

Sistema de conmutación y control de llamadas basado en OpenBTS y Asterisk

Manuel Quiñones¹, Juan Pablo Tene¹, Katty Rohoden¹, Carlos Carrión²

¹ Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto, Loja, Ecuador, 1101608.

² Communications Laboratory (ComLab), Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária Zeferino Vaz – Barao Geraldo, Campinas, Brasil, 13083-970.

Autores para correspondencia: mfquinonez@utpl.edu.ec, jptene@utpl.edu.ec, karohoden@utpl.edu.ec, carloscb@decom.fee.unicamp.br

Fecha de recepción: 21 de septiembre de 2014 - Fecha de aceptación: 17 de octubre de 2014

RESUMEN

El presente trabajo empleó herramientas de hardware y software de licencia libre para el establecimiento de una estación base celular (BTS) de bajo costo y fácil implementación. Partiendo de conceptos técnicos que facilitan la instalación del sistema OpenBTS y empleando el hardware USRP N210 (Universal Software Radio Peripheral) permitieron desplegar una red análoga al estándar de telefonía móvil (GSM). Usando los teléfonos móviles como extensiones SIP (Session Initiation Protocol) desde Asterisk, logrando ejecutar llamadas entre los terminales, mensajes de texto (SMS), llamadas desde un terminal OpenBTS hacia otra operadora móvil, entre otros servicios.

Palabras clave: OpenBTS, USRP, GSM, Asterisk, software libre, BTS.

ABSTRACT

In the present research, some open source tools of hardware and software are used in order to build a free cellular base station BTS, of low cost and easy implementation, starting with an investigation of the technical concepts about the mobile systems, and the voice over IP VoIP technology. Then the installation of a system called OpenBTS is performed. This system uses the USRP hardware; a radio SDR defined software deploying a free GSM network, providing the communication with any phone that supports this standard. The system enables to switch it as a user agent of the session Initiation protocol SIP from Asterisk computer program. The latter software is installed as a VoIP PBX system with several modules to integrate a switching system where telephone calls are executed between registered users.

Keywords: OpenBTS, USRP, GSM, Asterisk, open source, BTS.

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM) es sin duda una de las mayores obras de ingeniería en telecomunicaciones por su aporte técnico a la arquitectura celular. Este estándar se encuentra extendido en más de un 90% alrededor de todo el mundo, contando con más de 3000 millones de usuarios en 219 países distintos (GSMA, 2014).

En Ecuador existen más de 16 millones de dispositivos de comunicaciones móviles activados en el país, de los cuales 14,5 millones son teléfonos celulares (SUPERTEL, 2012), una cifra que sigue en aumento y supera incluso a la población del país que se acerca a 14,3 millones de habitantes (Villacís & Carrillo, 2011).

Estas cifras pueden suponer hoy en día que cualquier ciudadano tiene acceso a una red de comunicación telefónica, pero la gran verdad es que todavía existen personas y comunidades a las que no llega ningún tipo de tecnología de comunicación móvil, por tratarse de lugares poco rentables para las grandes empresas de telecomunicaciones que requieren de un cierto número de clientes para iniciar su operación. Es por esto que en (Vázquez *et al.*, 2012; Zorn *et al.*, 2010) se presenta un prototipo de una Estación Celular Portátil basada en el proyecto OpenBTS, GSM y Asterisk. Los autores proponen este sistema para dar ayuda a lugares con cobertura celular limitada y así brindar comunicación durante desastres o emergencias que se puedan suscitar en dichos lugares. En (Mpala & van Stam, 2013), los autores investigaron el desarrollo de un sistema de telecomunicación de bajo costo, basado en OpenBTS y GSM, y concluyeron que los principales limitantes para la implementación de un sistema celular en una zona rural es la disponibilidad de equipos, el ancho de banda limitado, y la regulación de las frecuencias. Por otra parte, en (Pulgarín *et al.*, 2013) se propone usar OpenBTS con fines académicos, en donde se puede demostrar el funcionamiento de una red GSM usando la plataforma de hardware USRP.

Tomando en consideración los trabajos antes mencionados, en este proyecto se propone usar equipos de bajo costo junto con la integración de software de licencia libre, con el fin de emular una plataforma de red celular GSM que permita una comunicación útil y libre de tarifas en comunidades que son aisladas por las empresas móviles al no completar con el suficiente número de usuarios que generan rentabilidad económica. Por otro lado también desarrollar un sistema que sirva como una red suplementaria en escenarios de emergencia donde se necesiten soluciones portables y de pronta instalación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Arquitectura GSM

Según (Cabral *et al.*, 2009) una red GSM es un sistema complejo compuesto por varios componentes, en donde el último tramo de este sistema es la antena BTS (Base Station Transceiver). La BTS es la responsable de transmitir y recibir las señales de radio frecuencia (RF) al terminal del usuario (teléfono celular, PDA, módem, etc.). Es controlada por una BSC (Base Station Controller) que está conectada a un MSC (Mobile Switching Center) y VLR (Mobile Visitor Location Register). Básicamente MSC y VLR son los responsables de autenticar al usuario en la base de datos HLR (Home Location Register) y el AUC (Centro de Autenticación de usuarios) de la red del operador. En la Fig. 1 se presenta un esquema de la arquitectura GSM comparado con el proyecto OpenBTS (Apvrille, 2011).

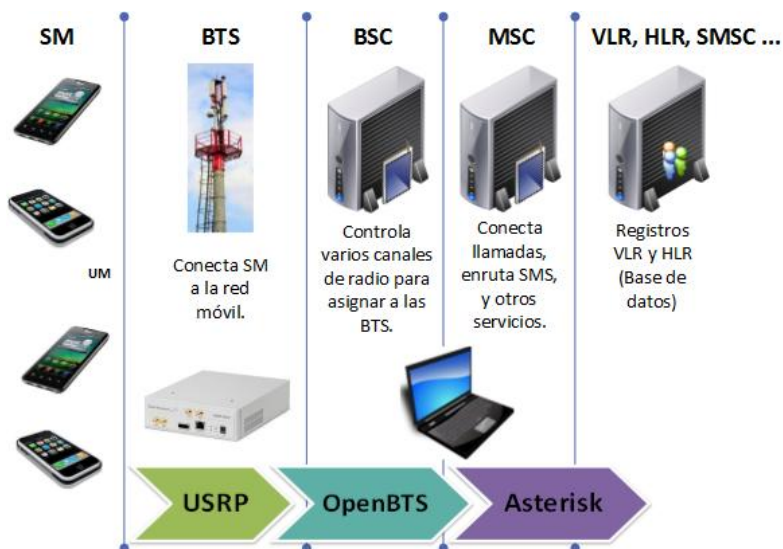


Figura 1. Arquitectura GSM comparado con OpenBTS.

La interfaz de aire GSM es conocida como Um, se encarga de describir los métodos usados por la estación móvil (MS) y la BTS para establecer una comunicación bidireccional. Um se encuentra definida en las especificaciones GSM 04.xx y 05.xx del Instituto de Estandarización ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

GSM usa una combinación de FDMA y TDMA en un espectro total de 25 MHz. Los canales uplink y downlink son especificados por un número llamado ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number) que cumple con la función de asignar los canales de transmisión y recepción que usarán los teléfonos en la red. Cada ARFCN tiene un ancho de banda de 270,833 KHz y utiliza una separación entre canales de 200 KHz en cualquier banda de GSM.

2.2. OpenBTS

El sistema OpenBTS es una aplicación de software libre desarrollado bajo el sistema operativo Unix, utiliza el hardware USRP (Universal Software Radio Peripheral) para construir una interfaz inalámbrica de radio (Um) emulando el estándar de comunicaciones móviles GSM. Esto posibilita que los teléfonos celulares circundantes detecten una red GSM, y a su vez, estos sean vistos como extensiones del protocolo SIP (Session Initiation Protocol), permitiendo montar **in-situ** un sistema de conmutación o central telefónica, empleando el software de licencia libre Asterisk (Burgess & Samra, 2008).

Para la instalación completa del sistema OpenBTS versión P2.8 se requiere de varios componentes de software que interactúan entre sí con la finalidad de emular la arquitectura GSM, los cuales se indican en la figura 2 el diagrama del sistema (OpenBTS Public Release, 2011).

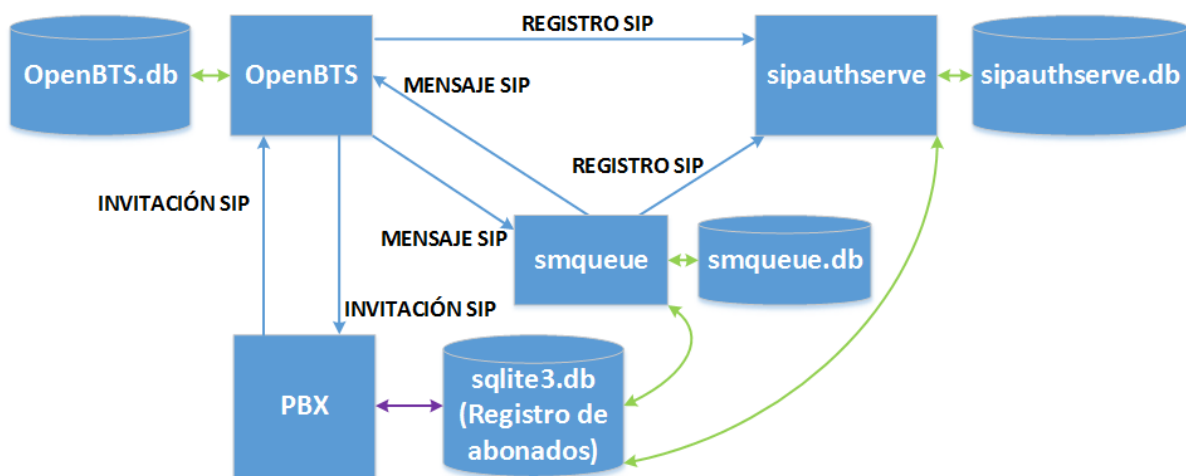


Figura 2. Diagrama del sistema OpenBTS.

2.3. Hardware

El dispositivo utilizado es una placa de propósito general denominada USRP N210 fabricada por la empresa Ettus Research. Se puede conectar a un ordenador personal a través de una interfaz Gigabit Ethernet y es capaz de utilizar un ancho de banda de frecuencia de radio de 100 MHz, tanto en transmisión como en recepción. La figura 3 muestra la arquitectura de la placa base, equipada con un FPGA (Field Programmable Gate Array) Spartan 3A-DSP 3400 de Xilinx, 2 ADC y 2 DAC. Para la etapa de RF se necesita de la tarjeta WBX, que permite recibir/transmitir en la banda de 50 a 2200 MHz, con una potencia de transmisión de 100 mW a través de una antena omnidireccional vertical VERT900 para las bandas de 824 a 960 MHz, de la banda 1710 a 1990 MHz Quad-celular/PCS y Banda ISM, de 9 pulgadas de largo y una ganancia de 3 dBi (Ettus Research, 2012).

Por otro lado como interfaces de usuario es imprescindible el uso de teléfonos celulares compatibles con el estándar GSM que cuenten con tarjetas SIM (Subscriber Identity Module). Además los teléfonos que sirven como Gateways FXO (Foreign eXchange Office) o FXS (Foreign eXchange Subscriber) deben poseer capacidad de conexión Bluetooth 2.0.

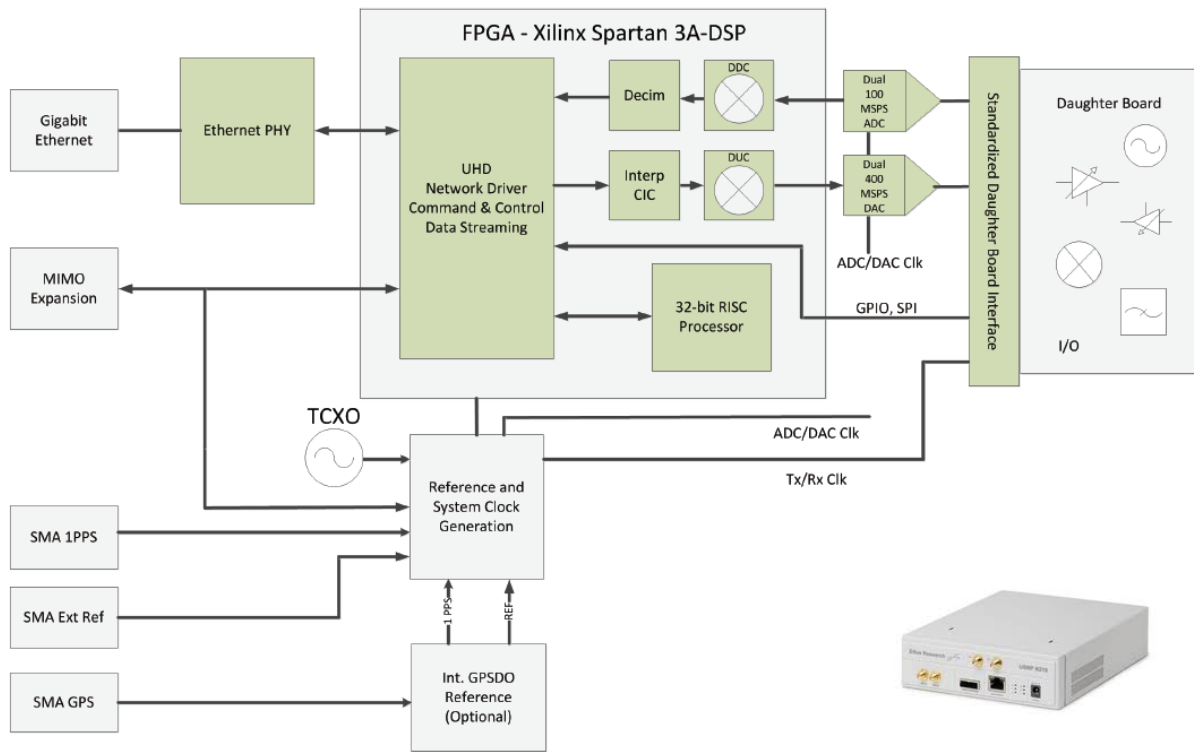


Figura 3. Arquitectura del USRP N210.

2.4. Software

Es necesario contar con la instalación del sistema operativo Linux en un computador personal. En este trabajo se utilizó la versión de Linux Ubuntu 12.04.2 LTS (Precise Pangolin). Se recomienda las versiones Ubuntu 10.04 LTS o Ubuntu 10.10, por la facilidad que presentan en el manejo de las dependencias de software, las librerías y paquetes que compilan e instalan los sistemas OpenBTS, UHD (USRP Hardware Driver), y Asterisk. En la Tabla 1 se enumeran los paquetes que deben ser instalados previos a cualquier configuración de los sistemas anteriormente nombrados.

Tabla 1. Librerías de Software necesarias en el sistema.

OpenBTS	Asterisk	UHD Driver
autoconf	Kernel-devel	Libboost-all-dev
libtool	Bluez	Libboost-1.0-0-dev
libosip2	Bluez-libs	Python-cheetah
libortp	Usbutil	Doxygen
libusb-1.0	Pygobject2	Python-docutils
Sqlite3	asterisk-addons-trunk	
libsqlite3-dev	dahdi-linux-complete	
libboost-all-dev	libpri	
Libreadline6-dev		

Según Apvrille (2013) la instalación del software GNU Radio es necesaria para el funcionamiento de OpenBTS, sin embargo, las dependencias de este software han sido reemplazadas por las librerías que posee el driver UHD.

2.5. Asterisk

Asterisk es un proyecto de código abierto que agrupa la funcionalidad de una central telefónica privada PBX (Private Branch Exchange) dentro de un paquete de software, permitiendo realizar el registro, conexión y comunicación de terminales telefónicos conectados al servidor Asterisk.

A pesar de que se trata de una aplicación software ofrece las mismas características y servicios que un equipo de hardware PBX. Soporta una variedad de tecnologías para ejecutar y recibir llamadas telefónicas, muchos protocolos VoIP, así como también conectividad analógica y digital a las redes de telefonía tradicional, o a una red digital de servicios integrados (RDSI) (Vázquez & Restrepo, 2012).

Asterisk se encuentra formado por un conjunto de módulos que brindan una gran capacidad de abstracción de los protocolos, códecs e interfaces utilizados en cada conexión, esto es lo que hace de Asterisk una herramienta totalmente flexible y adaptable. Existe una variedad de módulos en función de la aplicación que se vaya a desarrollar, a continuación se nombrarán los usados en el sistema de conmutación OpenBTS.

Módulos

– Chan Mobile

Es un módulo controlador del canal de Asterisk que permite a los teléfonos móviles - celulares ser usados como dispositivos FXO (Foreign Exchange Office), mediante una conexión Bluetooth (Bowerman, 2009).

En la Fig. 4 se muestra el esquema de conexión alternativo para establecer enlaces con operadoras móviles externas a OpenBTS. Se consigue de este modo realizar una comunicación con usuarios fuera del sistema, evitando un costo adicional por la interconexión con las empresas móviles. Aunque también es necesario hacer un uso eficiente de este servicio en vista de que el costo por la llamada es cargado al teléfono que realiza la conexión.



Figura 4. Esquema de conexión Chan_Mobile.

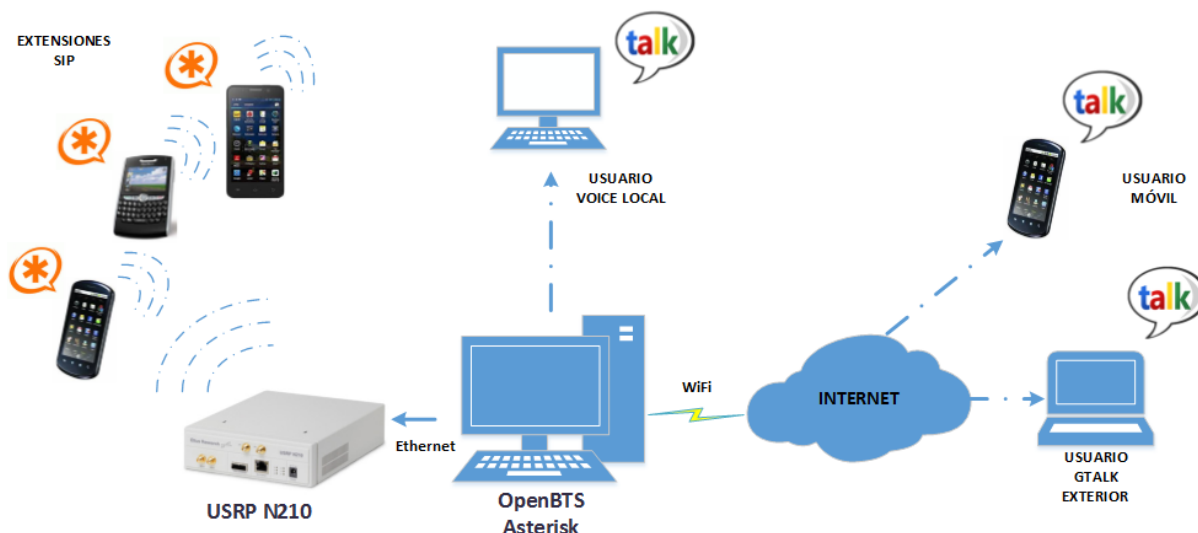


Figura 5. Diagrama de red OpenBTS-Asterisk-GoogleTalk.

– *Google Voice*

Asterisk y a su vez OpenBTS se pueden comunicar con las aplicaciones de Google Voice y Google Talk por medio del uso del módulo controlador de canal **chan_motif** y el módulo de recursos **res_xmpp**, construyendo una innovadora red de voz como la mostrada en la Fig. 5.

El primer componente a configurar para construir esta red es el protocolo Real-time Transport Protocol (RTP), el cual permite el intercambio de voz en tiempo real. Las opciones para el protocolo se alojan en el archivo de configuración *rtp.conf* localizado en */etc/asterisk*. Se habilita el soporte para ICE (Interactive Connectivity Establishment).

A continuación se configura el archivo *motif.conf*, en donde se definen las opciones del contexto usado para la conexión con google, tal como se muestra a continuación.

```
[google]
context=llamagoogle
allow=ulaw
connection=google
```

Finalmente se modifica el archivo *xmpp.conf*, configuración la dirección del servidor de google, la cuenta de correo que usará Asterisk como identificación, puerto, etc.

```
serverhost=talk.google.com
username=example@gmail.com
port=5222
```

Esta configuración permitirá que en el plan de marcado se pueda usar un número específico para realizar una llamada desde un terminal OpenBTS hacia una cuenta de google, por ejemplo:

```
exten=>100,1,Dial(Motif/google/user@gmail)
```

Al marcar 100, se llamará a la cuenta *user@gmail.com*, usando la tecnología **Motif** y la conexión definida **google**. La cuenta de correo debe tener habilitada la opción de llamadas en Gmail, de otra forma no se podrá realizar ninguna llamada.

2.6. Metodología

La metodología de investigación aplicada es un sistema de avance por fases, de esta forma se mantuvo un constante enfoque exploratorio de libros, documentos técnicos, artículos y publicaciones científicas, con el fin de extraer las ideas principales de sistemas de telefonía móvil de código abierto,

y aplicarlos junto con un inherente componente heurístico, a fin de alcanzar los objetivos planteados dentro del trabajo de investigación.

Se inició analizando la arquitectura que debe seguir cualquier operador de comunicaciones móviles en el caso de utilizar el estándar GSM para montar una red celular. También, es mencionado el proceso que siguen las centrales telefónicas basadas en VoIP (Voz sobre IP), enfocando la funcionalidad que presta el software de licencia libre Asterisk, gracias a la integración de sus componentes con las redes de comunicación. A partir de las etapas anteriores, se inicia el proceso de configuración y montaje de la red, tomando como guía el planteamiento del sistema por fases.

La primera fase, comprende el sistema de red GSM basado en OpenBTS, se analizan sus componentes de forma que sea posible realizar una instalación y configuración exitosa. La segunda fase, comprende la instalación de una central telefónica que permita realizar la gestión y conmutación de llamadas entre estaciones móviles (MS), dentro y fuera de la propia red, por medio del plan de marcado y las aplicaciones de conexión con que cuente el software usado, Asterisk. Por último se proyecta realizar las pruebas de cada módulo del sistema, corrigiendo a su vez los errores que se presenten en cada etapa de la implementación de la red y su central de conmutación, estas pruebas servirán como guía para el análisis de los resultados que se obtengan al finalizar el proyecto.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de iniciar el sistema de telefonía móvil se debe realizar una prueba de funcionamiento y conectividad del equipo USRP con el computador. Todas las pruebas que se realizaron durante este trabajo han sido desarrolladas dentro de un ambiente de laboratorio en donde el nivel de señal de GSM de otras operadoras es muy bajo.

Es necesario contar con una toma de energía de 110 V en AC para facilitar la alimentación tanto del SDR (Software Defined Radio) como del computador. Estos equipos se comunican mediante una conexión Ethernet, la cual se habilitará cuando se asigne de forma estática una dirección IP en el computador, similar a la que usa el USRP por defecto, que es 192.168.10.2.

Completado lo anterior se tiene la facultad de ejecutar dentro de una consola en Linux la aplicación instalada junto con el driver UHD, “*uhd_find_devices*” que detecta el dispositivo USRP conectado. A continuación se usa el programa denominado *Kalibrator* para escanear las bandas de frecuencia GSM que se encuentren en uso por cualquier operadora dentro de esa área. Para ejecutar este programa se escribe en consola la siguiente línea de comandos: `kal -s GSM850 -F 52000000 -RB`. Indicando la banda a ser escaneada, las opciones que se tienen son: la banda GSM850, GSM900, DCS y PCS, junto con la frecuencia de muestreo si es que se desea especificar.

3.1. Inicio del sistema

Realizada la conexión y alimentación de los equipos se procede al inicio del sistema OpenBTS. El sistema comprende la ejecución de los siguientes procesos, todos en el mismo computador:

- El primer proceso a ejecutar es el servidor de registro (Sipauthserve), que se encuentra en el directorio /SubscriberRegistry/Trunk, se ejecuta usando la sentencia **`./sipauthserve`**
- Se inicia el servidor de mensajes de texto SMS (smqueue), ingresando al directorio /smqueue/trunk/smqueue y ejecutándolo mediante **`./smqueue`**
- Luego se ejecuta el transceiver (OpenBTS) que está alojado en /openbts/trunk/apps con el comando **`./OpenBTS`**
- Por último se inicia el servidor Asterisk el cual se inicia desde una consola de Linux por medio del comando **`asterisk -vvvvvc`**.

Tras completar lo anterior el sistema está listo para aceptar el acceso a los usuarios, los mismos que al ingresar a la red recibirán de forma automática un mensaje de bienvenida enviado desde la extensión 101 (Fig. 6).

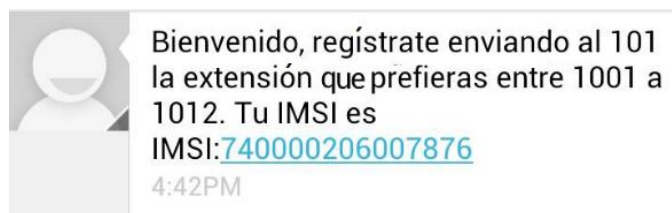


Figura 6. Mensaje de bienvenida a OpenBTS.

En el mensaje se solicita que se envíe un número de extensión, el usuario debe responder al mensaje con el número que desea registrarse, si este número se encuentra registrado para otro teléfono, el usuario recibirá una notificación indicando que el número seleccionado ya se encuentra en uso. Al enviar la petición de registro, y si se cumple la condición de que el número no está siendo usado, entonces se recibirá un mensaje de haber completado el registro junto con el número aceptado por el sistema, como se puede ver en la Fig. 7.

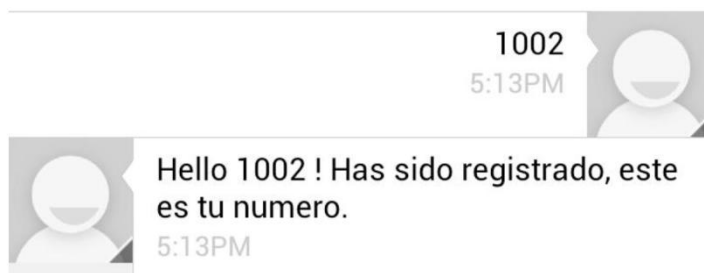


Figura 7. Mensaje que recibe el usuario al ser registrado.

3.2. Interfaz de usuario GUI

La interfaz gráfica consta de un módulo de arranque del sistema, donde el usuario debe iniciar obligatoriamente los servidores de Registro (sipauthserve) y Mensajes (smqueue). Estos y todos los procesos del sistema se ejecutan de manera automática en terminales del sistema Unix. En donde son controlables tanto su inicio como su ejecución.

Luego de ejecutar los servidores, se puede iniciar la estación base abriendo el proceso Transceiver **OpenBTS**. A partir de este evento la red celular puede ser detectada por los teléfonos móviles circundantes en el área. Además, se pueden realizar tareas de administración desde la GUI, como analizar los parámetros de los usuarios registrados en la base de datos (sqlite3.db).

3.3. Ejecución de llamadas

El último paso a comprobar es el comportamiento del sistema frente a las llamadas que los usuarios realizan una vez que sus teléfonos se encuentran dentro de la red OpenBTS.

Las llamadas que se pueden ejecutar con el sistema propuesto son:

- Llamadas locales entre usuarios móviles de OpenBTS.
- Llamadas desde un terminal OpenBTS hacia la operadora móvil (Claro, Movistar, CNT).
- Llamadas desde un terminal OpenBTS hacia una cuenta Google (configurada en Asterisk).
- Llamadas desde un terminal OpenBTS hacia un teléfono fijo (registrado en CNT).

El responsable de registrar y ejecutar estas llamadas es Asterisk, y gracias a su consola CLI (Command Line Interface) se puede monitorear el inicio, ejecución y terminación de las mismas. Por ejemplo, en la Figura 8, se puede visualizar en la consola CLI de Asterisk cuando el usuario que posee el terminal "1001" realiza una llamada al usuario "1002".

Los números de extensiones deben ser especificados mediante un rango de números, en este caso se ha establecido el rango desde 1001 hasta 1012. Además, es importante saber que la celda OpenBTS ejecuta un máximo de siete llamadas simultáneas sin congestionar la red.


```

-- Executing [1001@public:6] NoOp("SIP/IMSI740010137456407
amada se esta realizando..") in new stack
-- Executing [1001@public:7] Set("SIP/IMSI740010137456407-
T(absolute)=300") in new stack
-- Channel will hangup at 2013-08-14 18:31:25.668 ECT.
-- Executing [1001@public:8] Dial("SIP/IMSI740010137456407
MSI740010137456407@127.0.0.1:5062") in new stack
== Using SIP RTP CoS mark 5
-- Called SIP/IMSI740010137456407@127.0.0.1:5062
-- SIP/127.0.0.1:5062-00000001 is ringing
-- SIP/127.0.0.1:5062-00000001 is ringing
    
```

Figura 8. Mensaje que recibe el usuario al ser registrado.

Durante el curso de una llamada entre dos usuarios se debe tener una distancia prudente entre teléfonos celulares, con el fin de evitar una retroalimentación en la llamada, lo que podría distorsionar la comunicación.

Una vez establecida la llamada el tiempo máximo de duración es de cinco minutos, pasado este tiempo la llamada será finalizada. Además si un usuario llama a un usuario que no se encuentre registrado, que esté fuera del alcance de la red o que haya apagado su teléfono, el usuario que realizó la llamada recibirá un tono de aviso alertando de estas condiciones. Todo este comportamiento se lo configura en el plan de marcado de Asterisk mediante el establecimiento de números de servicios específicos.

Además del servicio de llamadas el sistema cuenta con la prestación de:

- Mensajes de texto SMS entre terminales registrados en la red (Fig. 9).
- Mensajes SMS entre el centro de mensajería y el usuario.

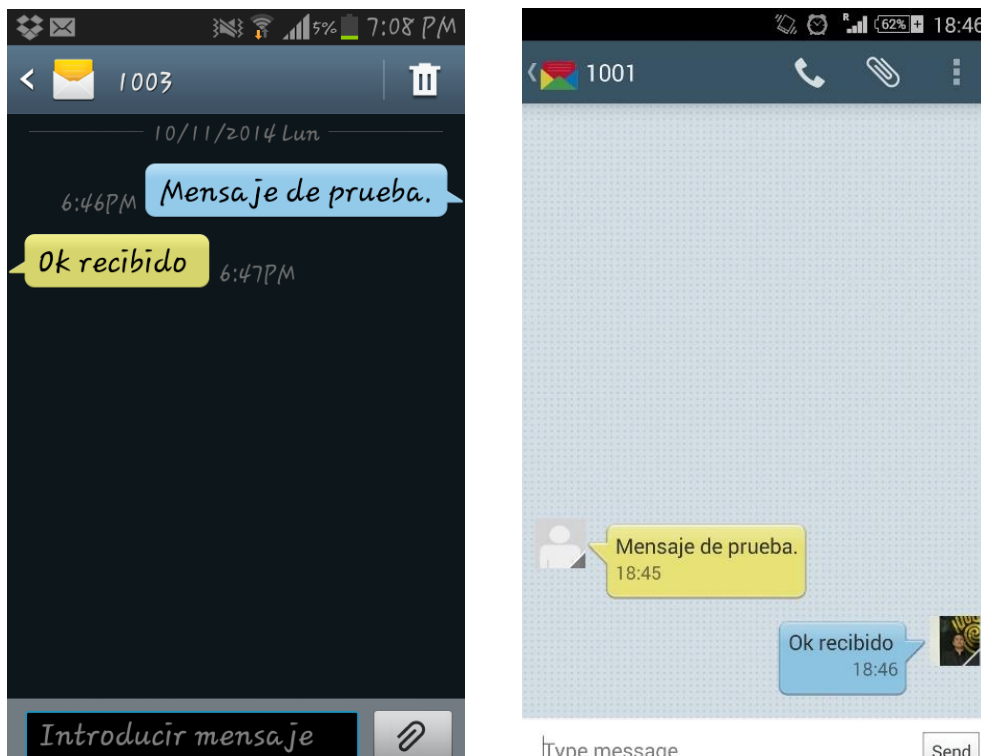


Figura 9. Envío de mensajes entre dos terminales de OpenBTS.

4. CONCLUSIONES

Queda demostrado mediante la práctica y experimentación que es posible la construcción de una red telefónica móvil usando componentes de software libre y hardware de bajo costo. Además, se ha logrado con satisfacción la integración de varias tecnologías usadas en las redes de telecomunicaciones modernas, marcando un punto de partida en las redes abiertas de comunicación móvil, usando la tecnología conocida como GSM.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a la Universidad Técnica Particular de Loja y a los integrantes de la Sección Departamental de Electrónica y Telecomunicaciones, por su apoyo en la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

- Apvrille, A., 2011. An OpenBTS GSM replication jail for Mobile Malware. Virus Bulletin Conference, VB2011, 86 -94. Descargado de <http://wikisec.free.fr/papers/VB2011-Apvrille.pdf> el 20 de mayo 2014.
- Apvrille, F., 2013. Openbts for dummies. GNURadio. Descargado de <http://gnuradio.org/redmine/attachments/420/fordummies.pdf> el 15 de junio 2014.
- Bowerman, D., 2009. Asterisk channel driver to allow Bluetooth Cell/Mobile Phones. Asterisk-addons. Descargado de http://svnview.digium.com/svn/asterisk-addons/branches/1.6.2/doc/chan_mobile.txt?view=markup el 12 de noviembre 2013.
- Burgess, D., H. Samra, 2008. The Open BTS Project. Kestrel signal processing. Descargado de The Open BTS Project. Kestrel Signal Processing. Descargado de <http://www.ahzf.de/itstuff/papers/OpenBTSProject.pdf> el 17 de diciembre 2013.
- Cabral, M., I. Almeida, C. Melo, A. Klautau, 2009. *Low-cost gsm telephony in the amazon region based on open-source / open-hardware projects*. IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM '09), 6 pp.
- Ettus Research, 2012. USRP N210 Datasheet. Ettus Research, 2 pp. Descargado de: <https://www.ettus.com/product/details/UN210-KIT> el 23 de agosto 2013.
- GSMA, 2014. Global system for mobile communications. Descargado de <http://www.gsma.com/aboutus/gsm-technology/gsma> el 21 de septiembre 2013.
- Mpala, J., G. Van Stam, 2013. *OpenBTS, a gsm experiment in rural Zambia*. In: Jonas, K., I. Rai, M. Tchente (Eds.). *e-Infrastructure and e-Services for Developing Countries*, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering (Springer Berlin Heidelberg), Vol. 119, 65–73.
- OpenBTS Public Release, 2011. Building, installing and running OpenBTS. OpenBTS Public Release. Descargado de: <https://wush.net/trac/rangepublic/wiki/BuildInstallRun> el 17 de septiembre 2013.
- Pulgarín, J., E. Parra, A. Galvis, 2013. *Gsm system implementation for academic purposes*. IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM, 2013), 6 pp.
- SUPERTEL, 2012. *Evolución de la telefonía móvil en Ecuador*. Revista Institucional SUPERTEL, 16, 5-8.
- Villacís, B., D. Carrillo, 2012. *País atrevido: la nueva cara sociodemográfica del Ecuador*. Edición Especial Revista Analitika. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), Quito, Ecuador.
- Vázquez, J., I. Santa, J., Restrepo, 2012. *Prototipo de una estación celular portátil para atención de emergencias*. Escuela de Ingenierías UPB, Ingeniería Electrónica, 16 pp.

Zorn, S., R. Rose, A. Goetz, R. Weigel, 2010. *A novel technique for mobile phone localization for search and rescue applications*. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN, 2010), 4 pp.