



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN LA ERA DIGITAL

ESTRATEGIA PARA LA FORMACIÓN DE HABILIDADES PRÁCTICAS DENTRO DEL CURSO DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES AVANZADAS DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE UNIQUINDÍO

**Wilmar Yesid Campo
Muñoz**

**Universidad del
Quindío
Armenia, Quindío**

**Gabriel Elías Chanchí
Golondrino**

**Institución
Universitaria Colegio
Mayor del Cauca
Popayán, Colombia**

**Gustavo Eduardo
Constain Moreno**

**Universidad Nacional
Abierta y a Distancia
Popayán, Colombia**

Resumen

Las empresas de telefonía celular están experimentando cambios tecnológicos en sus redes a nivel de arquitecturas y servicios. Así, los operadores móviles se encuentran inmersos en una continua actualización de sus arquitecturas de redes. Este contexto requiere que los ingenieros encargados de los procesos de migración o actualización de las redes estén preparados para estos nuevos retos. En el ámbito de las redes celulares, es necesaria la formación de habilidades prácticas tales como: el estudio del comportamiento del canal radio, el despliegue de servicios, la investigación y los estudios de cobertura. En este contexto, la universidad y la empresa han venido desarrollando diferentes herramientas software, con el propósito de brindar a los ingenieros en formación y en ejercicio de su profesión la posibilidad de aplicar la teoría y analizar los resultados en diferentes contextos antes de su implementación en los entornos reales. En el caso específico del curso de sistemas de comunicaciones avanzadas del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío, surge la necesidad de desarrollar habilidades prácticas en los sistemas de cuarta generación; bajo el estándar de la tecnología de evolución a largo plazo LTE (Long Term Evolution). Este artículo plantea como aporte una estrategia para la apropiación de los conocimientos prácticos como aprendizaje activo mediante el desarrollo de estudios de caso sobre diferentes simuladores. La estrategia propuesta pretende que el ingeniero recién egresado sea capaz de concebir, diseñar,

implementar y operar sistemas de ingeniería, esto es, la iniciativa CDIO, de manera específica el estándar 8 referente al aprendizaje activo.

Palabras clave: estudios de caso; herramientas de simulación; LTE

Abstract

Cell phone companies are experiencing technological changes in their networks at the level of architectures and services. Thus, mobile operators are immersed in a continuous update of their network architectures. This context requires that the engineers in charge of the processes of migration or update of the networks are prepared for these new challenges. In the field of cellular networks, it is necessary to train practical skills such as: the study of the behavior of the radio channel, the deployment of services, research and coverage studies. In this context, the university and the company have been developing different software tools, with the purpose of providing engineers in training and exercising their profession the possibility to apply the theory and analyze the results in different contexts before implementation in real environments. In the specific case of the advanced communications systems course of the Electronic Engineering program of the Universidad del Quindío, the need arises to develop practical skills in fourth-generation systems; under the Long Term Evolution LTE technology standard. This article proposes as a contribution a strategy for the appropriation of practical knowledge as active learning through the development of case studies on different simulators. The proposed strategy intends that the newly graduated engineer will be able to conceive, design, implement and operate engineering systems, that is, the CDIO initiative, in a specific way the standard 8 referring to active learning.

Keywords: case studies; LTE; simulation tools

1. Introducción

Las empresas de telecomunicaciones han tenido un crecimiento exponencial en los últimos tiempos, esto debido a la gran demanda que ofrece un mercado en crecimiento. En este contexto se encuentran los sistemas inalámbricos y dentro de ellos los sistemas móviles o celulares de última generación (Rabanos, et al., 2015).

Las empresas de comunicaciones celulares han optado por el despliegue de la tecnología 4G como antesala a la llegada de los sistemas 5G, bajo el estándar de la tecnología de evolución a largo plazo LTE (Long Term Evolution), siendo este el primer sistema de comunicaciones móviles celular que soporta todos sus servicios como la voz o el video mediante la conmutación de paquetes bajo el protocolo IP (protocolo Internet) (Zarrinkoub, 2014). En este orden de ideas, uno de los problemas con el que se enfrentan las empresas es que los ingenieros recién egresado de las universidades, a lo sumo poseen los conceptos teóricos, que en el mejor de los casos permiten realizar inferencias sobre las configuraciones de parámetros como el ancho de banda, sectorización, modulación, codificación y protocolos. Sin embargo, la puesta en funcionamiento de una u otra configuración

en un contexto real como el de una empresa, genera riesgos, ya que cualquier decisión impactará sobre los usuarios y en las finanzas de la empresa.

Por otra parte, el problema con el que se enfrenta la academia, es la ausencia de recursos didácticos o laboratorios especializados para cada nueva tecnología que surja, como consecuencia directa de los rápidos avances en el área de las telecomunicaciones, que permitan la apropiación o experimentación con cada nueva tecnología. Para suplir esta falencia la universidad y la empresa han creado diferentes herramientas software, que permiten a los estudiantes e ingenieros aplicar la teoría y analizar los resultados ante diferentes contextos, donde el ingeniero deba tener competencias para su desempeño laboral, como son: El estudio del comportamiento del canal radio, tan importante en los sistemas móviles, puesto que a nivel ingenieril es donde más hay innovación entre cada generación de sistemas celulares. El despliegue de servicios, fundamental para la fidelización de los usuarios finales, la investigación, crucial para los proveedores del equipamiento de esta tecnología, y los estudios de cobertura, necesaria para las empresas prestadoras del servicio.

Surge así un nuevo dilema, sobre cuál es la herramienta software idónea para la enseñanza de la tecnología LTE, que permita a los ingenieros en formación la apropiación del conocimiento. De acuerdo a lo anteriormente expuesto, los aportes de este artículo son el identificar las herramientas software para el estudio de la tecnología LTE, los contextos en las cuales se deben usar y revelar sus características principales; lo anterior, mediante el desarrollo de estudios de caso. La estrategia propuesta pretende que el ingeniero recién egresado sea capaz de concebir, diseñar, implementar y operar sistemas de ingeniería, esto es, la iniciativa CDIO, de manera específica el estándar 8 referente al aprendizaje activo. Tal que contribuyan a, acentuar los conceptos teóricos, los procesos de enseñanza/aprendizaje, la investigación, la planeación y dimensionado de redes LTE. La metodología se basa en estudios de caso, donde mediante cada herramienta software se desarrollan diferentes estudios de la tecnología LTE, lo que permite conocer la tecnología, así como las capacidades y potencialidades de los diferentes softwares, brindando la información necesaria, para la escogencia de una u otra herramienta.

El artículo está organizado de la siguiente manera, en la sección dos se presentan las herramientas de simulación capaces de soportar la tecnología LTE y los estudios de caso donde se presentan resultados con cada una de los softwares identificados y finalmente en la sección tres se presentan las conclusiones del trabajo aquí desarrollado.

2. Estudios de caso

La experimentación con un modelo de red mediante un programa de computación es lo que se denomina simulación. La gran ventaja de la simulación es que permite reproducir n veces y con tanto grado de detalle como se quiera el funcionamiento de una red (Rabanos et al, 2015). A continuación, se presentan estudios de caso de la tecnología LTE, mediante las diferentes herramientas software encontradas en la literatura.

2.1 LTE mediante ns-3

Ns-3 soporta el proyecto LENA (LTE EPC Network simulator) que es una herramienta de código abierto, el cual permite la simulación LTE con células de diferentes tamaños para el diseño y prueba de algoritmos y soluciones de la red auto-organizada SON (*Self Organized Network*). Las aplicaciones específicas para LENA incluyen el diseño y la evaluación del desempeño de los programadores (*schedulers*) para los enlaces de subida y de bajada, algoritmos de gestión de recursos radio, gestión de interferencia entre celdas, equilibrio de carga y gestión de movilidad, soluciones de red heterogénea (HetNets), provisión de calidad de la experiencia (QoE) de extremo a extremo (Londoño et al, 2019), (Alcatel, et al., 2017).

Dentro de los parámetros que se pueden variar para analizar el comportamiento están los valores de las variables estáticas como son el número de, femtoceldas, apartamentos, pisos, macroceldas, potencia de transmisión por macrocelda cuyo valor por defecto es 46 dBm, las potencias de transmisión de los HeNB (Home eNodeB), esto es, las estaciones base para las femtoceldas, cuyo valor por defecto es 20 dBm, el EARFCN (E-UTRA Absolute Radio *Frequency Channel Number*) usado por los HeNB, el ancho de banda etc.

En la figura 1, se puede observar los resultados de la simulación del ejemplo lena-dual-stripe con los parámetros por defecto; donde se aprecia la radiación de tres estaciones base trisectorizadas y de acuerdo a la barra de relación señal a ruido e interferencia, se observa que la mejor señal se encuentra cerca de las estaciones base. En la figura 2, se han variado el número de estaciones base, el cual es de siete, así mismo es posible variar cualquiera de los parámetros incluidos en las variables estáticas, tal que permita analizar diferentes comportamientos, como, por ejemplo, aumentar la distancia entre estaciones base, variar las potencias o las alturas de los apartamentos.

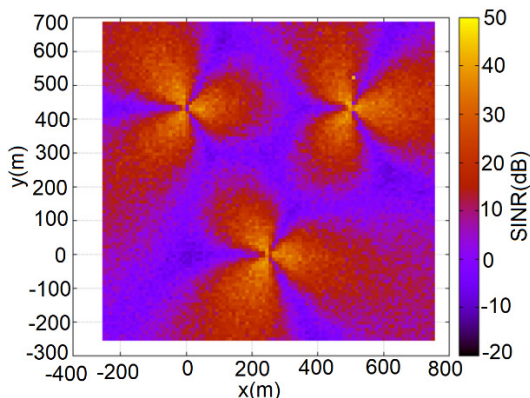


Figura 1. Simulación LTE parámetros por defecto.

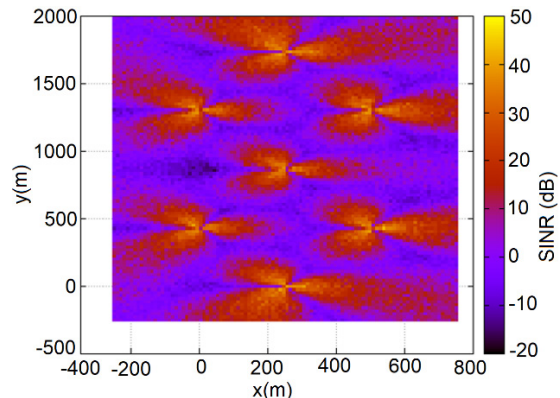


Figura 2. Simulación LTE aumentando el número de eNB a 7.

2.2 LTE mediante MATLAB

Matlab ha sido el software escogido por la Universidad de Viena para el desarrollo de un simulador de LTE para las dos primeras capas de la torre OSI, el cual se puede descargar de (Universität

Wien, 2017). El simulador consta de dos grandes bloques, uno que es la simulación a nivel de enlace y el otro que es la simulación a nivel de sistema.

En la figura 3, se observa el resultado de la simulación del escenario por defecto con una canalización de 1,4 Mhz, donde el mejor comportamiento se presenta para un sistema TxD 4x2, el cual corresponde a 4 antenas transmitiendo y dos recibiendo. Así en TxD 4x2 se observa una relación señal a ruido SNR (*Signal to noise ratio*) de 6 dB para una tasa de error por bloque BLER (*Block Error Rate*) de 10^{-3} , mientras que para el mismo BLER los otros modos de transmisión exigen un valor mayor hasta alcanzar los 20 dB para un sistema SISO (*single-input and single-output*). En la figura 4, se observa que el sistema de diversidad en transmisión que mayor rendimiento genera es el OLSM (*Open Loop Spatial Multiplexing*) que corresponde a una multiplexación espacial de lazo abierto con 4 antenas transmitiendo y dos recibiendo, alcanzando valores alrededor de los 2,4 Mbps, sin embargo, requiere valores de SNR superiores a los 10 dB. Si se toma como referencia el SNR, se puede observar que, el sistema de diversidad que presenta un mejor rendimiento es el TxD 4x2 requiriendo apenas 5 dB para la SNR.

A nivel de sistema la función `lte_load_params.m` contiene todos aquellos parámetros factibles de ser modificados como: la frecuencia, el ancho de banda, el tiempo de simulación, el modelo de propagación siendo el que viene configurado por defecto el TS25.814 (Vienna, 2017) con opción de seleccionar los modelos COS231 o de espacio libre; la potencia de transmisión del eNB, el número de usuarios por eNB cuyo número es 5 por defecto, la velocidad de desplazamiento del terminal, ganancia de la antena, parámetros de selección del programador el cual tiene por defecto el mejor CQI (Channel Quality Indicator), y la relación señal a ruido.

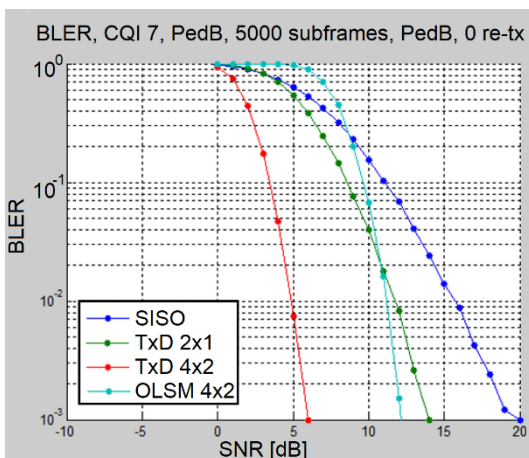


Figura 3. BLER versus SNR

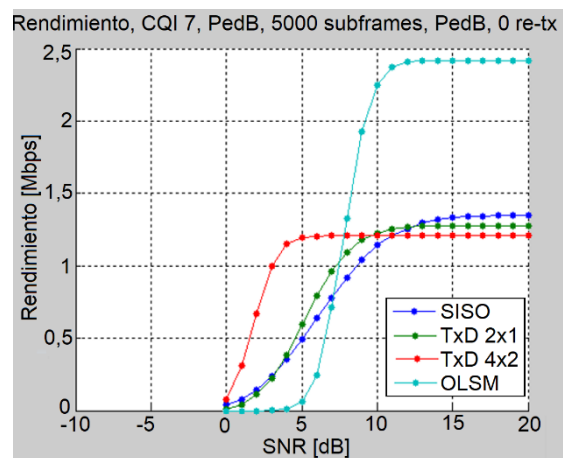


Figura 4. Rendimiento versus SNR

2.3 LTE mediante OMNET

La librería `simuLTE` ha sido desarrollada para OMNET por la Universidad de Pisa, que permite realizar simulación y evaluación de resultados para la tecnología LTE. Sus características son: La configuración de los parámetros eNB y UE; compresión y descompresión de la cabecera;

funcionalidades HARQ (Hybrid automatic repeat request); simulación de escenarios con interferencia y pérdidas por trayecto, además, OMNET permite el acceso al código de cada modelo (Virdis, et al., 2014). En la figura 5, se muestran los CQI por UE, donde se observa como su valor puede cambiar en el tiempo. En la figura 6, la curva superior corresponde a la cola de eventos en el servidor, donde esta se incrementa rápidamente en el inicio del sistema (en los 0,03 segundos) y luego tiende a disminuir hasta alcanzar el valor de 1 MiB (Mebibyte) eventos. La curva inferior corresponde a la cola en el PGW la cual alcanza un valor promedio de 0,6 MiB eventos. El tamaño de la colas es un valor importante a la hora de considerar el tamaño del búfer para soportar el servicio de VoIP en esta arquitectura de LTE.

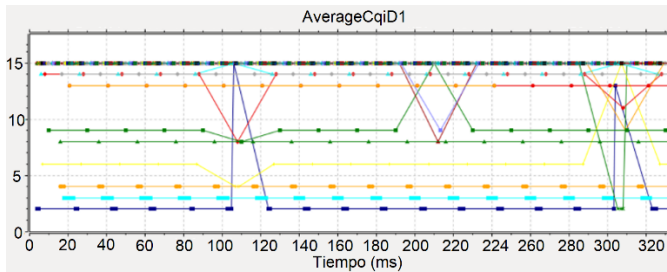


Figura 5. CQI para los UE

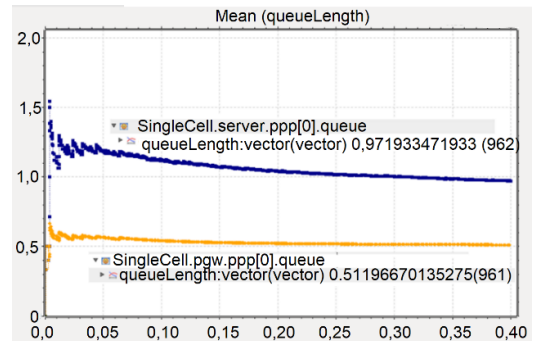


Figura 6. Longitud de la Cola en el servidor

2.4 LTE mediante Atoll

A diferencia de las anteriores herramientas, Atoll no permite ingresar a los códigos para cambiar parámetros, ya que todas sus funcionalidades son soportadas vía interfaz gráfica. Soporta 11 modelos de propagación como son *cost-Hata*, *Longley-Rice*, *okomura-Hata*, ITU (1546, 370, 526, 529) entre otros, permite también variar el tamaño de los radios de las celdas. Sobre las celdas permiten configurar diferentes parámetros como las bandas de frecuencia, la potencia instantánea, el ancho de banda de canalización, potencia máxima etc. En el transmisor se pueden variar parámetros como la altura de la antena, la ganancia, su modelo, su azimut etc. Es posible observar los perfiles de los enlaces, tal que permite ver la zona de fresnel (Forsk, 2017). Además, Atoll permite importar mapas sobre los que se puede ubicar las estaciones base usando las coordenadas angulares latitud y longitud, lo que brinda la posibilidad de realizar planificaciones de cobertura sobre entornos reales y brinda la posibilidad de exportar los estudios hacia google earth pudiendo acceder a las aplicaciones como street view, generando un aporte para los ingenieros puesta en servicio para el despliegue de las torres sobre el terreno real, ver figura 7. En general permite observar los resultados a través de interfaz gráfica.

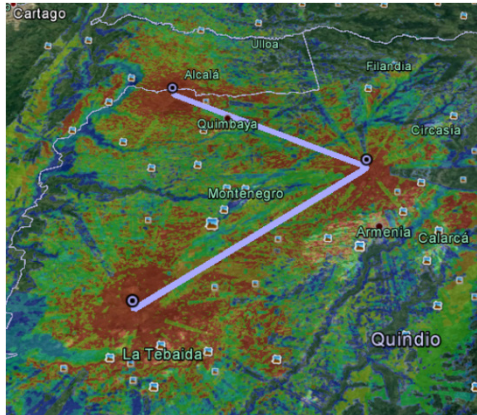


Figura 7. Despliegue de LTE sobre un mapa del departamento del Quindío, Colombia.

2.5 LTE mediante LTE-Sim

El LTE-Sim es soportado sobre el sistema operativo Linux. Su fichero base es el doSIM.sh el cual es usado por todos los escenarios que se deseen simular. Los planificadores de tráfico al inicio de cada sub-trama, seleccionan todos los flujos que pueden ser programados cuando tienen paquetes de datos a transmitir en la capa MAC (*medium access control*) y si el UE (*user equipment*) receptor no está en el estado de reposo (*idle*). En cada intervalo de tiempo de transmisión, el planificador calcula una métrica determinada para cada flujo para la toma de sus decisiones, esto es, la asignación de recursos radio con sus respectivas características de modulación. El algoritmo PF asigna los recursos de radio, teniendo en cuenta tanto la calidad del canal experimentado como el rendimiento pasado del usuario, para flujos en tiempo no real. El MLWDF soporta múltiples datos de usuarios con diferentes requisitos de QoS, para flujos en tiempo real y el EXP da una mayor prioridad a los flujos en tiempo real que aquellos que no lo son (Afroz, 2014).

En la figura 8 se observa que las asignaciones de recursos por parte de los tres algoritmos se comportan de manera similar, realizando una asignación máxima que no supera el 29%. En la figura 9, se observa el rendimiento para el servicio de video con diferente número de usuarios, el algoritmo que mejor comportamiento presenta es el MLWDF, puesto que es el usado para servicios en tiempo no real, alcanzando un máximo de 0,62 Mbps.

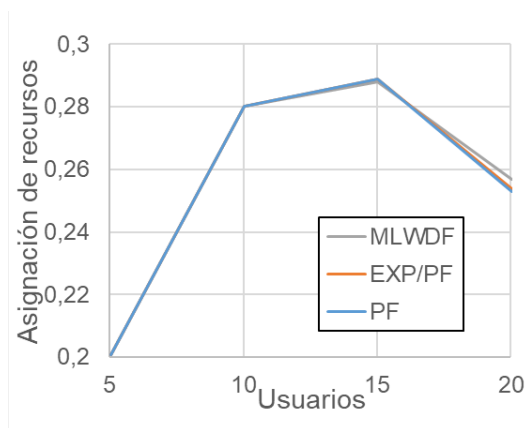


Figura 8. Asignación de recursos

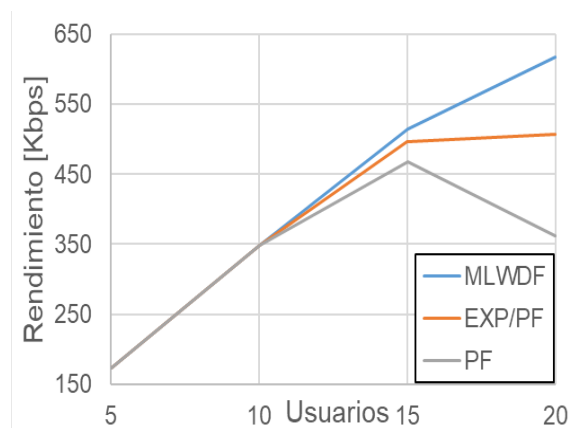


Figura 9. Rendimiento

De acuerdo a los estudios de caso esta investigación permite clasificar las herramientas de simulación desde diferentes ópticas como son: licenciadas o no licenciadas, dentro del primer grupo se encuentra el simulador de Matlab, y en el segundo grupo están las otras herramientas. Programables mediante código o usables mediante una interfaz gráfica de usuario como es el caso de Atoll. De investigación o de planificación, cayendo en el segundo grupo una vez más Atoll. Y de simulación por eventos discretos donde están las herramientas ns-3 y Omnet ++.

3. Conclusiones

De acuerdo al modelo OSI (*open system interconnection*) se concluye que el simulador de Matlab se enfoca solo en las dos primeras capas, esto es la capa física y la capa de enlace de datos, donde se tratan los tipos de acceso, modulación, codificación, canalización etc. Los otros simuladores no hacen esa precisión. Por lo tanto, si lo que se desea es enfocarse en un estudio del comportamiento radio de la tecnología LTE el simulador de Matlab es suficiente y brinda las capacidades mínimas necesarias para su comprensión.

Por otra parte, si se desea realizar estudios del comportamiento de los servicios sobre LTE, LTE-Sim es la herramienta recomendada, pues incorpora servicios como la voz y el video, donde se pueden variar parámetros en el planificador a nivel de capa dos. Si se desea tener un mayor control y trabajar a más bajo nivel para el estudio de los servicios también se puede realizar mediante Omnet ++ cuya curva de aprendizaje es más elevada que la anterior. A nivel de investigación se recomienda ns-3 y Omnet ++, las curvas de aprendizaje son elevadas, pero permiten un control total del sistema mediante el lenguaje de programación. Incluso ns-3 permite construir escenarios de emulación incluyendo la estación base hardware. Para la planificación y dimensionamiento directamente sobre el terreno sin duda Atoll es la mejor herramienta de las estudiadas, tiene la ventaja de la interfaz gráfica de usuario y de poder exportar los mapas a google earth.

4. Referencias

Artículos de revistas

- Afroz, K. Sandrasegaran, y P. Ghosal, Performance analysis of PF, M-LWDF and EXP/PF packet scheduling algorithms in 3GPP LTE downlink, en 2014 Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC), 2014, pp. 87-92.
- Londoño A, Campo W, Y, Jimenez W, D.Evaluación del desempeño de una red LTE mediante parámetros de QoS. Revista Espacios, Vol 40, No 18, 2019

Libros

- Rábanos JMH, Tomás LM, Salís JMR. Comunicaciones móviles. 2º ed. Madrid: Editorial Universitaria Ramon Areces; 2015. Pp. 72.
- Zarrinkoub H. Understanding LTE with MATLAB: From Mathematical Modeling to Simulation and Prototyping. United Kingdom: John Wiley & Sons; 2014. Pp 563.

Memorias de congresos

- Virdis A, Stea G, Nardini G. SimuLTE - A modular system-level simulator for LTE/LTE-A networks based on OMNeT++. International Conference On Simulation And Modeling Methodologies, Technologies And Applications (SIMULTECH). 2014; 59-70p.

Fuentes electrónicas

- Alcatel, Lucent, picoChip Designs, Vodafone. Simulation assumptions and parameters for FDD HeNB RF requirements. 3GPP TSG RAN WG4 (Radio) Meeting # 51. United States; 2009 [Fecha de acceso 25 de enero de 2017]. <https://ledoyle.files.wordpress.com/2013/01/example-technical-document-with-path-loss-details.pdf>
- Vienna University, Institute of Telecommunications Vienna University of Technology, Austria. LTE-A Downlink System Level Simulator Documentation. [Fecha de acceso 26 de enero de 2017]. <https://www.nt.tuwien.ac.at/wp-content/uploads/2015/11/LTEsystemDoc.pdf>
- Forsk. RF Planning & Optimisation Software. Forsk; 2009 [Fecha de acceso 28 de Febrero de 2017]. http://www.forsk.com/automne_modules_files/standard/public/p127_79991b7e0d5af2_9cefa7dc2e15026d03Atoll_2.8_HD.pdf
- Universität Wien, Technische Universität Wien. LTE-A Downlink Link Level Simulator – nt.tuwien.ac.at. [Fecha de acceso 25 de enero de 2017]. <https://www.nt.tuwien.ac.at/research/mobile-communications/vienna-lte-a-simulators/lte-advanced-link-level-simulator/>

Sobre los autores

- **Wilmar Yesid Campo Muñoz**¹: Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Magister en Ingeniería, Área Telemática y Doctor en Ingeniería Telemática. Títulos de la Universidad del Cauca. Profesor adscrito al programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío. wycampo@uniquindio.edu.co
- **Gabriel Elías Chanchí Golondrino**: Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Magister en Ingeniería Telemática, Doctor en Ingeniería Telemática. Títulos de la Universidad del Cauca. Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca. gchanchi@unimayor.edu.co
- **Gustavo Eduardo Constain Moreno**: Ingeniero de Sistemas, Especialista en pedagogía para desarrollo del aprendizaje autónomo, Master Internacional en E-Learning. Profesor de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. gustavo.constain@unad.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)