OPEN-LTE SCAN MODE ANALYSIS ON USRP B-200

ANÁLISIS DEL MODO ESCÁNER DE OPEN-LTE SOBRE USRP B-200

Ing. Juan Carlos Martínez Quintero, MSc. Ing. Edith Paola Estupiñan Cuesta, MSc. Luis Miguel Nontoa Moreno,

Universidad de Pamplona
Comité Editorial Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 144
E-mail: {juan.martinezq, edith.estupinan, u1401096}@unimilitar.edu.co

Abstract: LTE infrastructure requires specialized high-cost equipment deployment; This involve the difficult acquisition for institutions with academic and research purposes. The Software Defined Radio (SDR) technology has achieved to be a solution for wireless communication development which allow RF equipment reconfiguration. This document presents the use of the OPEN-LTE scanner tool and show the broadcast frames analysis over physical layer of a LTE mobile telephony station implemented with Open Air Interface (OAI). The PBCH and PDSCH channels are studied on downlink and it is shown that the information that the base station sends to the user's equipment, achieves its connection. All the hardware infrastructure is implemented in SDR equipment.

Keywords: SDR (Software Defined Radio), OPENLTE, OAI (Open Air Interface), Wireless Communications, LTE (Long Term Evolution).

Resumen: El despliegue de una infraestructura LTE requiere de equipos especializados de alto costo, lo que implica la difícil adquisición por parte de instituciones académicas para enseñanza e investigación. La tecnología SDR (Radio Defined Software) ha demostrado ser la solución a la hora de implementar diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica, logrando la reconfiguración de equipos de RF y permitiendo el acceso a estas tecnologías por parte de diferentes comunidades relacionadas con estas temáticas. En este artículo se presenta el uso de la herramienta escáner del software OPEN-LTE con el propósito de analizar las tramas Broadcast de la capa física de una estación de telefonía móvil LTE montada sobre OAI. Se analizan los canales PBCH y PDSCH para un enlace descendente y se evidencia la información que la estación base envía a los equipos de usuario para lograr su conexión. Toda la infraestructura de hardware se monta usando equipos de SDR.

Palabras clave: SDR (Software Defined Radio), OPENLTE, OAI (Open Air Interface), Wireless Communications, LTE (Long Term Evolution).

1. INTRODUCCIÓN

La telefonía móvil celular crece de manera rápida, la evolución de las comunicaciones móviles hace necesaria la implementación de nuevas tecnologías y es por eso por lo que hoy en día se habla de cobertura LTE o redes 4G y 5G. El despliegue de este tipo de redes permite satisfacer la gran demanda de usuarios que hasta ahora utilizan dicha tecnología para el uso de llamadas, transferencias de datos y acceso a internet a altas velocidades, obteniendo mejor cobertura y calidad del servicio. Uno de los principales objetivos de LTE es implementar técnicas avanzadas de hardware y software para superar a los actuales sistemas de comunicaciones en capacidad, movilidad y una mayor transferencia de datos (Calle & Jiménez, 2014).

Los equipos de radio reconfigurable ofrecen ventajas para la implementación de tecnologías

inalámbricas a un costo razonable en términos de prototipado rápido, en este sentido, la tecnología de radio definido por software presenta una gran versatilidad que favorece de gran manera los desarrollos que se implementen bajo este concepto (Selva et al, 2012). Con el uso de las tecnologías SDR, OPEN-LTE y OAI se pueden implementar celdas LTE de bajo costo que pueden ser aprovechadas en procesos de investigación y proyectos en el ámbito académico, adicionalmente poseen una mayor libertad en su manipulación por lo que no se ven limitadas por sus equipos.

Este articulo evidencia la forma en que un equipo de radio definida por software puede ser usado para capturar tramas de broadcast de la capa física LTE de cualquier operador de telefonía móvil. En este caso en vez de un operador se usa una celda LTE que fue implementada con el software OAI al interior del grupo de investigación. Para la captura de tramas se hace uso del software libre OPENLTE junto con el equipo SDR USRP B200. Este software permite la captura de información de los canales físicos en los que se encuentran los bloques MIB, SIB1, SIB2 y SIB3. Los bloques mencionados, están destinados a permitir la conexión del UE (User Equipment) y EnodeB. El análisis permitió comprobar y verificar que los datos transmitidos por la estación LTE son los mismos escaneados usando el software OPENLTE y estos a su vez cumplen con la regulación ETSI TS.136.331 V 13.1.0, TS 136 331 - V8.14.0, TS 136 331 - V12.12.0.

Este artículo se organiza inicialmente con la introducción. La sección 2 define los antecedentes más relevantes en esta área de investigación. La sección 3 especifica los principales conceptos técnicos de LTE. En la sección cuatro se define el escenario de prueba y finalmente la última sección evidencia el análisis de los resultados obtenidos y sus conclusiones.

2. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años se han realizado diversas investigaciones con el fin de respaldar la implementación de escenarios usando SDR como alternativa al despliegue de costosas infraestructuras LTE en los ámbitos académicos y de investigación. Dentro de las más relevantes se destacan:

En el 2014 comprobaron mediante la simulación de una red LTE con la transmisión de video móvil, que las herramientas de SDR están en la capacidad de conectar hosts comerciales a través de enlaces en tiempo real y no solo se limitan a simulaciones de redes virtuales cerradas y el seguimiento de datos sin sentido. (Zheng et al, 2014)

En el año 2018 se propuso un modelo analítico para un sistema handover de dos niveles en un escenario realista basado en una plataforma OPEN-LTE de SDR, con el fin de caracterizar las fallas durante la transmisión de servicios entre diferentes tipos de macro celdas de las redes móviles. (Jia et al, 2018)

Por otro lado, se puede desplegar estaciones base de cuarta generación utilizando la herramienta OPEN-LTE definida por software. En el año 2018 estos autores estudiaron el comportamiento de un sistema handover entre un sistema GSM y LTE (Morales, Triviño, 2018).

En el año 2014, se presentó OAI como una plataforma flexible de ecosistemas LTE de bajo costo, en la demostración presentaron una implementación de red LTE con un ordenador basado en la plataforma OAI, demostraron la capacidad de conectarse con diferentes dispositivos comerciales LTE y teléfonos inteligentes que destacan el proceso completo de conexión y transmisión de video en vivo en un enlace descendente. (Nikaein et al., 2014).

En el año 2016 utilizaron OAI para emular la transmisión inalámbrica entre un equipo de usuario UE y un enB empleando los tipos de configuración FDD y TDD, trabajaron con las bandas de operación 5 y 38, adicionalmente propusieron un método de optimización simple para reducir la duplicación de datos de la trama del protocolo LTE. (Mokhtar et al, 2016).

En el 2017 encontraron una limitación en la simulación de escenarios que demandan un procesamiento de gran cantidad de datos por parte del equipo de usuario (UE) del OAI cuando el ancho de banda es hasta 20MHz, por esta razón propusieron un método de procesamiento paralelo multithread en el UE de OAI que lograr mejorar el rendimiento de este sistema. Gracias al buen rendimiento y funcionamiento de la tecnología LTE y la gran acogida por parte de los operadores móviles, se pueden realizar ciertos estudios para la próxima generación de tecnologías del futuro 5G. (Shen et al, 2017),

En el año 2017 estos autores propusieron un sistema en OAI para probar los diferentes escenarios LTE que se simulan con OAI, integrando emuladores para realizar una prueba de campos y analizar el rendimiento de las diferentes entidades que conforman la infraestructura LTE. (Chih-Yuan et al, 2017),

En el año 2017 se realizaron estudios de la arquitectura OAI-CRAN para determinar la posibilidad de hacer un procesamiento MIMO en múltiples celdas, mostrando un esquema de calibración de reciprocidad TDD y así poderlo integrar a la tecnología LTE (Kaltenberger et al, 2017)

En el año 2016 estos autores profundizaron un poco más acerca de la tecnología 5G, por medio de SDR y OAI implementaron un sistema transceptor NOMA (Non Orthogonal Multiple Access) en enlace descendente, con el fin de mejorar la eficiencia del procesamiento de la señal banda base con un receptor de cancelación de interferencia sucesiva. (Xingguang, et al., 2016).;

La gran adaptabilidad de los sistemas SDR en las comunicaciones móviles permite implementarla para entornos domésticos inteligentes, muchas tecnologías de comunicación como Zigbee y Z-Wave basan sus estudios en estándares para sistemas de automatización en hogar (Knežević et al, 2015).

3. LTE

LTE denominado Long Term Evolution, es un estándar de comunicaciones móviles desarrollado por la 3GPP (3rd Generation Partnership Project) como evolución de la tecnología de las familias GSM y UMTS. LTE surgió con la necesidad de brindar a los usuarios un servicio estable, permitiendo una conexión de velocidades altas en un enlace ascendente hasta 50 Mbps y en un enlace descendente de hasta 100 Mbps, baja latencia, eficiencia espectral y ancho de banda de hasta 20 MHz, su implementación en el mercado permite reducir costos, brindar una mayor seguridad y mejorar la calidad del servicio (Quintero-Flórez, Hernández-Bonilla, Giraldo-Medina, & Uribe-Ante, 2016). LTE integra todos sus servicios a través del protocolo IP, fue propuesta en el año 2004 por la 3GGP, esta arquitectura es conocida como SAE (Inga Ortega, 2010)

3.1 Arquitectura LTE

Un sistema de comunicaciones LTE, recurre a la implementación de una arquitectura básica denominada EPS (Envolved Packet System), con dos factores fundamentales que la componen una red de acceso E-UTRAN y una red troncal EPC (Envolved Packet Core), facilitando servicios de transferencias de paquetes IP entre los UE (Equipos de usuarios) y redes de paquetes externas como internet y plataformas IMS. E-UTRAN cuenta con dos interfaces, una interfaz de radio E-UTRAN Uu para el EU y la red E-UTRAN y una interfaz S1 entre la EPC y la red E-UTRAN. Las plataformas de servicios IMS y la conexión de redes de paquetes externos IP se efectúa por medio de la interfaz SGI de la EPC. La infraestructura LTE además de contar con los equipos característicos de esta tecnología, necesita de algunos elementos de la red tradicional que permitan la asignación de direcciones IP a los equipos LTE, tales como, routers y servidores DHCP. De igual manera LTE utiliza sus servicios mediante conmutación de paquetes, una característica fundamental de esta arquitectura es permitir accesos alternativos a la EPC, que no sean compatibles con la familia de estándares 3GPP cómo CDMA2000, Mobile WiMAX, redes 802.11 entre otras (Fig. 1) (Bernardo, Casadevall, & Sallent, n.d.).

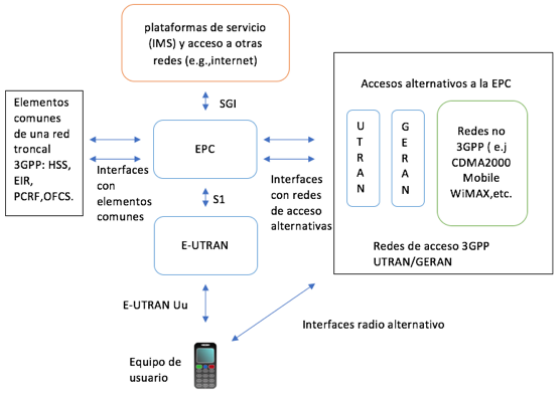


Figura 1. Arquitectura Básica LTE

LTE utiliza técnicas de acceso múltiple OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) para un enlace descendente y SC-FDMA (Single Carrier Frequency division Multiple Access) para un enlace ascendente, utilizando esquemas de modulación QPSK, 16QAM y 64QAM (MSc. Ernesto Cadena Muñoz, 2015).

A continuación, se describen los elementos que conforman la arquitectura LTE:

Red de acceso E-UTRAN: Los elementos principales que conforman esta red se denominan eNBs, estas estaciones base son las encargadas de establecer la conectividad entre el UE y la EPC.

- EPC (Envolved Packet Core): Conformado por tres elementos de red, el MME (Mobility Management Entity), el SGW (Serving Gateway) y la P-GW (Packet Data Network Gateway).
- HSS (Home Suscriber Server): Base de datos principal. Los elementos mencionados anteriormente conforman

la base para proveer el servicio de conexión IP entre los EU que se encuentran conectados a E-UTRAN y las redes externas conectadas a la troncal EPC.

- IMS (IP Multimedia Subsystem): Esta arquitectura proporciona a los usuarios, el control de los servicios multimedia que están basados en el protocolo IP, brinda el acceso a internet y otras aplicaciones de voz y video sobre IP. UE (User Equipment): Dispositivo que permite a los usuarios acceder a la red LTE. (Calle & Jiménez, 2014)

3.2 Canal PBCH (Physical Broadcast Channel), PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)

Desde el punto de vista de la capa física, para un enlace descendente DL (Downlink) en una arquitectura LTE intervienen canales físicos, Dentro de los canales físicos encontramos el canal PBCH que utiliza una modulación QPSK, dentro de ella se encuentran los MIB (Master information Block), estos bloques contienen datos básicos sobre la red (Sanchez Luis, 2016). El canal físico de tráfico PDSCH transmite información de usuario con esquemas de modulación QPSK, 16QAM y 64QAM transportando los SIB (System Information Block) (Harold Patiño, Luis Carlos Ramírez, 2010).

4. ESCENARIO

El escenario para realizar las pruebas se ve en la Figura 2, haciendo uso de la herramienta escáner de OPEN-LTE. Incluye 2 dispositivos de radio definido por software (SDR) utilizando un sistema de transmisión SISO (Single -input y Single-output) interconectados de forma inalámbrica.
La estación LTE en OAI consta de dos PC's. En el PC2 se implementa la red central EPC con sus entidades principales SG-W, PG-W, MME y HSS, el equipo PC3 consta de un EnodB utilizando una tarjeta X-310. El software OPEN-LTE fue instalado en un PC adicional (PC1), donde el dispositivo USRP- B200 es el encargado de recibir los datos, se tiene en cuenta que la distancia aproximada es de un metro entre el EnodB (X-310) y la USRP-B200.

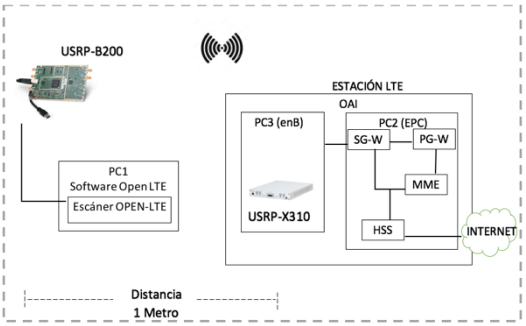


Figura 2. Diagrama de bloques del Escenario

Para la adquisición de los datos obtenidos por la herramienta escáner de OPEN-LTE, el EnodB *(X-310)* fue configurado con los siguientes parámetros:

- eutra_band = 1
- downlink_frecuency = 2120 MHz
- uplink_frequency_offset = -190 MHz
- frame_type = FDD
- N_RB_DL = 25
- nb_antenna_ports = 1
- nb_antennas_tx = 1
- nb_antennas_rx = 1
- rx_gain = 100
- tx_gain = 110

4.1 Escaneo y configuración de los parámetros del escáner OPEN-LTE.

Se pretende leer la información "Broadcast" que la estación LTE OAI transmite constantemente para que los UE (User Equipment) autorizados establezcan comunicación. Además del software de escaneo OPEN-LTE, es necesario tener conectado el dispositivo USRP-B200 al PC1 (Fig. 3).

Durante el escaneo se utilizó la banda 1 de LTE (Tabla 1) y se seleccionó una frecuencia de 2120 MHz para el enlace descendente.

Tabla 1. Características Banda 1.

BANDA DE OPERACIÓN 1	
DUPLEX-MODE	FDD
FRECUENCIA (MHz)	2100
ENLACE DESCENDENTE(MHz)	2110-2170
ENLACE ASCEDENTE (MHz)	1920-1980
ANCHO DE BANDA (MHz)	5,10,15,20

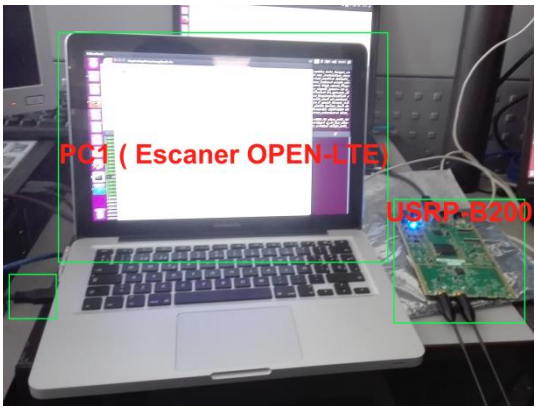


Figura 3. Dispositivo USRP B200 conectado a la PC1.

Desde la ventana de comandos o terminal se accede a la carpeta donde se encuentra instalado el paquete OPEN-LTE y se utiliza la herramienta de escaneo LTE ejecutando el comando: ***LTE_fdd_dl_scan*** (Fig. 4). Una vez ejecutado el comando de escaneo se muestra un mensaje de conexión a través del puerto 20000, para poder realizar esta conexión es necesario ejecutar el comando ***telnet 127.0.0.1 20000*** en otra terminal (Fig. 5).

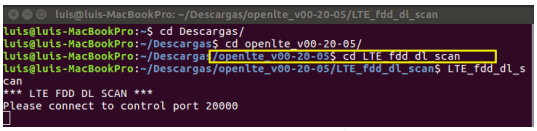


Figura 4. Herramienta LTE_fdd_dl_scan.

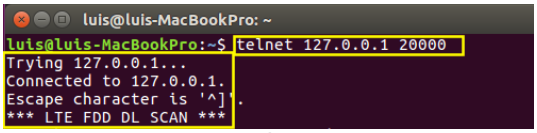


Figura 5. Conexión al puerto telnet.

Una vez establecida la conexión por el puerto telnet, la herramienta de escaneo de OPEN-LTE solo permite configurar dos parámetros: banda de operación y ancho de banda, este parámetro debe coincidir con la configuración realizada en el enB. La configuración de la frecuencia portadora en LTE está designada por el número de canal de radiofrecuencia EARFCN y mediante la ecuación (1) se determina.

$$F_{DL} = F_{DL-LOW} + 0.1(N_{DL} - N_{offs-DL}\ (1)$$

De la ecuación (1) se obtiene al despejar N_{DL}

$$N_{DL} = \frac{(F_{DL} - F_{DL-Low}) + 0.1(N_{offs-DL})}{0.1}\ (2)$$

Se sustituye, con los valores de la (Tabla 2) en la Ecuación (2).

Tabla 2. Números de canal E-UTRA

BANDA DE OPERACIÓN	DOWNLINK		
	FDL_LOW (MHZ)	Noffset_DL	Range of NDL
1	2110	0	0-599

Y el valor de la frecuencia portadora en EARFCN para una frecuencia de 2120 MHz es de 100 tal como se ve en la Ecuación (3).

$$N_{DL} = \frac{(2120-2110)+0.1(0)}{0.1} = 100\ (3)$$

El escáner muestra una lista de frecuencias posibles que se puede utilizar, una vez seleccionada la banda (Fig. 6) el resultado de la Ecuación (3) se encuentra dentro del rango de frecuencia EARFCN de la herramienta para la banda 1.

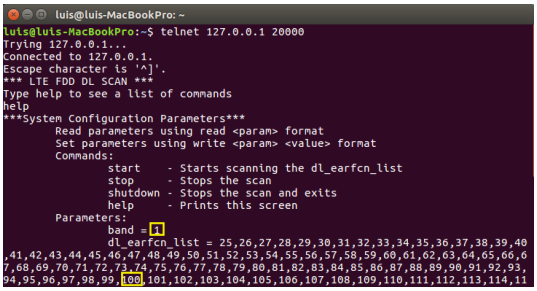


Figura 6. Lista de posibles EARFCN para la banda 1

En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo del proceso de escaneo (Fig. 7).

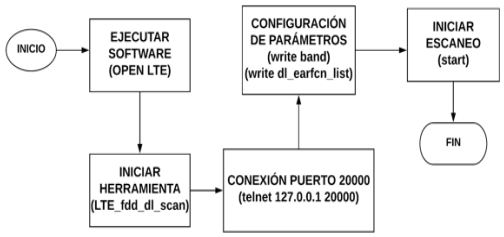


Figura 7. Diagrama de flujo proceso de escaneo.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Utilizando la herramienta de monitoreo wireshark se capturaron y analizaron los paquetes tipo TCP con el fin de verificar las tramas recibidas (Fig. 8). En las tramas que se visualizan se observa la captura de diferentes parámetros relacionados con la información de la estación LTE y datos del operador para la conexión con el UE.

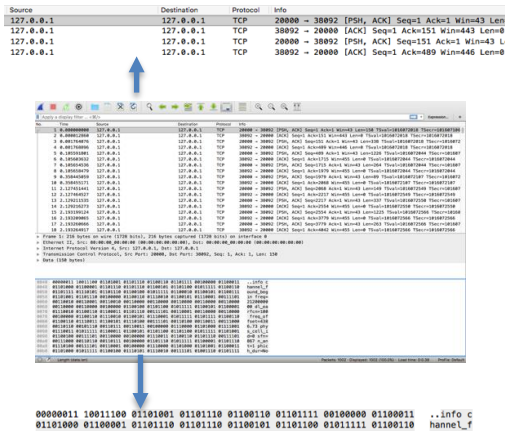


Figura 8. Captura de paquetes con Wireshark.

Los resultados obtenidos al realizar el escaneo demuestran que los parámetros seleccionados favorecen la recepción de la información transmitida por la estación base. La captura de los datos al ejecutarse el escáner de OPEN-LTE se pueden observar en las (Fig. 9, Fig. 10, Fig 11 y Fig. 12) en los recuadros de cada imagen se seleccionan algunos de los parámetros de cada bloque de información. El escaneo de la celda arrojó la siguiente información:

- Bloques de información MIB que contienen la información de la capa física de la celda LTE (Tabla 3), se corrobora que los datos arrojados por el escáner efectivamente corresponden a los valores establecidos en los estándares de comunicaciones LTE basados en la norma ETSI y a los configurados en el enB que son esenciales para iniciar la transmisión entre un UE y enB.

Tabla 3. Bloques de información MIB

Master information block (MIB)	VALUE
Downlink channel bandwidth	5
SFN (System Frame Number)	38
PHICH duration	Normal
PHICH resource	1/6

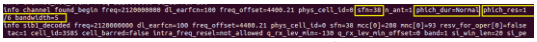


Figura 9. MIB captura del escáner OPEN-LTE

- Bloques de información SIB1 dentro de la trama LTE son los más importantes debido a que llevan información como el operador de la celda, código de área de localización los MCC, MNC y los niveles mínimos de potencia para poder establecer la conexión (Tabla 4).

Tabla 4. Bloques de información SIB1.

System Information Block1 (SIB1)	VALUE
MCC	208
MNC	93
Cell reserved for operation use	false
Tracking area code	1
Cell identity	3585
Cell barred	false
Intra frecuency Cell Reselection Allowed	not allowed
Qrx lev min	-130
Qrx lev min offset	0
SI periodicity	8
SIB mapping	2,3
SI windows length	20
system information value tag	0

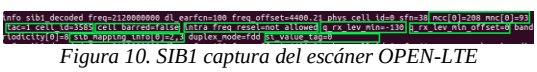


Figura 10. SIB1 captura del escáner OPEN-LTE

- Bloque de información SIB2 está encargado de informar al UE (Equipo de usuario) la configuración de los canales comunes y compartidos y parámetros del control de potencia en el enlace ascendente estos resultados corresponden al RACH información que se transmite cuando el equipo de usuario intenta acceder a la red (Tabla 5).

Tabla 5. Bloques de información SIB2

System Information Block2 (SIB2)	VALUE
Number of RA preambles	64
power_ramping_step	4
preamble_init_target _rx_power	-108
preamble_trans_max	10
ra_response_windows_size	10
mac_contention_resolution_timer	48
max_num_harq_tx_for_msg3	4
default_paging_cycle	128
Modification_period	256

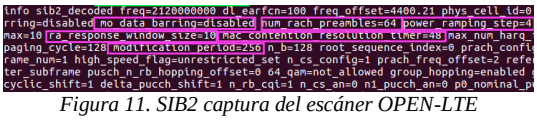


Figura 11. SIB2 captura del escáner OPEN-LTE

- Bloques de información SIB3 contienen la información necesaria para que los UE se conecten a las celdas con mejor rendimiento de acuerdo con unos criterios de selección y no de forma aleatoria, para este caso se encontró la información de intra-frecuencia de reselección de la celda (Tabla 6).

Tabla 6. Bloques de información SIB3.

System Information Block3 (SIB3)	VALUE
QRX lev min	-140
Q_Hyst	4
Allowed measurement Bandwidth	1.4
presence of antenna port 1	FALSE
Neighbour cell configuration	0
Treselection EUTRA	1

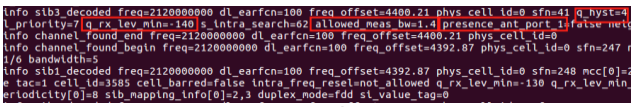


Figura 12. SIB3 captura del escáner OPEN-LTE

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado al interior del grupo de investigación GISSIC. Producto derivado del proyecto de investigación ING-INV 2388 financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada.

7. CONCLUSIONES

El uso de plataformas de SDR para implementar software como OPEN-LTE permiten hacer profundización en temas de academia e investigación utilizando herramientas comparativamente de bajo costo. Las diferentes investigaciones comprueban que, por medio de estas plataformas, se pueden realizar

emulaciones y pruebas específicas con escenarios reales. Los resultados obtenidos para el escenario planteado en este documento comprueban la efectividad de la herramienta OPEN-LTE para el escaneo de estaciones de cuarta generación.

Los bloques de información MIB son bloques fundamentales en los sistemas de comunicación LTE puesto que contiene la información fundamental para establecer la conexión entre los equipos de usuarios y las estaciones base, esta información permite desarrollar trabajos futuros en el estudio de vulnerabilidades sobre redes LTE.

La herramienta OPEN-LTE escáner permite analizar las tramas broadcast de LTE, evidenciando la información de los canales PBCH y PDSCH, encargados de transportar la información de los mensajes MIB y SIB entre una estación base y los equipos de usuario.

Las herramientas de SDR representan una alternativa eficiente y competente a las infraestructuras propias de LTE ya que permiten trabajar con escenarios propios de esta tecnología a bajo costo y con todas las ventajas de las herramientas de software libre.

REFERENCIAS

Calle, C., & Jiménez, M. S. (2014). XXV Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica Estudio y Análisis Técnico Comparativo entre las Tecnologías LTE y LTE Advanced XXV Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica, *25*, 254–265.

Selva, A. F. B., Reis, A. L. G., Lenzi, K. G., Meloni, L. G. P., & Barbin, S. E. (2012). Introduction to the software-defined radio approach. *IEEE Latin America Transactions*, *10*(1), 1156–1161. https://doi.org/10.1109/TLA.2012.6142453

Zheng, Q., Du, H., Li, J., Zhang, W., & Li, Q. (2014). Open-LTE: An Open LTE simulator for mobile video streaming. *2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops, ICMEW 2014*. https://doi.org/10.1109/ICMEW.2014.6890630

Jia, J., Liu, G., Han, D., & Wang, J. (2018). Towards Studying the Two-Tier Intra-Frequency X2 Handover Based on Software-Defined Open LTE Platform. *IEEE Access*, *6*, 1–1. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2854820

Julian Morales, Angie. Triviño. (2017.). DESARROLLO DE GUÍAS DE LABORATORIO APLICANDO RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN HANDOVER CON ESTACIONES BASE DE SEGUNDA GENERACIÓN Y LA PRIMERA FASE DE UNA ESTACIÓN BASE DE CUARTA GENERACION (c), 1–4. https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3

Nikaein, N., Knopp, R., Kaltenberger, F., Gauthier, L., Bonnet, C., Nussbaum, D., & Ghaddab, R. (2014). Demo: OpenAirInterface: An Open LTE Network in a PC. *Proceedings of the 20th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, 305–308. https://doi.org/10.1145/2639108.2641745

Yeoh, C. Y., Mokhtar, M. H., Rahman, A. A. A., & Samingan, A. K. (2016). Performance study of LTE experimental testbed using OpenAirInterface. *International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT*, *2016–March*, 617–622. https://doi.org/10.1109/ICACT.2016.7423494

Shen, H., Wei, X., Liu, H., Liu, Y., & Zheng, K. (2017). Design and implementation of an LTE system with multi-thread parallel processing on OpenAirInterface platform. *IEEE Vehicular Technology Conference*. https://doi.org/10.1109/VTCFall.2016.7880957

Kaltenberger, F., Jiang, X., Knopp, R., & Sophiatech, C. (2017). From massive MIMO to C-RAN : the OpenAirInterface 5G testbed, 608–612. https://doi.org/10.1109/ACSSC.2017.8335413

Wei, X., Liu, H., Geng, Z., Zheng, K., Xu, R., Liu, Y., & Chen, P. (2016). Software Defined Radio Implementation of a Non-Orthogonal Multiple Access System Towards 5G. *IEEE Access*, *4*, 9604–9613. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2634038

Vitas, I., Šimunić, D., & Knežević, P. (2015). Evaluation of Software Defined Radio Systems for Smart Home Environments, (May), 562–565.

Chih-Yuan Lo, Yu-Wei Hua, Wei Chuan Yu, Y. M. C. (2017). Funtional Verification and Perfomance Testing for OpenAirInterface(OAI) eNodeB, *8*(December), 1456–1459

Quintero-Flórez, V. M., Hernández-Bonilla, C. M., Giraldo-Medina, D., & Uribe-Ante, D. F. (2016). Modelado y simulación de planificadores de recursos radio para una red LTE *, *12*(2), 230–245. https://doi.org/10.18041/entramado.2016v12n2.24229

Inga Ortega, E. (2010). La telefonía móvil de cuarta generación 4G y Long Term Evolution. *Ingenius*, *4*, 3–12.

Bernardo, F., Casadevall, F., & Sallent, O. (2010). *LTE Nuevas Tendencias* en Comunicaciones Móviles.

MSc. Ernesto Cadena Muñoz, Ms. P. (c) H. J. E. B. P. I. P. P. P. (2015). Physical Layer and Downlink Scheduling Algorithms. *Avanzada, Revista Colombiana de Tecnologías De*, *Volúmen 2*(ISSN: 1692-7257), 28–30.

Sanchez Luis, G. F. (2016). Desarrollo de una herramienta computacional de e-learning para el aprendizaje de la interfaz aire de la arquitectura de red 4g lte mediante la plataforma open air interface.

Producido Por Harold Patiño Luis Carlos Ramírez, D. Y. (2010). *LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles.*

SITIOS WEB

LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (3GPP TS 36.331 version 10.1.0 Release 10)

LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E- UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (3GPP TS 331 version 12.12.0 Release 12)

LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (3GPP TS 36.331 version 8.14.0 Release 8)

http://openlte.sourceforge.net/