

# Implementación de un prototipo de estación base para una red 4G-LTE utilizando SDR

## *Implementation of a prototype base station for a 4G-LTE network using SDR*

Juan Ochoa-Aldeán<sup>1,\*</sup> y Sergio García-Minchala<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

\* Autor para correspondencia: jochoa@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 05/04/2023

Fecha de aceptación del manuscrito: 17/05/2023

Fecha de publicación: 30/06/2023

**Resumen**—En el presente trabajo implementamos un prototipo de estación base para una red 4G-LTE, como herramienta experimental para el estudio y análisis de las redes móviles para la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Loja. Se ha detectado que a los estudiantes de nuestra carrera le falta experiencia práctica con tecnologías inalámbricas de última generación, por lo que mediante este prototipo los estudiantes podrán comprender de mejor manera el funcionamiento de las redes 4G-LTE, ya que el mismo permite observar el funcionamiento, la comunicación, los servicios y los diferentes tipos de datos que se intercambian entre las diferentes entidades de la red. Para su ejecución, se realizó el análisis sobre los diferentes softwares de implementación de código abierto de LTE, como para el resto de las tecnologías/dispositivos que son complementarias en el despliegue de la red LTE. El proyecto, por lo tanto, se desarrolló mediante la plataforma de software OpenAirInterface (OAI) y el hardware BladeRF Micro 2.0 xA9, que son los elementos principales que permiten emular el funcionamiento de una red 4G LTE comercial y se lo implementó en el Centro de Investigación, Innovación, Desarrollo de Prototipos Tecnológicos y Pruebas Electroenergéticas I2TEC de la Facultad de Energía de nuestra Universidad. Finalmente, para determinar el desempeño de la red, realizamos diferentes pruebas en el laboratorio de telecomunicaciones mediante la utilización de herramientas y/o servicios que se pueden implementar en la red. Con esto, entregamos un prototipo adecuado para una mejor comprensión de esta tecnología y un mayor conocimiento práctico acerca del funcionamiento de la misma.

**Palabras clave**—OAI (OpenAirInterface), SDR (Software Defined Ratio), 4G, LTE (Long Term Evolution), eNB (Evolved Node B), BladeRF.

**Abstract**—In this project, we implemented a prototype of a base station for a 4G-LTE network as an experimental tool for the study and analysis of mobile networks for the Telecommunications Engineering program at the National University of Loja. It has been identified that students in our program lack practical experience with the latest wireless technologies, so this prototype will enable students to better understand the operation of 4G-LTE networks, as it allows observation of the operation, communication, services, and different types of data exchanged between the different entities of the network. To execute this project, we analyzed different open-source LTE implementation software, as well as other complementary technologies/devices needed for the deployment of the LTE network. The project was developed using the OpenAirInterface (OAI) software platform and the BladeRF Micro 2.0 xA9 hardware, which are the main elements that allow the emulation of the operation of a commercial 4G LTE network. The implementation was done at the I2TEC of our university. Finally, to determine the performance of the network, we carried out various tests in the telecommunications laboratory using tools and/or services that can be implemented in the network. With this, we delivered a suitable prototype for a better understanding of this technology and greater practical knowledge about its operation.

**Keywords**—OAI (OpenAirInterface), SDR (Software Defined Ratio), 4G, LTE (Long Term Evolution), eNB (Evolved Node B), BladeRF.

## INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones móviles en los últimos años, han sufrido un creciente reconocimiento en el ámbito de la sociedad, y su evolución a lo largo del tiempo ha alcanzado a lo que actualmente se conoce como red 4G LTE. La red 4G LTE es considerada como uno de los principales medios para que la economía de un país sea más rápida y eficiente, y es la que siempre nos acompañan en nuestras labores diarias. Esta

tecnología 4G LTE, mejorar la velocidad de transferencia de datos y la experiencia del usuario al movilizarse utilizando el protocolo de internet (IP).

Entonces su estudio comprende un pilar fundamental para los estudiantes de la carrera de Telecomunicaciones, debido a que el mismo contribuye en su formación como profesionales calificados para el diseño, optimización e implementación de redes telefónicas, redes de datos, sistemas de comunica-

ciones móviles.

Es por ello que se desarrolló este prototipo como herramienta tecnológica para un mejor análisis y para el mejoramiento de las experiencias prácticas de los estudiantes con respecto a tecnologías de comunicación e información. Nuestro prototipo ha sido implementado en un PC, en donde con la ayuda de elementos como el hardware SDR y el software OpenAirInterface se logró implementar la red de manera completa. La evaluación del prototipo se realizó mediciones de potencia de señal en función a la distancia a través de una aplicación celular que permite leer en tiempo real el valor de Potencia en el equipo de usuario (UE).

## Estado del Arte

### LTE

La tecnología LTE (Long Term Evolution), es un estándar que permiten la transmisión de datos de alta velocidad en forma inalámbrica entre dispositivos móviles. Este estándar se empezó a definir en el año 2005 y fue creado por el 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Los documentos del 3GPP se estructuran en Releases, cada una de ellas caracterizada por la incorporación de un conjunto de funcionalidades destacadas en relación a la versión anterior (Comes *et al.*, 2010).

La versión 8, conocido como Release 8, fue la primera versión que definió la red LTE. Esta versión surgió en el año 2008, como una evolución de la tecnología UMTS. La versión permite (3GPP, 2023):

- Velocidad de enlace descendente de hasta 100 Mbit/s y para enlace ascendente de hasta 50 Mbit/s.
- Esquema de acceso radio para enlace descendente: OFDMA (Acceso múltiple de dominio de frecuencia ortogonal).
- Tecnología de acceso radio para enlace ascendente: SC-FDMA (enlace ascendente de Acceso múltiple de dominio de frecuencia de portadora única).

### Arquitectura LTE

La arquitectura de una red LTE se llama EPS (Evolved Packet System), que se caracteriza por poseer una arquitectura de red central, que agrega redes de acceso que incluyen LTE, 3G o 2G (Comes *et al.*, 2010).

Esta arquitectura está formada por dos subredes: la E-UTRAN (Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network) y la EPC (Evolved Packet Core) como se observa en la Figura 1.

**a) Red de acceso EUTRAN:** Es la capa de radio acceso que permite conectar los usuarios con la red central llamada EPC (Evolved Packet Core) (Kibhat, 2012).

**b) Núcleo de red EPC:** es responsable de la gestión de tráfico de red necesarias para proporcionar una red completa de banda ancha móvil. Esto incluye, por ejemplo, la autenticación, la funcionalidad de cobro y la configuración de las conexiones de extremo a extremo (Dahlman *et al.*, 2013).

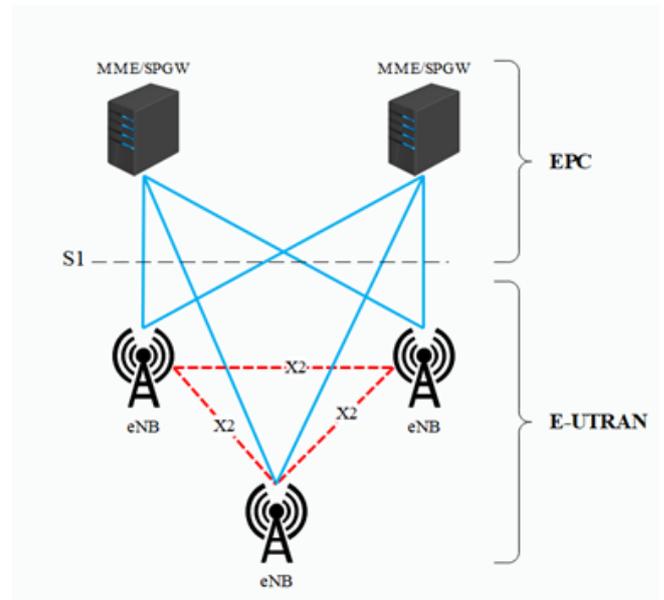


Fig. 1: Diagrama simplificado de la red LTE

### SDR

Los dispositivos SDR, son equipos programables, reconfigurables, eficientes y rentables respecto a los dispositivos de radio de generaciones anteriores. El mismo hardware permite crear diferentes modos de radio o funcionalidades, utilizando para este fin los componentes electrónicos disponibles en el mercado, combinados convenientemente para suplir las limitaciones de los procesadores actuales (Fundora y Torres, 2013).

Uno de los hardware SDR más importantes para el desarrollo de redes móviles son los BladeRF.

BladeRF es una plataforma de radio definida por software (SDR) diseñada por Nuand, que permite que una comunidad de aficionados y profesionales exploren y experimenten con las facetas de las comunicaciones de RF. Actualmente posee dos generaciones:

- BladeRF: permite sintonizar frecuencias desde los 300 MHz hasta los 3,8 GHz. Se conecta a un host (computador) a través de una conexión USB 3.0. Permite que el microcontrolador USB 3.0 y el FPGA se reprogramen a través de JTAG o directamente a través de USB (Nuand, 2022b).
- BladeRF 2.0: son dispositivos de segunda generación, que tiene un rango de frecuencia de 47 MHz a 6H GHz. Están diseñados para aplicaciones móviles y de alto rendimiento. Es compatible con GNURadio, GQRX, SDR-Radio, SDR#, gr-fosphor, SoapySDR en Windows, Linux y macOS (Nuand, 2022a). Para este proyecto se ha utilizado un SDR de esta versión.

### Softwares para LTE

Respecto a los softwares disponibles, su elección se basa en la implementación que se realice. Algunos de los más importantes, que permiten el desarrollo de redes móviles son:

1. OpenLTE: es una implementación de código abierto de las especificaciones 3GPP LTE. Su octava versión de

código (desarrollado en lenguaje C++ y C), permite probar y simular la funcionalidad de transmisión y recepción de enlace descendente y la funcionalidad de transmisión y recepción PRACH de enlace ascendente (B., 2021).

2. SrsLTE (SrsRAN): srsLTE, es una implementación de código abierto (en lenguaje C++ y C) desarrollada por Software Radio System (SRS), que permite implementar redes 4G/5G LTE (Systems, 2023). Su paquete incluye:

- SrsUE.
- SrseNB.
- SrsEPC.

3. OpenAirInterface: es una plataforma que permite implementar un sistema LTE basada en software de código abierto, que incluye el conjunto completo de protocolos estándar 3GPP para E-UTRAN y EPC. Esta desarrollado en lenguaje C. Se puede usar para crear y personalizar estaciones base LTE (OAI eNB), equipos de usuario (OAI UE) y red central (OAI EPC) en una computadora (OpenAirInterface, 2023).

Su capa física posee las siguientes características.

- Cumple con la versión 8.6 de LTE, con un subconjunto de la versión 10;
- Configuraciones FDD y TDD en ancho de banda de 5, 10 y 20 MHz;
- Modo de transmisión: 1 (SISO) y 2, 4, 5 y 6 (MIMO 2x2);

La plataforma OAI se puede utilizar en varias configuraciones diferentes que involucran componentes comerciales en diversos grados (OpenAirInterface, 2023):

- Comercial UE ↔ Comercial eNB + OAI EPC
- Comercial UE ↔ OAI eNB + Comercial EPC
- Comercial UE ↔ OAI eNB + OAI EPC
- OAI UE ↔ OAI eNB + OAI EPC
- OAI UE ↔ OAI eNB + EPC Comercial
- OAI UE ↔ eNB comercial + EPC comercial

El software es compatible con diferentes dispositivos de radio frecuencia como (openairinterface5G, 2022):

- USRP B210;
- USRP X310;
- BladeRF;
- LimeSDR;
- EURECOM EXPRESSMIMO2 RF

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este proyecto, primeramente, utilizamos el método analítico el cual nos permitió redactar y delimitar el planteamiento del problema, realizar el marco teórico y evaluar los datos recopilados. La mayoría de los estudios están enfocados en el uso de libros, artículos científicos y documentos (Releases) emitidos por organizaciones como 3GPP.

Luego a través del software elegido (enfoque cualitativo) creamos la red. Para este caso fue necesario instalar primeramente en el PC el Sistema operativo Linux Ubuntu, luego instalamos los componentes tanto del EPC como del eNB (que funciona de la mano del hardware SDR), que permiten implementar la arquitectura completa de LTE anteriormente mencionada.

Posterior a ello, realizamos el grabado de información en las tarjetas USIM con los datos ingresados en el EPC. Luego configuramos los dispositivos móviles y se insertó las tarjetas USIM para que puedan ser identificadas y operen dentro de la red.

Por último, realizamos pruebas de rendimiento (método experimental) para verificar el funcionamiento de la red implementada. La Figura 2, muestra un resumen de todo el proceso metodológico realizado.

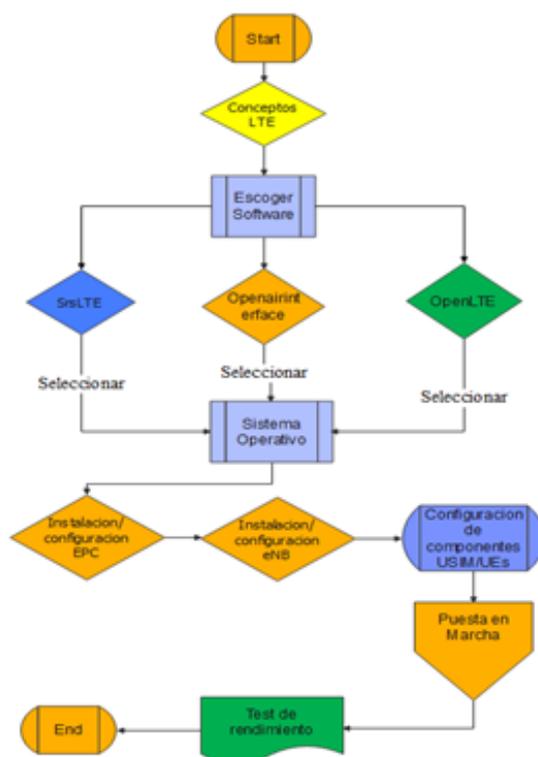


Fig. 2: Diagrama de flujo empleado para la implementación del prototipo

### Software y equipos utilizados

#### Software

El software utilizado fue OAI, el mismo que es software de código abierto, por lo que las actualizaciones del mismo no tienen costo alguno, además ofrece una implementación eNB completa y un controlador RAN en tiempo real el cual nos

brinda una mejor flexibilidad en términos de implementación mediante diferentes tipos de configuraciones.

### 1. Configuración Utilizada

OAI presenta varias configuraciones, pero la que más se adaptó para cumplir con los objetivos del proyecto fue: OAI EPC + OAI eNB + UE (Comercial).

### 2. Sistema Operativo

Respecto al sistema operativo, para este caso se utilizó la versión de Ubuntu 18.04, que al igual que OAI es software libre y de código abierto, elegimos esta versión debido a que sus versiones anteriores no eran compatibles con la versión del SDR (2.0), y sus versiones superiores poseen problemas para compilar una de las entidades (OAI/UE) de la red LTE (Shigeru, 2022).

### Equipos

1. Laptop Dell Inspiron 550 Core i7: debido a los requisitos presentados por el software (CPU Intel® Core™ i5-6600K a 3,50 GHz × 4) se decidió usar una PC personal de 4 núcleos y de onceava generación.
2. Hardware SDR: Para la transmisión y recepción de señales de radiofrecuencia desde el eNB hacia los dispositivos móviles se empleó el dispositivo BladeRF Micro 2.0 xA9 del laboratorio de telecomunicaciones.



Fig. 3: BladeRF Micro xA9

3. Los equipos de usuarios (UE): para este caso se utilizaron dos teléfonos móviles de la gama media, tales como: Samsung A10 y Samsung J1.
4. Lector de tarjeta: se utilizó un lector de tarjetas 4g económico (marca: Oyeitime), el cual funciona perfectamente con prácticamente todas las tarjetas inteligentes de contacto y sistemas operativos de PC (es.made-in china.com, 2022).

## SOLUCIÓN PROPUESTA

### Arquitectura Utilizada

El esquema utilizado es el que se puede observar en la Figura 4 Para su implementación se ha utilizado una sola

máquina, en la cual instalamos el sistema operativo Linux Ubuntu 18.04 (64 bits).

Como se puede observar en la Figura 4, la arquitectura está formada por dos subredes: la EUTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) y la EPC (Evolved Packet Core).

El EPC se encuentra conectada al eNB mediante una interfaz S1, pero para este caso como se está realizando en una sola máquina no fue necesario el uso de un cable de red Ethernet.

### Restricciones de Diseño

El prototipo desplegado cuenta con las siguientes restricciones:

- La red, no permite realizar el handover en la interfaz S1 (openairinterface5G, 2023).
- La tarjeta BladeRF admite solo 25 Resource Block (RB), limitante para aumentar el rendimiento de la red.
- OpenAirInterface solo admite hasta 40 Equipos de usuario (COST UEs) [15].
- OpenAirInterface proporciona solo velocidades de 16 - 17 Mbit/s en modo de transmisión FDD DL: 5 MHz, 25 PRBS/MCS 28 (openairinterface5G, 2021).
- Proporciona cobertura en entornos o laboratorios de pocas interferencias.

## RESULTADOS

En este apartado se mencionan las diferentes pruebas que realizamos para evaluar el rendimiento de la red implementada. Se mostrarán las diferentes aplicaciones o softwares utilizado para el análisis de la red. En este caso las pruebas se han realizado en el laboratorio de Telecomunicaciones.

### Monitorización del eNB con T-TRACER

A través de la herramienta T-tracer se monitoreo todas las señales/datos que el eNB envía y recibe al estar conectado con el equipo móvil (UE) (Research, 2023). La Figura 6, muestra la ventana de T-Tracer con las diferentes informaciones del enlace radio.

Las gráficas de la parte superior indican parámetros como: la potencia de la señal de entrada, la modulación utilizada que en este caso fue de 16 QAM y QPSK (dependiendo de la distancia), la dispersión de retardo del canal, la energía seleccionada del UE en conjunto con sus velocidades binarias de los enlaces uplink como downlink.

### Test de Rendimiento

Esta prueba de rendimiento consistió en comprobar los servicios dotados por la red: el acceso a internet y el servicio de llamadas VoIP.

1. Visualización de páginas y descarga de archivos

Esta prueba se realizó mediante la visualización de la página web de la Universidad Nacional de Loja y la descarga de algún tipo de archivo como música. La Figura 7, muestra la prueba realizada con éxito.

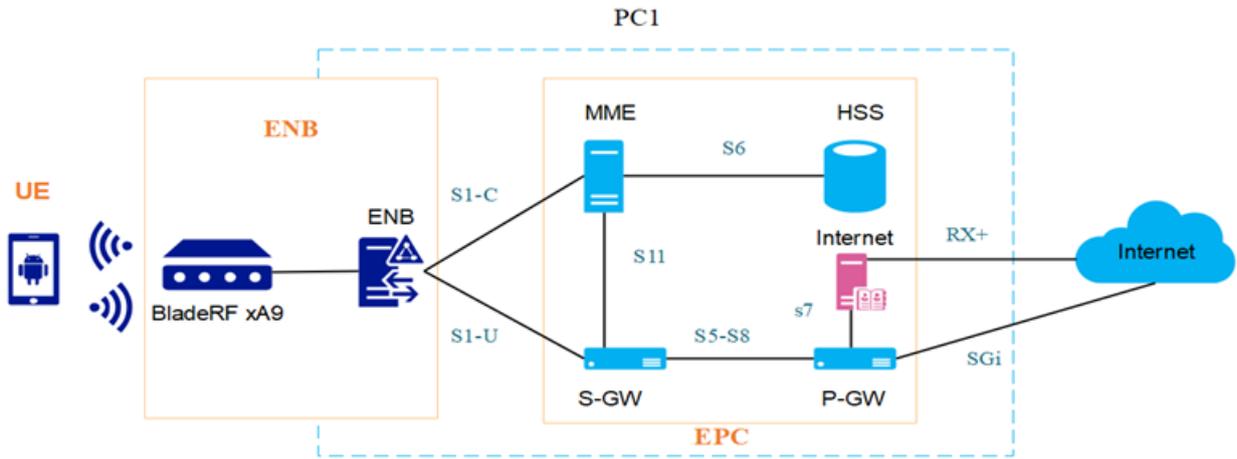


Fig. 4: Esquema para la implementación del prototipo Nodo LTE



Fig. 5: Prototipo Nodo LTE implementado

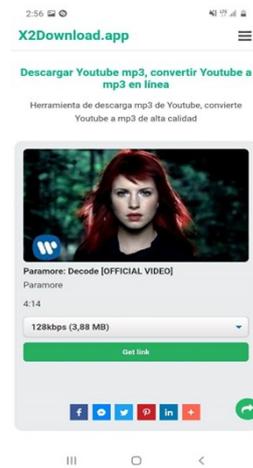


Fig. 7: Test de rendimiento (Navegación y descarga de archivo)

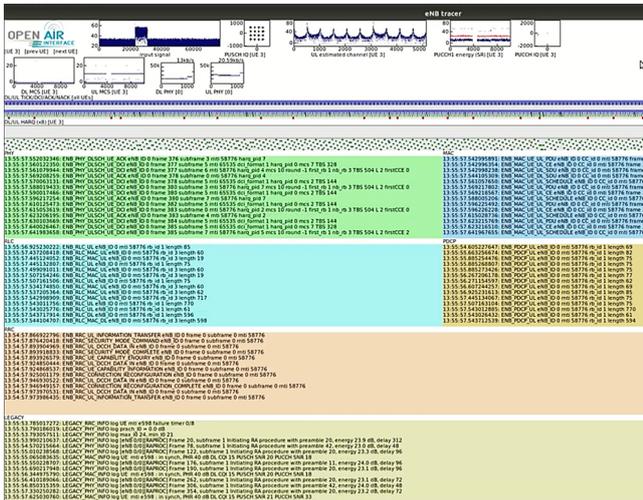


Fig. 6: Ventana de la herramienta T-Tracer de OAI

## 2. Llamadas VOIP.

Para esta prueba, se realizó llamadas VOIP entre dos UEs (Samsung A10 y J2) a través de un servidor SIP como Asterisk (instalador en la laptop) y la aplicación Zoiper instalada en los dos UEs (Figura 8).

*Nota:* La figura muestra la llamada realizada por el usuario 3 (ext103) al usuario 1 (ext101) mediante la aplicación de Zoiper y el Servidor SIP de Asterisk.

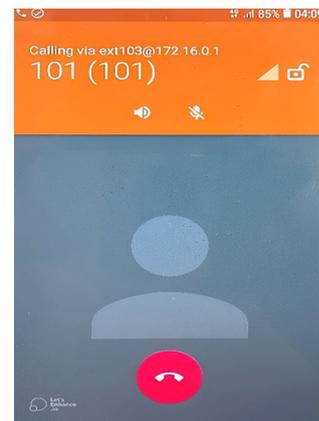


Fig. 8: Test de llamada de voz IP, realizado entre el Samsung J7 (ext103) y el Samsung A10 (ext 101)

Asterisk, es un software libre de código libre que permite implementar un servidor de comunicaciones basados en VoIP mediante SIP (Session Initiation Protocol). Los usuarios son considerados como clientes SIP, y estos pueden ser físicos (teléfonos IP) o clientes basados en software libre para establecer comunicación entre los extremos. Estos softwares son conocidos como softphones, algunos de ellos son: Twinkle, Linphone, Ekiga, Zoiper, X-lite, etc. Siendo Zoiper el software utilizado en este caso (Cachimba, 2017).

### Test de Potencia: RX

Para realizar estas pruebas se procedió a descargar la aplicación de Network Cell Info Lite (NCIL) en el UE conectado a la red. Esta aplicación consta de herramientas de medición y diagnóstico de redes móviles y wifi, lo cual permite observar la banda LTE utilizada y la potencia promedio obtenida (RSRP)(Figura 9).



**Fig. 9:** Potencias promedio recibida por el UE mediante la aplicación NCIL

*Nota:* La figura muestra las diferentes pruebas de potencia RSRP que fueron realizados a 1 metro (-75dBm) y a 2 metros (-88 dBm) de distancia del bladeRF.

### Test de velocidad

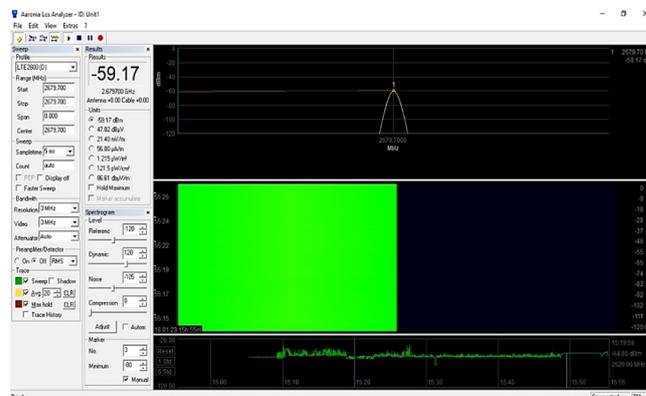
Esta prueba consistió en medir el tráfico máximo en UL y DL, en modo de transmisión SISO. Los resultados son los que se muestran en la figura 8. Como se podrá observar en la Figura 10, la red provee una velocidad promedio cercana a los de 10 Mbps, por lo que el sistema permite navegar por internet.



**Fig. 10:** Velocidad promedio de la red, tanto de Uplink como Downlink

### Análisis de la Banda de Frecuencia

Para obtener datos acerca de la banda en la que trabaja, se utilizó el analizador de espectro de la Universidad Nacional de Loja, el cual censa las frecuencias desde la banda de los 10 MHz hasta los 6 GHz (Cuéllar Charry, 2019). Como se podrá



**Fig. 11:** Banda de frecuencia LTE, obtenida mediante el Software LCS Spectrum Analyzer.

observar en la Figura 11, la red se encuentra implementada sobre la banda de frecuencia de 2,68 GHz, siendo esta la banda de frecuencia Downlink (requisitos del UE) que utilizar la red para poder transmitir paquetes de información/control a los diferentes equipos de usuarios.

### Test de Cobertura

Para obtener datos acerca de la cobertura que la red puede abarcar, se tomó en cuenta la Tabla 1. La tabla muestra que para que una red LTE sea considerada de buen rendimiento, los tres parámetros (RSRP, RSRQ y RSSNR) deben estar dentro de las dos primeras categorías. Y la aplicación Network Cell Info, permite medir estos tres parámetros en cada uno de los UEs.

**Tabla 1:** Calidad de señal LTE, definida mediante RSRP, RSRQ y RSSNR

CALIDAD	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	RSSNR (dB)
Excelente	>-80	>-10	>20
Buena	-80 a -90	-10 a -15	13 a 20
Pobre	-90 a -100	-15 a -20	0 a 13
Muy pobre	<-100	<-20	<0

Por lo tanto, las pruebas se realizaron mediante la aplicación de Network cell info instalada en dos dispositivos UE Comerciales que fueron colocados alrededor del Hardware SDR. Los resultados, se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Cobertura proporcionada por la red LTE

Distancia (m)	RSRP (dBm)
0,5	-75
1	-78
2	-85
3	-98

**Tabla 3:** Costos referenciales.

Descripción	Costo (USD)
1 tarjeta SDR BladerRF	850
1 Laptop	1200
1 lector de SIM	75
1 Smartphone	150
<b>TOTAL</b>	<b>2275</b>

### Costos

Para el análisis de costos debemos tener en cuenta dos factores, el primero es el tipo de hardware que estamos utilizando, el cual es de bajo costo y segundo el software de código abierto que utilizamos nos garantiza que los softwares necesario ni las actualizaciones del prototipo no tendrán costo alguno. A continuación, presentamos la Tabla 3 con los costos referenciales del prototipo:

### CONCLUSIONES

El prototipo de Nodo LTE funciona correctamente permitiendo realizar varias funciones como: es el registro de usuario, la autenticación, conexión con los usuarios y el acceso a internet.

OpenAirinterface facilita la instalación y configuración de la red, puesto que tiene diferentes guías de soporte.

La red ofrece un servicio estable suficiente para el uso de aplicaciones cotidianas.

La arquitectura propuesta resulta ser escalable, lo cual permite añadir más elementos (eNBs/UEs) dentro de la misma red.

El prototipo de Nodo LTE está implementado con hardware de bajo costo y software de código abierto.

### REFERENCIAS

3GPP. (2023). *Directory listing*. Descargado de [https://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK\\_PLAN/Description\\_Releases/](https://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/)

B., W. (2021). *openlte download | sourceforge.net*. Descargado de <https://sourceforge.net/projects/openlte/>

Cachimba, P. (2017). *Srd ut7 asterisk | pdf | voz sobre ip | protocolo de iniciacion de sesion*. Descargado de <https://www.scribd.com/document/344598194/SRD-UT7-Asterisk>

Comes, R. A., Álvarez, F. B., Palacio, F. C., Ferre, R. F., Romero, J. P., y Roig, O. S. (2010). Lte: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. *Fundación Vodafone España, 1*, 55–302.

Cuéllar Charry, J. G. (2019). Radiación electromagnética producida por radiobases en las frecuencias de telefonía celular 850mhz (uplink-downlink), en el campus de la universidad el bosque.

Dahlman, E., Parkvall, S., y Skold, J. (2013). *4g: Lte/lte-advanced for mobile broadband*. Academic press.

es.made-in china.com. (2022). *Oyeitimes mcr3516 4 en 1 lector de tarjetas multifunción usb 2,0 2g mbps contact smart card reader 3g/4g/12 sim card reader escritor - china lector de tarjetas inteligentes, lector de tarjetas inteligentes*. Descargado de [https://es.made-in-china.com/co\\_oyeitimes/product\\_Oyeitimes-MCR3516-4-in-1-Multifunction-Card-Reader](https://es.made-in-china.com/co_oyeitimes/product_Oyeitimes-MCR3516-4-in-1-Multifunction-Card-Reader)

-USB-2-0-12-Mbps-Contact-Smart-Card-Reader-2g-3G-4G-SIM-Card-Reader-Writer\_uoiygsiuny.html

Fundora, J. Á. A., y Torres, N. A. (2013). Rds (radio definido por software). consideraciones para su implementación de hardware. *Telemática, 12(2)*, 56–68.

Kibhat, D. S. (2012). Evolución de la 3g a la 4g en las redes inalámbrica. *Telemática, 11(1)*, 1–10.

Nuand, B. (2022a). *bladerf 2.0 micro - nuand*. Descargado de <https://www.nuand.com/bladerf-2-0-micro/#specification-wapper>

Nuand, B. (2022b). *bladerf - nuand*. Descargado de <https://www.nuand.com/bladerf-1/>

OpenAirInterface. (2023). *Towards open cellular ecosystem - openairinterface*. Descargado de <https://openairinterface.org/openairinterface-an-open-cellular-ecosystem/>

openairinterface5G. (2021). *Feature,et.md*.

openairinterface5G. (2022, 6). *Openairsystem-requirements · wiki · oai / openairinterface5g · gitlab*. Descargado de <https://gitlab.eurecom.fr/oai/openairinterface5g/-/wikis/OpenAirSystemRequirements>

openairinterface5G. (2023). *how to perform a x2 ho · wiki · oai / openairinterface5g · gitlab*. Descargado de <https://gitlab.eurecom.fr/oai/openairinterface5g/-/wikis/how-to-perform-a-x2-ho>

Research, E. (2023). *Getting started with 4g lte using eurecom openairinterface (oai) on the usrp 2974 - ettus knowledge base*. Descargado de [https://kb.ettus.com/Getting\\_Started\\_with\\_4G\\_LTE\\_using\\_Eurecom\\_OpenAirInterface\\_\(OAI\)\\_on\\_the\\_USRP\\_2974](https://kb.ettus.com/Getting_Started_with_4G_LTE_using_Eurecom_OpenAirInterface_(OAI)_on_the_USRP_2974)

Shigeru, I. (2022). *Open5gs epc openairinterface ue ran sample configuration*. Descargado de [https://github.com/s5uishida/open5gs\\_epc\\_oai\\_sample\\_config](https://github.com/s5uishida/open5gs_epc_oai_sample_config)

Systems, S. R. (2023). *Software for mobile wireless networks - srs*. Descargado de <https://srs.io/>