DE FARADAY PARA SIMULACIÓN .....	82
ANEXO 4. PRUEBAS DE ENVÍO DE MENSAJES .....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Series de especificaciones GSM. ....	12
<b>Tabla 2</b> Bandas de frecuencias GSM y números de canal ARFCN. ....	13
<b>Tabla 3</b> Códigos móviles de países. ....	18
<b>Tabla 4</b> Servicios básicos de una red GSM. ....	18
<b>Tabla 5</b> Servicios suplementarios de una red GSM. ....	19
<b>Tabla 6</b> Lista de piezas MIMO 8x8. ....	25
<b>Tabla 7</b> Tabla de comparación. ....	35
<b>Tabla 8</b> Trabajar con archivos ....	37
<b>Tabla 9</b> Gestión de procesos ....	38
<b>Tabla 10</b> Permiso de archivos ....	38
<b>Tabla 11</b> Instalación ....	39
<b>Tabla 12</b> Compresión ....	39
<b>Tabla 13</b> Información del sistema ....	40
<b>Tabla 14</b> SSH.....	40
<b>Tabla 15</b> Combinaciones de teclas ....	41
<b>Tabla 16</b> Redes ....	41
<b>Tabla 17</b> Presupuesto general.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Interfaces y nodos de la NSS. ....	15
<b>Figura 2.2.</b> Centro de conmutación móvil con integración de localización de visitantes registrados. ....	16
<b>Figura 2.3.</b> Identidad del abonado móvil internacional. ....	17
<b>Figura 2.4.</b> Diagrama de bloques del NI USRP modelos 293X con reloj de referencia GPS integrado. ....	22
<b>Figura 2.5.</b> Diagrama de bloques del NI USRP modelo 2920. ....	23
<b>Figura 2.6.</b> Diagrama de bloques del sistema MIMO. ....	25
<b>Figura 2.7.</b> Diagrama de bloque del funcionamiento de la plataforma OPENBTS. .	28
<b>Figura 2.8.</b> Actualización de la localización GSM. ....	32
<b>Figura 2.9.</b> Componentes de la OPENBTS y sus canales de comunicación instaladas en cada punto de acceso. ....	33
<b>Figura 2.10.</b> Dos puntos de acceso con unidad 1 proporcionando servidores para ambos. ....	33
<b>Figura 3.1.</b> Diseño para la implementación de una estación base GSM. ....	35
<b>Figura 3.2.</b> Finalización de la ejecución del comando update para la actualización de los paquetes del sistema e instalar repositorios GIT. ....	42
<b>Figura 3.3.</b> Finalización de la ejecución del comando upgrade para la modernización de los paquetes del sistema e instalar repositorios GIT. ....	43
<b>Figura 3.4.</b> Instalación de repositorios GIT finalizada. ....	43
<b>Figura 3.5.</b> Instalación de dependencias para el repositorio GIT del paquete UHD para el correcto funcionamiento del hardware USRP 2920. ....	44
<b>Figura 3.6.</b> Proceso de instalación de repositorios. ....	45
<b>Figura 3.7.</b> Repositorio UHD descargado con éxito. ....	45
<b>Figura 3.8.</b> Archivos makefiles generados correctamente. ....	46
<b>Figura 3.9.</b> Archivos makefiles generados correctamente mediante el comando make. ....	47

<b>Figura 3.10.</b> Test de comprobación del correcto funcionamiento de archivos makefiles mediante el comando make test. ....	47
<b>Figura 3.11.</b> Instalación correcta de archivos makefiles mediante .....	48
<b>Figura 3.12.</b> Arquitectura instalación OPENBTS. ....	48
<b>Figura 3.13.</b> Repositorio libzmq3 instalado correctamente. ....	49
<b>Figura 3.14.</b> Repositorio dev instalado con éxito. ....	50
<b>Figura 3.15.</b> Configuraciones hardware USRP instaladas correctamente.....	50
<b>Figura 3.16.</b> Instalación de SipAuthServe finalizada correctamente. ....	51
<b>Figura 3.17.</b> Instalación de SMQueue finalizada correctamente.....	52
<b>Figura 3.18.</b> Instalación de OPENBTS finalizada correctamente.....	52
<b>Figura 4.1.</b> Diagrama de bloques conectividad y mensajería masiva. ....	53
<b>Figura 4.2.</b> Realización de pruebas en laboratorio de Telecomunicaciones. ....	54
<b>Figura 4.3.</b> Configuración de dirección IP en la misma red del USRP para la correcta conectividad con la máquina virtual. ....	55
<b>Figura 4.4.</b> Configuración de red de la máquina virtual. ....	56
<b>Figura 4.5.</b> Conexión exitosa con el equipo USRP mediante la comprobación del Ping. ....	57
<b>Figura 4.6.</b> Localización de adquisición de datos de RBS a través de G-Net Track. ....	58
<b>Figura 4.7.</b> Datos tomados de RBS Claro cercana a localización seleccionada. ....	58
<b>Figura 4.8.</b> Configuraciones de la red celular GSM activadas. ....	59
<b>Figura 4.9.</b> Redes disponibles en un dispositivo móvil Samsung S4. ....	60
<b>Figura 4.10.</b> Dispositivo móvil Samsung S4 registrándose en la red OPENBTS. ...	61
<b>Figura 4.11.</b> Dispositivo móvil Samsung S4 resgistrado a la red 00101 de la OPENBTS. ....	61
<b>Figura 4.12.</b> Script para autenticación de dispositivos y mensajería masiva. ....	62
<b>Figura 4.13.</b> Dispositivo móvil Samsung S4 resgistrado a la red 00101 de la OPENBTS. ....	62
<b>Figura 4.14.</b> Envío exitoso del SMS a los IMSI registrados. ....	63



<b>Figura 4.15.</b> Recepción del SMS a teléfonos Samsung S4 y Sony Xperia. ....	63
<b>Figura 4.16.</b> Equipos implementados para las pruebas de campo. ....	64
<b>Figura 4.17.</b> Personas localizadas en el local Paradero Río Daular. ....	64
<b>Figura 4.18.</b> Códigos IMSI de los dispositivos conectados a la estación base de acuerdo a la cantidad de personas localizadas en el sector. ....	65
<b>Figura 4.19.</b> Recepción SMS a distintos dispositivos. ....	66
<b>Figura A.1.</b> Especificaciones de hardware USRP 2920.....	77
<b>Figura A.2.</b> Comparación de los distintos modelos de USRP.....	78
<b>Figura A.3.</b> Características de hardware USRP 2920. ....	78
<b>Figura A.4.</b> Vista trasera del local ubicado en la zona rural del Río Daular. ....	79
<b>Figura A.5.</b> Vista lateral del local ubicado en la zona rural del Río Daular. ....	79
<b>Figura A.6.</b> Vista frontal del local ubicado en la zona rural del Río Daular. ....	80
<b>Figura A.7.</b> Vista frontal del local ubicado en la zona rural del Río Daular. ....	80
<b>Figura A.8.</b> Vista lateral del local ubicado en la zona rural del Río Daular. ....	81
<b>Figura A.9.</b> Teléfonos móviles sin cobertura celular en zona rural Río Daular. ....	81
<b>Figura A.10.</b> Vista frontal Jaula de Faraday para simulación. ....	82
<b>Figura A.11.</b> Vista lateral Jaula de Faraday para simulación.....	82
<b>Figura A.12.</b> Vista superior Jaula de Faraday para simulación.....	83
<b>Figura A.13.</b> Vista superior Jaula de Faraday abierta para simulación.....	83
<b>Figura A.14.</b> Realización de pruebas en laboratorio de Telecomunicaciones.....	84
<b>Figura A.15.</b> Egresado Kleber Limones realizando pruebas en laboratorio de Telecomunicaciones. ....	84
<b>Figura A.16.</b> Egresado Fernando Tutasi realizando pruebas en laboratorio de Telecomunicaciones. ....	85
<b>Figura A.17.</b> Prueba de capturas de código IMSI dispositivos móviles.....	85
<b>Figura A.18.</b> Prueba envío de mensajes a los dispositivos. ....	86
<b>Figura A.19.</b> Recepción de mensajes desde la OPENBTS. ....	86
<b>Figura A.20.</b> Pruebas de campo del prototipo implementado.....	87

<b>Figura A.21.</b> Configuración envío SMS masivo.....	87
<b>Figura A.22.</b> Registro códigos IMSI para envío masivo de mensajes.....	88
<b>Figura A.23.</b> Recepción de mensajes en pruebas de campo. ....	88

## INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto trata sobre el diseño e implementación de una RBS de emergencia para el envío de SMS mediante el uso de un Radio Definido por Software, el NI-USRP-2920 utilizando el sistema operativo UBUNTU y todas las dependencias necesarias para su funcionamiento.

Este proyecto está enfocado a todas las instituciones de servicio tales como la estación de policía, estación de bomberos, hospitales, instituciones escolares en casos de emergencia tales como el colapso de las estaciones bases de las diferentes operadoras dentro de la ciudad, así mismo para lugares donde la señal celular es nula tanto dentro como fuera de la ciudad para que de esta manera se pueda prevenir una situación de riesgo y mantener informados a los usuarios mediante un SMS para aquellos que se encuentren dentro de la cobertura de la misma.

En el **Capítulo 1** se definen los hechos preliminares tales como el planteamiento del problema, metodologías, técnicas, impacto del proyecto para las distintas instituciones planteadas, entre otros puntos importantes en el desarrollo del proyecto.

En el **Capítulo 2** se realiza el marco teórico donde se detallan los conceptos generales, descripciones y características de todos los elementos que se utilizaron en el desarrollo del proyecto.

En el **Capítulo 3** se describe el análisis y diseño del proyecto detallando el paso a paso de la implementación del prototipo de estación base mediante el USRP.

En el **Capítulo 4** se presentan las pruebas realizadas del proyecto, las conclusiones y recomendaciones del mismo.

## **1. EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

En la actualidad los problemas de comunicación que se presentan en las distintas zonas del país debido a la baja cobertura celular tanto dentro de la ciudad como afuera de la misma, con el pasar de los años se han vuelto más frecuentes para las diversas instituciones de servicio tales como la policía, cuerpo de bomberos e instituciones escolares debido a las situaciones de riesgo que se presentan, ya sean estas producidas por el mismo hombre tales como la delincuencia, incendios, o por catástrofes naturales tales como terremotos, tsunamis.

Estas distintas situaciones de riesgo presentan un gran problema para las operadoras celulares las cuales brindan el servicio de telefonía móvil, ya que al momento de ocurrir catástrofes naturales sus Radio Bases colapsan dejando a los usuarios de las mismas sin el servicio correspondiente, de la misma manera ocurre cuando son producidas por el mismo hombre como lo es el robo de equipos o conexiones en mal estado provocando cortocircuitos llegando a daños mayores y de esta manera inhabilitando dichas estaciones.

Las zonas rurales debido a la localización en que se encuentran también enfrentan este tipo de problemas día a día ya que la cobertura celular presenta distintos factores que impide que la comunicación funcione correctamente tales como la forestación u otros medios haciendo que su señal no alcance a estas zonas dejando de esta manera a sus usuarios sin sus servicios, lo mismo ocurre para ciertos sectores en las zonas urbanas debido a que la directividad de las antenas se encuentran hacia otras locaciones con más demanda de usuarios afectando de esta manera el servicio de dicho sector.

### **1.2 Antecedentes**

A través de los años la tecnología GSM se ha vuelto muy conocida por el mundo y es la que ha servido como pilar para llevar a cabo las distintas tecnologías de libre acceso que existen hoy en día, actualmente en el mundo el 90% de las operadoras de telefonía celular cuentan con el servicio de GSM.

Ecuador al ser un país que no es tan propenso a catástrofes naturales como lo es un terremoto, tsunami y entre otros, este no cuenta con un sistema de emergencia adecuado para alertar o mantener informado a la población al momento de que las operadoras celulares colapsen debido a la falta de preparación en dichas situaciones de riesgo.

Las distintas zonas rurales dentro del país durante años han vivido con el problema de la falta de comunicación debido a que las distintas operadoras que existen colocan la directividad de sus antenas donde se encuentra una demanda mayor de usuarios dejándolos de esta manera sin cobertura celular, siendo así un gran problema en el día a día para los habitantes de estas zonas.

OPENBTS es una plataforma diseñada por Range Network que utiliza diferentes librerías de software para el desarrollo de un servicio GSM portátil que puede ser configurada de acuerdo a los requisitos del usuario para poder enviar SMS totalmente independiente de una operadora a la cual se encuentre suscrito el usuario.

### **1.3 Importancia**

Es muy importante de que el país tenga la preparación adecuada al momento de que suceda alguna catástrofe natural con un sistema de comunicación de emergencia como lo es la OPENBTS, la cual permitirá a las principales instituciones de servicio mantener alertado mediante un SMS unidireccional a la población que se encuentre dentro del rango en el caso de que las operadoras celulares colapsen y así prevenir a los usuarios que se encuentran con falta de información.

Las zonas rurales con un sistema de emergencia GSM portátil será un gran avance tecnológico para aquellos usuarios que se encuentran con falta de comunicación, ya que gracias a este sistema podrán recibir información mediante un SMS alertándolos de cualquier situación que pueda ocurrir.

Para la Universidad Politécnica Salesiana al contar con esta tecnología lograrán que los estudiantes puedan poner en práctica todos los conocimientos teóricos del área de Telecomunicaciones impartidos por los docentes y así fomentar a las investigaciones para lograr más avances tecnológicos en la telefonía celular.

## 1.4 Alcance

Este proyecto prototipo de una estación base de emergencia para mensajería puede tener grandes alcances tecnológicos con un presupuesto mayor, a continuación se detallarán algunos de los alcances que este puede lograr:

- **Mayor alcance de cobertura celular:** Esto se puede lograr teniendo en cuenta un amplificador de potencia para el USRP, hay que tener en cuenta el tipo de amplificador a seleccionar de acuerdo al proyecto a implementar, en el caso de mensajería GSM hay que tener en cuenta la frecuencia de trabajo la cual es 824-960MHz y 1710-1990MHz. Las repetidoras es otro método que se puede implementar para que la señal que genera la OPENBTS tenga mayor alcance a comparación de los 10m máximos que puede llegar a tener el prototipo propuesto. La antena a utilizar es importante para tener un mayor alcance, ya que estas tienen diferentes configuraciones tales como la potencia, el patrón de radiación y entre otros.
- **Tecnología a implementar:** Otros alcances importantes que se puede lograr es el tipo de información a enviar por medio de la OPENBTS, ya que se puede realizar una configuración para el envío de mensajes multimedia si se implementa la tecnología UMTS o LTE utilizando los requerimientos de equipos necesarios para la transmisión de los mismos.
- **Como servicio de pago:** El alcance más grande que puede llegar a tener este prototipo con gran presupuesto, es utilizarlo como una operadora nueva privada, el cual utilizando todos los servicios anteriormente mencionados y un sistema de mensajería y llamadas bidireccionales, los usuarios pueden tener el servicio para mantenerse comunicados entre sí por un pequeño costo.

Los alcances que se pueden lograr con este proyecto prototipo pueden ser de gran beneficio para el país en momentos de una emergencia o como un servicio de costo en el día a día, especialmente para los usuarios que habitan las zonas rurales y no cuentan con un servicio eficaz de las distintas operadoras.

## **1.5 Delimitación del Problema**

### **1.5.1 Delimitación Temporal**

El presente proyecto de estudio esta propuesto para realizarlo durante el periodo del año 2016-2017.

### **1.5.2 Delimitación Espacial**

Se realizó pruebas de manera automática en campo abierto dentro de las zonas donde la cobertura celular no es la adecuada debido a la falta de señal por los diferentes factores que puede presentar, la localización seleccionada es el local "PARADERO RÍO DAULAR" ubicado en el Km 36 $\frac{1}{2}$  Vía a la Costa.

Se realizó pruebas de conectividad manual en el laboratorio de Telecomunicaciones ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, de manera adicional se utilizó una Jaula de Faraday para simular zonas sin cobertura celular.

El rango de cobertura de la OPENBTS es de aproximadamente de 5-10mts.

### **1.5.3 Delimitación Académica**

El prototipo se puede utilizar para el aprendizaje de las materias de la carrera de Ingeniería Electrónica tales como, medios de transmisión, antenas, comunicaciones digitales, redes de comunicaciones, señales y sistemas, propagación, redes inalámbricas.

Los elementos utilizados para este prototipo son los siguientes:

- Hardware USRP 2920 de National Instruments proporcionado por la Universidad Politécnica Salesiana.
- Antena VERT400 con frecuencia de trabajo de 824-960MHz y 1710-1990MHz adecuada para la banda GSM.
- Máquina virtual versión 5.1.26 actualizada constantemente por los desarrolladores.
- Sistema operativo Linux con distribución UBUNTU 10.04 de 64bits.
- Software OPENBTS versión 2.6 para el sistema operativo Linux con distribución UBUNTU.

- Laptop HP DV7 7373CA de 64bits con sistema operativo Windows 10, memoria RAM de 12 GB, tarjeta de video NVIDIA GT650M de 2GB y 2TB de capacidad en su disco duro, equipo personal del autor.
- Teléfonos celulares que utilicen la tecnología GSM.

## **1.6 Justificación**

Este proyecto está pensado para esos sectores en donde la señal para la comunicación no es tan fuerte, ya que existen algunos factores que se pueden presentar, ya sea por la propagación en el medio por causa de la forestación u otros obstáculos existentes, la cobertura en donde se encuentra direccionada la antena (Azimuth), entre otros.

Por esa razón se requiere implementar una pequeña estación base prototipo de bajo presupuesto (OPENBTS) en donde los usuarios se engancharán de forma automática debido a que los teléfonos celulares al momento de realizar el escaneo de una red estos siempre se conectarán a la que tengan mayor potencia, esta estación base será utilizada para un sistema de mensajería (Mobile Terminator) hacia cualquier teléfono celular sin importar la operadora a la cual este suscrito para que de esta manera la persona que manipulará la OPENBTS pueda mantener informado a los habitantes del sector que se encuentren dentro de la cobertura, el proyecto también está enfocado para ayudar a las diferentes instituciones, tales como la policía, cuerpo de bomberos, instituciones escolares, entre otros, para que estos puedan brindar ayuda en los casos de emergencia cuando las RBS de las distintas operadoras colapsan a causa de algún factor, ya que mediante un SMS sin costo alguno se podrá prevenir a los usuarios que se encuentren dentro de la cobertura de algún problema que se presente y así poder tomar las precauciones necesarias.

## **1.7 Variables e Indicadores**

### **1.7.1 Variables**

- Configurar la OPENBTS para el envío de SMS y prevenir situaciones de emergencia.



### **1.7.2 Indicadores**

- Recepción de SMS en cualquier teléfono celular sin importar a la operadora que este registrado.

## **1.8 Objetivos**

### **1.8.1 Objetivo General**

Diseñar una Radio Base con la tecnología GSM utilizando el Hardware USRP 2920 de la plataforma National Instruments para mensajería en caso de emergencias, en donde los teléfonos que se encuentren registrados en las operadoras Claro, Movistar, CNT podrán recibir SMS al momento de engancharse a nuestra RBS los cuales se enviarán desde la OPENBTS, de esta manera se podrá alertar a los usuarios que se encuentren dentro de la cobertura sobre algún problema para tomar las precauciones necesarias.

### **1.8.2 Objetivos Específicos**

- Realizar escaneo de las RBS cercanas de las operadoras de telefonía celular: Claro, Movistar, CNT mediante la aplicación celular G-NetTrack para la configuración interna de la BTS clonada.
- Utilizar el Software OPENBTS para configurar la interfaz inalámbrica de radio en donde los teléfonos celulares detectarán nuestra red GSM para poder recibir los SMS de emergencia.
- Realizar el registro de los teléfonos celulares que se encuentren dentro de la cobertura de manera automática mediante la antena VERT400 que utilizará el USRP 2920.

## **1.9 Metodología**

Para el desarrollo del proyecto se han utilizado los siguientes métodos y técnicas.

### 1.9.1 Métodos

**Método Deductivo:** Para la implementación de la RBS de emergencia utilizando el equipo USRP 2920 se aplicó los conocimientos adquiridos de aplicaciones de Radios definidas por Software, Antenas y Comunicaciones Digitales para manejo del equipo, la programación realizada en el sistema operativo Linux con distribución UBUNTU se aplicó los conocimientos adquiridos en Redes de Comunicaciones.

**Método Inductivo:** Para la implementación de este proyecto se tomó como referencia el funcionamiento de las RBS existentes dentro de la ciudad, así mismo se basó en prototipos anteriores para que de esta manera se pueda brindar una aplicación adicional y actualizada para un uso más eficaz para beneficio de los distintos usuarios de las zonas afectadas.

### 1.9.2 Técnicas

**Experimental:** Se utilizó esta técnica para desarrollar pruebas preliminares en la captura de señales, de esta manera determinar los parámetros necesarios para poder realizar las respectivas configuraciones del equipo y así poder trabajar sin problemas en el rango de frecuencias requeridas para la banda celular GSM de las distintas operadoras móviles que brindan servicio al país en donde se realizará el prototipo.

## 1.10 Población y Muestra.

### 1.10.1 Población

La población son todas las personas que se encuentren en el rango de la RBS.

### 1.10.2 Muestra

La muestra son las distintas localizaciones, en donde una persona dentro de la misma será la encargada de manipular el equipo para el envío de SMS para prevenir a los demás de alguna situación.

## **1.11 Descripción de la propuesta**

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de mantener informados a los usuarios de ciertos sectores en donde la señal de la cobertura celular no es lo suficientemente fuerte debido a distintos factores que se puedan presentar en el medio donde se encuentre, ya sea esta por la propagación en el medio a causa de la cantidad de forestación que pueda existir, la directividad con la que se encuentre las antenas de las distintas operadoras, etc.

Este proyecto también se realizó con el fin de implementarlo en las distintas instituciones de servicio como por ejemplo la policía, bomberos, instituciones escolares, entre otros, en caso del colapso de las RBS de las operadoras, de esta manera se quiso lograr un sistema de comunicación sencillo para que se pueda mantener informados a las personas que se encuentren dentro de la cobertura de la OPENBTS mediante un SMS sin costo alguno el cual será enviado desde la central por el usuario que opere la RBS y así cuando se presente una situación de riesgo tales como, catástrofes naturales u otros problemas que puedan ser un peligro para los demás, se los pueda alertar del mismo y así poder tomar las precauciones necesarias.

### **1.11.1 Beneficiarios**

Los principales beneficiarios son todos los usuarios que se encuentren en el rango de la RBS al momento de que la persona encargada envíe el SMS.

### **1.11.2 Innovación**

El presente proyecto presenta una manera más ágil y eficaz de enviar un SMS a todos los dispositivos móviles a la vez mediante un script, una vez que estos se encuentren registrados en la OPENBTS.

De igual manera este proyecto innovará los medios de comunicación como se lo conoce hasta el momento, ya que el uso del mismo puede llegar a tener grandes avances y alcances tecnológicos con respecto al servicio de telefonía celular y sus servicios.

### **1.11.3 Impacto**

El presente proyecto impulsará las investigaciones en el área de las Telecomunicaciones utilizando como medio principal la tecnología empleada por las Radios definidas por Softwares y las diferentes aplicaciones que se puede realizar con las mismas, ya sean estas de alto o bajo presupuesto, ya que al momento los problemas que presentan ciertas zonas por la falta de cobertura pueden ser un gran problema para los usuarios que habitan en las mismas.

Así mismo la Universidad Politécnica Salesiana al contar con esta tecnología las clases brindadas a sus estudiantes se pueden convertir en un gran avance a la tecnología, ya que al demostrar las clases teóricas impartidas por sus docentes mediante la práctica de estos equipos los impulsarán aún más a realizar investigaciones científicas de los mismos debido a la cantidad de aplicaciones que se puede realizar.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Sistema de Comunicaciones Móviles GSM

Esta tecnología es un sistema común, privilegiado de la telefonía móvil digital, el usuario con GSM (Global System for Mobile Communication) puede enviar y recibir correos electrónicos, acceso a la red, transmisión de datos y SMS (Short Message Service).

La estructura de la red GSM está dividida en varios niveles jerárquicos denominados subsistemas. Empezando por la MS (Mobile Station) la cual es donde se encuentra el usuario que recibirá el servicio de telefonía, esta consiste en dos elementos: el ME (Mobile Equipment) y una tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) que le permite acceder a la red y obtener los servicios que esta le ofrezca, además cada equipo móvil cuenta con su propio número de identificación internacional grabado por el mismo fabricante y es único, este es denominado como IMEI (International Mobile Station Equipment Identity).

La estación móvil se conecta por medio de la interfaz aire Um (User Mobile) a la BTS (Base Transceiver Station) más cercana, esta dispone de los dispositivos para poder realizar la transmisión y recepción de las señales de radio, incluyendo las antenas para entablar la conexión con el móvil y la red GSM. Las distintas BTS hacen parte del subsistema BSS (Base Station Subsystem) las cuales también cuentan de un BSC (Base Station Controller).

La función de la BSC es gestionar y asignar los canales de radio de las BTS, cuando el usuario se encuentra en movimiento esta también se encarga de controlar los saltos de frecuencias y la transferencia de llamadas entre las BTS. La conexión entre la MS (Mobile Station) y MSC (Mobile Switching Center) está representada por la BSC, están forman parte del subsistema llamado NSS (Network Subsystem).

El MSC agrupa BSS por enlaces terrestres de microondas, este controla la señalización, procesamiento de señales, transferencia de llamadas entre células, el ruteo de las llamadas, funciones básicas de conmutación y manejo de interfaces con otras MSC. La GMSC (Gateway Mobile Switching Center) es otro tipo de MSC, el cual proporciona el enlace a la red telefónica pública, la NSS también consta de varias bases de datos para llevar a cabo las funciones del registro de movimiento de usuarios y del control de llamadas dentro de la PLMN (Public Land Mobile Network),

estas bases de datos permiten la itinerancia, estas conllevan la información de seguridad completa de los equipos registrados como lo es la copia de los códigos PIN (Personal Identification Number), el objetivo de esto es evitar que se puedan registrar números de teléfonos no permitidos. HLR (Home Location Register), VLR (Visitor Location Register) y AUC (Authentication Center) estas son bases de datos las cuales se aplican como un concepto de red inteligente para GSM. El cambio de una estación base hacia otra en una llamada es realizado por la estación móvil, la cual es la que monitorea los niveles de señal recibida y la tasa de error de todas las estaciones bases que lo rodean para poder realizar la transferencia, este proceso se aplica solo para GSM.

El organismo responsable por la estandarización del sistema de telefonía móvil GSM es la ETSI (European Telecommunications Standards Institute), la cual es la encargada de brindar a los fabricantes de los equipos y las operadoras de red de todo el mundo las especificaciones técnicas, este organismo ha dividido el estándar en series las cuales cada una tratan sobre temas específicos del funcionamiento de la tecnología GSM. (Muñoz, 2002)

**Tabla 1.** Series de especificaciones GSM.

Serie	Tema
01.xx	Aspectos Generales
02.xx	Normas de Servicio
03.xx	Características de Red
04.xx	Interfaz y Protocolos entre (MS – BS)
05.xx	Capa Física de Red (Interfaz de radio)
06.xx	Codificación de la Voz
07.xx	Adaptadores de terminales MS
08.xx	Interfaces BS – MSC
09.xx	Interfuncionamiento de Redes
10.xx	Interfuncionamiento de Servicios
11.xx	Especificaciones y Homologación
12.xx	Operación y Mantenimiento

**Nota:** Um se encuentra en las series 04.xx y 05.xx donde se definen las frecuencias más comunes. **Fuente:** (Cerdan, 1997)

La tecnología GSM utiliza una combinación de técnicas denominadas FDMA (Frequency Division Multiple Access) y TDMA (Time Division Multiple Access) en un espectro de 25MHz en total, la multiplexación se realiza utilizando la técnica FDMA en donde se divide el espectro en 125 canales cada uno de 200KHz y a su vez cada canal es dividido en 8 ranuras de tiempo mediante la técnica TDMA.

La banda GSM se la divide en dos utilizando la técnica FDD (Frequency Division Duplex), a una de estas bandas de frecuencias se la define como ascendente denominada como “uplink” y a la otra banda de frecuencia se la define como descendente denominada como “downlink”, estas son las bandas recomendadas por la ETSI utilizadas en los diferentes países por las respectivas operadoras para brindar servicio de telefonía móvil a los usuarios.

**Tabla 2** *Bandas de frecuencias GSM y números de canal ARFCN.*

	<b>GSM – 850</b>	<b>GSM – 900</b>	<b>GSM – 1800</b>	<b>GSM – 1900</b>
	<b>MHz</b>	<b>MHz</b>	<b>MHz</b>	<b>MHz</b>
<i>Rango de frecuencia uplink</i>	824 – 849 (MHz)	890 – 915 (MHz)	1710 – 1785 (MHz)	1850 – 1910 (MHz)
<i>Rango de frecuencia downlink</i>	869 – 894 (MHz)	935 – 960 (MHz)	1805 – 1880 (MHz)	1930 – 1990 (MHz)
<i>ARFCN</i>	128 – 251	1 – 124	512 – 885	512 – 810
<i>Offset</i>	45 MHz	45 MHz	95 MHz	80 MHz

**Nota:** El número ARFCN especifica los canales uplink y downlink.

**Fuente:** (Cerdan, 1997)

### 2.1.1 El subsistema GSM

La red GSM se divide en tres subsistemas los cuales son:

- BSS (Base Station Subsystem)
- NSS (Network Subsystem)
- IN (Intelligent Network Subsystem)

### **2.1.1.1 El subsistema de estación base (BSS)**

A este subsistema también se lo conoce como como red de radio, donde abarca todos los nodos y funcionalidades que son fundamentales para establecer una conexión de forma inalámbrica los dispositivos móviles por medio de la interfaz de radio a la red.

### **2.1.1.2 El subsistema de red (NSS)**

A este subsistema también se lo conoce como red central en donde abarca todos los nodos y funcionalidades para la conmutación de llamadas, por gestión de abonados y movilidad.

### **2.1.1.3 El subsistema inteligente de red (IN)**

Este subsistema abarca las bases de datos de SCP (Service Control Point), las cuales añaden funcionalidad opcional a la red. Uno de los opcionales más importantes en el funcionamiento de una red móvil es el servicio de prepago el cual permite al usuario móvil utilizar servicios de red como llamadas telefónicas, SMS y servicios de datos como GPRS (Global Packet Radio System) y UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) mediante una cierta cantidad de dinero ingresada. (Sauter, 2011)

## **2.1.2 Responsabilidades del subsistema de red**

Las responsabilidades más importantes de la NSS es la conectividad y encaminamiento de llamadas de llamadas entre centro de conmutación fijas y móviles. Otras redes son por ejemplo la red de telefonía fija nacional que es conocida también como PSTN (Public Switched Telephone Network), red de telefonía fija internacionales, otras redes móviles nacionales e internacionales y VoIP.

### **2.1.2.1 El Centro de Conmutación Móvil (MSC)**

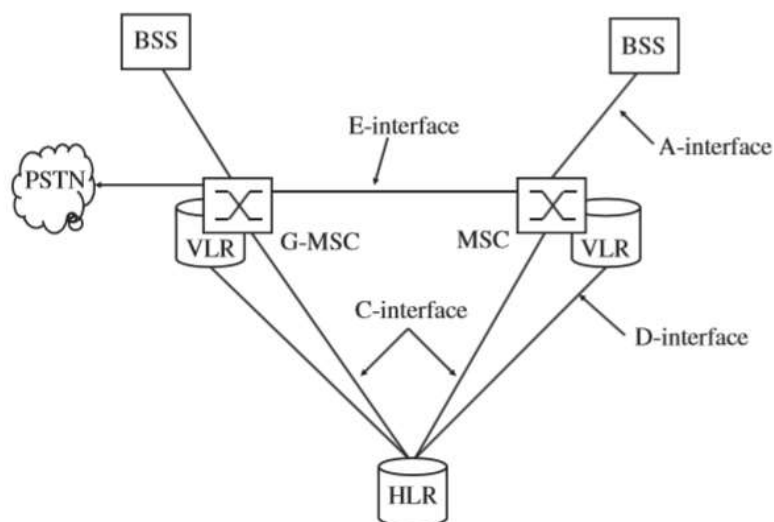
Este es el elemento central de una red de telecomunicaciones móviles que también es conocida como PLMN. En una red de conmutación de circuitos clásicos todos los enlaces entre los dispositivos son gestionados por el MSC y siempre se controlan por la matriz de conmutación, inclusive si dos abonados que han establecido una conexión se comunican a través de la misma célula de radio.



En una red de conmutación de circuitos virtual, el MSC se divide en dos partes la cuales son: el servidor MSC-S y la MG (Media Gateway), en donde la MG fundamentada en IP (Internet Protocol) reemplaza la matriz de conmutación, mientras que el MSC-S comprende la misma lógica de gestión de abonados y control de llamadas como el CPU (Central Processing Unit) de un MSC clásico.

Las actividades de gestión para establecer y conservar una conexión son parte del protocolo de control de llamada:

- Registro de abonados móviles: Cuando el dispositivo móvil (MS) esta encendido, este se registra en la red y se vuelve accesible por todos los abonados de red.
- Establecimiento de llamada y enrutamiento de llamadas entre dos usuarios registrados.
- Envío de SMS.



**Figura 2.1.** Interfaces y nodos de la NSS. **Fuente:** (Sauter, 2011)

La MSC también es responsable de la movilidad de los abonados:

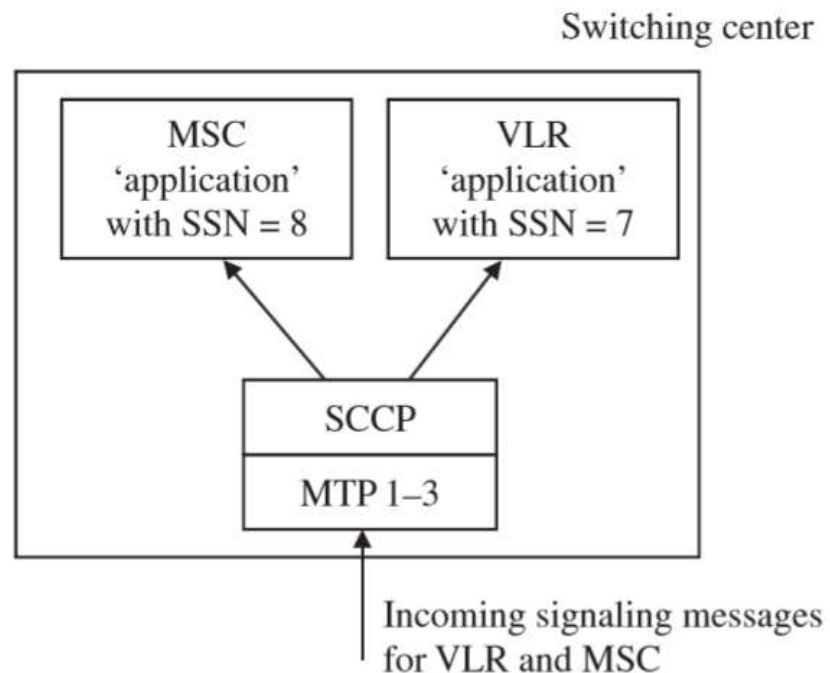
- La autenticación de los abonados al asentamiento de la conexión es necesaria por motivo de que un abonado no puede ser reconocido como en la red fija por el par de cables de cobre sobre las que llega la señal.

- Si no existe una conexión activa entre la red y el abonado, el MSC debe informar un cambio de ubicación en la red para ser para las llamadas entrantes y SMS.
- Si el dispositivo móvil cambia de ubicación mientras se crea una conexión con la red, el MSC se asegura que la conexión no se suspenda y se redirige a la siguiente celda.

### 2.1.2.2 Localización de visitantes registrados (VLR)

Este sistema se utiliza para disminuir la señalización entre la MSC y el HLR, si un dispositivo se desplaza hacia el área de un MSC, estos datos se copiarán en el VLR de dicha área para luego la información pueda estar disponible localmente en cada conexión.

La comprobación de registro del abonado es importante ya que esta contiene toda la información sobre los servicios activos y los que se bloqueará al abonado, como por ejemplo mientras se mantiene una llamada entrante no se podrá realizar una llamada saliente, de esta manera se evita el abuso del sistema.



**Figura 2.2.** Centro de conmutación móvil con integración de localización de visitantes registrados. **Fuente:** (Sauter, 2011)

### 2.1.2.3 Registro de posiciones (HLR)

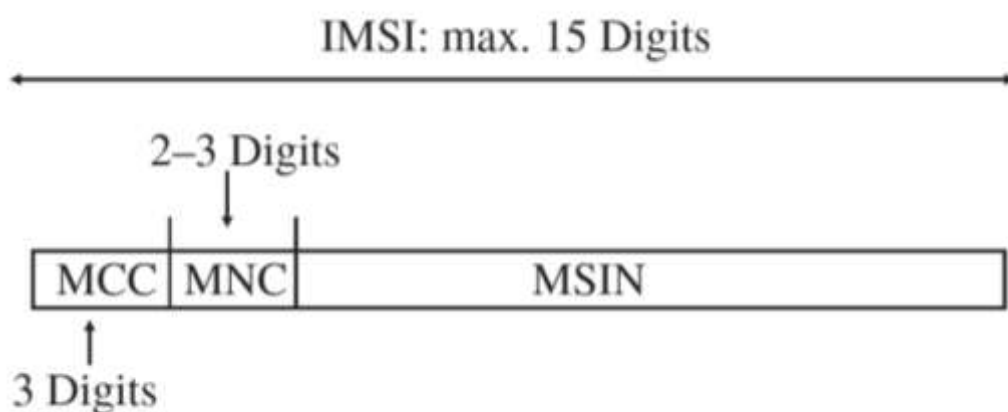
Este subsistema es la base de datos de un abonado GSM el cual incluye un registro para cada uno, donde abarca información sobre los servicios vacantes de forma individual.

La IMSI (International Mobile Subscriber Identity) es un número único a nivel internacional donde se lo identifica a un usuario y se lo usa para la mayoría de señalización relacionada con el abonado de la red.

La IMSI se almacena en el módulo de identidad de abonado de la tarjeta del usuario (SIM) y en el HLR, por lo tanto, contiene la clave de toda la información sobre el abonado.

El IMSI consta de lo siguiente:

- **El código de país móvil (MCC):** Es la identificación del país de origen en donde se encuentra el abonado.
- **El código de red móvil (MNC):** Es la identificación nacional de la red doméstica de un abonado. Esto es necesario ya que existen varias redes móviles en un solo país.
- **Identificación de número del abonado móvil (MSIN):** Los siguientes dígitos del IMSI forman el MSIN que solamente identifica a un abonado dentro de la red doméstica.



**Figura 2.3.** Identidad del abonado móvil internacional. **Fuente:** (Sauter, 2011)

**Tabla 3** Códigos móviles de países.

<b>MCC</b>	<b>País</b>
234	Reino Unido
310	Estados Unidos
228	Suiza
208	Francia
262	Alemania
604	Marruecos
505	Australia

**Nota:** Identificación país de origen en donde se encuentra el abonado.

**Fuente:** (Sauter, 2011)

Aparte de la IMSI y la MSISDN, el HLR abarca una variedad de información acerca de cada usuario, así como los servicios que los abonados pueden utilizar (servicios básicos) como otros tipos de servicios que pueden ser activados en una base por abonado (servicios suplementarios).

**Tabla 4** Servicios básicos de una red GSM.

<b>Servicios Básicos</b>	<b>Descripción</b>
Telefonía	El abonado puede utilizar los servicios de telefonía de voz de la red.
Servicio de mensajería (SMS)	El abonado puede utilizar los servicios de mensajería.
Servicio de datos	Diferentes servicios de datos con conmutación de circuitos se pueden activar para un abonado con velocidades de 2.4, 4.8, 9.6 y 14.4 kbits/s en llamada de datos.

**Nota:** Servicios básicos de una red GSM con los que cuenta un abonado.

**Fuente:** (Sauter, 2011)

**Tabla 5** Servicios suplementarios de una red GSM.

<b>Servicios Suplementarios</b>	<b>Descripción</b>
<i>Desvío de llamadas incondicional (CFU)</i>	<i>Un número puede ser configurado para que desvíe las llamadas entrantes inmediatamente, es decir, el móvil será notificado.</i>
<i>Desvío de llamadas ocupadas (CFB)</i>	<i>Define un número donde se reenviará las llamadas cuando éste se encuentre ocupado.</i>
<i>Desvío de llamadas sin respuesta (CFNRY)</i>	<i>Desvía la llamada a un número definido por el usuario si este no contesta en un momento determinado, también puede definir el tiempo de espera.</i>
<i>Desvío de llamadas no accesibles (CFNR)</i>	<i>Desvía la llamada si el dispositivo móvil si está conectado a la red pero no tiene servicio (pérdida temporal de la cobertura).</i>
<i>Prohibición de todas las llamadas salientes (BAOC)</i>	<i>El abonado no puede realizar llamadas si por ejemplo no se ha cancelado la factura mensual a tiempo (solo puede recibir llamadas).</i>
<i>Prohibición de todas las llamadas entrantes (BAIC)</i>	<i>La misma función que cumple el BAOB pero para llamadas entrantes.</i>
<i>Llamada en espera (CW)</i>	<i>Esto permite la señalización de una llamada entrante a un abonado, es decir, puede poner en espera a la llamada en curso para responder a la nueva.</i>

<b>Servicios Suplementarios</b>	<b>Descripción</b>
<i>Llamando a la línea de identificación, presentación (CLIP)</i>	<i>Si es activado por el abonado permite transmitir el número de la persona que llama al centro de conmutación.</i>
<i>Llamando a la línea de identificación, restricción (CLIR)</i>	<i>Si es permitido por la red, el usuario puede indicar a la red que no muestre su número de teléfono a la persona que recibirá la llamada.</i>
<i>La presentación de la línea conectada ((COLP) Restricción de presentación de la línea conectada (COLR)</i>	<i>Muestra la parte que llama MSISDN al que se desvía una llamada, si el desvío de llamadas está activo en el receptor. Si se activa en la parte llamada, el usuario que llama no será notificado de la MSISDN al que se desvía la llamada.</i>
<i>Multipartidista (MPTY)</i>	<i>Permite a los abonados establecer comunicación hasta con 6 usuarios a la vez.</i>

**Nota:** Servicios suplementarios de una red GSM, los cuales el abonado puede activarlo si este lo desea. **Fuente:** (Sauter, 2011)

#### **2.1.2.4 El centro de autenticación**

La AUC comprende una tecla individual por abonado (Ki), la cual es una copia de la Ki de la tarjeta SIM del usuario. Cuando la Ki es secreta impide que se lea directamente la información del abonado.

Para las operaciones de red el usuario es identificado mediante el uso de esta clave, como por ejemplo cuando está en curso una llamada telefónica, esto asegura al abonado que no hay un tercero mal intencionado.

El proceso de autenticación empieza cuando un usuario entabla una conexión de señalización con la red antes de la solicitud actual (petición de establecimiento de llamada). El primer paso del proceso el MSC solicita un triplete de autenticación del HLR/AUC, el AUC recobra la Ki del usuario y el algoritmo de autenticación (algoritmo A3) en base a la IMSI del usuario que es parte del mensaje del MSC.

La llave Ki a continuación se la usa con el algoritmo A3 y un número aleatorio para generar el triplete de autenticación que abarca los siguientes valores:

- **RAND:** Un número incierto de 128 bits.
- **SRES:** Esta es la respuesta firmada la cual se genera mediante la utilización de la llave Ki, RAND y el algoritmo A3 de autenticación, tiene longitud de 32 bits.
- **Kc:** Es la clave de cifrado la cual se genera mediante el uso de la llave Ki y RAND, se la usa para el cifrado de la conexión una vez que la autenticación se ha realizado con éxito. (Sauter, 2011)

## 2.2 Universal Software Radio Peripheral (USRP)

Los NI USRP (National Instruments, Universal Software Radio Peripheral) son transceptores de radios definidas por software inalámbrico, estos están diseñados para la enseñanza de transmisiones. El USRP es un equipo asequible y de fácil manejo de aplicaciones para RF como lo es el registro, reproducción, comunicación de la capa física, el control del espectro y más, esta plataforma también es programable con el software Labview la cual le permite una mayor productividad con un enfoque de programación gráfica.

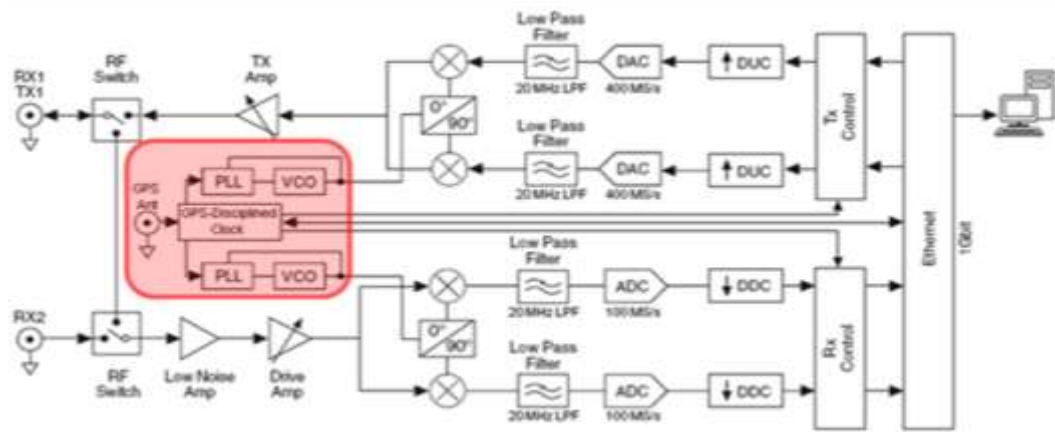
La plataforma USRP tiene la capacidad de transmitir y recibir señales RF a través de una extensa gama de frecuencias que puede llegar hasta los 20MHz de ancho de banda en tiempo real, esta capacidad con la que consta el equipo le permite una gama de aplicaciones RF/comunicación que cubren los estándares tales como la televisión digital, radiodifusión, celular GSM, GPS (Global Positioning System), 802.11 (WIFI) y ZigBee.

La plataforma USRP otorga a los ingenieros diseñar e implementar sistemas de radio de gran alcance con la amplia selección de placas hijas las cuales abarcan una gran gradación de reiteración. El USRP está diseñado para el acople ideal eléctrica y mecánicamente con tarjetas adicionales como transmisores, receptores,

receptores de televisión, etc. Ya que así se consigue un traslado ideal de información entre la sección banda base de IF y de RF con la frecuencia con la que se desea transmitir.

Mediante el acoplamiento del equipo con la PC se pretende procesar integralmente toda forma de onda, es decir, todo lo referente a la modulación y demodulación de las ondas se realizarán en la computadora, mientras que todo lo relacionado al rendimiento del trabajo a realizar como las operaciones de gran velocidad de conversión, interpolación, etc. esto lo realiza el FPGA (Field Programmable Gate Array) del equipo.

El equipo USRP modelo 293X a diferencia del 2920 posee un reloj de referencia GPS, el cual proporciona una mejor precisión de la frecuencia y capacidad de sincronización. (CSC Corporate Domains, Inc., 1994)

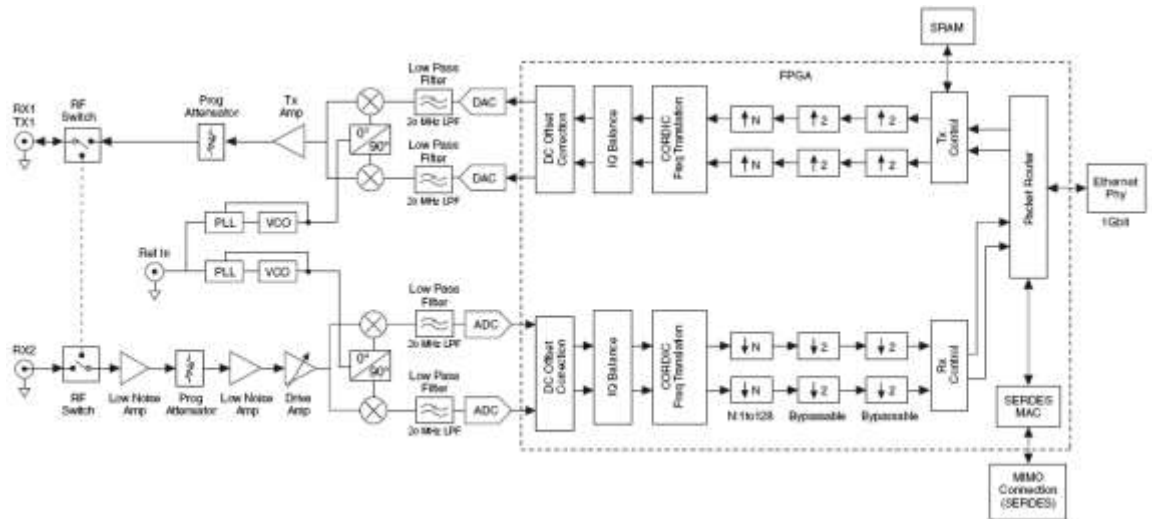


**Figura 2.4.** Diagrama de bloques del NI USRP modelos 293X con reloj de referencia GPS integrado. **Fuente:** (CSC Corporate Domains, Inc., 1994).

Este equipo 2920 implementa convertidores analógico-digiales de alta velocidad y convertidores digital-analógicos esto lo realiza la FPGA la cual permite la reducción de frecuencia digital y los pasos de conversión ascendente digital. La parte receptora del equipo empieza con un extremo frontal analógico altamente sensible capaz de recibir señales muy pequeñas y digitalización usando conversión descendente directo en fase (I) y en cuadratura de señales de banda base (Q), downconversion es seguido por la alta velocidad de conversión de analógico-digital y un DDC que reduce la velocidad de muestreo y empaqueta I & Q para la transmisión a una PC central usando el puerto Gigabit Ethernet para su posterior procesamiento.



La cadena transmisora comienza con la PC central, donde I & Q se generan y se transfieren por medio del cable Ethernet al equipo USRP a DUC para preparar las señales para el DAC, en donde la mezcla IQ se produce a conversión ascendente directamente las señales para producir una señal de frecuencia RF que luego se amplifica para la transmisión.



**Figura 2.5.** Diagrama de bloques del NI USRP modelo 2920

**Fuente:** (CSC Corporate Domains, Inc., 1994).

### 2.2.1 El sistema MIMO

Al sistema MU-MIMO (Multiple Input, Multiple Output) se lo ha hecho referencia como SDMA (Space Division Multiple Access), ya que, los usuarios que estén transmitiendo al mismo tiempo y frecuencia pueden separarse utilizando sus diferentes firmas espaciales. De una manera parecida como el OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) añade capacidades de Acceso Múltiple (multi-usuario) para OFDM, así mismo MU-MIMO añade Acceso Múltiple (multi-usuario) a las capacidades MIMO.

En las redes celulares GSM la BTS es consciente de la ubicación del teléfono móvil mediante una técnica llamada Avance de la Sincronización. Se puede utilizar para apagar la BTS o MS si en la red se implementa una característica de control de potencia, este control se lo implementa en la mayoría de las redes actuales, especialmente en las EM, ya que esto afirma una mejor vida para la batería del MS y por lo tanto un rendimiento mejor para el usuario. (CSC Corporate Domains, Inc., 1994)

### **2.2.2 Introducción a MIMO 8x8**

La teoría de un solo enlace de comunicación MIMO está ganando la acogida de diferentes estándares inalámbricos posteriores, como por ejemplo la tecnología LTE (Long Term Evolution) la cual cuenta con un enlace ascendente de 4x4 MIMO y un enlace descendente de 8x8 MIMO.

Conforme las normas van evolucionando para permitir mayores de tasas de datos, gran número de usuarios y conexiones más seguras, se implementarán nuevos algoritmos para simular y verificar en la realidad. Conforme la competitividad de investigación para la financiación aumenta, el desarrollo de prototipos está proporcionando un nivel más profundo de rigor mediante la determinación de la eficacia de los nuevos tipos de algoritmos más allá de un canal simulado. Off the shelf, radios definidas por software son soluciones escalables que brindan a los investigadores una ventaja convincente cuando se trata de prototipos de sus algoritmos realizados en bajo costo con el mismo rendimiento proporcionado por uno de mayor costo.

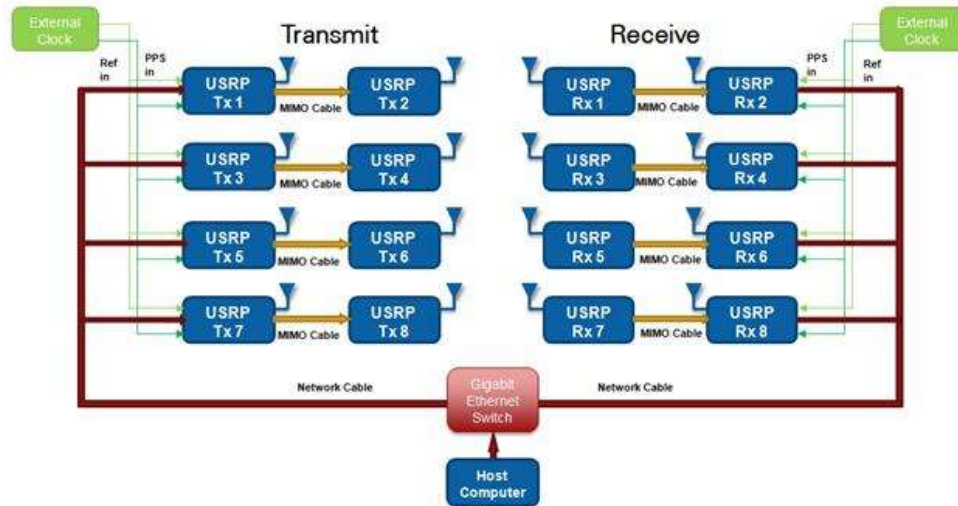
### **2.2.3 Arquitectura del sistema MIMO**

Los dispositivos USRP se pueden mezclar para formar una red de antenas de fase coherente para la transmisión y recepción. Los elementos claves del banco de prueba MIMO que escala desde 2x2 hasta 8x8 configuraciones de antenas, es decir, consta de 8 transmisores y 8 receptores son la frecuencia y sincronización de tiempo y el ancho de banda del bus de datos.

#### **2.2.3.1 La frecuencia y sincronización de hora**

Un banco de pruebas típico MIMO necesita que todos los canales Rx o Tx funcionen como un solo receptor o transmisor con la frecuencia y la sincronización del tiempo y oscilador local de fase coherente. El banco de prueba MIMO 8x8 consigue un funcionamiento sincronizado mediante el intercambio de un reloj de 10MHz y la base de tiempo PPS entre 8 equipos USRP. Así como se muestra en el diagrama de bloques, cuatro equipos USRP están conectados directamente a cada señal de referencia que se comparte a continuación sobre el cable de MIMO y sincronización de datos para otros 4 dispositivos USRP.

Esto sincroniza los ocho dispositivos USRP en tiempo y frecuencia con la coherente LO que se origina de un único reloj de referencia de 10MHz. El hardware utilizado para producir el reloj es un OCXO el cual suministra una fuente de frecuencia muy precisa que funciona sin una antena GPS instalada, en caso de colocarse una antena GPS mejorara aún más la sincronización a través de esta. (CSC Corporate Domains, Inc., 1994)



**Figura 2.6.** Diagrama de bloques del sistema MIMO.

**Fuente:** (CSC Corporate Domains, Inc., 1994)

En esta aplicación las conexiones usuales coaxiales BNC (T) se separan las señales de sincronización que permite el doble de los primeros 4 dispositivos USRP. El thunderbolt provee una referencia de 10MHz aproximadamente de señales de 7dBm y un PPS 2,4V. Al dividir la señal dos veces da como resultado 1dBm y referencias de 0,6V que se encuentra cerca de los niveles de entrada Ref In y el PPS a sus niveles de potencia recomendados si las señales de referencia se dividen además de asegurar una correcta sincronización.

**Tabla 6** Lista de piezas MIMO 8x8.

<b>Cantidad</b>	<b>Parte</b>
16	SMA conectado, soporte de antena magnética
16	Kit NI USRP 2920
9	Cables Ethernet Cat-5
4	0,3m de cable BNC a BNC

<b>Cantidad</b>	<b>Parte</b>
4	3 contactos hembra BNC (T)
8	3 vias macho-hembra-hembra BNC (T)
16	BNC macho a macho SMA
1	10 puertos de switch Gigabit Ethernet
1	Pc de escritorio con Intel Xenon
1	Tarjeta Gigabit Ethernet PCIe (Chipset Intel)
1	Monitor, teclado, ratón

**Nota:** La lista de piezas incluyen los componentes utilizados para construir el banco de pruebas MIMO. **Fuente:** (CSC Corporate Domains, Inc., 1994)

### 2.2.3.2 Los datos de ancho de banda del bus

La conexión GB Ethernet solamente permite una operación dúplex completa a velocidades de hasta 25ms/s mediante el enlace de un equipo USRP y la PC principal.

En el caso de la plataforma de pruebas MIMO, 16 USRP distribuyen el mismo enlace Ethernet dividen eficazmente el ancho de banda entre el número de canales. El cálculo de la velocidad de datos de un solo equipo USRP funcionando a velocidad completa se encuentra que el 80% del ancho de banda de 1GB Ethernet se emplea antes de que se tome en cuenta cualquier sobrecarga de comunicación.

La tasa IQ máxima está más o menos dividida por la cantidad de dispositivos USRP que compartirán el mismo enlace Ethernet con un poco de sobrecarga adicional el cometido de varios dispositivos simultáneamente. Para el banco de pruebas MIMO 8x8 divide la tasa IQ de 25ms/s por 8, de esta manera la tasa máxima IQ permite 3ms/s de ancho de banda de 3MHz de la banda base para cada transmisor y receptor. La IQ máxima se puede incrementar mediante controladores dedicados de 1GB Ethernet adicionales en el mismo ordenador anfitrión, sin embargo, los cuellos de botella en la memoria y el procesador puede limitar su rendimiento. (CSC Corporate Domains, Inc., 1994)

## **2.2.4 Evaluación del sistema**

Existen varios factores a tener en cuenta al implementar su propio banco de pruebas MIMO con el USRP el cual incluye la ejecución en tiempo real, la alineación de fase vs coherencia de fase y la velocidad de datos completa.

### **2.2.4.1 La ejecución en tiempo real y latencia**

El controlador del sistema y el USRP permite la transmisión de más de 2ms/s de las señales de banda base IQ complejas hacia y desde los ocho transmisores y receptores de procesamiento en tiempo real. Sin embargo, debido a la sobrecarga de procesamiento, la velocidad de transmisión se redujo a 1 OFDM cuadro cada 200ms con el fin de sostener en tiempo real en Windows.

La velocidad de datos resultante es 122,8Kb/s en un canal de ancho de banda 62,5Khz, la configuración alcanza una velocidad de datos de 1,9648bits/s que se encuentra en una marca considerable.

### **2.2.4.2 Fase de alineación vs. Coherencia de fase**

Compartiendo la referencia común de 10MHz entre los USRP permite un oscilador de fase coherente para reducir usando un enfoque de frecuencia fraccional N. Durante la reducción, como la referencia se divide, la fase puede impedir en cualquiera de los bordes, ya sean ascendentes o descendentes produciendo una constante inconsistente de fase en cada canal. En las comunicaciones MIMO estos desplazamientos de fase arbitrarios fijos son mejorados por los mismos algoritmos que realizan la estimación de trayectos múltiples y corrección.

### **2.2.4.3 Velocidad de datos completa**

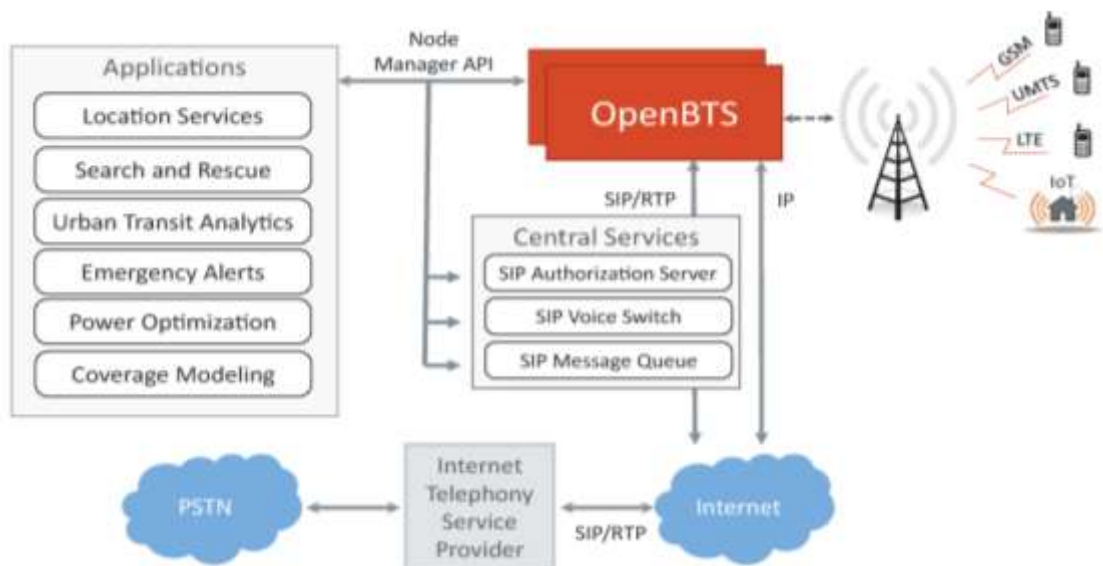
Para lograr una velocidad de datos completa de 1GB Ethernet, se necesita de una tarjeta de red configurada de manera óptima y una PC sin arquitectura estrecha entre la tarjeta de red, la memoria y el procesador. La mejor forma de tener un buen rendimiento es tener una combinación de una PC de escritorio y el chipset controlador Ethernet basado en Intel con el funcionamiento de controlador más actualizado como "Energy Efficient Ethernet" deshabilitado y en la PC "Opciones de energía" colocarlo en "Alto rendimiento".

## 2.3 Plataforma OPENBTS

El software OPENBTS es una aplicación de Linux que emplea radios definidas por software para mostrar una interfaz de aire estándar 3GPP (Third Generation Partnership Project) a los dispositivos móviles de los usuarios, al tiempo que presenta simultáneamente esos equipos como terminales SIP a internet. Esta plataforma crea la base para un nuevo tipo de red inalámbrica que ampliará la cobertura a los mercados no atendidos, también se incluye el ofrecimiento de apoyo a los sistemas de red emergentes.

La OPENBTS es todo el software y todo IP, un teléfono celular o modem se mostrará en la plataforma como un dispositivo SIP sin necesidad de utilizar algún software especial en el dispositivo, para una red pequeña el hardware se puede reducir a un solo servidor mediante un SDR.

Cualquier conexión IP puede ayudar como red de retorno incluyendo Wifi de punto a punto, todo el software se realiza en Linux y se conecta con los protocolos IP que se utilizan comúnmente por lo que la red central se puede virtualizar como un servicio en la nube, el software propietario que se haya en una red celular convencional se puede reemplazar con aplicaciones de código abierto. (Range Networks, Inc., 2008)



**Figura 2.7.** Diagrama de bloque del funcionamiento de la plataforma OPENBTS.

**Fuente:** (Range Networks, Inc., 2008)

### **2.3.1 Hardware**

El software definido por radio es la clave que hace factible la OPENBTS desde la perspectiva del hardware, los SDR se han utilizado en aplicaciones militares por un periodo de 20 años aproximadamente, recientemente se han habilitado para un público más amplio debido al bajo costo de la tecnología y apariciones de nuevas aplicaciones para los SDR.

La versión OPENBTS-GSM (2,5G) soporta los SDR de los distribuidores tales como Ettus Research, Fairwaves y Nuand, así mismo como los SDR1 de la compañía Range Networks donde se encuentra en sus productos kit de desarrollo y estación base, cuyos archivos han sido de código abierto y se puede hallar en Github. (Range Networks, Inc., 2008)

### **2.3.2 Archivo de diseño para el código abierto de la SDR.**

La gama de redes SDR1 radica en dos PCB individuales que trabajan en tándem, conocido como el módulo SDR y módulo RF.

La función que realiza el módulo SDR es facilitar el procesamiento de señales digitales y datos de transferencia entre las señales de RF y el anfitrión, por otra parte, la función que realiza el módulo RF es facilitar la transmisión inalámbrica de los datos.

Las tablas del módulo SDR y RF son de un esquema PCB con dimensiones de 5,5"x3,25", este es un diseño agrupado con un solo conector de interfaz entre ellos. El módulo RF utiliza el mismo diseño de la PCB con diferentes opciones de componentes y puede soportar las bandas de frecuencias de 850MHz, 900MHz, 1800MHz, 1900MHz. (Go Montenegro Domains, LLC, 2009)

La instalación completa de esta plataforma comprende diferentes aplicaciones a instalar tales como:

- OpenBTS
- Transceiver
- SMQueue
- SIPAuthserve

### 2.3.2.1 OPENBTS

Es la que conlleva la mayor parte de GSM para la conexión de los dispositivos móviles, esta se refiere a:

- Funciones TDM L1 (GSM 05.02).
- Funciones FEC L1 (GSM 05.03).
- Controles de potencia y temporización de bucle cerrado L1 (GSM 05.08 y 05.10).
- LAPDm L2 (GSM 04.06).
- Las funciones de gestión de recursos de radio L3 (GSM 04.08).
- Puerta de enlace L3 GSM-SIP para gestión de la movilidad.
- Puerta de enlace L3 GSM-SIP para control de llamadas.
- Puerta de enlace L4 GSM-SIP para SMS.

El rumbo del diseño de OPENBTS es no fijar ninguna función por encima de L3 y L4, es decir, que cada subprotocolo de GSM está bien terminada localmente o traducido a través de una puerta de enlace a algún protocolo para el uso por medio de una aplicación externa, esta plataforma tampoco contiene funciones de transcodificación de voz por encima de las partes FEC L1.

### 2.3.2.2 Transceiver

Es el software del radio modem que realiza las funciones de transceptor de GSM 05.05 y gestiona la interface USB de control del hardware de radio.

OPENBTS admite la modulación GMSK con un 13/48MHz (270,833Khz) y una velocidad de símbolo de separación entre canales de 200KHz. Este soporta las cuatro bandas GSM más comunes.

- GSM 850MHz la cual se utiliza en algunos lugares de la región 2 de la ITU.
- PGSM 900MHz y EGSM 900MHz la cual se utiliza en la mayor parte del mundo.
- DCS 1800MHz la cual se utiliza en la mayor parte del mundo.
- PCS 1900MHz la cual se utiliza en algunos lugares de la región 2 de la ITU.



### **2.3.2.3 SMQueue**

La tienda y reenvío del servidor RFC-3428 para el envío de SMS a los diferentes equipos móviles, esta aplicación es requerida para poder realizar el envío fiablemente.

El núcleo de SMQueue es una cola de mensajes en expectativa de entrega, los mensajes esperan en esta cola condicionalmente a través de múltiples intentos de entrega hasta la confirmación de entrega o hasta que se determina que el mensaje es imposible de entregar.

La operación que realiza el SMQueue es parecido al mismo funcionamiento que realiza un servidor de correo electrónico.

### **2.3.2.4 SIPAuthserve**

Es la cual gestiona la base de datos de la información acerca el usuario propietario del dispositivo móvil registrado en la OPENBTS que reemplaza tanto el registro Asterisk SIP y el GSM HLR (Home Location Register) que se haya en una red GSM convencional.

SIPAuthserve admite la autenticación SIP directa en el registro del usuario, la realización de una transacción de modelado posterior a la autenticación de IMS y la autenticación SIP utilizando:

El valor RAND como mientras tanto.

- Un operador específico A3/A8 en lugar de MD5 como la función hash.

SIPAuthserve admite dos formas de autenticación SRES-RAND en cada interfaz:

- Autenticación completa
- Autenticación en caché

### **2.3.2.5 Autenticación completa**

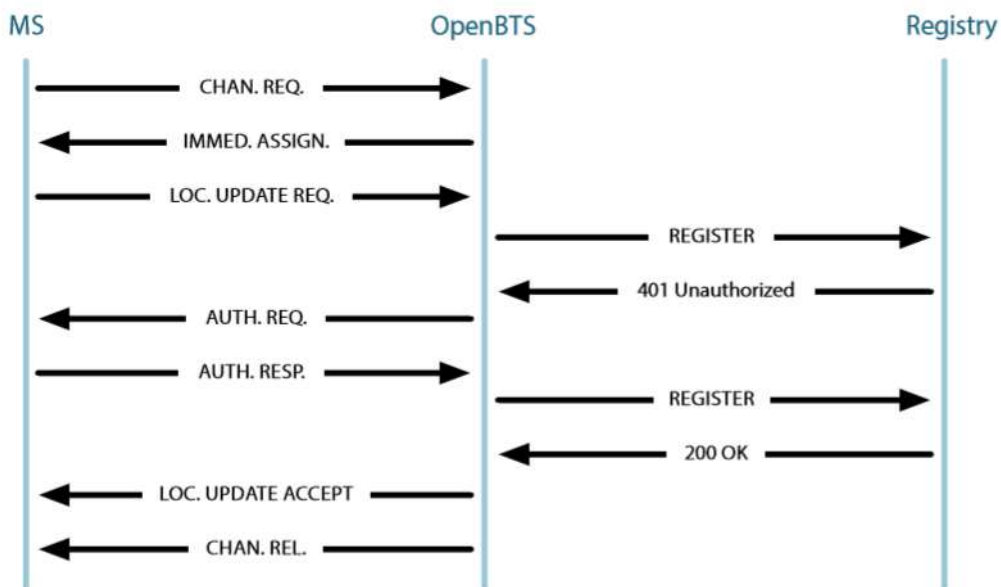
Esta es la autenticación común A3, utilizado cuando Ki es conocido en el registro. OPENBTS incluye soporte COMP128v1 como para A3.

El registro solicita al algoritmo A3 como una aplicación externa Unix con un estándar de interfaz de llamada, por lo que es fácil de añadir soporte para otros algoritmos A3 si los implementos están disponibles.

### 2.3.2.6 Autenticación en caché

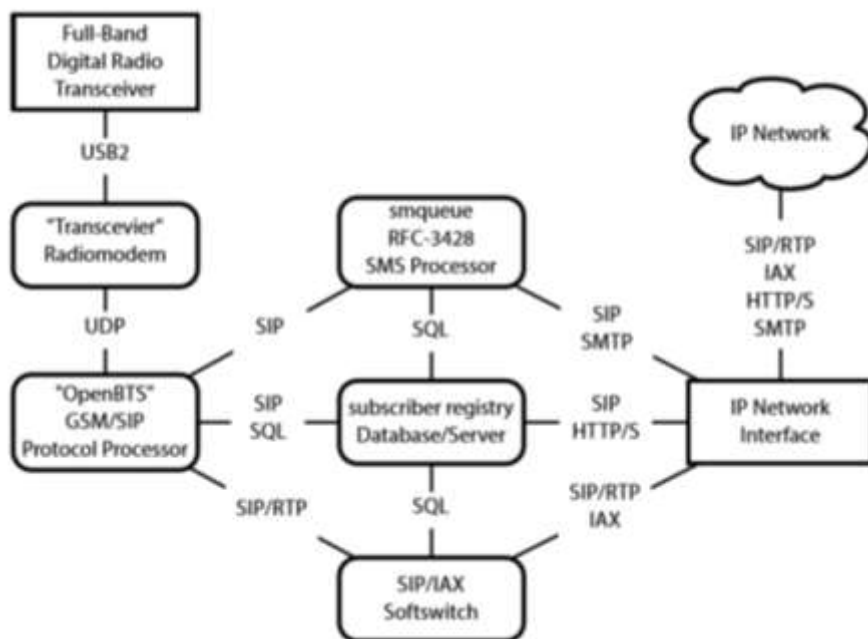
Este tipo de autenticación usa los mismos pasos del protocolo sobre el usuario móvil como la autenticación estándar, pero el procedimiento es diferente y A3 no se ejecuta realmente.

Este tipo de autenticación es más débil que la completa, pero puede ser utilizada cuando el Ki no es conocido.

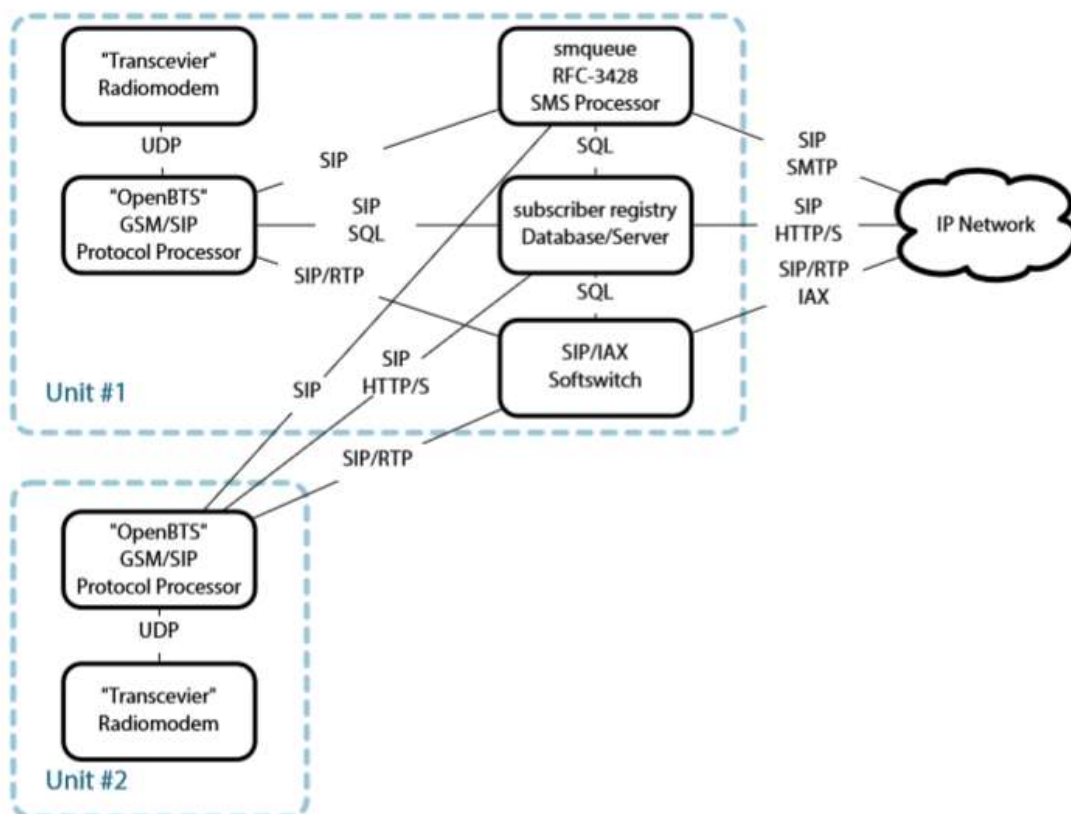


**Figura 2.8.** Actualización de la localización GSM.

**Fuente:** (Range Networks, Inc., 2008)



**Figura 2.9.** Componentes de la OPENBTS y sus canales de comunicación instaladas en cada punto de acceso. **Fuente:** (Range Networks, Inc., 2008)



**Figura 2.10.** Dos puntos de acceso con unidad 1 proporcionando servidores para ambos. **Fuente:** (Range Networks, Inc., 2008)

## **3. RESULTADOS**

### **3.1. Antecedentes**

La OPENBTS cuenta con un número determinado de elementos las cuales son esenciales para la implementación de la misma, tales como el USRP, la antena en el rango de frecuencia para la banda GSM, sistema operativo Linux con distribución UBUNTU.

Al momento de realizar la implementación del prototipo de la estación base se debe tener en cuenta el correcto proceso de instalación de las dependencias requeridas en Linux, teniendo en cuenta que cada dependencia a instalar requiere un orden específico para hacerlo debido a que hay dependencias que necesitan de otras para que esta se instale correctamente, también se debe tener en cuenta la frecuencia en la que opera la banda GSM para que de esta manera se seleccionen los elementos necesarios que puedan trabajar en dicha frecuencia.

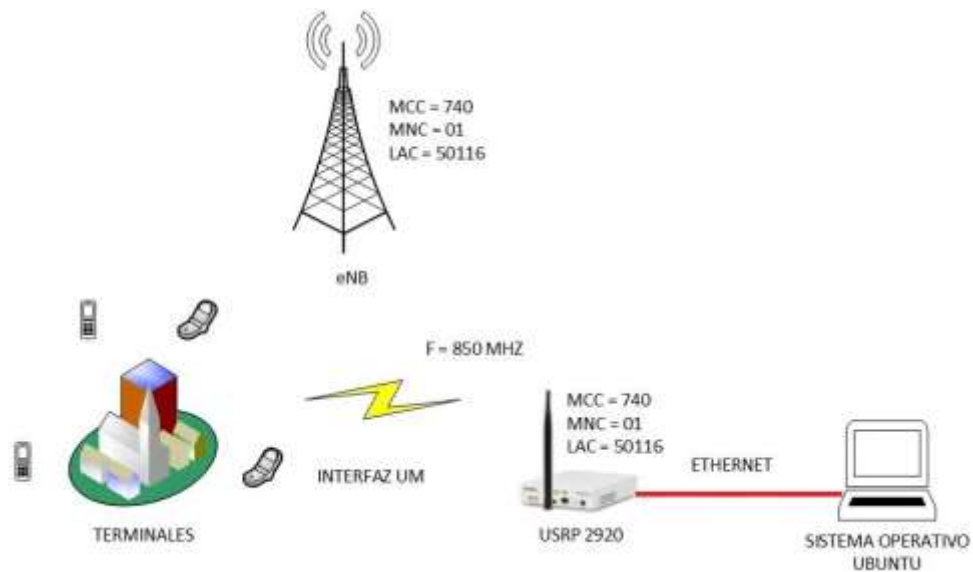
A lo largo de este capítulo se detalla el proceso de selección de los elementos necesarios para la implementación de la estación base.

### **3.2 Selección de componentes**

#### **3.2.1 Elementos de la estación base**

Para la implementación de la estación base se requiere tomar en cuenta algunos parámetros importantes para el correcto funcionamiento.

Los elementos necesarios para la implementación de una estación base GSM se muestran en el siguiente diagrama:



**Figura 3.1.** Diseño para la implementación de una estación base GSM.

Para cumplir con los objetivos del proyecto se debe considerar los elementos necesarios que cumplan los requisitos para la transmisión de mensajes mediante la tecnología GSM, es decir, hay que tener en cuenta el rango de frecuencia con la que trabaja las distintas operadoras del país para que de esta manera los teléfonos móviles puedan engancharse a la estación base implementada mediante el USRP, hay que considerar que el mejor equipo a utilizar es el modelo 2920 en comparación a los demás tal como se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7** Tabla de comparación.

<b>Modelo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>GPS</b>	<b>Precisión Frecuencia</b>
USRP 2920	50MHz – 2.2GHz	NO	2.5 ppm
USRP 2921	2.4 – 2.5 (GHz) / 4.9 – 5.9 (GHz)	NO	2.5 ppm
USRP 2922	400MHz – 4.4GHz	NO	2.5 ppm
USRP 2930	50MHz – 2.2GHz	SI	25 ppb
USRP 2932	400MHz – 4.4GHz	SI	25 ppb

**Nota:** El modelo de USRP utilizado es el 2920.

**Fuente:** (CSC Corporate Domains, Inc., 1994)

### **3.2.2 Sistema operativo Linux**

Es aquel que contiene un conjunto de programas que permite interactuar con su PC y realizar la ejecución de otros programas para poder comunicarse y recibir instrucciones de los usuarios, así como leer, escribir datos en el disco duro, cintas, impresoras, controlar la utilización de la memoria.

Linux en sí mismo no forma un sistema operativo funcional, ya que este simplemente es el núcleo, el resto del sistema que conforma en sí el sistema operativo consiste en otros programas los cuales algunos de esos fueron escritos para el proyecto GNU.

Linux está diseñado como un sistema operativo tipo Unix, este fue diseñado para ser un sistema multitarea y multiusuario, esto se realizó con la finalidad de poder diferenciar el sistema operativo Linux con el resto de sistemas.

### **3.2.3 Linux con distribución UBUNTU**

Ubuntu junto a Linux forma un sistema operativo enfocado a un uso e instalación más accesible para los usuarios.

Este sistema operativo es de distribución libre, es decir, cualquier persona puede descargarlo, instalarlo, estudiarlo, compartirlo y mejorar su software si este lo desea ya que también es de código abierto, esto quiere decir que la persona que utiliza este sistema operativo puede realizar modificaciones al software si lo desea y su distribución también será libre de costo.

Hay distintas versiones de Ubuntu a lo largo de los años ya que cada 6 meses distribuyen una nueva versión y cada una recibe soporte de 18 meses con actualizaciones genéricas, hay versiones especiales que se denominan LTS las cuales tardan más años en actualizarse y estas varían depende de la versión para soporte extendido, escritorio o servidores.

### **3.2.4 Comandos sistema operativo Linux con distribución UBUNTU**

Estos son algunos de los comandos que se pueden utilizar en el sistema operativo Linux para la ejecución de diferentes programas o proyectos.

**Tabla 8** Trabajar con archivos

<b>Comando</b>	<b>Descripción</b>
ls	Listar contenido de un directorio
ls -al	Listado con atributos y archivos ocultos
cd newdir/	Moverse al directorio newdir
cd	Moverse al directorio home
pwd	Mostrar la ruta actual
rm file	Borrar el archivo file
rm -r dir	Borrar el directorio dir
rm -f file	Borrar file sin mostrar mensaje de error
rm -rf dir	Borrar file sin mostrar mensaje de error en directorio dir
cp file1 file2	Copiar file1 en file2
cp -r dir1 dir2	Copiar el dir1 en dir2 (Si este no existe se crea)
mv file1 file2	Renombra file1 como file2, si file2 es un dir lo mueve ahí mismo
ln -s file link	Crea un enlace simbólico de link hacia file
touch file	Crea o actualiza file
cat > file	Redirecciona la entrada estándar a file
more file	Muestra el contenido de file
head file	Muestra las 10 primeras filas de file
tail file	Muestra las 10 últimas filas de file
tail -f file	Muestra las 10 últimas filas de file a medida que va creciendo

**Nota:** Comandos básicos al momento de trabajar con archivos.

**Fuente:** (ARSYS INTERNET, 2007)

**Tabla 9** Gestión de procesos

<b>Comando</b>	<b>Descripción</b>
ps	Muestra los procesos activos del usuario
top	Muestra todos los procesos activos
kill pid	Mata el proceso con el id pid
killall proc	Mata todos los procesos proc
bg	Lista los procesos parados o en segundo plano
fg	Lleva el proceso más reciente a primer plano
fg n	Lleva un proceso n a primer plano

**Nota:** Comandos básicos para gestionar los procesos del usuario.

**Fuente:** (ARSYS INTERNET, 2007)

**Tabla 10** Permiso de archivos

<b>Comando</b>	<b>Descripción</b>
chmod 777	Lectura/escritura/ejecución para todos
chmod 755	rwx para el propietario, rx para su grupo y otros
	Establece en file los permisos especificados en octal (usuario, grupo, otros):
chmod octal file	<ul style="list-style-type: none"><li>• 4 – Lectura (r)</li><li>• 2 – Escritura (w)</li><li>• 1 – Ejecución (x)</li></ul>

**Nota:** Comandos básicos para gestionar los procesos del usuario.

**Fuente:** (ARSYS INTERNET, 2007)



**Tabla 11** Instalación

Comando	Descripción
./configure	Crearé archivo makefile para la instalación
make	Lee todos los archivos makefile creados a partir del configure
make install	Instala todo lo que se encuentra en el archivo makefile
dpkg -i pkg.deb	Instala paquetes DEB
rpm -uvh pkg.rpm	Instala paquetes RPM

**Nota:** Comandos básicos para instalación de dependencias.

**Fuente:** (ARSYS INTERNET, 2007)

**Tabla 12** Compresión

Comando	Descripción
tar cf file.tar files	Empaqueta files en un fichero files.tar
tar xf file.tar	Extrae el contenido de file.tar
tar czf file.tar.gz files	Empaqueta y comprime (gzip) files en files.tar.gz
tar xzf file.tar.gz	Extrae y descomprime usando gzip
tar cjf file.tar.bz2	Empaqueta y comprime (bzip2) files en files.tar.bz2
tar xjf file.tar.bz2	Extrae y descomprime usando bzip2
gzip file	Comprime file y lo renombra como file.gz
gzip -d file.gz	Descomprime file.gz a file

**Nota:** Comandos básicos para la compresión de archivos.

**Fuente:** (ARSYS INTERNET, 2007)

**Tabla 13** Información del sistema

<b>Comando</b>	<b>Descripción</b>
date	Consulta la fecha y la hora actual
cal	Muestra el calendario del mes actual
uptime	Tiempo que lleva encendida la maquina
w	Muestra usuarios conectados a la maquina
whoami	Nombre de mi usuario
finger user	Muestra información sobre usuario
uname -a	Información sobre el núcleo
cat /proc/cpuinfo	Información sobre el CPU
cat /proc/meminfo	Información sobre la memoria
man command	Páginas de manual sobre command
df	Espacio libre en los discos
du	Espacio usado por los directorios
free	Uso de memoria y swap
whereis app	Localiza el binario, fuente y página de manual de app
which app	Localiza el comando app

**Nota:** Comandos básicos para manejar la información del sistema.

**Fuente:** (ARSYS INTERNET, 2007)

**Tabla 14** SSH

<b>Comando</b>	<b>Descripción</b>
Ssh user@host	Conectar a host como usuario
Ssh -p port user@host	Conectar a host por el puerto port como usuario

**Nota:** Comandos básicos para acceso a maquinas remotas. **Fuente:** (ARSYS INTERNET, 2007)

**Tabla 15** Combinaciones de teclas

<b>Comando</b>	<b>Descripción</b>
Ctrl+C	Interrumpe el comando activo
Ctrl+Z	Suspende comando activo
Ctrl+fg	Se reanuda el comando activo
Ctrl+bg	Se lleva el comando activo a segundo plano
Ctrl+D	Abandona sesión actual, similar a exit
Ctrl+W	Borra una palabra en la línea actual
Ctrl+U	Borra toda la línea
!!	Repite el ultimo comando
exit	Abandona la sesión actual
[**]	Usar con mucho cuidado

**Nota:** Combinaciones básicas para agilizar el trabajo.

**Fuente:** (ARSYS INTERNET, 2007)

**Tabla 16** Redes

<b>Comando</b>	<b>Descripción</b>
ping host	Hace ping a host y muestra los datos
whois domain	Información del dominio domain
dig domain	Configuración DNS de domain
dig -x host	DNS inverso de host
wget file	Descarga file
wget -c file	Continúa una descarga detenida

**Nota:** Comandos básicos para las funciones de redes.

**Fuente:** (ARSYS INTERNET, 2007)

### 3.3 Diseño de la estación base GSM mediante UBUNTU

#### 3.3.1 Compatibilidad GIT

Es un sistema que controla los cambios de código fuente del software, para el diseño de la radio base GSM mediante UBUNTU algunas características GIT.

El comando para brindar soporte a los paquetes personales y una forma de distribuir los paquetes es el siguiente:

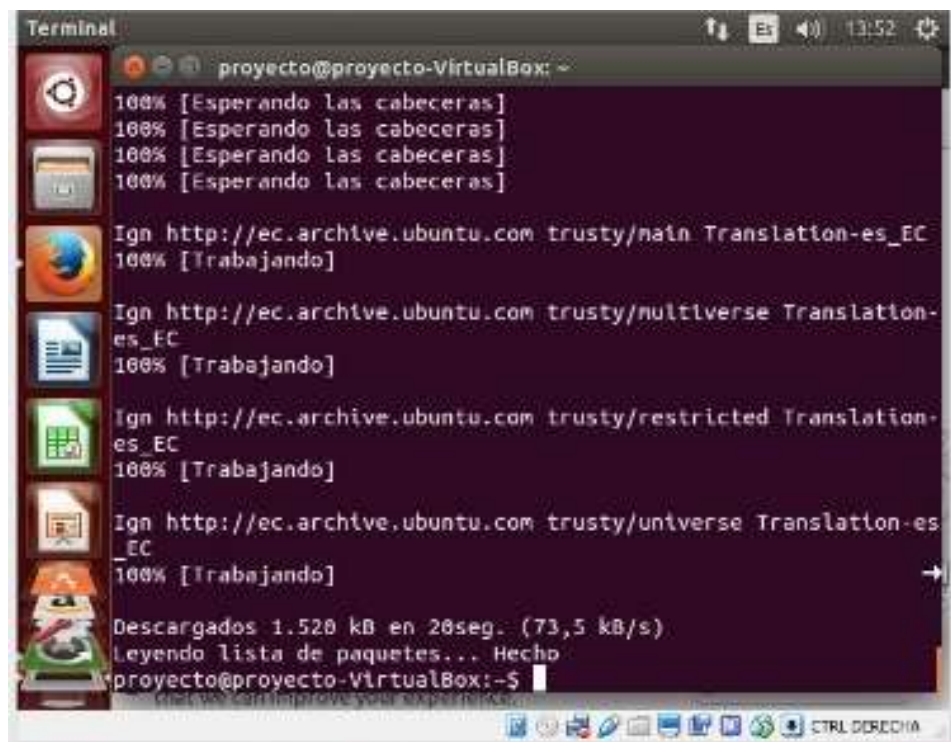
```
$ sudo apt-get install software-properties-common python-software-properties
```

La OPENBTS está compuesto por diferentes softwares que se encuentran localizados en repositorios de desarrollo independientes en la página web GitHub y luego simplemente habrá que actualizar la lista de paquetes e instalar los repositorios GIT.

```
$ sudo apt-get update
```

```
$ sudo apt-get upgrade
```

```
$ sudo apt-get install git
```



**Figura 3.2.** Finalización de la ejecución del comando update para la actualización de los paquetes del sistema e instalar repositorios GIT.

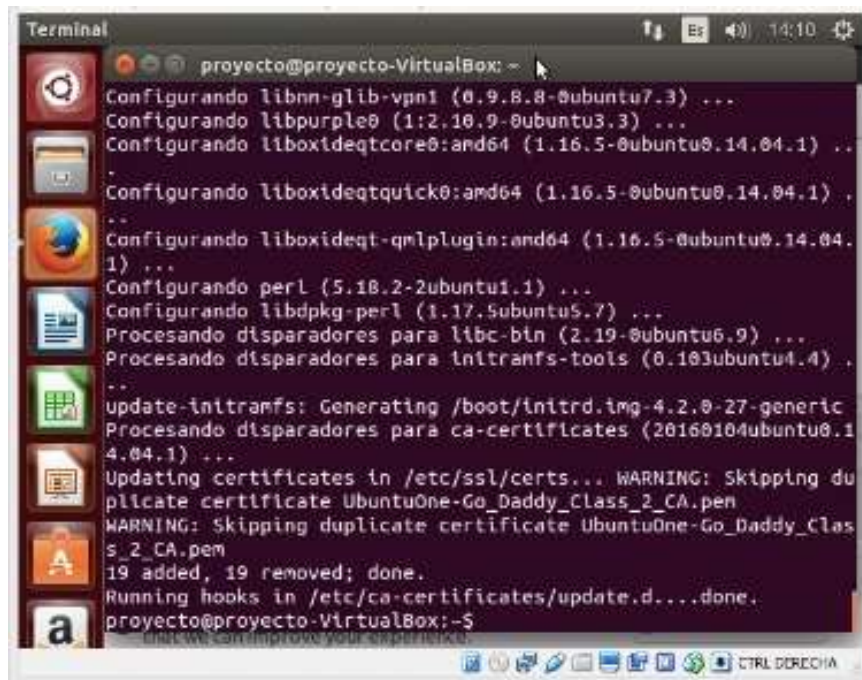


Figura 3.3. Finalización de la ejecución del comando upgrade para la modernización de los paquetes del sistema e instalar repositorios GIT.

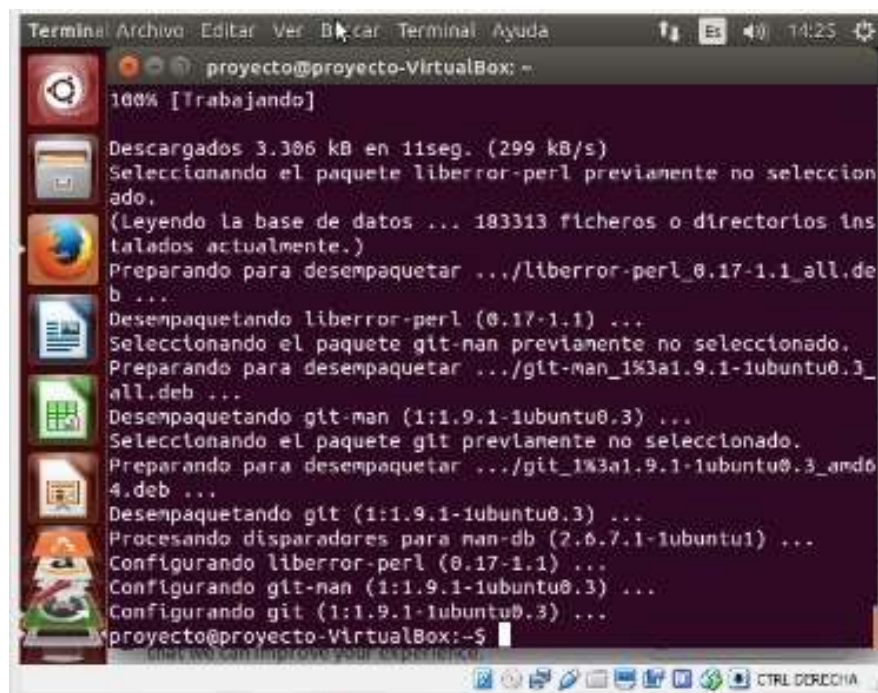


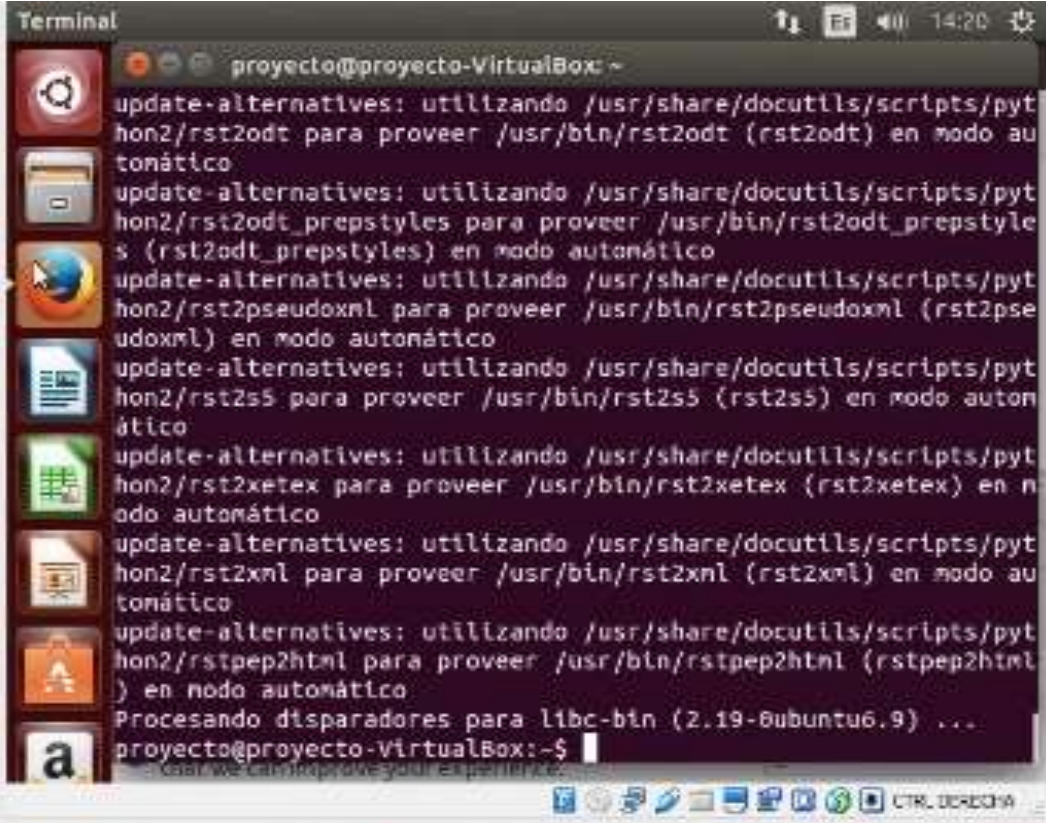
Figura 3.4. Instalación de repositorios GIT finalizada.

### 3.3.2 Instalación de las dependencias

Luego de haber instalado el conjunto de paquetes necesarios por medio de los repositorios, a continuación, se deberá instalar un grupo de dependencias debido

a que alguno de los componentes instalados anteriormente dependerá de otros para la correcta configuración del funcionamiento e inicialización. El comando y las dependencias necesarias a instalar son las siguientes:

```
$ sudo apt-get install libboost-all-dev libusb-1.0-0-dev python-mako doxygen  
python-docutils cmake build-essential
```



```
Terminal  
proyecto@proyecto-VirtualBox: ~  
update-alternatives: utilizando /usr/share/docutils/scripts/pytho  
hon2/rst2odt para proveer /usr/bin/rst2odt (rst2odt) en modo au  
tomático  
update-alternatives: utilizando /usr/share/docutils/scripts/pytho  
hon2/rst2odt_prepstyles para proveer /usr/bin/rst2odt_prepstyle  
s (rst2odt_prepstyles) en modo automático  
update-alternatives: utilizando /usr/share/docutils/scripts/pytho  
hon2/rst2pseudoxml para proveer /usr/bin/rst2pseudoxml (rst2pse  
udoxml) en modo automático  
update-alternatives: utilizando /usr/share/docutils/scripts/pytho  
hon2/rst2s5 para proveer /usr/bin/rst2s5 (rst2s5) en modo autom  
ático  
update-alternatives: utilizando /usr/share/docutils/scripts/pytho  
hon2/rst2xetex para proveer /usr/bin/rst2xetex (rst2xetex) en n  
odo automático  
update-alternatives: utilizando /usr/share/docutils/scripts/pytho  
hon2/rst2xml para proveer /usr/bin/rst2xml (rst2xml) en modo au  
tomático  
update-alternatives: utilizando /usr/share/docutils/scripts/pytho  
hon2/rstpep2html para proveer /usr/bin/rstpep2html (rstpep2html  
) en nodo automático  
Procesando disparadores para libc-bin (2.19-0ubuntu6.9) ...  
proyecto@proyecto-VirtualBox:~$
```

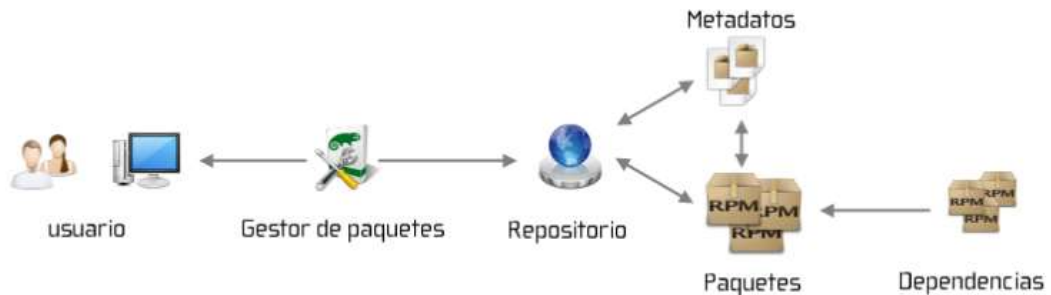
**Figura 3.5.** Instalación de dependencias para el repositorio GIT del paquete UHD para el correcto funcionamiento del hardware USRP 2920.

### 3.3.3 Instalación de repositorios

Los repositorios son archivos localizados en sitios digitales, en donde se encuentran almacenados para que el usuario pueda ingresar y hacer uso del mismo.

Cada distribución a utilizar tiene sus respectivos repositorios en los que se encuentran los programas diseñados especialmente para dicha aplicación, al momento de hacer uso de dicho repositorio solo necesitamos ingresar a la página web que este la contiene y en caso de existir una actualización del mismo este nos alertara.

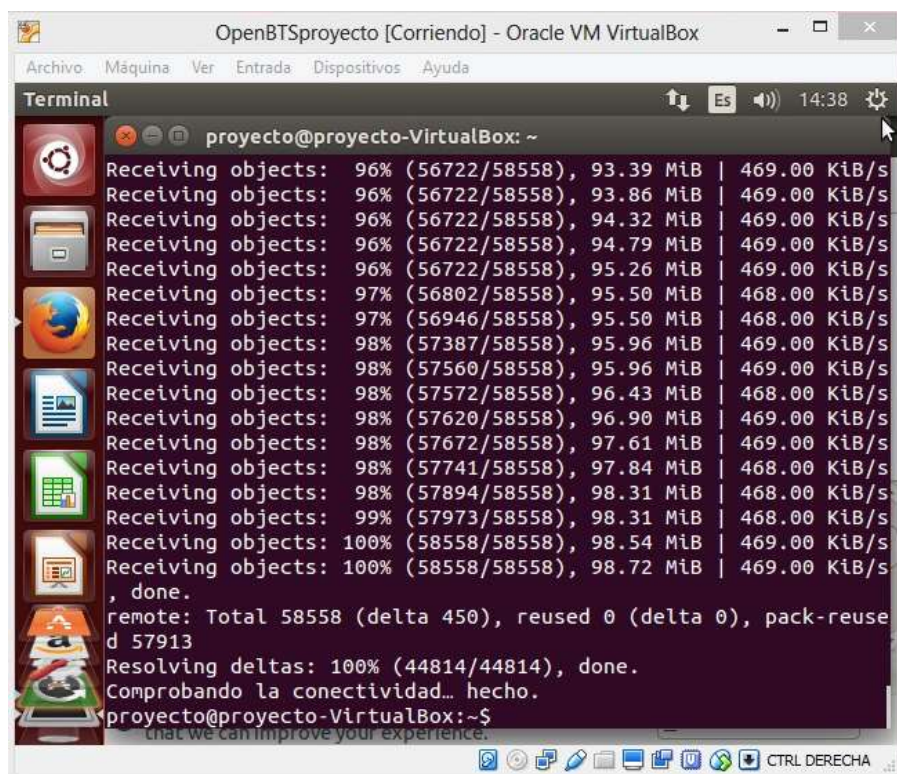
Para comunicarnos con los repositorios necesitamos hacerlo mediante un gestor de paquetes el cual se encargará de la instalación, actualización, configuración y eliminación de paquetes en nuestro sistema.



**Figura 3.6.** Proceso de instalación de repositorios. **Fuente:** (ENOM, INC, 2013)

Luego de la instalación de las respectivas dependencias se procede a descargar el paquete UHD del repositorio de la página web GitHub anteriormente indicada mediante el siguiente comando:

```
$ git clone git://github.com/EttusResearch/uhd.git
```



**Figura 3.7.** Repositorio UHD descargado con éxito.

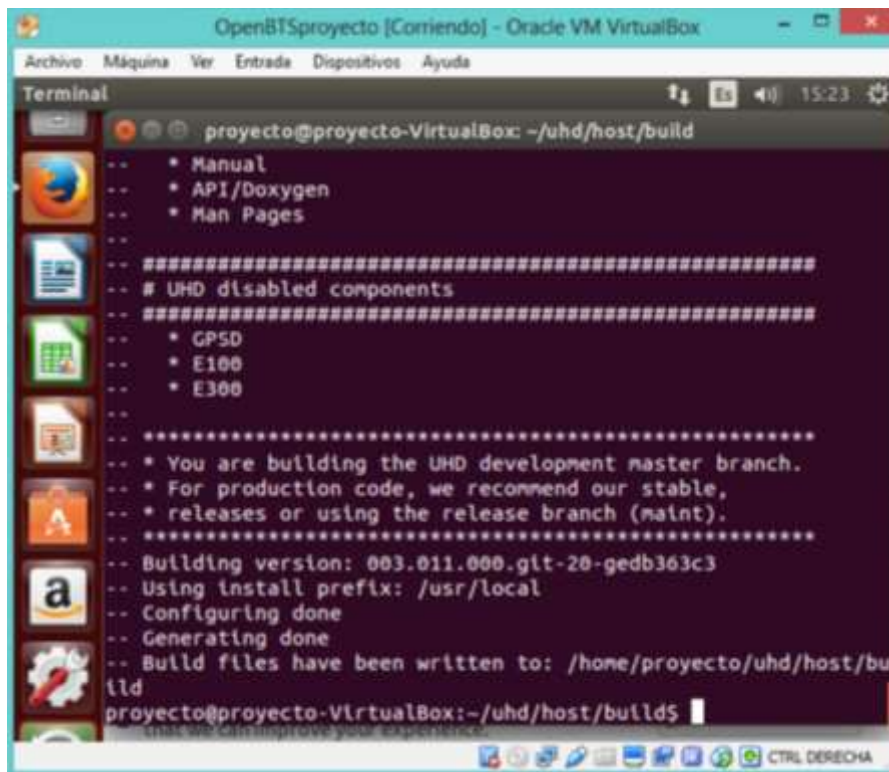
Una vez realizada la descarga del repositorio UHD con éxito se procede a utilizar el comando cmake el cual es una herramienta utilizada en Linux para

construir, probar y empaquetar software, este comando realizara la creación de makefiles para realizar la instalación del repositorio.

Para la instalación de UHD se la realiza mediante el siguiente comando con la siguiente dirección:

```
/uhd/host$ mkdir build
```

```
/uhd/host/build$ cmake ../
```



**Figura 3.8.** Archivos makefiles generados correctamente.

Se procede a realizar la instalación mediante el comando make:

```
$ make
```

```
$ make test
```

```
$ sudo make install
```



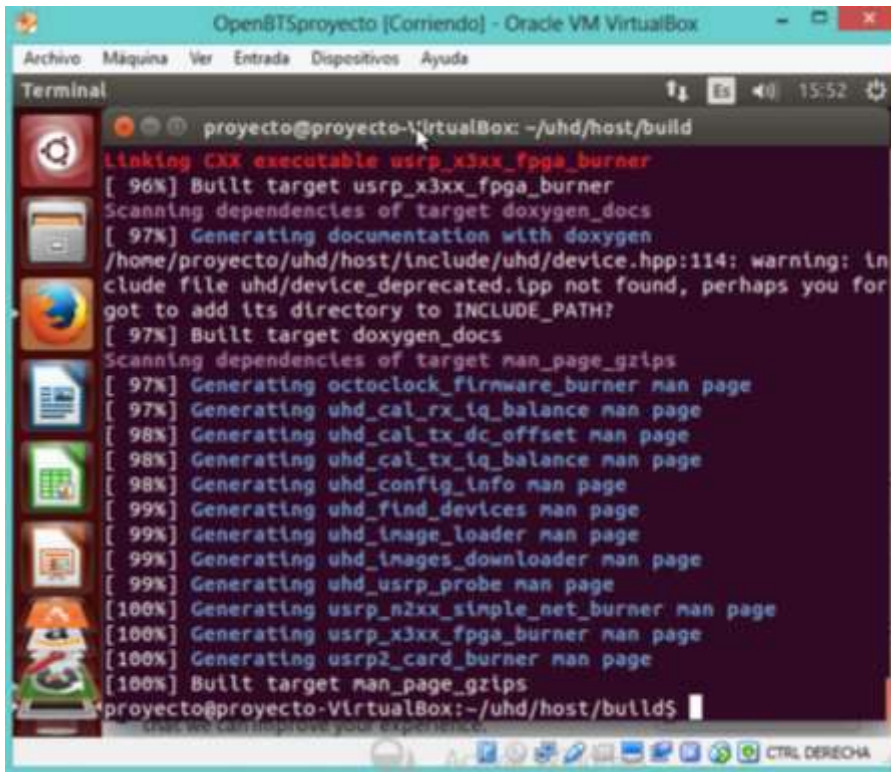


Figura 3.9. Archivos makefiles generados correctamente mediante el comando make.

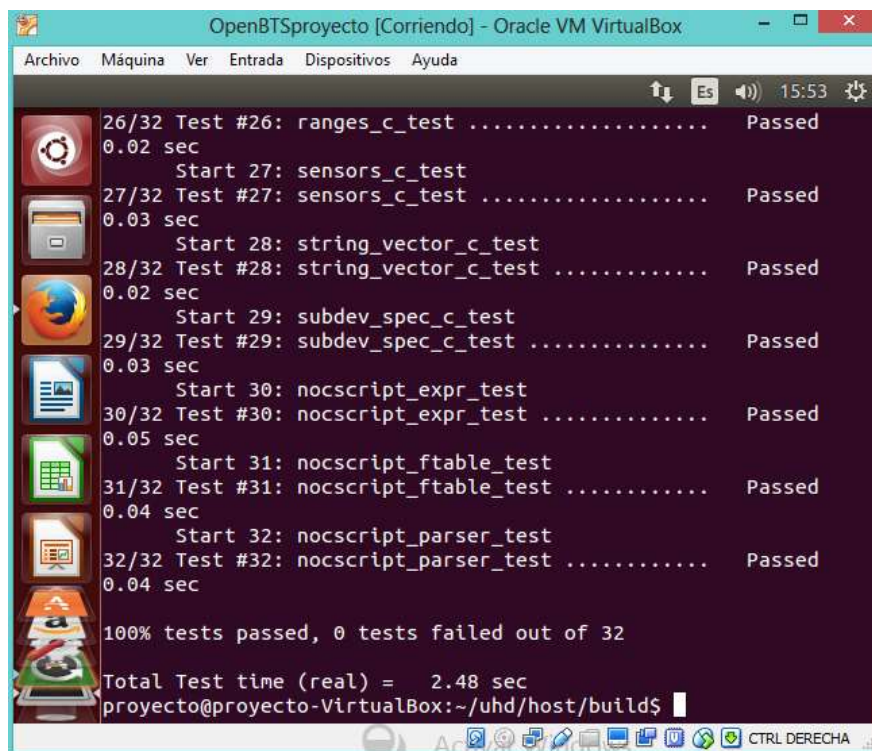
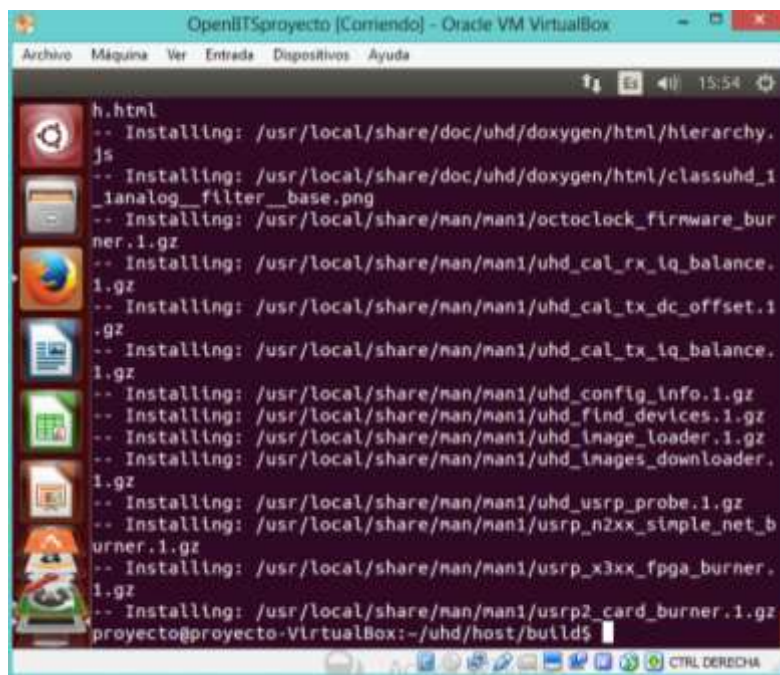


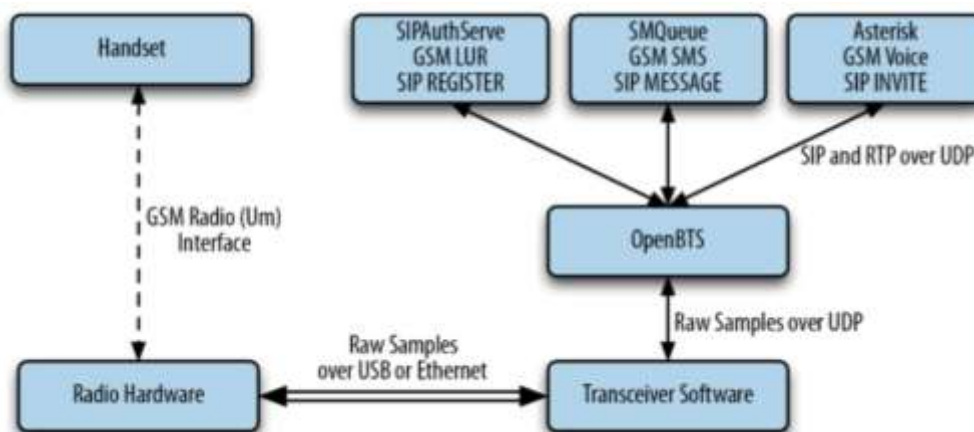
Figura 3.10. Test de comprobación del correcto funcionamiento de archivos makefiles mediante el comando make test.



**Figura 3.11.** Instalación correcta de archivos makefiles mediante el comando sudo make install.

### 3.3.4 Instalando componentes para OPENBTS

Se instalará los componentes necesarios para garantizar el correcto funcionamiento de la radio base GSM, todo lo necesario para realizar la mensajería del sistema de alerta de la OPENBTS se ejecutará mediante lo siguiente:



**Figura 3.12.** Arquitectura instalación OPENBTS. **Fuente:** (Range Networks, Inc., 2008)

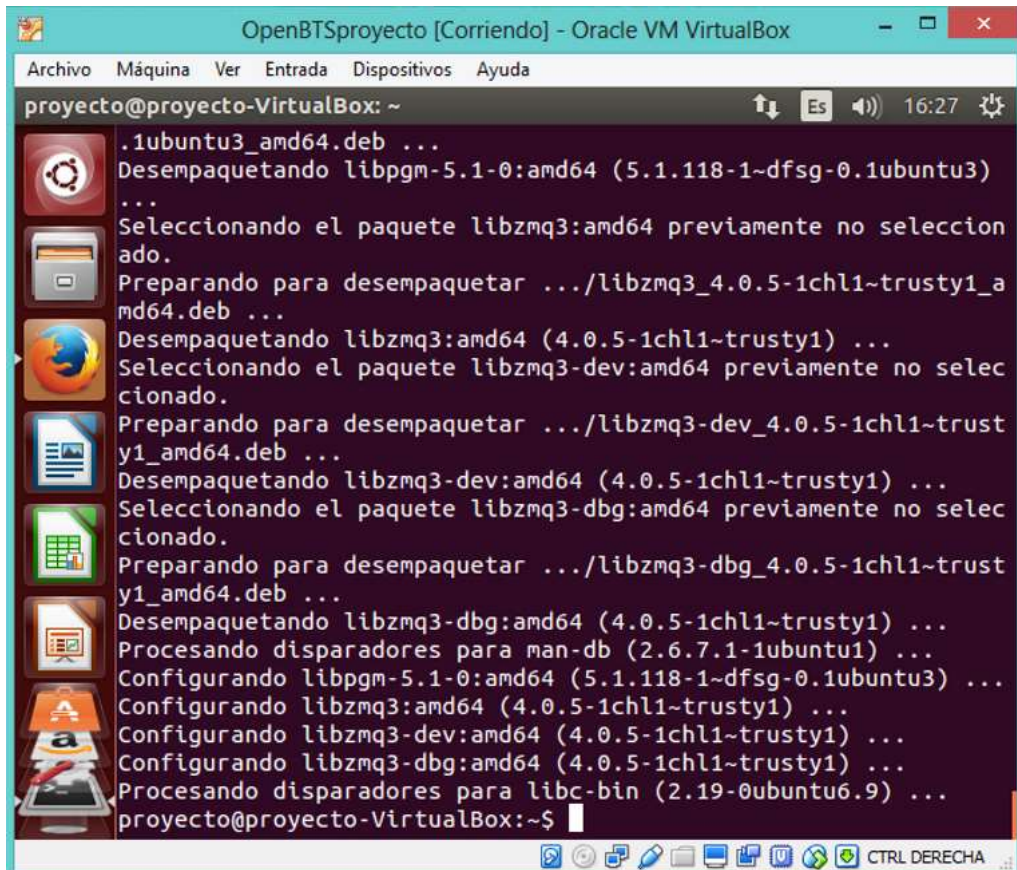
Estos componentes tienen un conjunto de configuraciones predeterminadas que permitirán que la distribución Ubuntu funcione correctamente cuando estas se

encuentren instaladas, estos componentes incluirán ajustes para la interfaz de red, configuración del DNS y entre otros.

```
$ sudo add-apt-repository ppa:chris-lea/zeromq
```

```
$ sudo apt-get update
```

```
$ sudo apt-get install libzmq3-dbg libzmq3-dev
```



**Figura 3.13.** Repositorio libzmq3 instalado correctamente.

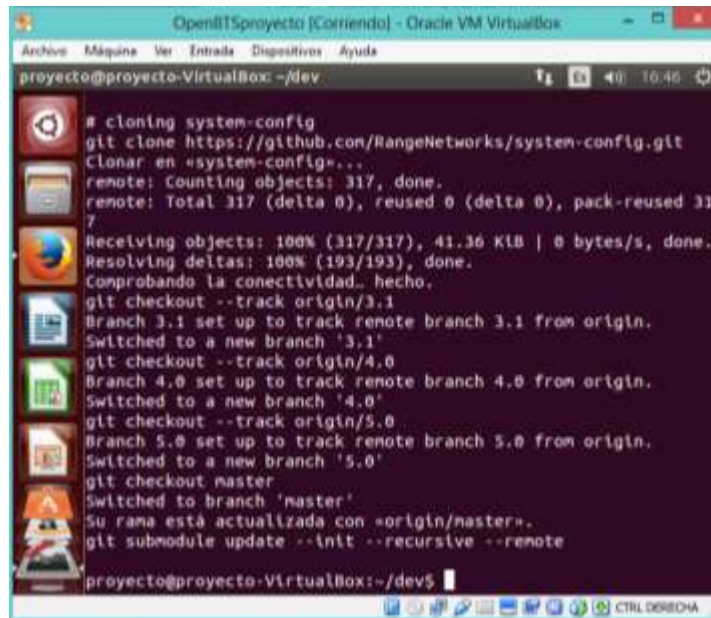
Se procede a descargar de la página web Github los repositorios necesarios para comenzar la implementación de los elementos requeridos para la OPENBTS:

```
$ git clone https://github.com/RangeNetworks/dev.git
```

```
$ cd dev
```

```
$ ./clone.sh
```

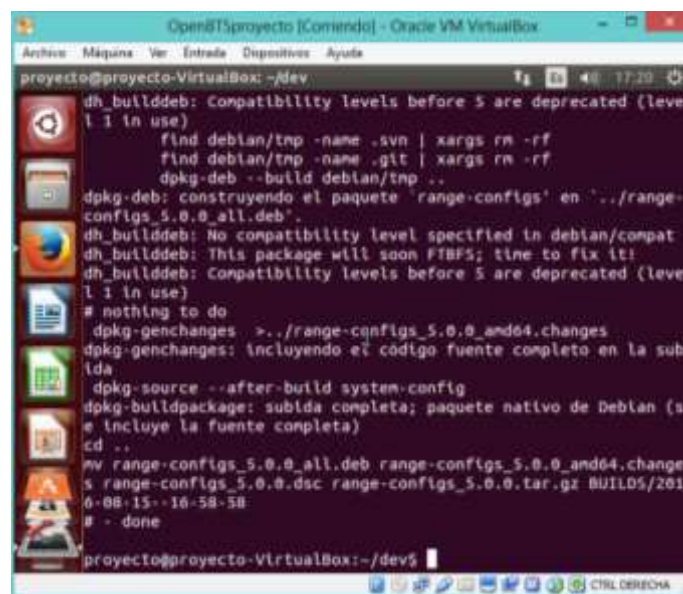
```
$ ./switchto.sh 5.0
```



```
OpenBTSproyecto [Comando] - Oracle VM VirtualBox
Archivo Máquina Ver Entrada Dispositivos Ayuda
proyecto@proyecto-VirtualBox: ~/dev
# cloning system-config
git clone https://github.com/RangeNetworks/system-config.git
Clonar en «system-config»...
remote: Counting objects: 317, done.
remote: Total 317 (delta 0), reused 0 (delta 0), pack-reused 317
Receiving objects: 100% (317/317), 41.36 KiB | 0 bytes/s, done.
Resolving deltas: 100% (193/193), done.
Comprobando la conectividad.. hecho.
git checkout --track origin/3.1
Branch 3.1 set up to track remote branch 3.1 from origin.
Switched to a new branch '3.1'
git checkout --track origin/4.0
Branch 4.0 set up to track remote branch 4.0 from origin.
Switched to a new branch '4.0'
git checkout --track origin/5.0
Branch 5.0 set up to track remote branch 5.0 from origin.
Switched to a new branch '5.0'
git checkout master
Switched to branch 'master'
Su rama está actualizada con «origin/master».
git submodule update --init --recursive --remote
proyecto@proyecto-VirtualBox:~/dev$
```

Figura 3.14. Repositorio dev instalado con éxito.

Luego de la correcta instalación de los repositorios y dependencias necesarias se procede a realizar la instalación de las respectivas configuraciones del hardware USRP a utilizar, en este caso se realizará la instalación del equipo N210 ya que contiene las mismas funciones para el modelo 2920 y le permitirá a la OPENBTS funcionar correctamente.



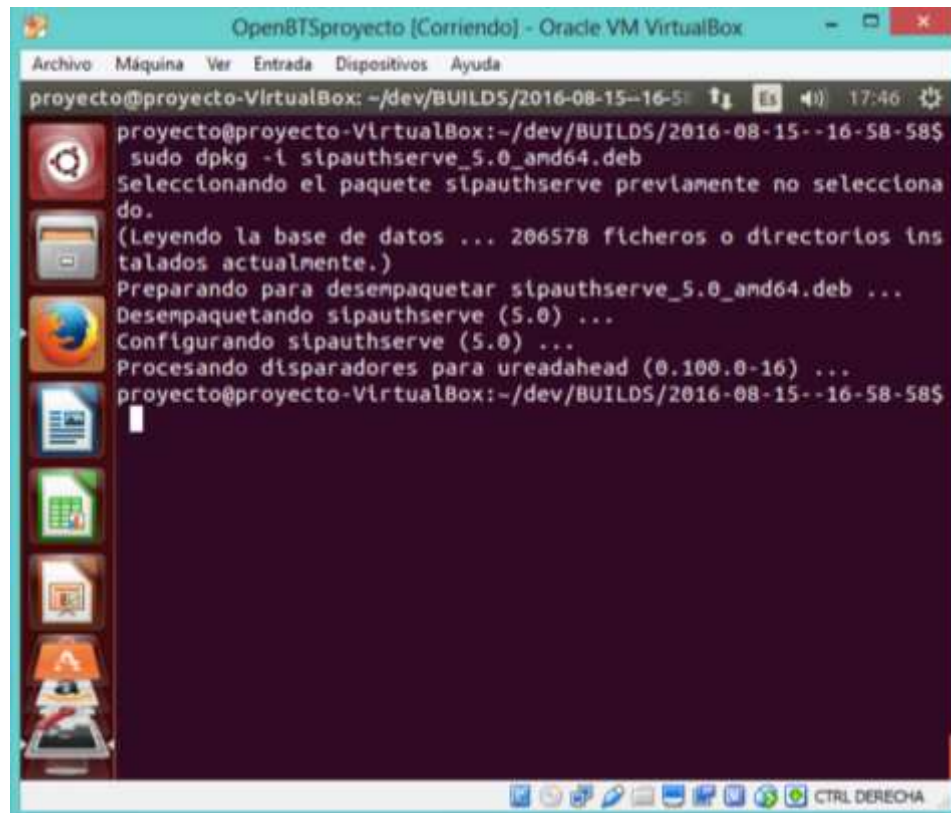
```
OpenBTSproyecto [Comando] - Oracle VM VirtualBox
Archivo Máquina Ver Entrada Dispositivos Ayuda
proyecto@proyecto-VirtualBox: ~/dev
dh_builddeb: Compatibility levels before 5 are deprecated (level 1 in use)
find debian/tmp -name *.svn | xargs rm -rf
find debian/tmp -name *.git | xargs rm -rf
dpkg-deb --build debian/tmp ..
dpkg-deb: construyendo el paquete 'range-configs' en './range-configs_5.0.0_all.deb'.
dh_builddeb: No compatibility level specified in debian/compat
dh_builddeb: This package will soon FTBFS; time to fix it!
dh_builddeb: Compatibility levels before 5 are deprecated (level 1 in use)
# nothing to do
dpkg-genchanges ->./range-configs_5.0.0_and64.changes
dpkg-genchanges: incluyendo el código fuente completo en la subida
dpkg-source --after-build system-config
dpkg-buildpackage: subida completa; paquete nativo de Debian (se incluye la fuente completa)
cd ..
mv range-configs_5.0.0_all.deb range-configs_5.0.0_and64.changes
s range-configs_5.0.0.dsc range-configs_5.0.0.tar.gz BUILD5/2016-08-15-16-58-58
# - done
proyecto@proyecto-VirtualBox:~/dev$
```

Figura 3.15. Configuraciones hardware USRP instaladas correctamente.

**SIPAuthServe:** Permitirá procesar las solicitudes de los registros SIP que OPENBTS generará cuando el dispositivo móvil intente engancharse a la red, esta actualizará la base de datos del registro del usuario conectado a la estación base.

```
$ sudo dpkg -i sipauthserve_5.0_amd64.deb
```

```
$ sudo apt-get install -f
```



**Figura 3.16.** Instalación de SipAuthServe finalizada correctamente.

**SMQueue:** Permitirá procesar las solicitudes de SIP Message que OPENBTS generará cuando se realiza el envío de un SMS hacia un dispositivo móvil, este almacenará los mensajes y los programará para su entrega, en caso de que el dispositivo del usuario no esté disponible por el momento se lo reprogramará para intentarlo más adelante.

```
$ sudo dpkg -i smqueue_5.0_amd64.deb
```

```
$ sudo apt-get install -f
```

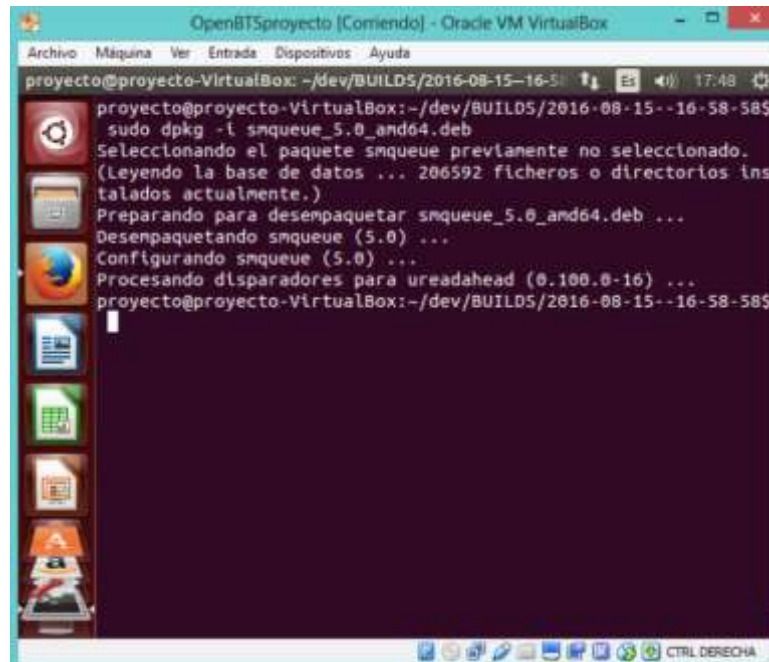


Figura 3.17. Instalación de SMQueue finalizada correctamente.

**OPENBTS:** Permitirá implementar la interfaz GSM en el sistema operativo y el usuario podrá mantener una comunicación con los dispositivos móviles de los diferentes usuarios registrados

```
$ sudo dpkg -i openbts_5.0_amd64.deb
```

```
$ sudo apt-get install -f
```

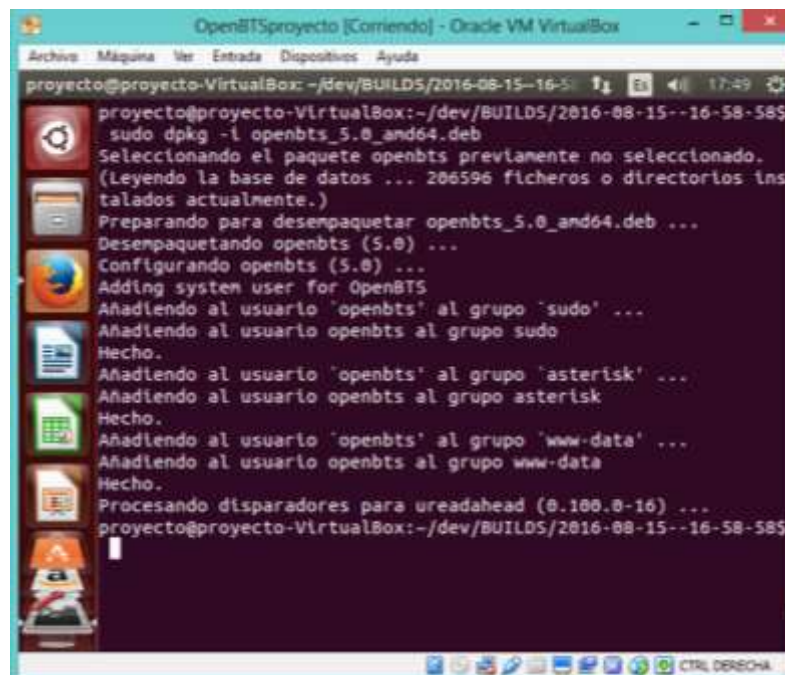


Figura 3.18. Instalación de OPENBTS finalizada correctamente.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Presentación de resultados

La presentación de resultados para el proyecto se la realizó de dos maneras diferentes de acuerdo al sector en donde se realizaron las pruebas correspondientes de conexión de los dispositivos móviles para el envío de mensajes.

Dichas pruebas de conexión fueron realizadas tanto manual como automáticamente y ambas dieron resultados positivos permitiendo de esta manera comprobar la recepción de SMS.

Estas pruebas fueron realizadas en:

- Dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana (Laboratorio de Telecomunicaciones).
- Zonas donde la cobertura celular de las distintas operadoras es demasiado débil para brindar sus servicios, local “PARADERO RÍO DAULAR” Km 36 $\frac{1}{2}$  Vía a la Costa.

El siguiente gráfico muestra el proceso de conectividad del equipo USRP hasta el envío y recepción de los SMS masivos.

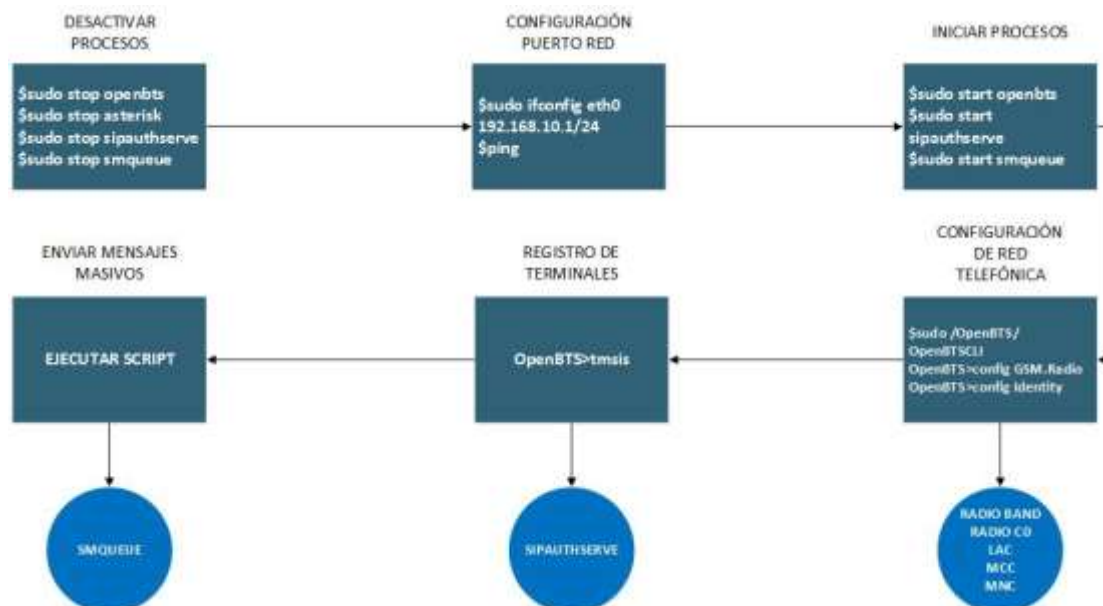
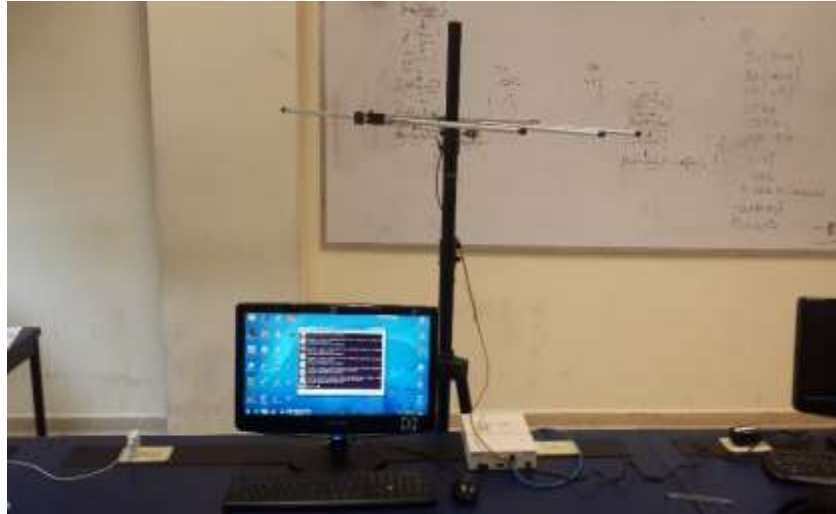


Figura 4.1. Diagrama de bloques conectividad y mensajería masiva.

## 4.2 Pruebas de laboratorio



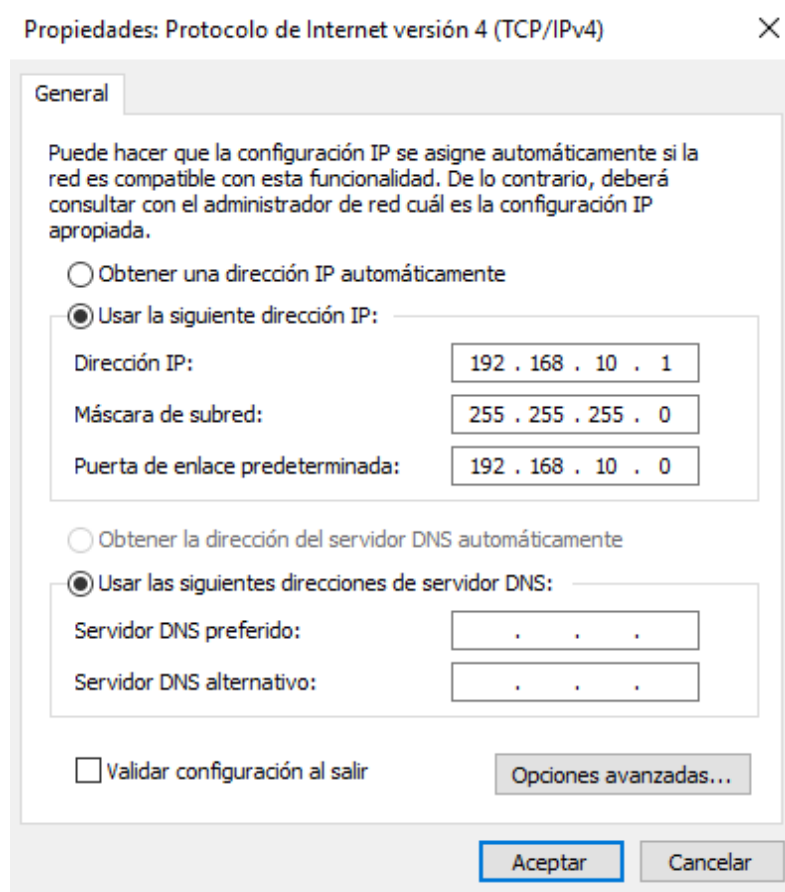
**Figura 4.2.** Realización de pruebas en laboratorio de Telecomunicaciones.

Para la realización de pruebas manuales en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana se procedió a utilizar los equipos del laboratorio de Telecomunicaciones y realizar las respectivas configuraciones para la comunicación entre la máquina virtual y el hardware USRP 2920.

Para realizar la conectividad del equipo USRP 2920 con la máquina virtual creada para la instalación de UBUNTU se requiere cambiar la IP del ordenador que por defecto se encuentra de manera automática (DHCP) por una que se encuentre en la misma red del hardware USRP, ya que, este por defecto su dirección IP es la 192.168.10.2/24.

Para esto se colocó un Gateway de 192.168.10.0 con una dirección IP 192.168.10.1/24 y de esta manera el equipo se encontrará dentro de la misma red para que todo funcione correctamente sin problemas.

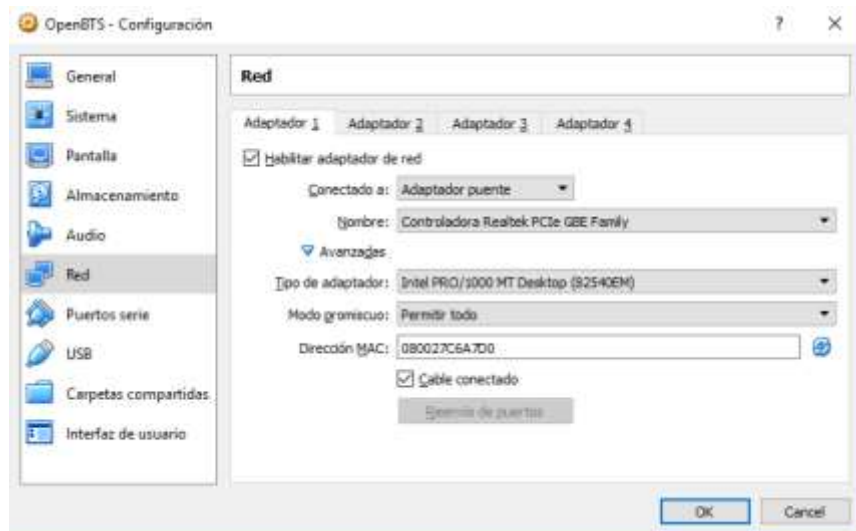




**Figura 4.3.** Configuración de dirección IP en la misma red del USRP para la correcta conectividad con la máquina virtual.

Una vez configurada la red con la del equipo se procede a configurar las opciones de red de la máquina virtual antes de arrancar el sistema operativo UBUNTU, ya que se debe tomar en cuenta que tiene que estar habilitado el adaptador puente y permitir todo mediante el cable Ethernet conectado con la respectiva tarjeta de red del ordenador.

Esto permitirá que toda la configuración de red realizada en la PC sea detectada en la máquina virtual al momento de arrancar el sistema operativo.



**Figura 4.4.** Configuración de red de la máquina virtual.

Ya realizada las respectivas configuraciones de red tanto en el ordenador como en la máquina virtual se procede a realizar la configuración del puerto Ethernet en el sistema operativo UBUNTU mediante el siguiente comando:

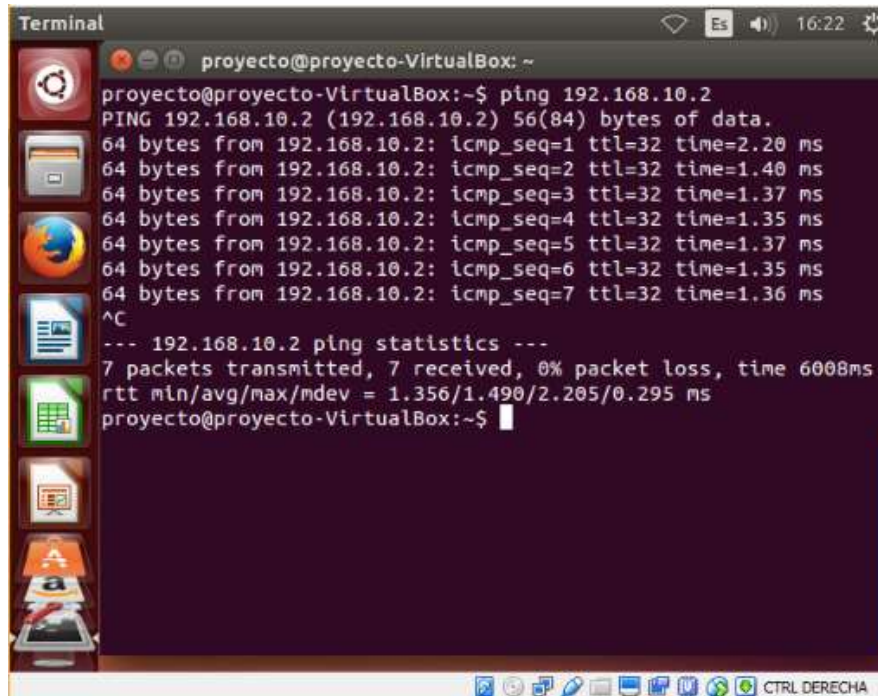
```
$ sudo ifconfig eth0 192.168.10.1/24
```

Dicha dirección IP es la que se configurará en el puerto Ethernet del hardware USRP y es la que se encuentra configurada en la PC, que mediante el adaptador puente de la máquina virtual permitirá que este se encuentre en la misma red.

Finalmente se procede a realizar un ping a la dirección IP del hardware USRP que viene por defecto.

```
$ ping 192.168.10.2
```

En caso de pérdida de paquetes al momento de la realización del ping, se tiene que verificar nuevamente todas las configuraciones requeridas tanto en la PC, en la máquina virtual y en el sistema operativo Linux con distribución UBUNTU.

A screenshot of a terminal window titled "Terminal" with the prompt "proyecto@proyecto-VirtualBox: ~". The terminal shows the execution of a ping command: "ping 192.168.10.2". The output displays seven successful ping responses, each showing 64 bytes from 192.168.10.2 with varying TTL and time values. After the ping, the user presses Ctrl+C, and the terminal shows "ping statistics" for 192.168.10.2, indicating 7 packets transmitted and received with 0% loss and an average round-trip time of 1.356 ms. The terminal prompt returns to "proyecto@proyecto-VirtualBox:~\$".

```
proyecto@proyecto-VirtualBox:~$ ping 192.168.10.2
PING 192.168.10.2 (192.168.10.2) 56(84) bytes of data:
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=1 ttl=32 time=2.20 ms
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=2 ttl=32 time=1.40 ms
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=3 ttl=32 time=1.37 ms
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=4 ttl=32 time=1.35 ms
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=5 ttl=32 time=1.37 ms
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=6 ttl=32 time=1.35 ms
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=7 ttl=32 time=1.36 ms
^C
--- 192.168.10.2 ping statistics ---
7 packets transmitted, 7 received, 0% packet loss, time 6008ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.356/1.490/2.205/0.295 ms
proyecto@proyecto-VirtualBox:~$
```

**Figura 4.5.** Conexión exitosa con el equipo USRP mediante la comprobación del Ping.

Ya realizada la conectividad de manera efectiva con el equipo USRP se procede a realizar las respectivas configuraciones de nuestra red celular, en donde se tomará en cuenta los distintos parámetros que esta conlleva como lo es la frecuencia, el canal, el MCC (Mobile Country Code), el MNC (Mobile Network Code), el LAC (Location Area Code) y la identidad de la celda.

Estas configuraciones a implementar en nuestra OPENBTS están basadas en los datos tomados en la aplicación celular G-Net Track, la cual sirve para capturar datos de las radios bases cercanas de donde se encuentre el usuario en ese momento.

Para el ejemplo aplicado se tomó de referencia una radio base localizada en el centro de la ciudad de la operadora Claro.

La aplicación indicará todos los requerimientos necesarios de acuerdo a la operadora celular a la cual el usuario que solicite la información este suscrito, ya sea CLARO, MOVISTAR, CNT.

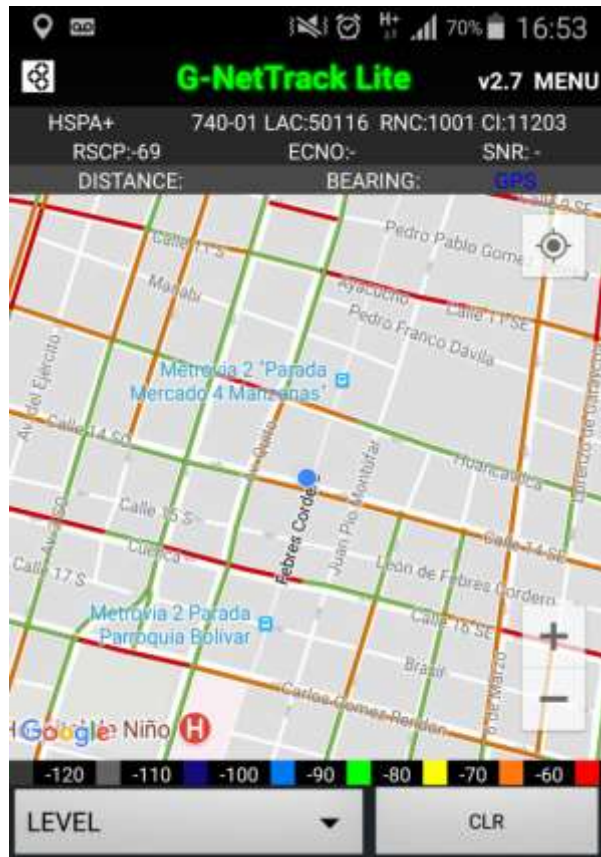


Figura 4.6. Localización de adquisición de datos de RBS a través de G-Net Track.



Figura 4.7. Datos tomados de RBS Claro cercana a localización seleccionada.

Estas configuraciones se las realizara con los respectivos comandos detallados a continuación:

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

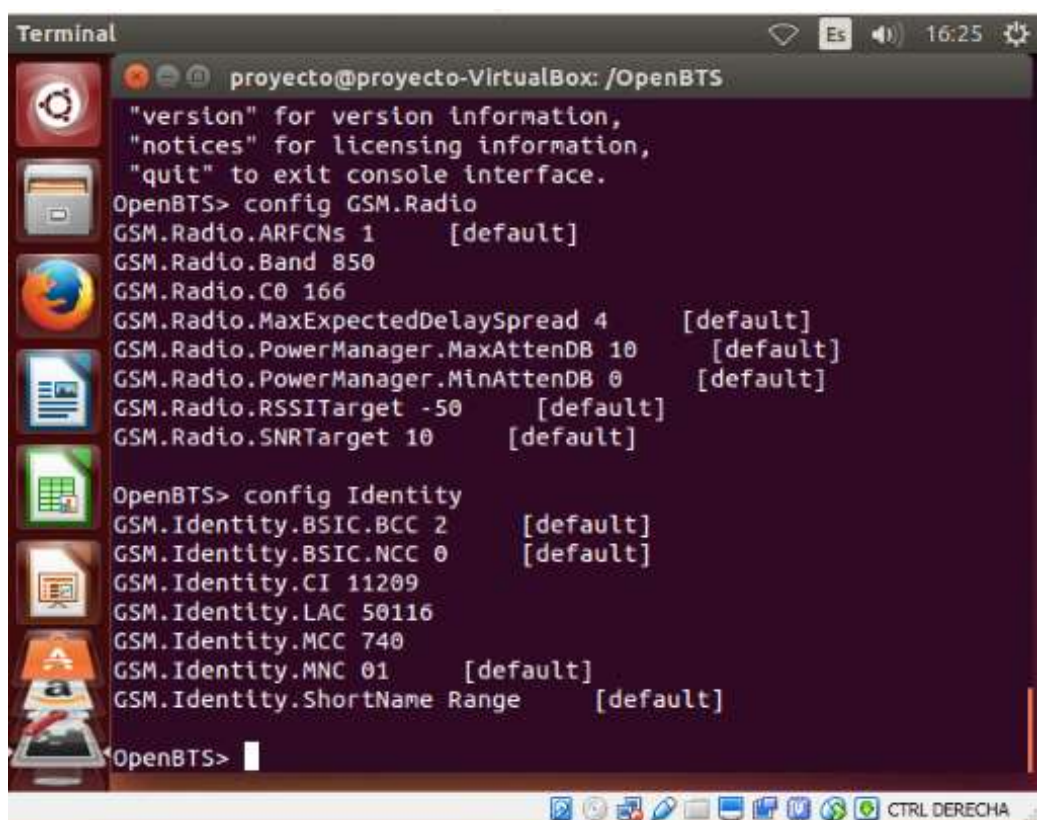
```
OpenBTS> config GSM.Radio.CO
```

```
OpenBTS> config GSM.Identity.MCC
```

```
OpenBTS> config GSM.Identity.MNC
```

```
OpenBTS> config GmSM.Identity.LAC
```

```
OpenBTS> config GSM.Identity.CI
```



```
Terminal
proyecto@proyecto-VirtualBox: /OpenBTS
"version" for version information,
"notices" for licensing information,
"quit" to exit console interface.
OpenBTS> config GSM.Radio
GSM.Radio.ARFCNs 1 [default]
GSM.Radio.Band 850
GSM.Radio.CO 166
GSM.Radio.MaxExpectedDelaySpread 4 [default]
GSM.Radio.PowerManager.MaxAttenDB 10 [default]
GSM.Radio.PowerManager.MinAttenDB 0 [default]
GSM.Radio.RSSITarget -50 [default]
GSM.Radio.SNRTarget 10 [default]

OpenBTS> config Identity
GSM.Identity.BSIC.BCC 2 [default]
GSM.Identity.BSIC.NCC 0 [default]
GSM.Identity.CI 11209
GSM.Identity.LAC 50116
GSM.Identity.MCC 740
GSM.Identity.MNC 01 [default]
GSM.Identity.ShortName Range [default]

OpenBTS>
```

**Figura 4.8.** Configuraciones de la red celular GSM activadas.

Una vez realizada las configuraciones de la red celular en la OPENBTS el teléfono móvil procederá a realizar un escaneo automático de las redes disponibles, de esta manera cuando ocurran las situaciones de emergencia en donde las operadoras tienen colapsadas sus RBS y no les brindan el servicio a los usuarios, el dispositivo móvil automáticamente se enganchara a la única red disponible que detecte la cual será la OPENBTS ya configurada con los parámetros necesarios para la tecnología GSM, el nombre de esta red y el tiempo de conexión dependerá del

firmware del teléfono y se puede mostrar como “00101”, “001-01”, “Test PLMN 1-1”, “OPENBTS” o “Range”.

El procedimiento interno que realiza el dispositivo móvil al momento de escanear las redes disponibles, la red de la OPENBTS se puede mostrar de la siguiente manera, ejemplo realizado de la conectividad manual a la red:

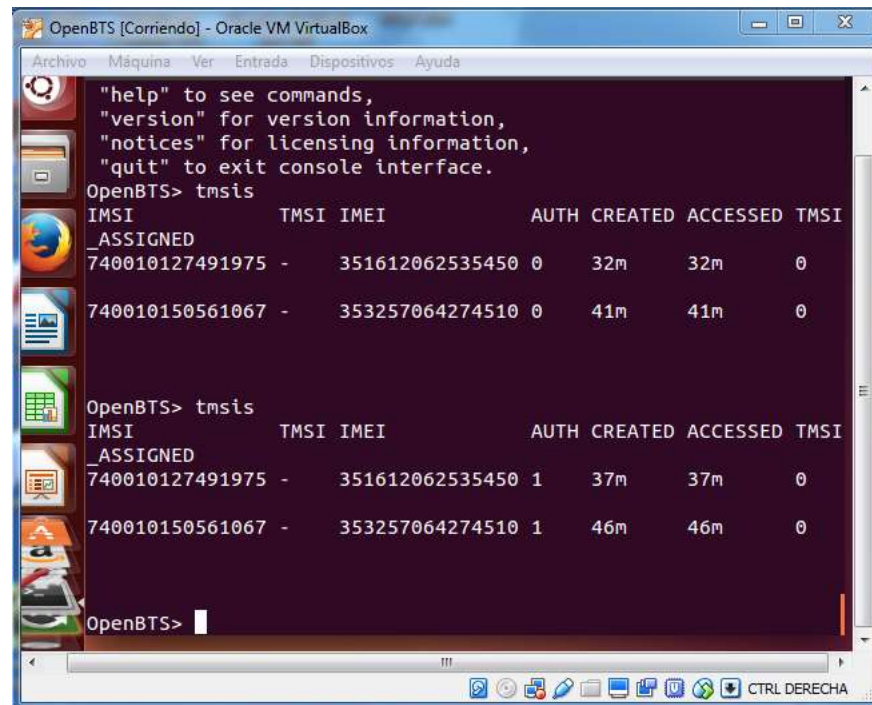


**Figura 4.9.** Redes disponibles en un dispositivo móvil Samsung S4.



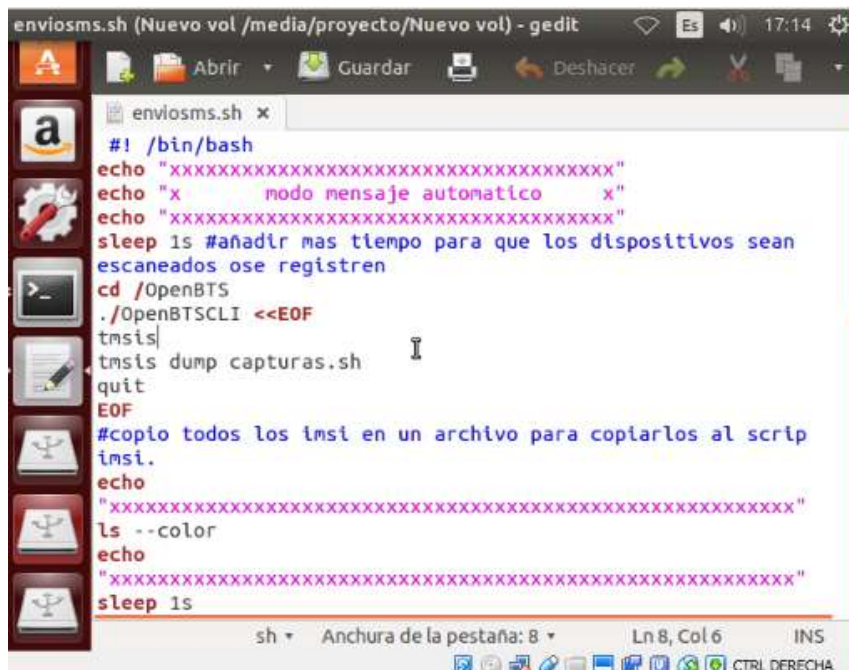
**Figura 4.10.** Dispositivo móvil Samsung S4 registrándose en la red OPENBTS.

Una vez que el dispositivo móvil este en el proceso de registro en la OPENBTS, esta detectara el código IMSI y el código IMEI del teléfono y veremos que la autenticación se encuentra en 0, es decir, el teléfono está intentando engancharse a la OPENBTS.



**Figura 4.11.** Dispositivo móvil Samsung S4 registrado a la red 00101 de la OPENBTS.

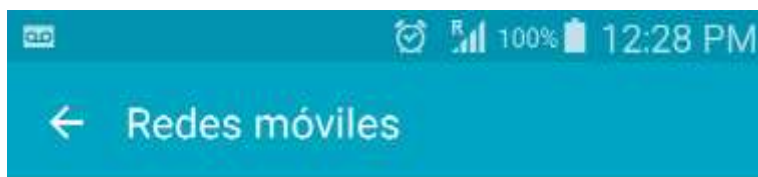
Para que la autenticación sea efectiva se enviará a correr un script diseñado especialmente para la mensajería masiva, en donde el script automáticamente registrará los IMSI de todos los dispositivos móviles que estén tratando de engancharse a la OPENBTS.



```
enviosms.sh (Nuevo vol /media/proyecto/Nuevo vol) - gedit
enviosms.sh x
#!/bin/bash
echo "XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"
echo "x      modo mensaje automatico      x"
echo "XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"
sleep 1s #añadir mas tiempo para que los dispositivos sean
escaneados ose registren
cd /OpenBTS
./OpenBTSCLI <<EOF
tmsis|
tmsis dump capturas.sh
quit
EOF
#copio todos los imsi en un archivo para copiarlos al scrip
imsi.
echo
"XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"
ls --color
echo
"XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"
sleep 1s
```

**Figura 4.12.** Script para autenticación de dispositivos y mensajería masiva.

Ya realizada la autenticación mediante el script verificamos la conexión del dispositivo móvil a la red de la OPENBTS, en el siguiente ejemplo la red se muestra como “R” en un dispositivo Samsung S4.



**Figura 4.13.** Dispositivo móvil Samsung S4 resgistrado a la red 00101 de la OPENBTS.

Ya realizada la conexión de manera eficaz el script continuará en su ejecución detectando todos los IMSI de los dispositivos móviles que se han engancho en la red y solicitando el ingreso del SMS para enviarlo de manera masiva.

```
OpenBTS> sendsms "IMSI" "msisdn" "texto"
```



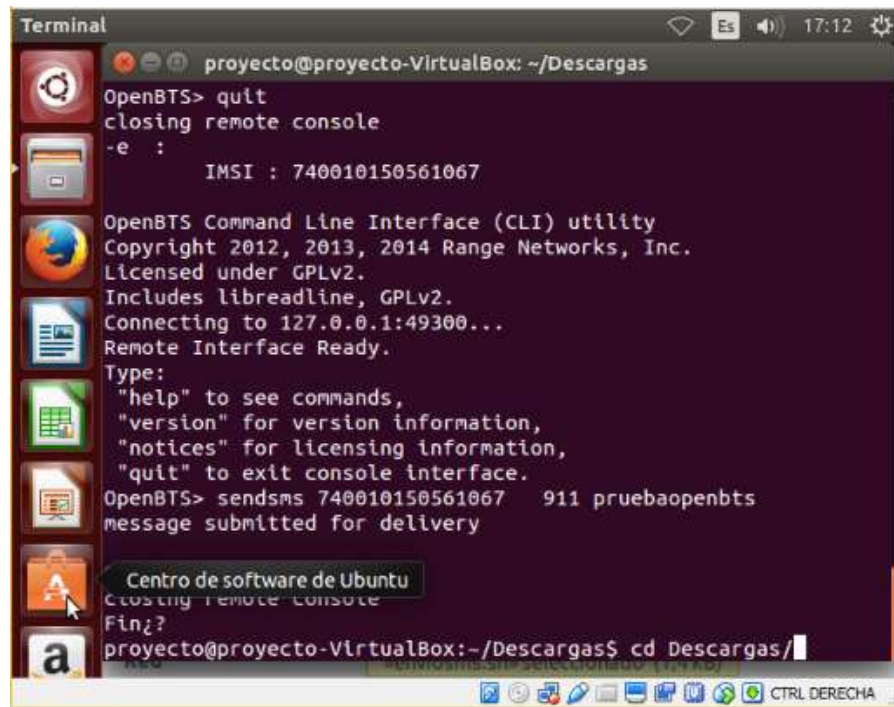


Figura 4.14. Envío exitoso del SMS a los IMSI registrados.

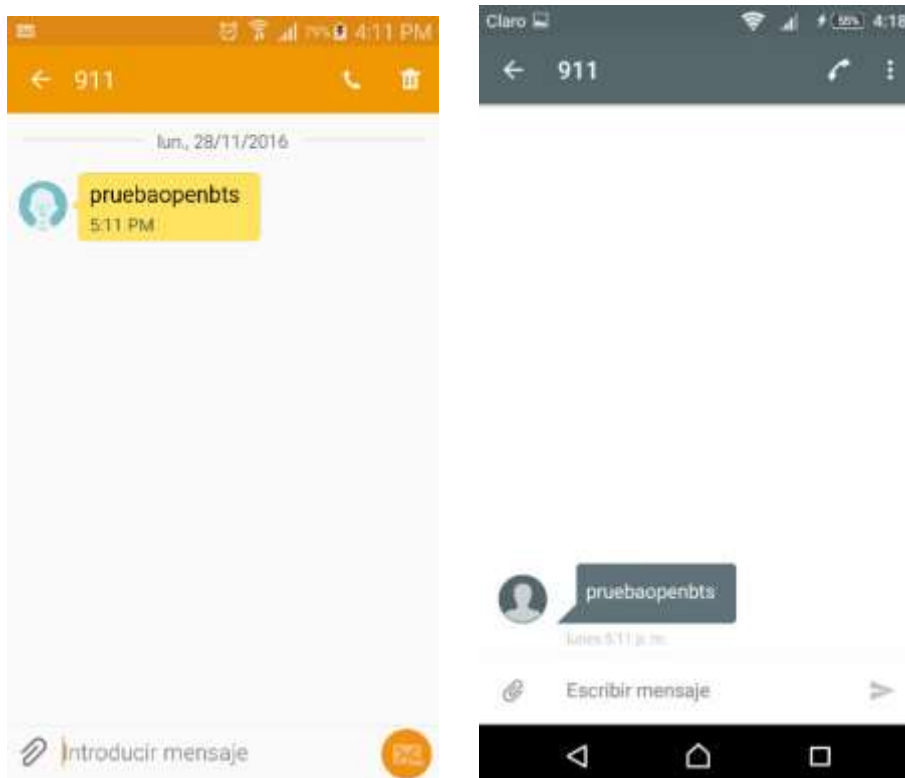


Figura 4.15. Recepción del SMS a teléfonos Samsung S4 y Sony Xperia.

### 4.3 Pruebas de campo

Se procedió a realizar las pruebas físicas de campo en el local “PARADERO RÍO DAULAR” localizado en el Km 36 $\frac{1}{2}$  Vía a la Costa, lugar seleccionado debido a la baja cobertura celular para los usuarios de las distintas operadoras en donde se pudo demostrar la conectividad automática de los mismos conforme al número de personas localizadas en el sitio.

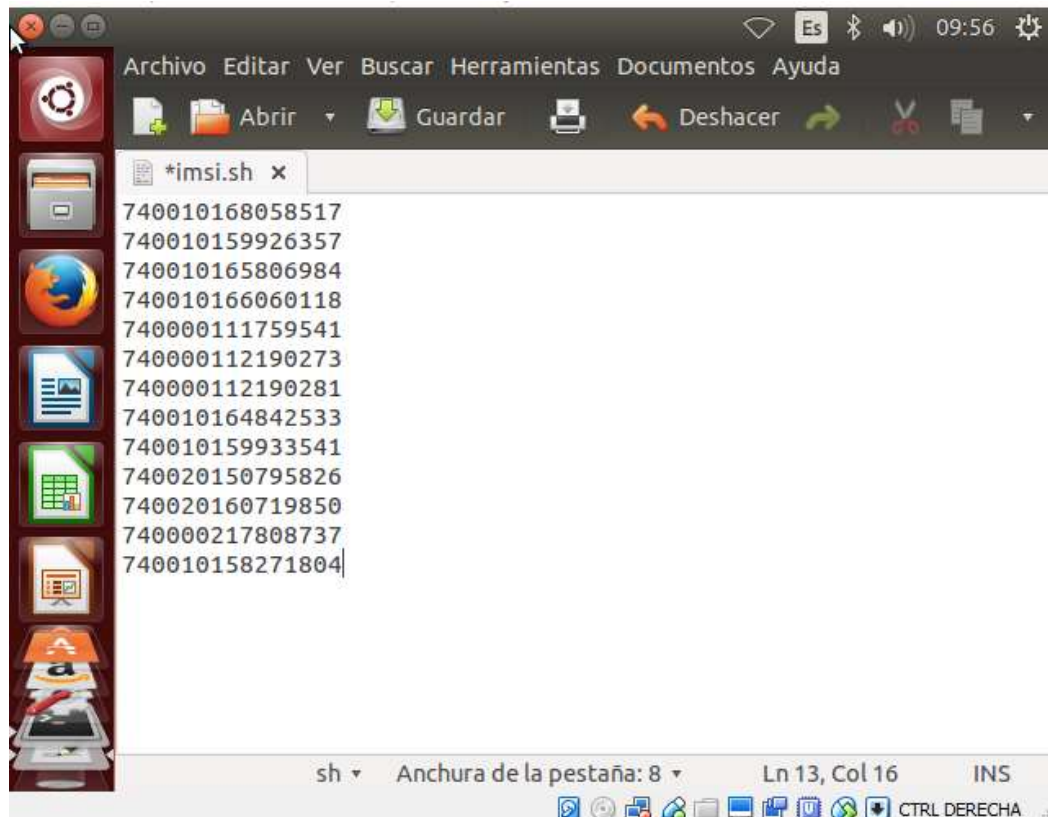


**Figura 4.16.** Equipos implementados para las pruebas de campo.



**Figura 4.17.** Personas localizadas en el local Paradero Río Daular.

Las configuraciones realizadas para las pruebas de campo fueron implementadas de la misma manera que las pruebas de laboratorio descritas anteriormente, de esta manera teniendo la configuración lista se procede a comprobar la cantidad de dispositivos enganchados automáticamente a nuestra estación base de acuerdo a los distintos usuarios que llegaban al sitio seleccionado.



The image shows a terminal window with a dark background. The title bar at the top reads "Archivo Editar Ver Buscar Herramientas Documentos Ayuda". Below the title bar is a menu bar with options: "Abrir", "Guardar", "Deshacer". The terminal content shows a list of IMSI numbers: 740010168058517, 740010159926357, 740010165806984, 740010166060118, 740000111759541, 740000112190273, 740000112190281, 740010164842533, 740010159933541, 740020150795826, 740020160719850, 740000217808737, and 740010158271804. The status bar at the bottom indicates "sh", "Anchura de la pestaña: 8", "Ln 13, Col 16", and "INS".

```
*imsi.sh x
740010168058517
740010159926357
740010165806984
740010166060118
740000111759541
740000112190273
740000112190281
740010164842533
740010159933541
740020150795826
740020160719850
740000217808737
740010158271804|
```

sh Anchura de la pestaña: 8 Ln 13, Col 16 INS

**Figura 4.18.** Códigos IMSI de los dispositivos conectados a la estación base de acuerdo a la cantidad de personas localizadas en el sector.

Se procede a realizar las pruebas de envío de SMS y demostrando la recepción de los mismos.

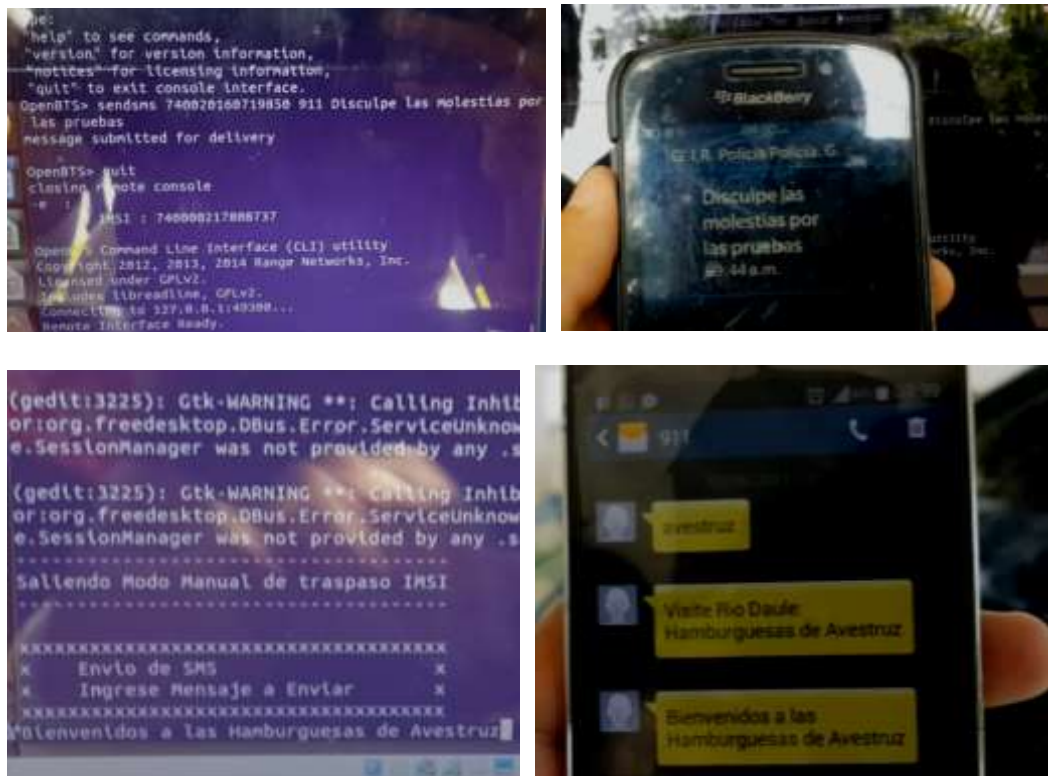


Figura 4.19. Recepción SMS a distintos dispositivos.

## CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación científica presentada, se puede concluir que la utilización de este sistema de mensajería, en este caso la OPENBTS para situaciones de emergencias, sirve para ayudar brindando información en los momentos de emergencia que se requieran cuando las operadoras se encuentran fuera de servicio dejando sin cobertura celular a los usuarios del área afectada, así mismo las zonas rurales las cuales son el mejor ejemplo de locaciones sin cobertura celular debido a la directividad con la que se encuentra el azimuth de las antenas colocadas en las torres de las diferentes operadoras, ya que al ser lugares con menos población en comparación con la ciudad, las operadoras no cubren lo suficiente la cobertura de sus antenas a dichos sectores afectando de esta manera a estos usuarios por falta del servicio de telefonía móvil.

Este proyecto de igual manera es un gran aporte para la Universidad Politécnica Salesiana, ya que se puede ampliar de forma práctica todos los conocimientos impartidos de las diferentes materias de la carrera Ingeniería Electrónica con mención en Telecomunicaciones, de esta manera promoviendo una manera didáctica de emplear todos los conocimientos teóricos e incentivar las investigaciones.

Con este prototipo se pueden realizar grandes avances tecnológicos con equipos de alta gama y de alto presupuesto para la implementación de una estación base con un rango de cobertura a gran escala y mayor potencia el cual podría contar con las tecnologías conocidos hasta la actualidad como lo es GSM, UMTS y LTE, de esta manera los usuarios podrían hacer uso de esta red tanto para mensajería SMS y Multimedia como para llamadas bidireccionales.

## RECOMENDACIONES

Una de las recomendaciones más importantes es verificar las dependencias que se requieren al momento de realizar la instalación debido a que con el pasar de los años estas se van actualizando por las versiones mejoradas que van apareciendo en UBUNTU haciendo que algunas de ellas se vuelvan obsoletas, por esta razón es muy importante revisar que versión se utilizará e instalar las dependencias adecuadas que sean compatibles con dicha versión para evitar inconvenientes a futuro.

También es muy importante utilizar los equipos físicos adecuados para este proyecto, tales como el USRP y su antena, ya que al trabajar con las bandas celulares como lo es GSM se debe tomar en cuenta el rango de frecuencia con el que se trabaja en el país donde se desea implementar, así mismo la configuración interna de la OPENBTS para que de esta manera los dispositivos móviles al momento de encontrarse en la localización sin cobertura celular, estos detecten nuestra estación y de esta manera engancharse sin problema alguno.

Otra recomendación es encontrarse a una distancia considerable al momento de realizar estos proyectos con dichos equipos, ya que al trabajar a altas frecuencias como las bandas celulares y encontrarse demasiado cerca puede ser un poco perjudicial para la salud.

## CRONOGRAMA

ACTIVIDADES	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL																	
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18
Entrega, revisión y corrección Anteproyecto																		
FASE 1																		
FASE 2																		
FASE 3																		
FASE 4																		
FASE 5																		
FASE 6																		
FASE 7																		
FASE 8																		
FASE 9																		
FASE 10																		
FASE 11																		
Entrega y sustentación																		

### FASE 1: Introducción.

- Inicio capítulo 1.
- Planteamiento del problema.
- Objetivos generales y específicos.
- Justificación.
- Variables e indicadores.
- Metodologías.
- Descripción de la propuesta.

### FASE 2: Seminarios y capacitaciones.

- Radios Definidas por Software (Equipo de la Universidad Politécnica Salesiana).
- Programación USRP.
- Radioenlaces.

### FASE 3: Marco teórico.

- Inicio capítulo 2.
- Recolección de información.

### FASE 4: Pruebas de prototipo.

- Instalación dependencias Linux.
- Selección de componentes.
- Inicio capítulo 3.

**FASE 5:** Realización pruebas GSM operadoras.

- Diseño estación base GSM.
- Finalización capítulo 3.

**FASE 6:** Pruebas manuales de laboratorio.

- Conectividad de equipos.

**FASE 7:** Presentación de resultados.

- Pruebas de laboratorio.
- Inicio capítulo 4.

**FASE 8:** Localización sitio sin cobertura.

- Movilización dentro y fuera de la ciudad.

**FASE 9:** Creación archivos de códigos para envío de mensajes masivos.

- Detección códigos IMSI para mensajes masivos.

**FASE 10:** Pruebas automáticas de campo.

- Pruebas finales del prototipo.
- Finalización capítulo 4.

**FASE 11:** Fase final.

- Entrega y correcciones de borrador final tesis.



## PRESUPUESTO

**Tabla 17** *Presupuesto general*

<b>Descripción</b>	<b>Total</b>
NI USRP 2920 (Equipo de la Universidad)	\$3275.00
Laptop HP	\$1500.00
Teléfono Samsung S4	\$600.00
Teléfono Sony	\$200.00
Materiales varios (impresiones, transporte y movilización)	\$150.00
Seminario Radios definidas por Software	\$50.00
Seminario Radioenlaces	\$100.00
Seminario Programación de USRP	\$250.00
<b>Total de Presupuesto</b>	<b>\$6125.00</b>

**Nota:** Materiales utilizados en la implementación del proyecto.

## ACRÓNIMOS

RBS	Radio Base Station
USRP	Universal Software Radio Peripheral
SDR	Software Design Radio
SMS	Short Message Service
GSM	Global System For Mobile Communication
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
LTE	Long Term Evolution
BTS	Base Transceiver Station
RAM	Random Access Memory
MS	Mobile Station
ME	Mobile Equipment
SIM	Subscriber Identity Module
IMEI	International Mobile Station Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
Um	User Mobile
BSS	Base Station Subsystem
BSC	Base Station Controller
MSC	Mobile Switching Center
NSS	Network Subsystem
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
PLMN	Public Land Mobile Network
PIN	Personal Identification Number
VLR	Visitor Location Register
AUC	Authentication Center
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
SDMA	Space Division Multiple Access
FDMA	Frequency Division Multiple Access
TDMA	Time Division Multiple Access
FDD	Frequency Division Duplex

BS	Base Station
ARFCN	Absolute Radio Frequency Channel Number
IN	Intelligent Network Subsystem
SCP	Service Control Point
GPRS	Global Packet Radio System
PSTN	Public Switched Telephone Network
VOIP	Voice Over Ip
MG	Media Gateway
IP	Internet Protocol
CPU	Central Processing Unit
CC	Call Control
HLR	Home Location Register
MSISDN	Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network
WIFI	Wireless Fidelity
FPGA	Field Programmable Gate Array
GPS	Global Positioning System
ADC	Analog To Digital Converter
DAC	Digital To Analog Converter
DDC	Digital Data Converter
DUC	Digital Upconverter
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
MIMO	Multiple Input, Multiple Output
3GPP	Third Generation Partnership Project
MCC	Mobile Country Code
MNC	Mobile Network Code
MSIN	Mobile Subscriber Identity Number
LAC	Location Area Code
NI	National Instruments

## REFERENCIAS

- ARSYS INTERNET. (20 de 07 de 2007). *Muy Linux* . Obtenido de Muy Linux Web Site: [www.muylinux.com](http://www.muylinux.com)
- Asociación Aditel. (15 de Octubre de 2004). *Ubuntu*. Obtenido de Ubuntu Web Site: [www.ubuntu-es.org](http://www.ubuntu-es.org)
- Cerdan, P. A. (30 de Julio de 1997). *ETSI*. Obtenido de ETSI Web Site: <http://www.etsi.org/>
- CSC Corporate Domains, Inc. (20 de Mayo de 1994). *National Instruments*. Obtenido de National Instruments Web Site: [www.ni.com](http://www.ni.com)
- Digi International Inc. (24 de Octubre de 2014). *Digi*. Obtenido de [http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976\\_V.pdf](http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_V.pdf)
- DNC Holdings, Inc. (20 de Julio de 2006). *Julian Oliver*. (Julian Oliver Works) Recuperado el 30 de Septiembre de 2016, de [https://julianoliver.com/output/log\\_2014-02-13\\_17-17](https://julianoliver.com/output/log_2014-02-13_17-17)
- ENOM, INC. (6 de Diciembre de 2013). *OVTOASTER*. Obtenido de OVTOASTER Web Site: [www.ovtoaster.com](http://www.ovtoaster.com)
- Files ettus*. (s.f.). Obtenido de [http://files.ettus.com/manual/page\\_install.html](http://files.ettus.com/manual/page_install.html)
- Go Montenegro Domains, LLC. (06 de Julio de 2009). *Range Networks*. Obtenido de Range Networks Web Site: [www.rangenetworks.com](http://www.rangenetworks.com)
- Hadžialić Mesud, Š. M. (2014). An Approach to Analyze Security of GSM Network. *22nd Telecommunications forum TELFOR*. Belgrado, Serbia.
- Hashem Islam, E. A. (2 de Diciembre de 2012). Implementing an Enhanced Base Station using the Software Defined Radio (CUOPENBTS). *2nd International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA)*. Guiza, Egipto.
- Hostmaster. (10 de Marzo de 1999). *Debian*. Obtenido de Debian Web Site: <https://www.debian.org>
- Judd Vinet. (5 de Marzo de 2002). *Archlinux*. (eNom, Inc) Recuperado el 30 de Septiembre de 2016, de [https://www.archlinux.org/packages/community/x86\\_64/libuhd/](https://www.archlinux.org/packages/community/x86_64/libuhd/)

Muñoz, D. (2002). *Sistemas Inalámbricos de comunicación Personal*. Mexico: Alfaomega.

Network Solutions, LLC. (05 de Febrero de 1999). *Network Solutions*. Obtenido de Network Solutions Web Site: [www.ettus.com](http://www.ettus.com)

*Niviuk*. (s.f.). Obtenido de [http://niviuk.free.fr/gsm\\_band.php](http://niviuk.free.fr/gsm_band.php)

Range Networks, Inc. (05 de Junio de 2008). *OpenBTS*. Obtenido de OpenBTS Web Site: [www.openbts.org](http://www.openbts.org)

Sauter, M. (2011). *From GSM to LTE and introduction to mobile networks and mobile broadband*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.

Will West Domain, LLC. (22 de Mayo de 2006). *GNURadio*. (GNURadio Works) Recuperado el 30 de Septiembre de 2016, de <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/UbuntuInstall>

# ANEXOS

# ANEXOS

## Anexo 1. Datasheet USRP

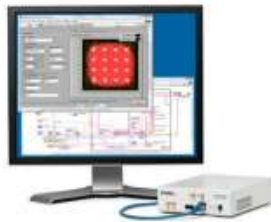


Technical Sales  
(866) 531-6285  
orders@ni.com

Requirements and Compatibility | Ordering Information | Detailed Specifications  
For user manuals and dimensional drawings, visit the product page resources tab on ni.com.

Last Revised: 2015-06-17 15:03:46.0

### NI USRP-292x/293x Datasheet Universal Software Radio Peripherals



- Affordable, rapid prototyping solution
- Tunable RF transceivers options covering 50MHz – 6GHz
- Stream up to 25MS/s baseband IQ for live host-based processing with LabVIEW
- Optional GPS disciplined OCXO improves clock precision and enables global device synchronization position (USR-293x)
- Plug-and-play MIMO synchronization
- Reference design examples for record & playback, physical layer prototyping, and spectral monitoring
- NI technical support and 1-year extendable warranty

#### Overview

NI USRP-292x and 293x software defined radio transceivers are designed for wireless communications teaching and research. Programmable with LabVIEW software, the USRP hardware is an affordable and easy-to-use RF platform for rapid prototyping applications such as record & playback, physical layer communication, spectrum monitoring, and more. With the ability to transmit and receive RF signals across a wide range of frequencies with up to 20 MHz of real-time bandwidth and plug-and-play MIMO support, the NI USRP enables a broad range of RF/communications applications covering common standards such as broadcast radio, digital TV, GSM Cellular, GPS, 802.11 (WiFi) and ZigBee®. LabVIEW brings increased productivity with an intuitive graphical programming approach, and m-file script compatibility enabling development of algorithms for physical layer communications. The NI USRP-293x has an integrated GPS-disciplined clock that provides improved frequency accuracy, synchronization capabilities, and GPS position information.

[Back to Top](#)

#### Requirements and Compatibility

##### OS Information

- Windows 7 32-bit
- Windows 7 64-bit
- Windows 8.1 32-bit
- Windows 8.1 64-bit
- Windows XP

##### Driver Information

- NI-USRP

##### Software Compatibility

- LabVIEW

[Back to Top](#)

#### Comparison Tables

Model	Frequency	GPS-Disciplined	Freq. Accuracy (No GPS Antenna)
NI USRP-2920	50 MHz to 2.2 GHz	No	2.5 ppm
NI USRP-2921	2.4 to 2.5 GHz and 4.9 to 5.9 GHz	No	2.5 ppm
NI USRP-2922	400 MHz – 4.4 GHz	No	2.5 ppm
NI USRP-2930	50 MHz – 2.2 GHz	Yes	25 ppb
NI USRP-2932	400 MHz – 4.4 GHz	Yes	25 ppb

Figura A.1. Especificaciones de hardware USRP 2920.

Detailed Specifications					
Characteristics	NI USRP-2920	NI USRP-2921	NI USRP-2922	NI USRP-2930	NI USRP-2932
<b>Transmitter</b>					
Frequency Range	50MHz-2.2GHz	2.4GHz-2.5GHz 4.9GHz-5.9GHz	400MHz- 4.4GHz	50MHz- 2.2GHz	400MHz- 4.4GHz
SW Adjustable TX Frequency Step			< 1KHz		
MAX Output Power			15 dBm - 20 dBm		
TX Output Power Gain Range			0 dB - 31 dB		
SW Adjustable Output Power Step Size			1dB		
Instantaneous Real-Time Bandwidth			20MHz (16bit samples) 40MHz (8bit-samples)		
DAC (Digital to Analog Conversion)			2 channels, 400MS/s, 16 bit		
DAC SFDR (Spurious Free Dynamic Range)			80 dB		
<b>Receiver</b>					
Software Adjustable RX Frequency Step			< 1KHz		
Max Input Power (Pin)			0 dBm		
Noise Figure			5 to 7 dB		
			20MHz (16bit samples)		

Figura A.2. Comparación de los distintos modelos de USRP.

Instantaneous Real-Time Bandwidth					40MHz (8bit-samples)
ADC (Analog to Digital Conversion)					2 channels, 100MS/s, 14 bit
ADC SFDR (Spurious Free Dynamic Range)					88 dB
<b>Reference Clock</b>					
Clock Type	TCXO	TCXO	TCXO	OEXO	OEXO
GPS Disciplined	NO	NO	NO	YES	YES
Freq.Accuracy of 10MHz Ref (No GPS Antenna)	2.5ppm	2.5ppm	2.5ppm	25 ppb	25 ppb

Shared Characteristics (Apply all NI-29xx devices)					
Connections			Physical Specifications		
TX1 RX1, TX2 RX2, RX2 Ports	SMA		Enclosure Dimensions	6.25" Wide x 1.9" Tall x 8.35" Deep	
Ethernet Connection	1 Gigabit Ethernet		Weight	2.63 lbs	
Power Adapter	6VDC, 3A		Operating Temperature	23°C ±5°, Room Temperature	
Ref Clock (10-Mhz external reference input)	SMA, 10 MHz				
PPS Input (Pulse Per Second reference input)	SMA, 3-5V TTL Compatible				
MIMO Expansion Port	High-Speed SerDes protocol				

[Back to Top](#)

©2015 National Instruments. All rights reserved. LabVIEW, National Instruments, NI, ni.com, and USRP are trademarks of National Instruments. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2014 National Instruments Corporation. All rights reserved.

Figura A.3. Características de hardware USRP 2920.



## Anexo 2. Zona rural sin cobertura celular



**Figura A.4.** Vista trasera del local ubicado en la zona rural del Río Daular.



**Figura A.5.** Vista lateral del local ubicado en la zona rural del Río Daular.



**Figura A.6.** Vista frontal del local ubicado en la zona rural del Río Daular.



**Figura A.7.** Vista frontal del local ubicado en la zona rural del Río Daular.



**Figura A.8.** Vista lateral del local ubicado en la zona rural del Río Daular.



**Figura A.9.** Teléfonos móviles sin cobertura celular en zona rural Río Daular.

### Anexo 3. Construcción Jaula de Faraday para simulación



**Figura A.10.** Vista frontal Jaula de Faraday para simulación.



**Figura A.11.** Vista lateral Jaula de Faraday para simulación.

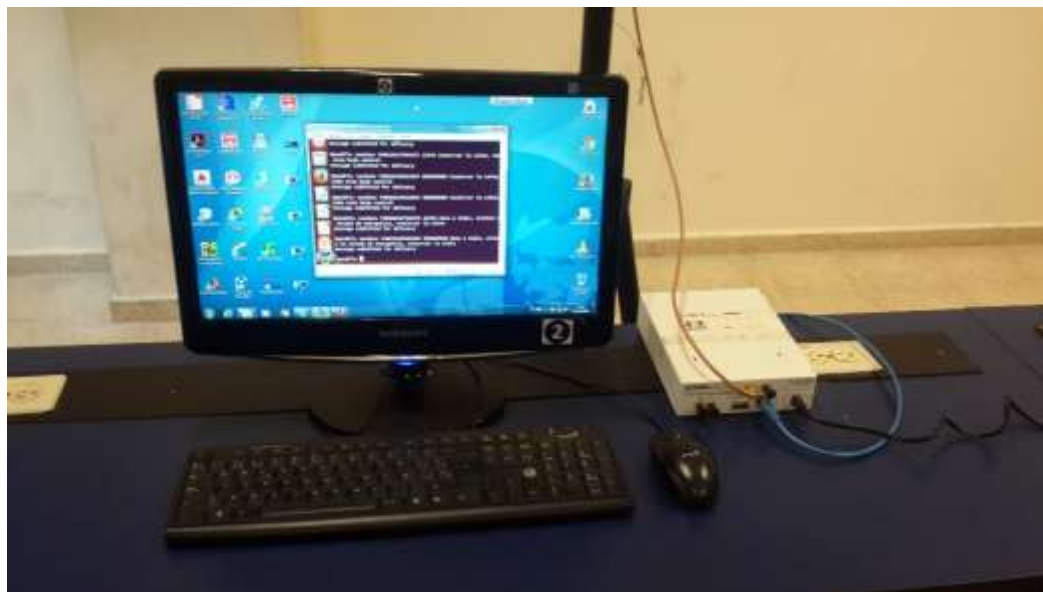


**Figura A.12.** Vista superior Jaula de Faraday para simulación.



**Figura A.13.** Vista superior Jaula de Faraday abierta para simulación.

#### Anexo 4. Pruebas de envío de mensajes



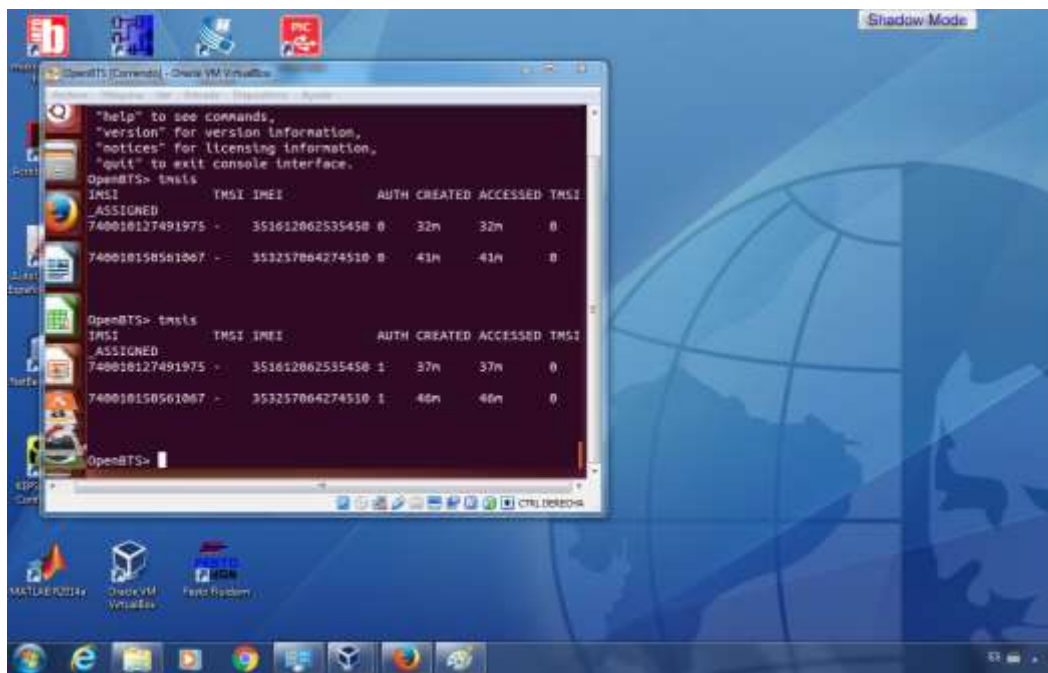
**Figura A.14.** Realización de pruebas en laboratorio de Telecomunicaciones.



**Figura A.15.** Egresado Kleber Limones realizando pruebas en laboratorio de Telecomunicaciones.



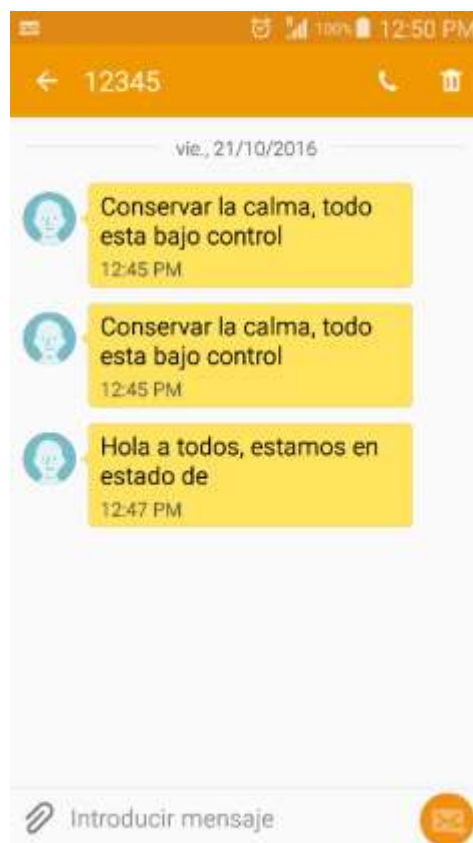
**Figura A.16.** Egresado Fernando Tutasí realizando pruebas en laboratorio de Telecomunicaciones.



**Figura A.17.** Prueba de capturas de código IMSI dispositivos móviles.



**Figura A.18.** Prueba envío de mensajes a los dispositivos.



**Figura A.19.** Recepción de mensajes desde la OPENBTS.





**Figura A.20.** Pruebas de campo del prototipo implementado.

```
pe:  
"help" to see commands,  
"version" for version information,  
"notices" for licensing information,  
"quit" to exit console interface.  
OpenBTS> sendsms 740020160719850 911 Disculpe las molestias por  
las pruebas  
message submitted for delivery  
  
OpenBTS> quit  
closing remote console  
-e : IMSI : 740000217808737  
  
OpenBTS Command Line Interface (CLI) utility  
Copyright 2012, 2013, 2014 Range Networks, Inc.  
Licensed under GPLv2.  
Includes libreadline, GPLv2.  
Connecting to 127.0.0.1:49300...  
Remote Interface Ready.
```

**Figura A.21.** Configuración envío SMS masivo.

740010168058517  
740010159926357  
740010165806984  
740010166060118  
740000111759541  
740000112190273  
740000112190281  
740010164842533  
740010159933541  
740020150795826  
740020160719850  
740000217808737  
740010158271804

**Figura A.22.** Registro códigos IMSI para envío masivo de mensajes.



**Figura A.23.** Recepción de mensajes en pruebas de campo.