

# Implementación de una red celular GSM mediante software OPENBTS

Implementation of a GSM cellular network using OPENBTS software

Jhonson Hailer Araujo Garcia<sup>1</sup>  
Cynthia Judith Pomatanta Rodríguez<sup>1</sup>  
Frank Erick Ñanez Ruiz<sup>1</sup>  
Jorge Luis Alva Alarcón<sup>2</sup>

Recibido: 01 de abril de 2019  
Aceptado: 24 de abril de 2019

## RESUMEN

El presente trabajo empleó herramientas de hardware y software de licencia libre para el establecimiento de una estación base celular (BTS) a baja escala. Partiendo de conceptos técnicos que facilitan la instalación del sistema Operativo Ubuntu (distribución Linux), el software libre OpenBTS y empleando el hardware USRP N200 (Universal Software Radio Peripheral) permitieron desplegar una red análoga al estándar de telefonía móvil (GSM) tal como se establece en el Perú. Usando los teléfonos móviles como extensiones SIP (Session Initiation Protocol), desde el sistema Asterisk (software con funcionalidades de gestión telefónica), logrando ejecutar llamadas entre los terminales, mensajes de texto (SMS), llamadas desde un terminal OpenBTS hacia otra terminal móvil, entre otros servicios.

Palabras clave: estación base celular, OpenBTS, USRP, Asterisk, GSM.

1 Estudiante de Ingeniería de Telecomunicaciones y Redes – Universidad Privada Antenor Orrego

2 Maestro en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática, docente contratado – Universidad Privada Antenor Orrego

## ABSTRACT

The present work used free software hardware and software tools for the establishment of a small-scale cellular base station (BTS). Based on technical concepts that facilitate the installation of the Ubuntu Operating System (Linux distribution), the OpenBTS free software and using the USRP N200 (Universal Software Radio Peripheral) hardware allowed to deploy a network analogous to the mobile telephony (GSM) standard as established in Peru. Using mobile phones as SIP extensions (Session Initiation Protocol), from the Asterisk system (software with telephone management functionalities), managing to execute calls between terminals, text messages (SMS), calls from an OpenBTS terminal to another mobile terminal, among other services.

Keywords: cellular base station, OpenBTS, USRP, Asterisk, GSM.

## INTRODUCCIÓN

Con la evolución de las comunicaciones móviles según OSIPTEL, se estima que Lima y La Libertad son los departamentos que poseen más líneas de telefonía móvil: 10,343,713 y 1,560,336 respectivamente; mientras que los departamentos de Tumbes y Madre de Dios presentan el menor número de líneas 187,999 y 160,289 respectivamente. Desde principios de los años 90, se abrió paso el concepto de radio definido por software (SDR) con lo que se ha introducido dentro de los sistemas de radiocomunicaciones convencionales. El uso de las plataformas SDR permite reducir los componentes hardware debido a la implantación de las funciones de radio definido por software para el procesamiento digital de las señales.

Los sistemas de comunicación en la telefonía celular han ido evolucionando con el pasar de los años, tales como mensajes de texto y llamadas, así los usuarios pueden mantenerse comunicados entre sí. Por tal motivo se implementó una estación base celular GSM como respaldo para las comunicaciones. Según Navarro (2015) afirma "El estándar más conocido de sistema de segunda generación es GSM. Las características principales del sistema GSM eran la buena calidad del servicio, terminales y servicios baratos, roaming internacional, eficiencia espectral, compatibilidad RDSI, etc. El servicio comercial del sistema GSM llegó en 1992 como pruebas en la Expo92 en Sevilla y de forma definitiva en 1993. El servicio de voz ha sido el principal elemento para impulsar este mercado, convertido en un mercado de masas con un índice de penetración del 98.7% de la población mundial. Además, GSM tiene más capacidades aparte de la voz" (p.26).

El estándar GSM está basado en transceptores de radiofrecuencia de bajo costo y software de código abierto, que permiten su despliegue e implementación en comunidades de difícil acceso y pocos habitantes. Conjugando las tecnologías SDR con herramientas de software libre con base en OpenBTS, es posible configurar e implementar rápidamente una estación base de telefonía celular que permite a los usuarios realizar llamadas de voz y enviar mensajes de texto SMS entre los elementos de la red, ahora es posible implementar este tipo de redes móviles con un costo considerablemente reducido.

Actualmente en el mercado se encuentran un gran número de plataformas SDR a un precio accesible, lo que las convierte en una clara opción para un proyecto de investigación. Además, buena parte de las aplicaciones utilizan software libre, por lo que existe una red de desarrolladores especializados que constantemente revisan el código en busca de posibles mejoras. Es posible implantar nuestra solución a un precio económico y a la vez disponer de soporte para la resolución de problemas que puedan ir surgiendo.

La novedad que trae este proyecto es utilizar OpenBTS con un sistema embebido integrado en una plataforma SDR que permite evaluar los distintos procedimientos observados en una red GSM. La posibilidad de estudiar el efecto que tiene la configuración de ciertos parámetros en la calidad del enlace, va a permitir considerar las oportunidades que ofrece el estándar GSM.

## CONTENIDO

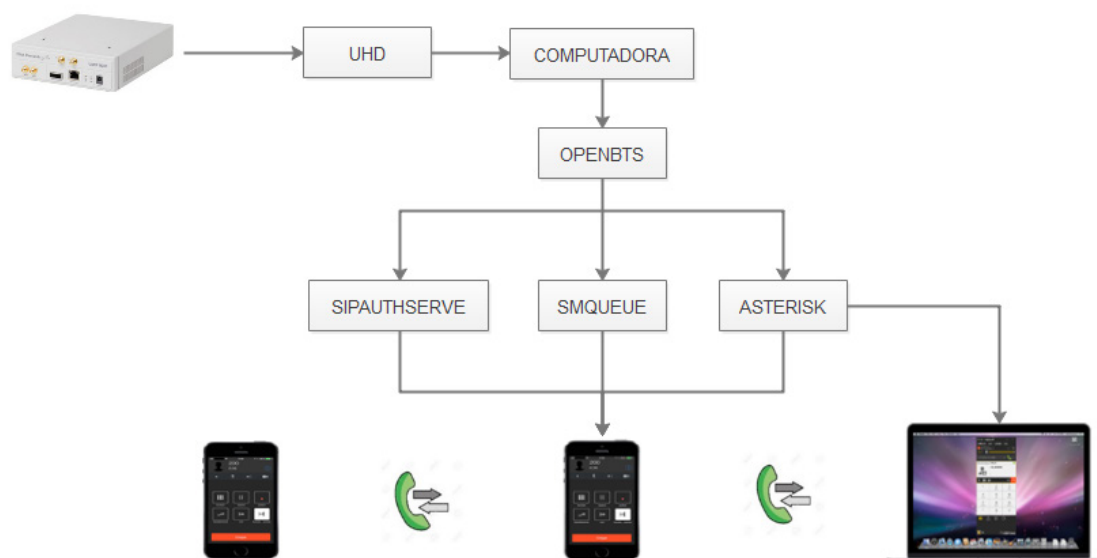


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema desarrollado

Este sistema se inicia teniendo el hardware USRP N200, posteriormente se instala el driver de la UHD en la computadora con el sistema operativo libre Ubuntu 16.04. La instalación se hace una única vez en el sistema, luego procedemos instalar el OpenBTS, este también se instala una única vez, luego solo se inicializa sus servicios. Al

inicializar OpenBTS también lo hacen los sistemas de Sipauthserve, Smqueue y Asterisk. Estos servicios sí se tienen que inicializar cada vez que la computadora se reinicie o cuando los queramos utilizar. Con estos servicios inicializados se puede proceder a registrar teléfonos celulares a la red y así establecer llamadas y mensajería.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL HARDWARE

**Tabla 1.** Especificaciones técnicas USRP  
Fuente: Ettus

### DATOS TÉCNICOS - USRP

Ancho de banda de RF con muestras de 8 bits	50 MHz
Ancho de banda de RF con muestras de 16 bits	25 MHz
Conectividad	Gigabit Ethernet
Procesamiento a bordo	FPGA
FPGA	Xilinx® Spartan® 3A-DSP XC3SD1800
ADCs	14 bits 100 MS / s
DACs	16 bits 400 MS / s
referencia de reloj	de 5 o 10 MHz
Referencia de frecuencia	TCXO (~ 2.5ppm)
GPS interno bloqueado de referencia oscilador	NO
Rango de frecuencia	DC - 6 GHz con placa hija adecuada
S.O Soportado	Linux, Mac OS X & Windows
potencia requerida	6 VDC , 3A
E/S Digital de alta velocidad	32 bits
entrada analógica	4 canales
salida analógica	4 canales
sincronización	
entrada PPS	3-5Vcc
tipo de conector	SMA
Puerto de expansión	MIMO

**Tabla 2.** Especificaciones técnicas Antena VERT900

Fuente: Ettus

ANTENA VERT900		
FRECUENCIA	DOBLE BANDA	( 824 - 960 MHz, 1710-1990 MHz)
DIRECCIÓN		OMNIDIRECCIONAL
GANANCIA		3DBI
COMPATIBILIDAD		CELULAR, PCS E ISM BANDA

**Tabla 3.** Especificaciones técnicas tarjeta RFX900

Fuente: Ettus

RFX900	
rango de frecuencia	750 a 1050 MHZ
potencia de transmisión	200 mW (23dBm)
ancho de banda en RX/TX	30MHz
salto de frecuencia	200 us
mediada analógica incorporada	rango de AGG 70dB
potencia de transmisión	ajustable
uso	celular, radio búsqueda, radio doble vía u banda ISM

**Tabla 4.** Especificaciones técnicas de la computadora

Fuente: propia

COMPUTADORA	
procesador	Core I3
memoria RAM	4Gb
Disco duro	80GB
puerto ethernet	gigabit
puertos USB	2

En la tabla número N. 1 se muestran las especificaciones técnicas de la USRP, el cual es el hardware que se adapta a nuestra red. Ya que tiene una excelente velocidad de transmisión de hasta 50ms/s lo llamaremos el cuerpo de nuestra red. En la tabla N. 2 se visualizan las características y especificaciones de la antena a usar, la cual es una Vert900. Esta antena nos da un espectro de radiación omnidireccional con doble banda, la primera de 824 a 960 MHz y la segunda de 1710 a 1990 MHz. Como podemos observar estas frecuencias se adecuan con nuestra USRP. En tal sentido a esta antena la denominaremos como las extremidades de nuestra red. Seguido, en la tabla N.3 visualizamos las especificaciones técnicas de la tarjeta RFX 900. Esta tarjeta trabaja con un rango de frecuencia de

750 a 1050 MHz, con una potencia de transmisión de 200Mw (23dBi) y se puede usar para telefonía celular, radio búsqueda, motores y banda ISM. Vemos que las frecuencias se ajustan a nuestra red, ya que trabajaremos con una frecuencia de 900MHz por lo cual nuestro hardware cumple con todos los requerimientos deseados. A esta tarjeta la denominaremos como el corazón de nuestra red, ya que es capaz de emitir la señal. Y, por último, en la tabla N.4 tenemos nuestro último requerimiento, son los datos técnicos de nuestra computadora, la cual será usada como servidor. Esta computadora tiene como mínimo un procesador Core I3, una memoria RAM de 4Gb, un disco duro de 80 GB, puerto gigabit ethernet, y puertos USB.

```

openbts@TELECO:~/Documentos$ cd OpenBTS/
openbts@TELECO:~/Documentos/OpenBTS$ cd openbts_systemd_scripts/
openbts@TELECO:~/Documentos/OpenBTS/openbts_systemd_scripts$ sudo su
root@TELECO:/home/openbts/Documentos/OpenBTS/openbts_systemd_scripts# ./openbts-
start.sh
chmod: no se puede acceder a '/var/lib/asterisk/sqlite3dir/sqlite3*': No existe
el archivo o el directorio
Asterisk PID: 3575
Sipauthserve PID: 3579
Smqueue PID: 3584
OpenBTS PID: 3579
root@TELECO:/home/openbts/Documentos/OpenBTS/openbts_systemd_scripts#

```

Figura 2. Verificación de inicialización de servicios

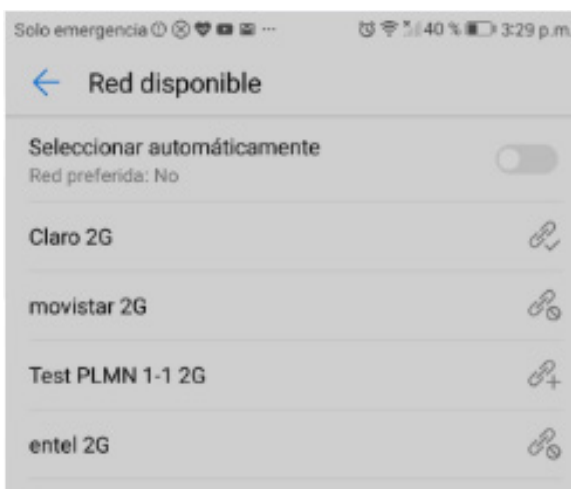


Figura 3. Buscando Red 2G

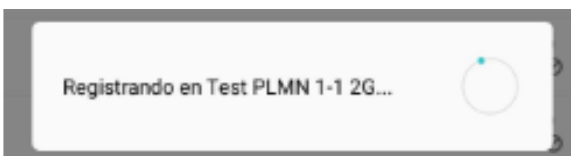


Figura 4. Registrando a la red creada 2G

En la figura 2 se puede observar la inicialización de los servicios Asterisk, Sipauthserve, Smqueue y OpenBTS dentro del sistema operativo Ubuntu. Luego, en la figura 3, se observa la nueva red creada "Test PLMN 1-1 2G" y en la figura 4 se observa cómo el teléfono móvil se ha registrado en dicha red.

En la figura 5 se observan mensajes de texto que se enviaron utilizando la plataforma desarrollada. También se realizaron pruebas de llamadas telefónicas como las que se observan en la figura 6.

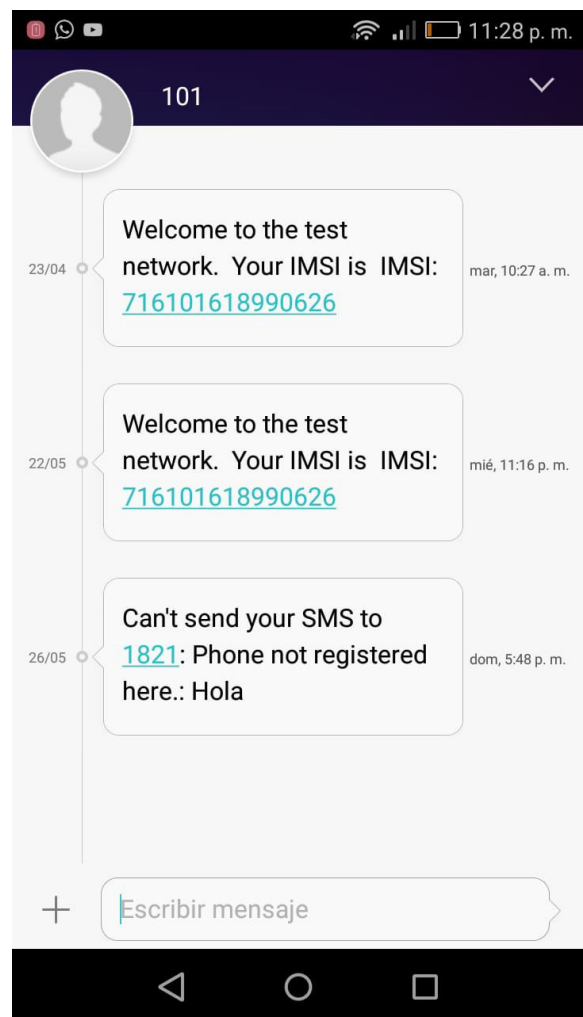


Figura 5. Mensaje ECOG

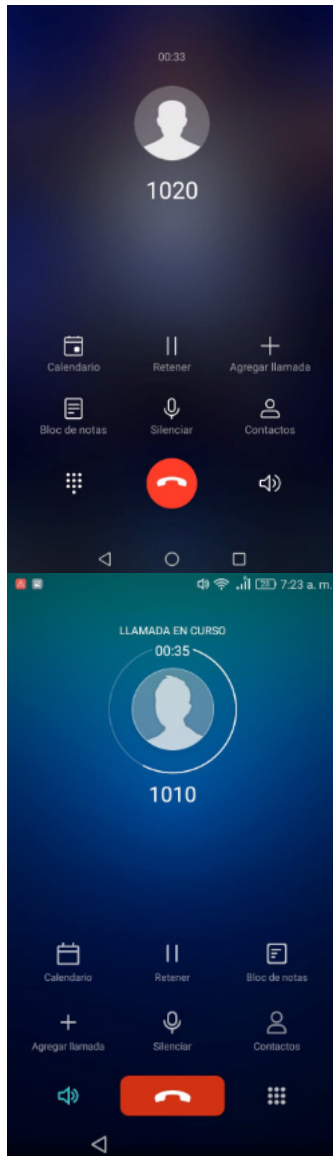


Figura 6. Prueba de llamadas de los teléfonos registrados

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SOFTWARE

Tabla N.5. Detalles de software utilizado  
Fuente: GitHub

SOFTWARE	
openbts 5.0	servidor GSM
sipauthserve	gestor de protocolo SIP
smsqueue	gestor de mensajería
Asterisk	Central telefónica

Esta parte de software actúa como el cerebro de toda nuestra red empezando con la descripción de la tabla N.5. *OpenBTS* es el servidor que, tras la inicialización de los servicios (figura 2), que junto con *OpenBTS* son los encargados de emitir la señal 2G al aire libre. En este punto se tiene que la señal se emite "tal cual" sin considerar su calidad, para compensar esto se realiza una serie de configuraciones como la ganancia y potencia. Luego, pasa a actuar el servicio *Sipauthserve*, este servicio se encarga de gestionar las solicitudes de registro de los nuevos usuarios que desean conectarse a nuestra red, previa a la configuración de *OpenBTS*. Al mismo tiempo que *Sipauthserve* gestiona las solicitudes, el servicio *Smqueue* se encarga de notificar al nuevo usuario cuando este se vincule a nuestra red (figura 5), o de almacenarlos hasta cuando el usuario se vuelva a conectar y también cuando los usuarios hagan intercambio de mensajería.

En la configuración del CLI de *OpenBTS* se debe establecer permisos y configuraciones de la red desde el permiso de exponer la red (figura 3), para que cualquier usuario que intente registrarse a nuestra red lo haga con éxito (figura 4), además de configurar la calidad de la red para que esta tenga menos latencia al establecer una comunicación o mensajería de texto.

La latencia de la comunicación depende de la potencia, ya que si es muy alta tendremos mucho retardo y si es muy baja tendremos interrupciones y ruido excesivo. Para esto es recomendable tener la potencia RSSI como nivel aceptable de  $-47\text{dB}$  y potencia total de  $-51\text{dB}$  para tener el menor retardo, aunque también depende mucho de las antenas. Tenemos que recordar que la tarjeta RFX900 nos da al mismo tiempo RX y TX, por lo cual necesitaríamos dos antenas VERT900 para tener una excelente calidad.

Existe un servicio denominado "llamada de ECO", que sirve para identificar el tiempo que demora en retornar nuestra voz luego de emitir un mensaje. Al inicio de las pruebas teníamos un retraso de 1 segundo, esto quiere decir que cuando nosotros decíamos "hola" a través del ECO (#2600), este "hola" se replicaba en un tiempo de 1 segundo, lo cual para las comunicaciones es mucho tiempo. Para ello se realizaron las configuraciones respectivas de ganancia y potencia a nuestra única celda para poder mejorar este tiempo. Después de la configuración se logró obtener un retraso de 0.20 ms.

La llamada entre usuarios (figura 6) tuvo el mismo resultado, de más tiempo a menos tiempo de respuesta, en el cual logramos establecer



una comunicación con un retardo de 0.20 ms (considerando que la distancia de separación entre terminales no fue mayor a 12 metros). Un aumento en la distancia de separación de los terminales disminuiría la calidad de la señal debido a la pérdida de potencia de la misma y el aumento relativo de las interferencias.

Por último, utilizando el gestor de mensajería de texto Smqueue se logró hacer un chat entre usuarios registrados en la red. Se obtuvo un correcto funcionamiento de este servicio. Cabe resaltar que este gestor Smqueue también nos da la facilidad de enviar mensajes de texto, a través de la línea de comandos, a cualquier usuario registrado siempre y cuando tengamos el código de destino IMSI.

```
[general]
bindaddr=0.0.0.0
bindport=5060
disallow=all
allow=ulaw
allow=alaw
allow=gsm
language=es

[IMSI716101303032038]
callerid=940273863
canreinvite=no
type=friend
context=sip-users
allow=gsm
host=dynamic

[IMSI716101618990626]
callerid=940273803
canreinvite=no
type=friend
context=sip-users
allow=gsm
host=dynamic
```

Figura 7. Configuración de Asterisk – Fichero "sip.conf"

Asterisk es un servidor de telefonía sobre IP (VoIP), su configuración general se realiza modificando el fichero sip-config (figura 7). En este fichero de configuración indicamos los parámetros, códec de comunicación y las extensiones que se desea crear. Para este caso se crearon 4 extensiones, de las cuales la extensión 2001 y 2002 se crearon con fines de pruebas en la red GSM.

Otro fichero de configuración para el software Asterisk es el fichero "extensions.conf", en este fichero podemos configurar lo siguiente: el número que usaremos para las llamadas y tiempo que puede durar mientras marcamos a una extensión

```
GNU nano 2.5.3 Archivo: extensions.conf

[general]

[sip-users]
exten = 940273863,1,Dial(SIP/IMSI716101303032038)
exten = 940273803,1,Dial(SIP/IMSI716101618990626)

exten=210,1,dial(sip/2010,10)
exten=210,n,voicemail(2010@default)
exten=210,n,hangup

exten=211,1,dial(sip/2011,10)
exten=211,n,voicemail(2011@default)
exten=211,n,hangup

exten=_2..,1,Dial(SIP/${EXTEN}@siptrunkA,10)
exten=_2..,n,voicemail(2010@default)
exten=_2..,n,hangup

exten=_9..,1,Dial(SIP/${EXTEN}@siptrunkA,10)
exten=_9..,n,voicemail(2010@default)
exten=_9..,n,hangup
```

Figura 8. Configuración de Asterisk – fichero "extensions.conf"

Figura 9. Aplicación Zoiper para utilizar VoIP

hasta que se desconecte automáticamente. Aquí también es donde establecemos todos los parámetros que queramos indicarle a nuestro servidor VoIP desde un número normal de registro hasta un IVR (respuesta de voz interactiva).

Zoiper es la aplicación que permite que los equipos móviles y las computadoras puedan conectarse al servidor Asterisk. Primero se debe entrar en la red, luego para ingresar mediante este aplicativo se debe registrar con el número que se asignó en el fichero "sip.conf". También es donde se define una contraseña para poderlo usar con Zoiper u cualquier otro aplicativo de VoIP. Finalmente, es necesario conocer la IP del servidor a utilizar.

## MATERIALES

- Computador con sistema operativo Ubuntu 16.04 instalado.
- USRP N200 de ETTUS.
- Antenas VERT900.
- Switch Gb.
- Teléfonos celulares.
- Tarjeta RFX900.

## RESULTADO Y DISCUSIÓN

- **Se logró implementar la Red GSM.**

La implementación se realizó en una laptop cuyo puerto de red no era Mb, para ello requirió de un switch Gb con el fin que esta laptop tenga comunicación con la USRP.

Además, se logró implementar el servicio de mensajería donde la prueba de mensajería demoraba 1s, luego se modificaron los parámetros de configuración y así el tiempo de disminuyó a 0.20 ms.

Finalmente, se logró implementar el servicio de llamadas. Inicialmente las pruebas mostraron cierto retardo haciendo que la llamada no fuera entendible. Se modificaron los parámetros de configuración y se consiguió una comunicación con un retardo de 0.20 ms (considerando que la separación de los celulares no era mayor a 12m)

## CONCLUSIONES

Queda demostrado mediante la práctica y experimentación realizada en el proyecto, que es posible implementar una red de telefonía móvil usando componentes de software libre y hardware de bajo costo, usando la tecnología conocida como GSM que logra integrar las tecnologías modernas usadas en las redes de telecomunicaciones.

Este proyecto es un gran aporte para la Universidad Privada Antenor Orrego, ya que se puede ampliar de forma práctica todos los conocimientos impartidos de las diferentes materias de las carreras de Ingeniería Electrónica e Ingeniería de Telecomunicaciones y Redes, de esta manera se promueve una manera didáctica de emplear todos los conocimientos teóricos e incentivar las investigaciones.

El trabajo propuesto sirve como base para considerar investigaciones con equipos más potentes y con capacidades de utilizar tecnologías más modernas como UMTS y LTE, además de trabajar con otros servicios multimedia sobre este tipo de redes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Navarro, J. (2015). Prototipo de estación base GSM usando OpenBTS. (Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones). Universidad de Granada, Granada.
2. Canet, C. (2016). Evaluación y oportunidades de una estación base GSM definida por software. (Proyecto de fin de carrera de Ingeniería Superior de Telecomunicaciones). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
3. ARSYS INTERNET. (20 de 07 de 2007). Muy Linux. Obtenido de Muy Linux Web Site: [www.muylinux.com](http://www.muylinux.com)
4. Asociación Aditel. (15 de octubre de 2004). Ubuntu. Obtenido de Ubuntu Web Site: [www.ubuntu-es.org](http://www.ubuntu-es.org)