

Implementación de estación base GSM recepción de señales LTE aplicando radio definido por software

Implementation of a GSM base station and reception of LTE signals, applying radio defined by software

Gustavo Alonso Chica-Pedraza¹ ; Ángel Felipe Díaz-Sánchez² ; Mónica Espinosa-Buitrago³ ; David Norberto Angulo-Esguerra⁴

¹Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. gustavochica@usantotomas.edu.co,

²Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. angel.diaz@usantotomas.edu.co,

³Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. monica.espinosa@usantotomas.edu.co

⁴Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. davidangulo@usantotomas.edu.co

Recibido: 12 de agosto de 2019. Aceptado: 18 de octubre de 2019.

Resumen– La Universidad Santo Tomás actualmente no cuenta con toda la infraestructura de telecomunicaciones que permita a sus estudiantes realizar prácticas de laboratorio en el área de la telefonía móvil. Por lo anterior, este trabajo de investigación tiene como finalidad la implementación de una estación base de telefonía móvil celular (TMC), GSM 2G y el desarrollo de un sistema de recepción de señales LTE 4G, todo esto mediante el uso de radio definido por software y herramientas de software libre. La implementación de la estación base genera y gestiona el recurso inalámbrico emitido por ella misma, con el fin de aprovisionar servicios de mensajería de texto corto y llamada de voz. Por otra parte, el sistema de recepción de señales LTE 4G fue desarrollado en el software GNUradio, lo que permite replicar de una forma didáctica y educativa, todo el proceso de generación y recepción de servicios básicos de telecomunicaciones móviles.

Palabras clave– GNURadio, GSM 2G, LTE 4G, TMC, radio definido por software, software libre.

Abstract– Santo Tomás University does not currently have the entire telecommunications infrastructure that allows its students to perform laboratory practices in the area of mobile telephony. Therefore, this research work has the purpose of implementing a mobile cellular telephone base (TMC), GSM 2G and the development of a LTE 4G signal reception system, all this through the use of software-defined radio and free software tools. The implementation of the base station generates and manages the wireless resource issued by it, in order to

provide short text messaging services and voice call. On the other hand, the LTE 4G signal reception system was developed in the GNUradio software, which allows replicating a didactic and educational form of the whole process of generation and reception of basic mobile telecommunications services.

Keywords– GNU Radio., GSM 2G, LTE 4G, TMC, free software, software defined radio.

1. INTRODUCCIÓN

En un mercado donde los servicios de telecomunicaciones han presentado en las últimas décadas gran demanda por parte de sus usuarios, es vital realizar constantes innovaciones en temáticas de infraestructura, e igualmente desarrollar nuevas plataformas que soporten el auge tecnológico. Según el boletín trimestral del MINTIC (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones), correspondiente al tercer periodo del año 2018, vemos un constante crecimiento. En este se aprecia que la penetración del servicio de telefonía móvil celular (TMC) se encuentra en el 126,2% [1], dato que comparado con cifras de años anteriores permite ver que desde el 2013 se ha pasado de 49 millones de abonados a casi 63 millones de abonados aproximadamente, hecho

Citar este artículo como: Chica-Pedraza G. A., Díaz-Sánchez A. F., Espinosa-Buitrago M., & Angulo-Esguerra D. N. Implementación de estación base GSM recepción de señales LTE aplicando radio definido por software. ITECKNE, 17(1), 19 - 30. doi: <https://doi.org/10.15332/iteckne.v17i1.2426>

que demuestra que hay más dispositivos móviles, que personas en el país [2], [3].

Así mismo, la telefonía móvil ha tenido que estar en constante cambio, tratando de ajustarse a las necesidades tecnológicas de la población, ejemplo de esto es el avance que ha tenido desde la creación de GSM (Global System for Mobile Communications), llamada 2G (segunda generación), pasando por UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), también llamada 3G o tercera generación, hasta llegar a LTE (Long Term Evolution), que es conocida como 4G o la cuarta generación, e inclusive poder hablar del lanzamiento del 5G o quinta generación, lo que ha permitido que el usuario disfrute de la convergencia de servicios en su dispositivo móvil [4].

Por lo anterior, y para poder aprovechar los avances significativos en materia de tecnologías móviles celulares, se ha hecho necesario poder asignar el espectro electromagnético de una mejor forma, por esta razón, el Gobierno colombiano en el 2013 hizo una subasta para asignar un total de ocho (8) bloques de frecuencias entre las bandas AWS y 2.5 GHz, en la cual participaron compañías del sector de Telecomunicaciones como Claro, Directv, Avantel, ETB en conjunto con Tigo y Movistar [5].

Sin embargo, los constantes avances tanto a nivel tecnológico como regulatorio, han traído consigo numerosos retos por solucionar, es así como los usuarios de los servicios de telecomunicaciones móviles han experimentado falencias en la prestación del servicio, debido a la insuficiencia de infraestructura en zonas rurales, además de tener problemas de cobertura en sitios como parqueaderos subterráneos, ascensores y, en general, edificaciones robustas (indoor) donde las pérdidas de la potencia de la señal son bastante altas y la conectividad con la red móvil se pierde [6].

Es por la anterior razón, que los sistemas SDR (radio definido por *software*) se muestran como una solución para evaluar ciertos problemas de cobertura móvil, ya que permiten la implementación y el desarrollo de la infraestructura de servicios móviles, que orientados hacia la academia generan fortalezas en las competencias trabajadas sobre el contexto tecnológico y educativo [7].

Este trabajo pretende realizar la implementación de una estación base GSM, y el desarrollo del

sistema de recepción de señales LTE, utilizando herramientas de *software* libre basadas en sistemas operativos de distribución LINUX, lo que permite evidenciar los factores tecnológicos necesarios para el adecuado servicio de la estación base y los bloques necesarios para replicar el procesamiento de la señal en este entorno.

2. SISTEMAS DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE

Radio, definido por *software*, permite a un sistema de radiocomunicaciones convencional tener un funcionamiento basado en *software*, debido a la utilización de diferentes circuitos electrónicos que permiten ser reconfigurables. En particular, consiste en un sistema periférico universal de radio que permite que un computador estándar funcione como un alto rendimiento y con operación de banda ancha de amplia capacidad [8].

Específicamente el dispositivo USRP N210, disponible en las instalaciones de la Universidad Santo Tomás, tiene características sobresalientes respecto a otros dispositivos que trabajan sobre los sistemas SDR. Las características principales enfocadas hacia la recepción y transmisión de señales en sistemas de telefonía móvil, se observan en la Tabla I [9].

Tabla I.
CARACTERÍSTICAS EQUIPO USRP N210

Equipo	Características
USRP N210	Maneja un rango de frecuencias DC hasta de 6GHz.
	Es compatible con Linux, Windows y Mac.
	Capacidad 2X2 MIMO.
	Unidad de procesamiento Spartan 3ª-DSP 3400 FPGA.

Fuente: Los autores.

Con respecto a la recepción de radio frecuencia, el USRP 210 (Universal Software Radio Peripheral) tiene la facilidad de adaptarse a tarjetas transmisoras y receptoras con diferentes características tanto de velocidades como de ancho de banda. Lo que permite gran utilidad para diferentes aplicaciones relacionadas con radio definido por *software* [5]. La tarjeta de recepción es una placa que ofrece acceso directo a las entradas ADC (Convertor Análogo a Digital). Puede aceptar señales en modo real de 1 a 250 MHz y las fre-

cuencias de muestreo ADC USRP se encuentran actualmente por debajo de 100 MS / s, sin embargo, es posible utilizar métodos de interpolación y decimación para recibir frecuencias más altas.

Adicionalmente, se trabajó con antenas de referencia VERT 900, en la recepción y transmisión de señales en servicios de TMC con bandas de frecuencia de 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz aceptadas mundialmente. Por su parte, la detección espectral de cuarta generación se realizó en banda de frecuencia AWS (Advanced Wireless Services), comprendida entre 1710 MHz - 1755 MHz para uplink y 2110 MHz - 2155 MHz para downlink [9].

3. IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN BASE GSM (2G)

GSM es un sistema de telefonía móvil diseñado en su totalidad para brindar el servicio de llamadas de voz, lo que implica ser una red orientada hacia la conmutación de circuitos. También permite una transmisión de datos, aunque el uso de este servicio es secundario, por la baja velocidad que ofrece GSM (9.6 Kbps). De esta manera, únicamente se comercializó el servicio de mensajería corta, SMS (Short Message Service), ya que es eficiente por el bajo consumo de ancho de banda para su funcionamiento [10], [11].

3.1 Arquitectura de red GSM

En la Figura 1 se observa la arquitectura básica de un sistema de telefonía móvil GSM - GPRS [12].

La arquitectura está conformada en orden jerárquico, vista desde el usuario hacia la conexión con otras redes por Entorno red de acceso.

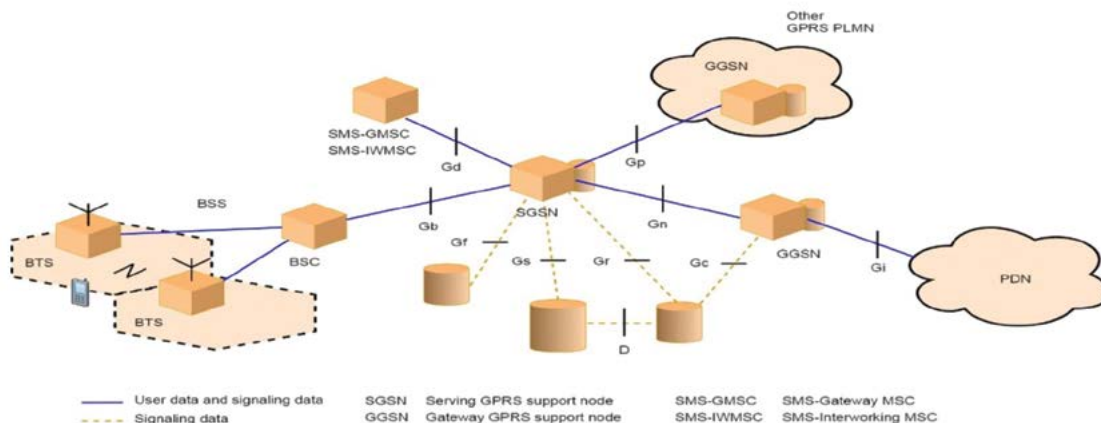
Base Station Subsystem (BSS) [13].

- Mobile Station (MS): es el nombre estandarizado que recibe el dispositivo móvil para la comunicación vía RF (Radio Frequency).
- Base Transceiver Station (BTS): son las estaciones base o celdas que brindan la conectividad con un MS mediante la interfaz de aire Um del estándar GSM.
- Base Station Controller (BSC): en este nodo se encuentra el equipamiento que controla un grupo de estaciones base (BTS), además de otras funciones como el control de potencia emitido por los usuarios.

Entorno núcleo de la red, Network Switching Subsystem (NSS) [13].

- Mobile Services Switching Center (MSC): es el primer nodo del núcleo de toda la red, se encarga de la asignación de los canales de tráfico (TCH) a los abonados, sincronizando el time slot adecuado para cada comunicación. Además, realiza los procedimientos de enrutamiento.
- Equipment identity Register (EIR): es una base de datos que posee interconexión con la MSC, allí se almacena toda la información perteneciente de cada uno de los abonados sobre el estado de sus dispositivos móviles.

Fig. 1. ARQUITECTURA RED GSM - GPRS



Fuente: Imagen adaptada de (12).

- Home Location Register (HLR): es una base de datos que al igual que el EIR tiene conexión con la MSC, su funcionalidad se basa en alojar información acerca de la ubicación de los dispositivos en la red y los servicios a los cuales pueden acceder, es decir, contiene los datos sobre la capacidad de consumo de cada usuario en la red.
- Visited Location Register (VLR): base de datos encargada de registrar el LAC (Location Area Call) de un grupo de usuarios, es decir, la ubicación para brindar cobertura a los terminales. Además, adquiere una copia de la información del HLR mientras que el dispositivo este activo, entre otras funciones secundarias.
- Authentication Center (AuC): es una base de datos que funciona como un centro de autenticación, la MSC y el HLR lo consultan permanentemente para conocer los permisos de un usuario cuando este quiere acceder a la red, este procedimiento se realiza mediante la SIM (Subscriber Identification Module), que posee cada dispositivo móvil.
- (SGSN): es una puerta de enlace que permite la comunicación entre la BSC y el GGSN, las funciones principales son: la conexión de los dispositivos móviles con la red de datos y realizar el enrutamiento del tráfico de datos.
- (GGSN): es el último nodo perteneciente a la red, aquí encontramos una puerta de enlace para la conexión con otro tipo de redes, en especial Internet. También tiene características de firewall para no permitir el acceso desde otros puntos externos a la red y culmina con algunos procesos de facturación.

3.1.1 Tecnología de acceso al medio (FDMA - TDMA)

Es un tipo de multiplexación, donde una portadora para GSM posee un ancho de banda de 200 KHz. FDMA consiste en dividir el espectro asignado a la red GSM en estas portadoras todas equivalentes a 200 KHz, luego TDMA realiza un proceso similar de división de recursos, esta vez no en el dominio de la frecuencia sino en el dominio del tiempo, así TDMA es una tecnología que permite fraccionar las portadoras en 8 partes iguales en

el dominio del tiempo con duración de 577 μ s y de esta manera cada fracción de tiempo es asignado para el uso exclusivo de cada usuario, estas fracciones de tiempo se conocen con el nombre de time slots [14].

El primer time slot (Ts0), generalmente es utilizado para mensajes de difusión constantes para todos los usuarios BCCH (Broadcast Control Channel), donde viaja información acerca de la red, entre otras. Los demás time slots son utilizados para diversos canales lógicos de comunicación, entre ellos se puede hablar de los más importantes: FCCH (Frequency Correction Channel) y en handoff, RACH (Random Access Channel) es un canal bidireccional para la autenticación del móvil, PCH (Paging Channel) canal utilizado como alerta de llamada o notificación, SDCCCH (Standalone Dedicated Control Channel) es un canal de cuantiosa importancia, ya que es utilizado para la señalización entre el MS y la BTS y por último, el canal de tráfico TCH (Traffic Channel) [15].

3.2 Implementación OpenBTS Software

Para la implementación del *software* OpenBTS es necesario la instalación de una serie de herramientas gestionadas desde su propia interfaz de línea CLI (Command Line Interface), estas herramientas se observan en la Tabla II. Además, todas las herramientas son instaladas en conjunto con OpenBTS en sistema operativo de distribución Linux [13].

Una vez culmine el proceso de instalación del *software* OpenBTS se hacen las configuraciones necesarias para generar una portadora en banda de frecuencia de 900 MHz y corrimiento de señal de 59.5 MHz, con el fin de disminuir los niveles de interferencia. Se observa en la Figura 2 la portadora emitida por la estación base, graficada en analizador de espectro ROHDE & SCHWARZ.

Posterior a la configuración de la banda de frecuencia y la canalización de la portadora, es posible buscar la red en los terminales. El método utilizado para acceder a la red difiere según el sistema operativo del terminal. A continuación se hace la demostración del proceso de búsqueda para terminales iOS y Android.

Posterior a la configuración de la banda de frecuencia y la canalización de la portadora, es

posible buscar la red en los terminales. El método utilizado para acceder a la red difiere según el sistema operativo del terminal. A continuación se hace la demostración del proceso de búsqueda para terminales iOS y Android.

Finalizado el proceso de suscripción de los terminales en la red, con el comando (tmsis) en el CLI de OpenBTS, pueden ser vistos por el administrador de la estación base. Se observa a continuación en la Tabla III, IMEI e IMSI que caracterizan a cada dispositivo.

Tabla II.
HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA ESTACIÓN BASE GSM (2G)

Herramienta de gestión	Software instalado	Descripción de la herramienta
OpenBTS	Sipauthserve	Es un servidor funcional para la gestión de los usuarios. Permite verificar y modificar los permisos de cada usuario conectado a la red, al igual que eliminar o agregar nuevos terminales.
	Smqueue	Ejecuta y verifica los permisos necesarios para el envío de mensajería de texto corta entre usuarios inscritos previamente en la estación base.
	Asterisk	Modifica la conexión de los usuarios, mediante la interfaz de aire Um, para ser visualizados por la red como clientes SIP (Session Initiation Protocol) y de esta manera, realizar llamadas de voz entre terminales o entre terminal y estación base.

Fuente: Los autores.

Fig. 2. PORTADORA ESTACIÓN BASE



Fuente: Los autores.

Tabla III.
INFORMACIÓN DISPOSITIVOS CONECTADOS A LA RED

IMSI	TMSI	IMEI	AUTH	CREATED	ACCESSED	TMSI_ASSIGNED
732103105777604	.	357747052438130	0	14m	14m	0
732123601394002	.	353326067587600	1	97m	20m	0
732103028682305	.	358670050888810	0	37m	37m	0
732101077701186	.	358685058761150	1	69m	67m	0
732101071635767	.	354994051261120	1	95m	95m	0

Fuente: Los autores.

4. RECEPCIÓN DE SEÑALES LTE (4G)

Aproximadamente en el 2008 se generó el release ocho (R8) por parte del 3GPP, con el cual se estandarizó el mercado de la tecnología LTE. En relación con el espectro radioeléctrico, el nuevo estándar revolucionó la industria de telefonía móvil, ya que la tecnología de acceso al medio de LTE permite un uso más adecuado de este recurso limitado, utiliza portadoras con mucho más ancho de banda que además tienen la ventaja de ser variables y de hasta 20 MHz, incorpora también términos relevantes para el avance de las redes de la siguiente generación (NGN), como all-IP y la convergencia de servicio [16].

4.1 Arquitectura de red LTE

En la arquitectura general del estándar LTE se realizó una reducción en los nodos de la red en comparación de 2G/3G. En la Figura 3 se observa la arquitectura de cuarta generación (4G).

La red se encuentra fragmentada en dos subsistemas de trabajo, el primero llamado Eutran (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network), que es la subdivisión de la red encargada del acceso y la segunda que hace énfasis en el núcleo de esta, llamada EPC (Evolved Packet Core) [17].

Entorno red de acceso, Eutran

- User Equipment (UE): nombre adoptado para el dispositivo móvil en una red LTE.

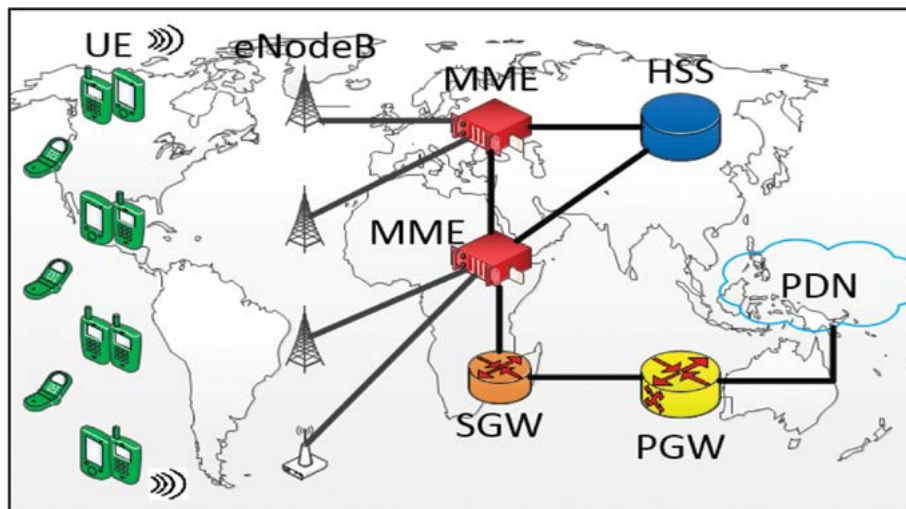
- Evolution Node B (eNB): son las estaciones base que se encargan del manejo de los protocolos para la interfaz de aire (Uu), además unen las funciones de las estaciones base y controladoras diseñadas en la tercera generación (3G), Node B y RNC (Radio Network Controller), respectivamente. Las funciones principales son la asignación de recursos, control de potencia, handoff, señalización, entre otras.

Entorno núcleo de la red, EPC

- Mobility Management Entity (MME): es el nodo evolucionado para un SGSN de segunda generación, aunque se agregaron funciones de listado para el seguimiento de la gestión en los abonados y la selección de la puerta de enlace en la conexión con otras redes.
- Serving Gateway (Serving GW): es un nodo de gran importancia, ya que se encarga de enrutar todos los paquetes entre el Eutran y el EPC. Además, al poseer conectividad directa por medio de la interfaz S1-U con los nodos de ENodeB una de sus funciones adicionales es el anclaje del handoff, también cuando este procedimiento ocurre con otra infraestructura distinta a un ENodeB.

Los nodos anteriores poseen la flexibilidad de instalarse de manera conjunta o por separado según la demanda por soportar. En caso de escoger la segunda opción el MME se comunica con la Eutran por medio de la interfaz S1-MME.

Fig. 3. ARQUITECTURA RED LTE



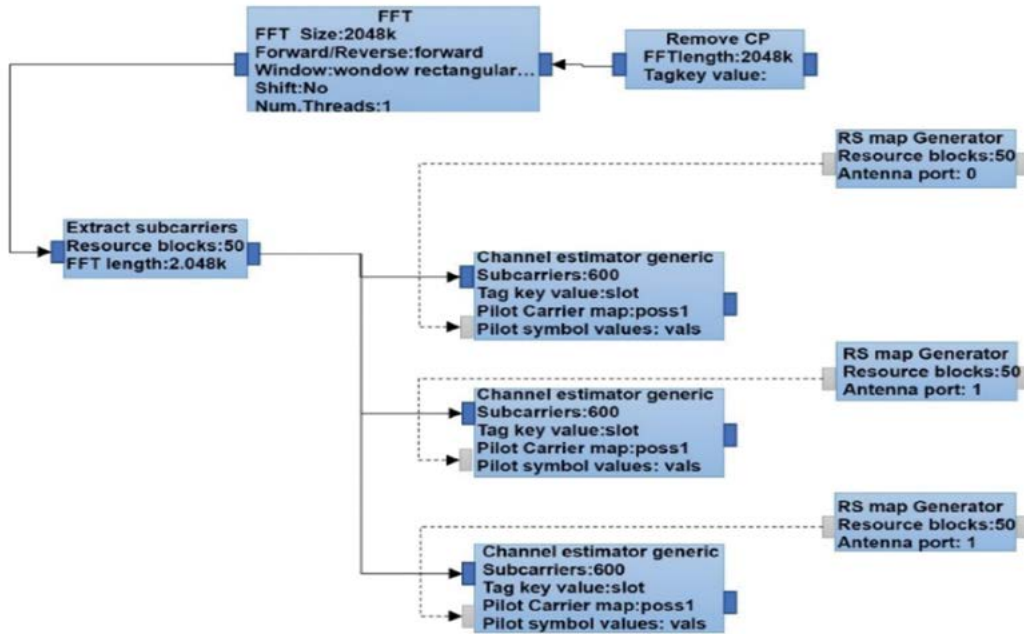
Fuente: Los autores.

Referente a la etapa de demultiplexación y decodificación del canal de difusión PBCH se utiliza un bloque en modulación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), trabajada en el estándar LTE. Esta etapa entrega a su homónima posterior el canal BCH y la trama MIB (Master Information

Control). En la Figura 6 se observan los bloques utilizados en la etapa descrita anteriormente.

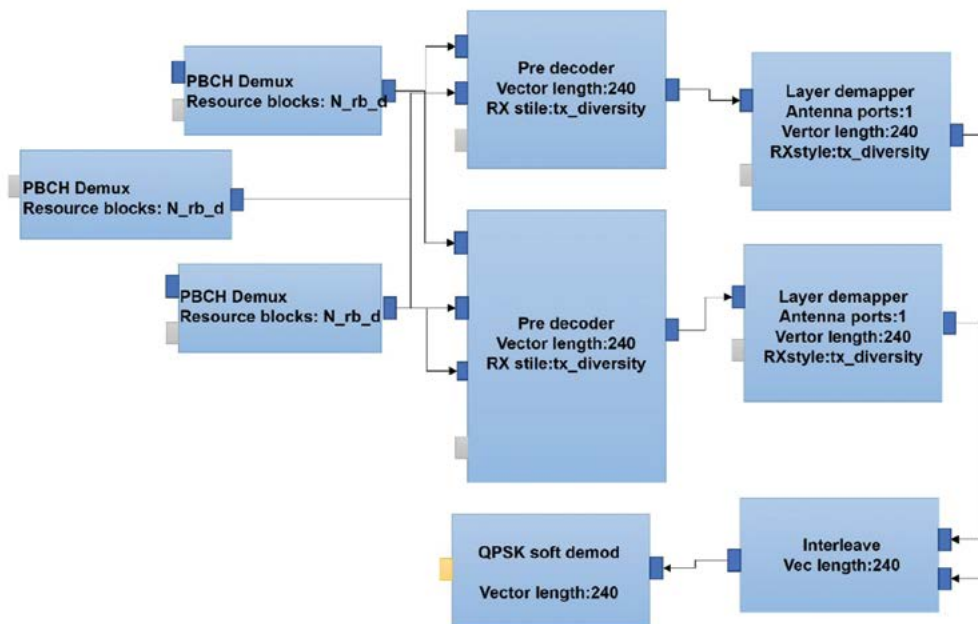
En la Figura 7 se observan los bloques utilizados para el desarrollo de la etapa de decodificación del canal BCH y la entrega de la trama MIB.

Fig. 5. DIAGRAMA DE BLOQUES DE RECEPCIÓN OFDM EN GNURADIO



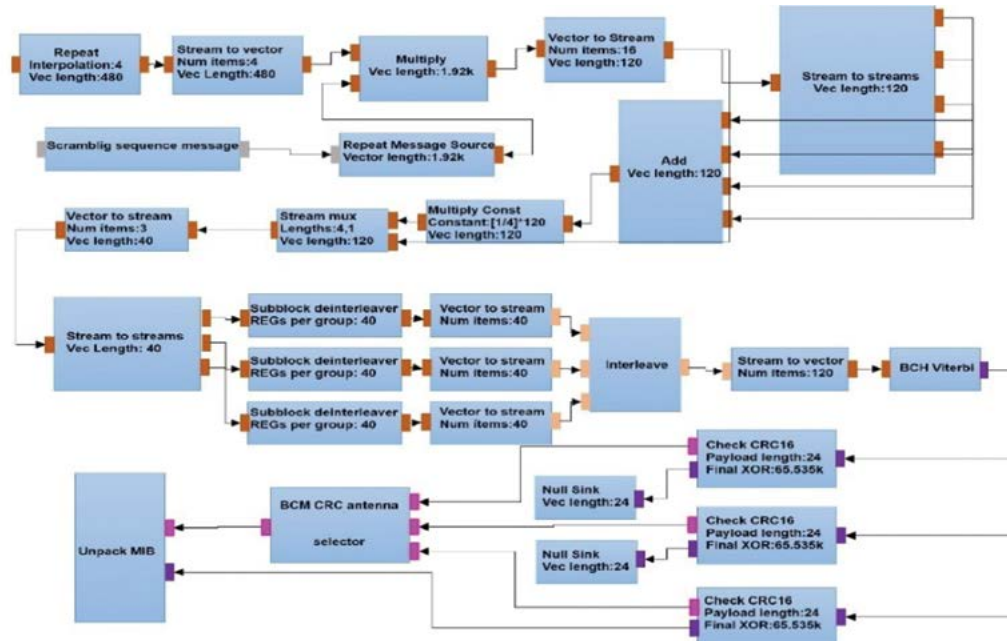
Fuente: Los autores.

Fig. 6 DIAGRAMA DE BLOQUES DE MULTIPLEXACIÓN Y DECODIFICACIÓN PBCH



Fuente: Los autores.

Fig. 7 DIAGRAMA DE BLOQUES DECODIFICACIÓN BCH y TRAMA MIB EN GNU RADIO



Fuente: Los autores.

5. APLICACIÓN Y RESULTADOS

Para verificar el funcionamiento de los sistemas desarrollados se han realizado diversas pruebas con base en los servicios suministrados por una estación base GSM (2G) y la correcta detección de señales LTE (4G). El software Wireshark permite capturar el tráfico generado en la interfaz Gigabit Ethernet del ordenador conectado al USRP N210, para ser analizado posteriormente.

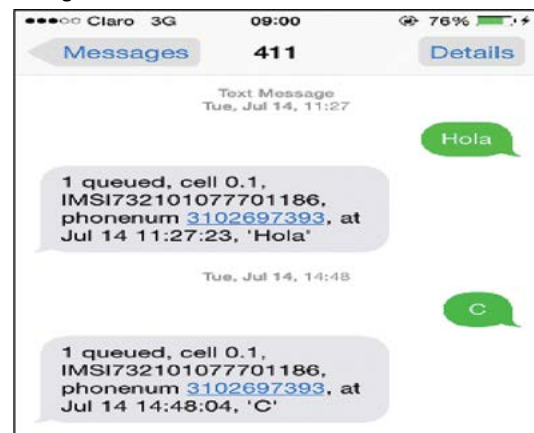
5.1 Servicio de mensajería de texto

Para verificar el servicio de mensajería de texto en los terminales, se envía un mensaje de texto al número 411, la estación base retorna un mensaje de acuso que permite hacer veraz la comunicación, esta prueba se puede observar en la Figura 8.

5.2 Servicio de llamadas de voz

Para realizar una llamada de voz de un terminal hacia la estación base es necesario ingresar al panel numérico y digitar el número 2602. Es generado un canal de tráfico por el terminal y la estación base retorna los mismos sonidos enviados. También se puede llamar al número 2600 y la estación base esta vez retorna un sonido continuo como prueba del servicio de llamadas de voz activo.

Fig. 8 VERIFICACIÓN SERVICIO DE MENSAJERÍA DE TEXTO



Fuente: Los autores.

En la Figura 9 se observa que existe un canal de tráfico TCH (Traffic Channel) en uso, que es canalizado al momento de realizar un llamado de voz al número 2602, igualmente se observan parámetros de transmisión y, finalmente el IMSI del terminal que efectuó la llamada.

Cuando mínimo dos terminales se encuentren registradas en la base de datos de OpenBTS y estén conectadas a la red, pueden realizar llamadas de voz entre sí. Digitando el número con el cual fue registrado en la base de datos en el panel numérico, es posible efectuar la comunicación entre ellos.

En la Figura 10 se observan dos canales de tráfico ocupados en la estación base, de esta manera se comprueba que la llamada ha sido satisfactoria.

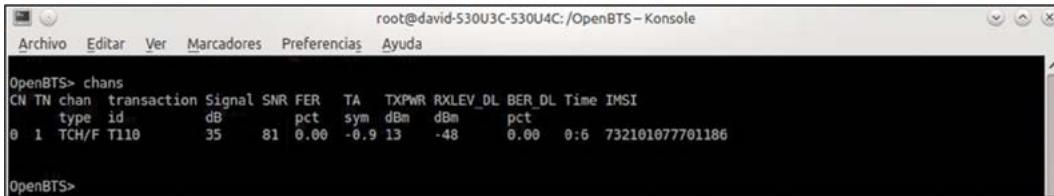
5.3 Capturas de tráfico en el software Wireshark para la estación base

A continuación, se observan los protocolos capturados en cada uno de los procesos de señalización y tráfico. En la Figura 11 es posible visualizar el proceso de señalización que se establece con el uso del protocolo SIP. Además, del terminal fuente

que corresponde al IMSI 732101077701186, utilizando el canal de tráfico.

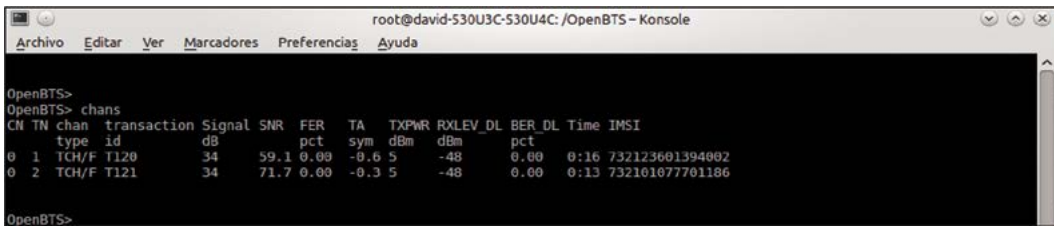
A continuación, se observa la verificación del canal seleccionado para la transmisión de datos en la estación base, el cual fue el canal 121 con frecuencia central de 959.2 MHz en enlace descendente y 914.2 MHz para enlace ascendente. La Figura 12 permite observar igualmente la utilización del protocolo gsmmap en la estación base. El protocolo gsmmap encapsula tramas GSM procedentes de la interfaz de aire (um).

Fig. 9 VERIFICACIÓN SERVICIO DE LLAMADAS DE VOZ



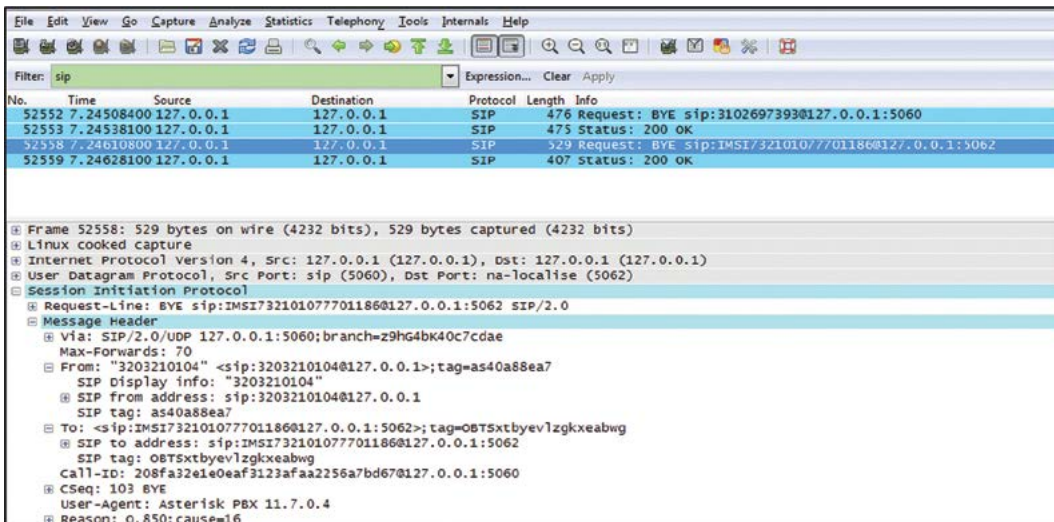
Fuente: Los autores.

Fig. 10 LLAMADAS DE VOZ ENTRE DOS TERMINALES



Fuente: Los autores.

Fig. 11 CAPTURA DEL PROTOCOLO SIP



Fuente: Los autores.

Fig. 12 CAPTURA DEL PROTOCOLO GSMTAP

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
17069	2.26006100	127.0.0.1	127.0.0.1	GSMTAP	89	(CCCH) (RR) Paging Request Type 1
17070	2.26098100	127.0.0.1	127.0.0.1	ICMP	117	Destination unreachable (Port unreachable)
17220	2.28796200	127.0.0.1	127.0.0.1	GSMTAP	89	(CCCH) (RR) Paging Request Type 1
17221	2.28797200	127.0.0.1	127.0.0.1	ICMP	117	Destination unreachable (Port unreachable)
18473	2.45754900	127.0.0.1	127.0.0.1	GSMTAP	89	(CCCH) (RR) System Information Type 4
18474	2.45756100	127.0.0.1	127.0.0.1	ICMP	117	Destination unreachable (Port unreachable)
18632	2.47772000	127.0.0.1	127.0.0.1	GSMTAP	89	(CCCH) (RR) Paging Request Type 1
18633	2.47773400	127.0.0.1	127.0.0.1	ICMP	117	Destination unreachable (Port unreachable)
18845	2.50581000	127.0.0.1	127.0.0.1	GSMTAP	89	(CCCH) (RR) Paging Request Type 1
18846	2.50582400	127.0.0.1	127.0.0.1	ICMP	117	Destination unreachable (Port unreachable)
18988	2.52488300	127.0.0.1	127.0.0.1	GSMTAP	89	(CCCH) (RR) Paging Request Type 1
18989	2.52489800	127.0.0.1	127.0.0.1	ICMP	117	Destination unreachable (Port unreachable)
19586	2.60491800	127.0.0.1	127.0.0.1	LAPDM	89	U, Func=U (DTAP) (RR) System Information Type 5
19590	2.60493200	127.0.0.1	127.0.0.1	ICMP	117	Destination unreachable (Port unreachable)
19769	2.62825900	127.0.0.1	127.0.0.1	LAPDM	83	U, Func=U (DTAP) (RR) Measurement Report
19770	2.62827000	127.0.0.1	127.0.0.1	ICMP	117	Destination unreachable (Port unreachable)
20035	2.66365800	127.0.0.1	127.0.0.1	LAPDM	89	U, Func=U (DTAP) (RR) System Information Type 6
20036	2.66367000	127.0.0.1	127.0.0.1	ICMP	117	Destination unreachable (Port unreachable)
20228	2.08930300	127.0.0.1	127.0.0.1	LAPDM	83	U, Func=U (DTAP) (RR) Measurement Report
20229	2.08931700	127.0.0.1	127.0.0.1	ICMP	117	Destination unreachable (Port unreachable)
20258	2.69314200	127.0.0.1	127.0.0.1	GSMTAP	89	(CCCH) (RR) System Information Type 3

Fuente: Los autores.

5.4 Capturas de tráfico en el software Wireshark para la recepción de señales LTE

En la tabla IV se observa la captura del tráfico generado una vez se ejecute el programa en GNU-Radio, además de la dirección IP fuente, correspondiente al dispositivo USRP. El tráfico se encapsula en el protocolo UDP (User Datagram Protocol).

6. CONCLUSIONES

La práctica de laboratorio comprendida en la implementación de una estación base de segunda generación fue determinante para evidenciar los factores tecnológicos necesarios para el adecuado servicio de la estación base. Por lo tanto, se

determinó que las herramientas elementales para la puesta en marcha de esta son: un servidor funcional en el manejo y control de las bases de datos, otro para el servicio de mensajería de texto corta, otro para la canalización del tráfico de voz, y una última herramienta para generar y realizar configuraciones de la portadora en el canal descendente.

Una vez los terminales buscan la portadora en las configuraciones de red, para realizar el proceso de enganche con la estación base, se observó que, la red no entrega los permisos suficientes a los usuarios para activar servicios de telecomunicaciones. Solo se activa el servicio cuando el terminal es registrado en el servidor de bases de datos sipauthserve.

Tabla IV.
CAPTURA DE TRAMA UDP

Time	Source	Destination	Protocol
7.918885000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.919680000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.820305000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.921027000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.921749000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.882469000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.923233000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.833378000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.923348000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.934655000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.925385000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.826107000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.926829000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP
7.927583000	192.168.10.2	192.168.10.1	UDP

Fuente: Los autores.

El servicio de llamadas de voz demostró gran calidad al momento de realizar el cambio de la banda de frecuencia de 850MHz a 900MHz. La comunicación entre dos terminales fue clara y no se observaron interferencias notorias.

En la recepción de señales LTE de cuarta generación, la práctica de laboratorio se trabajó mediante la jerarquización de bloques, y se observó que fue funcional para completar cada una de las etapas de sustracción de cabeceras y demás códigos que hacen parte de la señal pura transmitida por un eNodeB. Además de visualizar los componentes que son incorporados en una señal 4G de forma práctica.

La implementación de la estación base, permite exitosamente la funcionalidad de los servicios de mensajería de texto corta y llamadas de voz, sobre banda de frecuencia de 900 mhz. En relación con el sistema de recepción de señales LTE, se desarrolla sobre una serie de bloques para el procesamiento de la señal, con el fin de entregar el canal de difusión BCH (broadcast channel) en conjunto con el MIB (master information control).

Los futuros procesos de investigación desarrollados por los integrantes del semillero Telesoft, tendrán como apoyo el trabajo realizado anteriormente en proyectos que conciernen las temáticas de los sistemas de comunicaciones móviles y de radio definido por *software*. Como auxiliar de investigación fue fundamental para mi formación la participación dentro del semillero, ya que me permite fortalecer mis conocimientos en el área investigativa.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Boletín trimestral de las TIC - Cifras tercer trimestre de 2018. [En línea] Noviembre de 2018. [Citado el: 30 de noviembre de 2018.] https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-82350_archivo_pdf.pdf
- [2] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Boletín trimestral de las TIC - Cifras tercer trimestre de 2014. [En línea] diciembre de 2014. [Citado el: 18 de octubre de 2018.] https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-8127_archivo_pdf.pdf
- [3] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. <https://colombiatic.mintic.gov.co/679/w3-article-8127.html> [En línea] Marzo de 2014. [Citado el: 3 de diciembre de 2018.]
- [4] J. De Vriendt et al. *Mobile network evolution: a revolution on the move*. IEEE Communications magazine, Vol. 40, págs. 104-111, 2002.
- [5] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Ministerio TIC recibió seis propuestas de participación para la subasta 4G. [En línea] 3 de julio de 2013. [Citado el: 20 de octubre de 2018.] <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-Prensa/Noticias/1887:Ministerio-TIC-recibio-seis-propuestas-de-participacion-para-la-Subasta-4G>
- [6] M. Tolstrup, *Indoor Radio Planning: A practical guide for GSM, DCS, UMTS, HSPA and LTE*. s.l. : John Wiley & Sons, 2011.
- [7] D.N. Angulo Esguerra, "Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando radio definido por *software* para sistemas de telefonía móvil celular," Bogotá, D. C : Universidad Santo Tomás, 2015.
- [8] H.A. Angulo Orquera, M. Paredes, "Diseño y desarrollo de un radio definido por *software*, para el ejército ecuatoriano, mediante la utilización de una tarjeta USRP y la herramienta simlulink de matlab," 2011.
- [9] J.J. Uribe Rugeles, T. Bojacá, y CH. Clavijo Sánchez, "Caracterización de la plataforma de radio definido por *software* USRP N210-WBX. 34," *Gerencia Tecnológica Informática*, Vol. 12, págs. pp. 91-102, 2013.
- [10] A. Pachón, "Evolución de los sistemas móviles celulares GSM," Vol. 2, 2006.
- [11] A.L. Beltrán Blanco, H. Ortega Boada, CC. Rodríguez y CA. Forero, "Validación de la herramienta CellGIS para simular propagación de ondas de radio en redes de telefonía celular," *Revista ITECKNE*, diciembre de 2011, Vol. 8, págs. 193-203.
- [12] C. Bettstetter, H-J. Vogel y J. Eberspacher, "GSM phase 2+ general packet radio service GPRS: Architecture, protocols, and air interface. 3," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, Vol. 2, págs. 2-14, 1999.
- [13] H. Campos Polo, "Redes móviles celulares. s.l.", Universidad Santo Tomás, 2009.
- [14] M. Iedema, "Getting Started with OpenBTS," 2014, O'Reilly Media, Inc.
- [15] C. Jain y D. Goodman, "General packet radio service in GSM", 10, 1997, *Communications Magazine, IEEE*, Vol. 35, págs. 122-131.
- [16] F.J. González Páez, J.E. Ortiz Triviño, "Handover Vertical y convergencia hacia iP como factores clave del desarrollo de las redes 4G., s.l.", *ITECKNE*, 2010, Vol. 7, págs. 191-198.
- [17] H. Polo Campos, "Comunicaciones Móviles de última generación," Bogota, D. C., Colombia: Universidad Santo Tomás, 2012.
- [18] R. Anand et al., "GNU Radio Based Control System," In *Advances in Computing and Communications (ICACC), International Conference on*, págs. 259-262, 2012.
- [19] J. Demel, S. Koslowski y F.K. Jondral, "A LTE Receiver Framework Implementation in GNU Radio".