

Sistema celular alternativo y de emergencia basado en OpenBTS Y SDR

Alternative and emergency cellular system based on OpenBTS and SDR

Alian Ernesto Matos Rodríguez, Marcelino Sánchez Posada

*Centro de Investigación y Desarrollo Naval (CIDNAV)
 La Habana, Cuba*

aematos@nauta.cu
 msanchez82@nauta.cu

Recibido: 22/10/22; Aceptado: 28/11/22

Abstract— The Global System for Mobile Communications (GSM) has been widely accepted around the world. The implementation of this system for a community are expensive because to use high-cost equipment, but thanks to the development of software-defined radio systems, it is possible to develop this type of network at a reduced cost. Access to telecommunications services in rural communities in Cuba is today a great challenge, mainly caused by the geographical location and the small number of habitants that make the deployment of infrastructure not economically feasible. The main contributions of the present work focus in an alternative cellular system and GSM network management software. It was shown that it is possible to build a mobile telephone network using free software components and low-cost hardware, which can be used in sparsely populated rural communities, as well as in emergency situations.

Keywords: *GSM, OpenBTS, SDR, Asterisk.*

Resumen—El Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM) ha tenido una gran aceptación alrededor del mundo. Para implementar estos sistemas era necesario utilizar equipos de costo elevado, sin embargo, gracias al desarrollo de sistemas de radios definidos por software, es posible desarrollar este tipo de redes con un costo reducido. El acceso a servicios de telecomunicaciones en comunidades rurales de Cuba es hoy en día un gran reto, propiciado principalmente, por la ubicación geográfica y el reducido número de habitantes que hacen que el despliegue de infraestructura no sea económicamente factible. Las contribuciones principales del presente trabajo son un sistema celular alternativo y software de administración de red GSM. Quedó demostrado que es posible la construcción de una red telefónica móvil usando componentes de software libre y hardware de bajo costo, que pueden ser empleados en comunidades rurales de poca población, así como en situaciones de emergencia.

Palabras claves: *GSM, OpenBTS, SDR, Asterisk.*

I. INTRODUCCIÓN

El Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM, siglas en inglés) es sin duda una de las mayores obras de la ingeniería en telecomunicaciones por su aporte técnico a la

arquitectura celular [1]. Anteriormente para implementar los sistemas GSM, ha sido necesario utilizar equipos de costo elevado, sin embargo gracias al desarrollo de sistemas de radios definidos por software (SDR, siglas en inglés) y OpenBTS (Open Base Transceiver Station, en lengua inglesa), es posible desarrollar este tipo de redes con un costo reducido [1, 2]. Los SDR permiten realizar las funciones vía software típicamente implementadas mediante hardware, mientras que OpenBTS es un punto de acceso de GSM basado en software que posibilita el acceso de los teléfonos móviles compatibles con el estándar GSM.

El desarrollo de la tecnología SDR y los proyectos de código abierto para telefonía móvil ofrecen un nuevo paradigma, modelo de negocio y ecosistema abierto, en contraste con el tradicional propietario e infraestructuras de telecomunicaciones orientadas a aplicaciones. En este contexto, las soluciones, productos y proyectos emergentes basados en software, en su mayoría relacionados con iniciativas de código abierto, se han diseñado y desarrollado para hacer frente a los diferentes requisitos de los usuarios y servicios [3, 4].

Existe un gran número de áreas donde las comunicaciones móviles basadas en SDR pueden ser aplicadas, algunos ejemplos son: servicios de localización, modelado de cobertura, sistemas de optimización de energía, sistemas de búsqueda y rescate, sistemas de alerta de emergencia, entre otros. Un campo de aplicación relevante de la tecnología SDR se centra en el despliegue rápido de redes móviles de contingencia para brindar o recuperar servicios de comunicaciones interrumpidos por causas de emergencia o desastres naturales [5, 6].

El acceso a servicios de telecomunicaciones en las comunidades rurales de Cuba es hoy en día un gran reto. Esto es propiciado principalmente, por la ubicación geográfica y el bajo número de habitantes que hacen que el despliegue de infraestructura no sea económicamente factible para el operador de telecomunicaciones tradicional. Además, no se cuenta con un sistema alternativo que pueda ser utilizado en situaciones de emergencia, ante daños en la

infraestructura de comunicaciones y saturación de los servicios de las estaciones base en determinadas áreas.

La implementación de estaciones base GSM mediante SDR y OpenBTS ha sido abordada por diferentes autores en el transcurso de los años. En las propuestas analizadas [1, 2, 7-9] se obtuvieron como resultados sistemas GSM de bajo costo y fácil implementación con el empleo herramientas de hardware USRP (Universal Software Radio Peripheral, en lengua inglesa) y software de licencia libre. En la Tabla I se muestra un resumen de las principales características de los componentes de hardware y software de las propuestas descritas donde se evidencia que en todos los trabajos identificados emplean como sistema operativo Ubuntu y como dispositivos hardware USRP de diferentes modelos, dígame N200, N210 y B210. Todas las propuestas analizadas carecen de un software para la gestión de la red GSM, realizándose de forma manual el registro de terminales móviles, de extensiones, la inicialización de servicios, entre otros, mediante comandos en la terminal del sistema operativo.

TABLA I. COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE DE LAS PROPUESTAS ANALIZADAS

Propuestas	Sistema Operativo	SDR	Software de gestión
[1]	Ubuntu 12.04 LTS	USRP N210	No
[8]	Ubuntu 14.04 LTS	USRP B210	No
[9]	Ubuntu 12.04 LTS	USRP N200	No
[2]	Ubuntu 16.04 LTS	USRP N200	No
[7]	Ubuntu 12.04 LTS	USRP N210	No

Las contribuciones principales del presente trabajo son un sistema celular alternativo y software de administración de red GSM, que pueden ser empleados en comunidades

rurales de poca población, así como en situaciones de emergencia, donde se necesiten soluciones de bajo costo, portables y de pronta instalación.

II. DESARROLLO

El proyecto OpenBTS [10] es una colección de componentes de software de código abierto. Es definido como una aplicación de software libre desarrollado bajo el sistema operativo multitarea Unix y que utiliza mayormente el hardware USRP para construir la interfaz inalámbrica de radio, para emular al estándar de comunicaciones móviles GSM. Lo que posibilita que los teléfonos celulares circundantes detecten una completa red GSM, y a su vez, estos sean vistos como extensiones del Protocolo de Inicio de Sesión (SIP, siglas en inglés), permitiendo montar un sistema de conmutación o central telefónica gracias al software de licencia libre Asterisk. Ver Fig. 1.

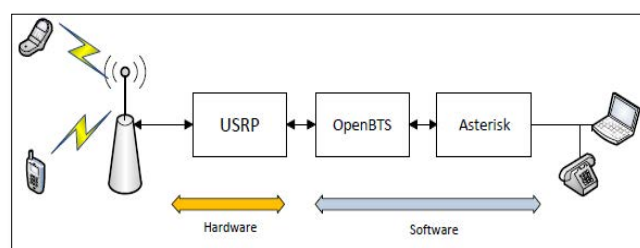


Fig. 1. Sistema OpenBTS.

Los elementos más importantes de la arquitectura de OpenBTS son los bloques Transceiver, Sipauthserve, Smqueue y las bases de datos OpenBTS.db, Sqlite3.db, Sipauthserve.db y Smqueue.db, que interactúan entre sí, junto a una PBX (Private Branch Exchange, en lengua inglesa) para conformar un punto de acceso GSM. Mantiene conexiones SIP representadas con líneas de color negro, conexiones sqlite3 representadas con las líneas de color rojo y la línea azul que identifica la conexión ODBC (Microsoft Open Database Connectivity, en lengua inglesa). Ver Fig. 2.

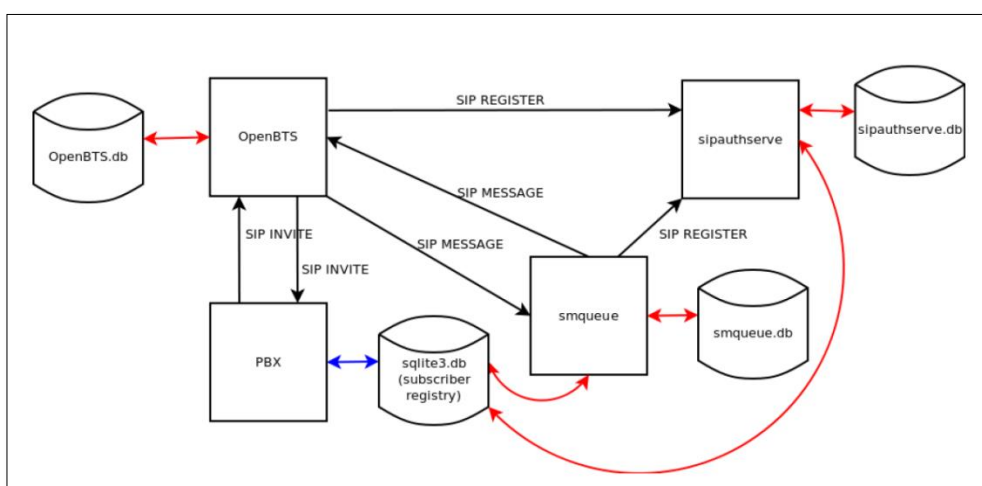


Fig. 2. Arquitectura de OpenBTS.

El transceiver es un radiomodem basado en software que realiza las funciones de la especificación 05.05 de GSM, responsable del envío y recepción de la señal de radio en la

interfaz Um (Interfaz de radio que utiliza la estación móvil para comunicarse con la red GSM), este cumple con dos funciones importantes que son la implementación de la capa

física L1 con la plataforma TDMA (Time-Division Multiple Access, en lengua inglesa) a través de L3 de la capa de aplicación; a la vez que maneja la interfaz USB del hardware USRP. Su interfaz SIP está normalmente en el puerto 5062. Sipauthserve es una aplicación que administra la base de datos de información del subscriber, cumpliendo de forma análoga con las funciones ejecutadas por el HLR (Home Location Register, en lengua inglesa) de GSM, sus funciones involucran el registro y autorización de usuarios, esta aplicación actualiza la base de datos (sqlite3.db) de estos usuarios en respuesta a los cambios efectuados. Su interfaz SIP normalmente se ejecuta en el puerto 5064. Smqueue es un servidor usado para prestar el servicio de mensajes cortos de texto (SMS) en sistemas OpenBTS, es necesario iniciar de forma independiente del transceiver de OpenBTS. Su interfaz SIP normalmente se ejecuta en el puerto 5063. Smqueue no es necesario en instalaciones que no sean compatibles con la mensajería de texto.

OpenBTS consta de cuatro bases de datos:

OpenBTS.db: Alberga los parámetros de configuración de OpenBTS. Entre los parámetros tenemos: potencia, Banda de frecuencia para GSM, número de canal de radiofrecuencia absoluto (ARFCN), puertos, entre otros.

Sqlite3.db: Subscriber Registry (SR): Es la red de registro SIP, como una red de registro SIP convencional, pero aumentada para dar soporte de movilidad y funciones de autenticación asociadas con GSM. Esta base de datos puede ser manipulada directamente usando sintaxis SQL (Structured Query Language, en lengua inglesa) en tiempo real. En ella se encuentra la información del Subscriber como el IMSI (Mobile Subscriber Identity, en lengua inglesa), el número de extensión dado, puerto, códec, dirección IP entre otros.

Sipauthserve.db: En ella se encuentran almacenados los parámetros de configuración del Subscriber Registry.

Smqueue.db: Base de datos para servicio de mensajes.

La implementación de la red celular propuesta se realizó en el Sistema Operativo Ubuntu 14.04 y se utilizó como hardware SDR un USRP B200.

A. Asterisk

Asterisk es un proyecto de código abierto que agrupa la funcionalidad de una central telefónica privada (PBX, siglas en inglés) dentro de un paquete de software, permite realizar el registro, conexión y comunicación de terminales telefónicos conectados al servidor Asterisk. Ofrece las mismas características y servicios que un moderno equipo de hardware PBX. Incluye muchas características que anteriormente sólo estaban disponibles en costosos sistemas propietarios PBX, como buzón de voz, conferencias, distribución automática de llamadas, y otras funciones [11].

B. USRP B200

Se trata de un SDR diseñado por la empresa "ETTUS Research" como propuesta de hardware libre, donde los microprocesadores convencionales pueden actuar como dispositivos de radio bajo un gran ancho de banda, convirtiéndose en una plataforma flexible de bajo costo que permite implementar y diseñar potentes sistemas de radiocomunicaciones con aplicaciones en tiempo real. En esencia, sirve como procesador digital de banda base y

convertor de frecuencia intermedia FI en los sistemas de radiocomunicaciones.

El hardware USRP B200 que consiste en un FPGA Spartan proporciona frecuencias de RF de 70 MHz a 6 GHz y tiene un canal de recepción y transmisión en un modo alimentado por bus. Este hardware presenta una amplia gama de aplicaciones como comunicación celular, transmisión de TV y FM, GPS, Wi-Fi, radar, entre otras. El USRP B200 se compone de un RFIC (Radio Frequency Integrated Circuit, en lengua inglesa) de dispositivos analógicos para permitir una plataforma de experimentación de RF rentable y es capaz de hasta 56 MHz de ancho de banda instantáneo a través de un bus USB 3.0 de gran ancho de banda (con compatibilidad retroactiva con USB 2.0). El USRP Hardware Driver (UHD) es multiplataforma, un controlador de código abierto necesario para ejecutar USRP B200 en Linux, Windows y MacOS. Ofrece una API común, que es utilizada además por numerosos marcos de software, como GNU Radio y Matlab [12]. El soporte completo de UHD permite la reutilización perfecta del código de los diseños predominantes y la compatibilidad con aplicaciones de código abierto como OpenBTS. En la Fig. 3. se muestra la apariencia del USRP B200.

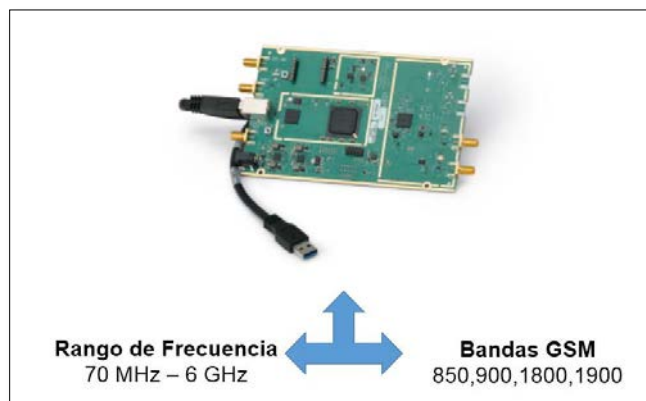


Fig. 3. USRP B200.

C. Antenas

En las pruebas de laboratorio del sistema OpenBTS se utilizó la antena VERT900 mostrada en la Fig. 4(a), y en las pruebas en el terreno una antena de polarización vertical como se observa en la Fig. 4(b).



Fig. 4. (a) Antena VERT900 (b) Antena de polarización vertical.

Las características de las antenas antes mencionadas se muestran en la Tabla II.

TABLA II. CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS UTILIZADAS

Antena	Frecuencia	Ganancia
VERT 900	824-960 MHz, 1710-1990 MHz	3 dBi
Polarización vertical	906-960 MHz, 1710-2500 MHz	12.5/15 dBi

D. Banda de operación

OpenBTS puede usar un amplio rango de frecuencias de GSM como por ejemplo GSM850, GSM900, GSM1800 y GSM1900. Para la implementación del sistema se seleccionó la frecuencia de 900 MHz. De la misma forma se establece una banda de operación para OpenBTS, esta es definida por el Número de Canal de Radio-Frecuencia Absoluta (ARFCN, siglas en inglés), el cual define el método de acceso múltiple en GSM y provee los canales downlink y uplink de la estación móvil para establecer la radiocomunicación con la Estación Base Celular (BTS, siglas en inglés). Ver Tabla III.

TABLA III. BANDAS DE FRECUENCIA GSM Y NÚMEROS DE CANAL ARFCN

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

E. Características del sistema OpenBTS

Algunas de las características principales del sistema implementado:

- Soporta funciones propias GSM 2G y 2.5G.
- Opera en las bandas de 850, 900, 1800 y 1900 MHz.
- Multiplexación en tiempo TDMA y en frecuencia FDMA (Frequency-Division Multiple Access, en lengua inglesa).
- Soporta servicios de voz, envío de mensajes SMS y de datos GPRS.
- Traslada el tráfico GSM a VoIP.
- Ofrece servicios de gestión del sistema, encriptación y anonimato.
- Puede emplearse como terminal GSM cualquier móvil comercial.
- Bajo costo y rápido despliegue.
- Permite estructura multi-Estación Base y configuración simple o múltiples canales ARFCN.
- El área de cobertura según la densidad del área y características del terreno puede alcanzar los 20Km.

F. Software para la gestión de la red GSM

Con el objetivo de facilitar el empleo del sistema celular basado en OpenBTS se desarrolló un software en el lenguaje de programación C++ mediante el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE, siglas en inglés) Qt Creator.

Qt es un framework multiplataforma orientado a objetos ampliamente usado para desarrollar programas que utilicen interfaz gráfica de usuario, así como también diferentes tipos de herramientas para la línea de comandos y consolas para servidores que no necesitan una interfaz gráfica de usuario. Es desarrollada como un software libre y de código abierto.

En la Fig. 5. se muestra la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI, siglas en inglés) de la aplicación.

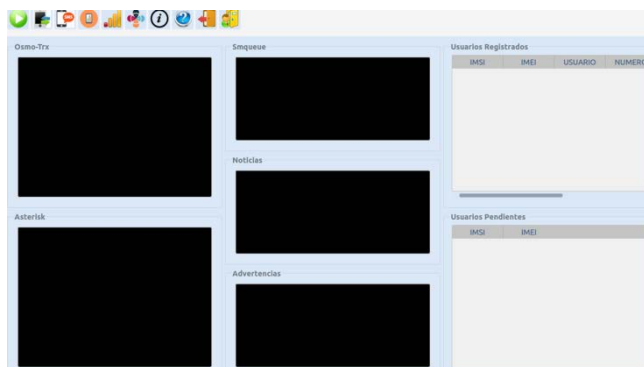


Fig. 5. Software para la gestión de la red GSM.

G. Principio de funcionamiento del software

El software realizado ejecuta pruebas de funcionamiento y conectividad del equipo de hardware USRP B200. Verifica el estado de todos los servidores que componen la estación celular, Asterisk, el servidor de registro, el servidor de mensajes de texto y el transceiver. Realiza el escaneo de las bandas de frecuencia GSM activas junto con los identificadores ARFCN usados por las redes móviles que operen dentro del área, muestra el número de canal ARFCN, junto con la potencia y la frecuencia de cada canal, con esta información se evita usar un mismo número de ARFCN en la red y causar una interferencia a la operadora nacional de telefonía móvil. En la Fig. 6. se muestra la aplicación en el proceso de comprobación de los componentes de hardware y software.

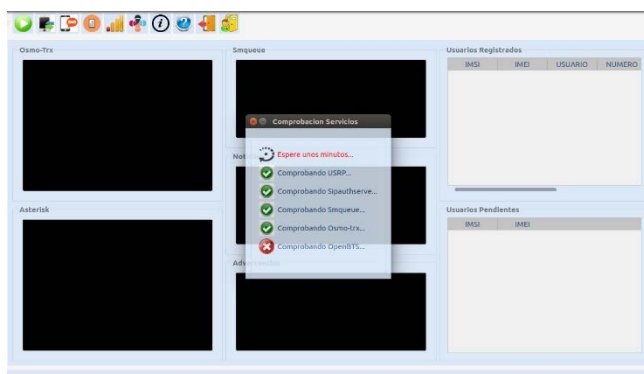


Fig. 6. Comprobación de los componentes de hardware y software.

Una vez concluido el proceso de verificación de hardware y software satisfactoriamente, los usuarios registrados pueden acceder a todos los servicios de la red de telefonía móvil.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para la realización de las pruebas se empleó el esquema de conexión básico que se muestra en la Fig. 7. Dicho

esquema está compuesto por el sistema OpenBTS en una sola computadora de escritorio conectada al transceptor USRP B200. Primeramente, se verificó el correcto funcionamiento en un entorno controlado en el laboratorio

con la antena VERT 900. Para ello, se registraron 30 usuarios en el sistema, dando la posibilidad de realizar llamadas y envío de mensajes de forma simultánea.

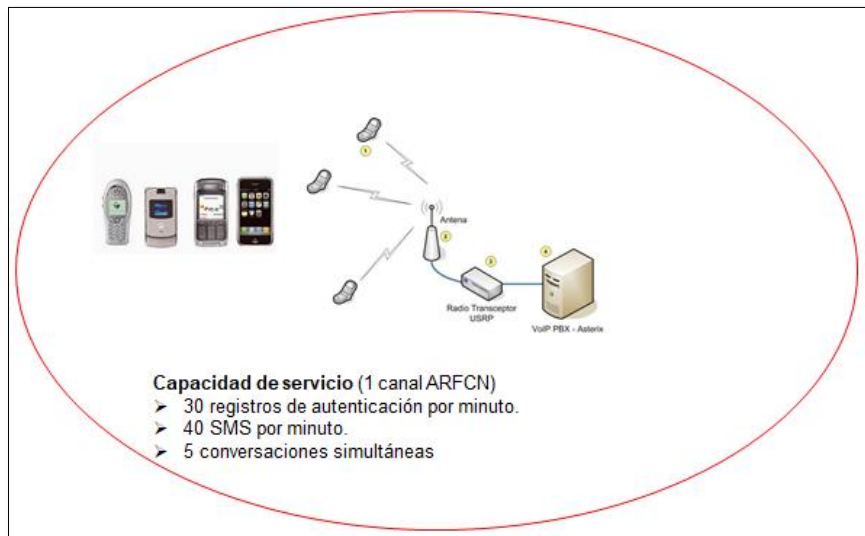


Fig. 7. Esquema de conexión básico del sistema OpenBTS.

Con la certeza de los resultados de las pruebas de laboratorio, se realizaron experimentos en el terreno con la antena de polarización vertical con el fin de determinar: el máximo alcance de la señal en espacio libre, cantidad de registro de autenticación por minuto, cantidad de llamadas simultáneas, envío de mensajes de texto por minuto y el correcto funcionamiento del software de gestión de la red GSM. Los resultados de las pruebas arrojaron un alcance del sistema de 200 metros en espacio libre, superior a lo logrado por los sistemas expuestos en [1, 2], siendo de 10 metros y 120 metros respectivamente. Se logaron 30 registros de autenticación por minuto, 5 conversaciones simultáneas y 40 mensajes de texto por minuto. Además, se validó el correcto funcionamiento del software de gestión de la red GSM implementado.

IV. CONCLUSIONES

Quedó 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. El uso de Asterisk y las características del protocolo SIP, facilitó el manejo de los terminales de usuario y la conmutación de las llamadas de móvil a móvil, lo que propició un servicio telefónico de buena calidad tanto en voz como en tiempo de respuesta. Se logró satisfactoriamente la integración de la tecnología GSM, Asterisk y SDR, con la finalidad de despertar el interés en la utilización de las redes abiertas de telefonía celular como solución a la necesidad de comunicación en sectores rurales y escenarios de emergencia.

REFERENCIAS

[1] M. Quiñones, J. P. Tene, K. Rohoden, and C. Carrión, "Sistema de conmutación y control de llamadas basado en OpenBTS y Asterisk," *Maskana*, vol. 5, 2014.

[2] J. H. H. A. Garcia, C. J. P. Rodriguez, F. E. Ñ. Ruiz, and J. L. A. Alarcón, "Implementación de una red celular GSM mediante software OPENBTS," *PUEBLO CONTINENTE*, vol. 30, pp. 101-108, 2019.

[3] D. Valerio, "Open source software-defined radio: A survey on gnuradio and its applications," *Forschungszentrum Telekommunikation Wien, Vienna, Technical Report FTW-TR-2008-002*, 2008.

[4] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive radio: making software radios more personal," *IEEE personal communications*, vol. 6, pp. 13-18, 1999.

[5] K. Sankhe, C. Pradhan, S. Kumar, and G. R. Murthy, "Cost effective restoration of wireless connectivity in disaster hit areas using OpenBTS," in *2014 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, 2014, pp. 1-6.

[6] J. Mpala and G. v. Stam, "Open BTS, a GSM experiment in rural Zambia," in *International conference on e-infrastructure and e-services for developing countries*, 2012, pp. 65-73.

[7] A. J. Ospino Polanco and C. A. Díaz Villadiego, "Implementación de una herramienta de radio definido por software que emule una red de telefonía celular móvil para ser usada en la enseñanza dentro del programa de ingeniería electrónica," *Corporación Universidad de la Costa*, 2020.

[8] M. M. Macario, R. R. T. Martínez, L. A. S. Tamayo, C. A. Aguilar, J. R. R. Cruz, and C. G. Cervantes, "Diseño de una estación base gsm usando openbts y tarjeta de desarrollo usrp b210," *investigación de las agujas hipodérmicas convencionales y su falta*, 2016.

[9] H. A. P. Guerrero, D. M. J. M. García, M. A. C. Juárez, U. P. Rico, E. S. Navarro, and A. A. Casas, "Implementación de red celular de bajo costo para comunidades rurales basada en sdr y openbts (Implementation of a low cost cellular network for rural communities based on sdr and openbts)," *Pistas Educativas*, vol. 40, 2018.

[10] D. A. Burgess and H. S. Samra, "The openbts project," Report available at <http://openbts.sourceforge.net>, <http://openBTS.org>, 2008.

[11] J. G. López, *VoIP y ASTERISK: Redescubriendo la telefonía*: Grupo Editorial RA-MA, 2008.

[12] A. L. G. Reis, A. F. Barros, K. G. Lenzi, L. G. P. Meloni, and S. E. Barbin, "Introduction to the software-defined radio approach," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 10, pp. 1156-1161, 2012.