

# IMPACTO DEL CONTROL DE ADMISIÓN EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED LTE

Juan Majín Narváez<sup>1</sup>, Ricardo Muñoz Arcos<sup>2</sup>, Oscar Calderón Cortés<sup>3</sup>. IEEE Member.  
Departamento de Telecomunicaciones - Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones  
Universidad del Cauca. Popayán, Colombia

Recibido abril 6 de 2015 - Aceptado abril 22 de 2015

<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v9n1.a02>

**Resumen-** El crecimiento de suscriptores móviles y el uso de las aplicaciones de Internet, hacen que el volumen de tráfico en las redes aumente exponencialmente. Una nueva tecnología, llamada LTE permite lograr un alto desempeño y la optimización de recursos de la red que permiten garantizar la calidad de servicio de las aplicaciones. Un procedimiento utilizado es el Control de Admisión (AC), que regula el acceso a los recursos para garantizar la calidad de servicio de las conexiones ya establecidas. En este trabajo, se implementa un AC para analizar el impacto en el desempeño de una red LTE. Los resultados de las simulaciones muestran que el uso de un AC mejora el rendimiento de la red.

**Palabras Clave-** Control de Admisión, Calidad de Servicio Evolución de Largo Término, Desempeño.

**Abstract** — The growing of mobile subscribers and the use of Internet applications makes traffic volume in the networks increase exponentially. A new technology, named LTE allows getting high Throughput and optimizing network resources to guarantee the QoS of the applications. One procedure used is the Admission Control (AC) which regulates the access to resources to guarantee the QoS of the already set connections. In this paper, an AC is implemented to analyze the impact on performance of an LTE network. The simulations results show that the use of an AC improves the network performance.

**Keywords**— Admission Control, Long Term Evolution, performance, QoS, Throughput.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el crecimiento de los usuarios móviles y las aplicaciones soportadas en Internet ha generado un crecimiento exponencial

de tráfico en las redes de comunicaciones, requiriendo un mayor ancho de banda, mejor QoS, altas tasas de datos, menor latencia, entre otros. Estas exigencias se buscan satisfacer con la nueva tecnología en comunicaciones móviles, denominada Evolución a Largo Término (LTE, *Long Term Evolution*). Esta tecnología tiene una arquitectura plana y sencilla que brinda servicios basados en conmutación de paquetes. La arquitectura LTE tiene la misma esencia de las tecnologías anteriores, dividiendo el sistema en tres elementos: el Equipo de Usuario (UE, *User Equipment*), la Red de Acceso Evolucionada (E-UTRAN, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*) y el Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC, *Evolved Packet Core*) [1-4].

LTE está compuesta por la interconexión de Nodos B Evolucionados (eNodeB, *evolved NodeB*), los cuales son responsables de todas las funciones radio. Una de ellas es la Gestión de Recursos Radio (RRM, *Radio Resource Management*), la cual utiliza de forma eficiente el espectro radioeléctrico, al ser este un recurso escaso y limitado. La RRM implementa diferentes procedimientos para garantizar la QoS de los UE, uno de ellos es el AC, el cual regula el acceso de los usuarios a los recursos por medio de diferentes funcionalidades para evitar la sobrecarga y así no deteriorar la QoS de las conexiones ya establecidas [1, 5].

En [6] se propone un procedimiento que controla la asignación de recursos radio a los usuarios con una tasa de bit garantizada; en [7] se centran en el estudio de asignación de recursos de una manera eficiente, garantizando un cierto nivel de QoS a los terminales móviles que hacen parte de la red LTE [8].

Un correcto funcionamiento del AC es de vital importancia, ya que si la red acepta una solicitud de conexión cuando no hay recursos suficientes para admitirla se producirá una degradación en la QoS para los usuarios que tienen sesiones ya establecidas. Por el contrario, si el sistema rechaza una solicitud cuando tiene los recursos para aceptarla, el proveedor de servicios está perdiendo eficiencia en el uso de los recursos radio y aumenta la tasa de bloqueo del

<sup>1</sup> Juan Majín Narváez. Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones. Universidad del Cauca. Email: [jcmajin@unicauca.edu.co](mailto:jcmajin@unicauca.edu.co)

<sup>2</sup> Ricardo Muñoz Arcos. Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones. Universidad del Cauca. Email: [rmunozarcos@unicauca.edu.co](mailto:rmunozarcos@unicauca.edu.co)

<sup>3</sup> Oscar Josue Calderón Cortés. Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones. Universidad del Cauca. Email: [oscarc@unicauca.edu.co](mailto:oscarc@unicauca.edu.co)

sistema. El AC en LTE según [9] no se rige por un estándar, este depende del operador de servicios y de los recursos disponibles para satisfacer los requerimientos de QoS de los usuarios que hacen parte de la red.

El presente artículo analiza el impacto del control de admisión en el desempeño de una red LTE; se divide en las siguientes secciones: la sección II presenta los conceptos del control de admisión en el contexto de la tecnología LTE; la sección III describe los escenarios y casos de simulación; la sección IV se indica los resultados con su respectivo análisis y en la sección V se muestran las conclusiones.

## II. BASE TEÓRICA

El número de usuarios que pueden ser admitidos en una red móvil, con una determinada calidad de servicio, está limitado por los recursos radio disponibles, tales como ancho de banda y potencia. Por lo general, mientras más recursos se le asignan a un usuario, mayor QoS puede lograr. Por otra parte, la asignación innecesaria recursos podría reducir el número de usuarios aceptados en la red. El propósito del AC es controlar el equilibrio entre el número de usuarios en el sistema y la calidad de servicio que experimentan al ser admitidos. En la literatura existen dos clases de AC: el estático que usa la Tasa de Bit Garantizada (GBR, *Guaranteed Bit Rate*) como único criterio de admisión y el dinámico basado en las Señales de Referencia para Sondeo (SRS, *Sounding Reference Signal*) usadas para informarse acerca de la disponibilidad de los recursos en la red [4, 9-12].

### *Control de Admisión Estático*

Este tipo de admisión usa la GBR como único criterio de admisión. Esto se representa en la ecuación 1, siendo  $K$  el número total de usuarios que pueden ser admitidos por un determinado sistema LTE. La sumatoria de la GBR requerida por el nuevo usuario ( $GBR_{new}$ ) y la GBR requerida por todos los terminales ya conectados ( $GBR_i$ ), debe ser menor o igual al Throughput total de la celda ( $R_{max}$ ) [11, 13].

$$\sum_{i=1}^K GBR_{new} + GBR_i \leq R_{max} \quad (1)$$

La ecuación 1, no analiza al usuario en función de la calidad del canal y no tiene en cuenta la posición de estos en la celda. Esto lo hace ineficiente, puesto

que un usuario LTE experimenta diferentes condiciones respecto al estado del canal, debido al movimiento durante la conexión.

### *Control de Admisión Dinámico*

Este tipo de control de admisión realiza la estimación del estado del canal radio y los recursos disponibles en el sistema LTE, con el fin de asignar recursos a los usuarios que experimenten buenas condiciones para la transmisión de información hacia el eNodeB [11, 13].

Una característica de la admisión dinámica es que la información de la celda incluye: carga del sistema, número de usuarios en el sistema LTE, interferencia, posición de estos, entre otros. Adicionalmente, toma la decisión de admisión en función de los recursos ocupados, ya que una nueva petición no debe superar un umbral definido de acuerdo al proveedor de servicios.

El control de admisión dinámico usa las SRS las cuales llevan información sobre el estado del canal y los requerimientos de QoS que necesita cada usuario. Estas señales son procesadas por el eNodeB para comprobar si se puede asignar los recursos solicitados por la nueva conexión. Para aceptar esta nueva petición de servicio se debe verificar que el umbral de tasa de bits del sistema no haya llegado a su límite máximo con el ingreso del nuevo usuario. Finalmente, el eNodeB envía la respuesta por medio de una señal que indica el Reporte del Estado del Canal (CSR, *Channel Status Report*).

El criterio usado por el control de admisión dinámico se basa en las medidas de los Bloques de Recursos (RB, *Resource Block*) como lo indica la ecuación 2.2. Siendo  $K$  los bloques de recursos disponibles en el sistema que dependen del ancho de banda de LTE en el que se esté trabajando,  $N_i$  representa los RBs de los usuarios que están actualmente conectados y  $N_{new}$  el número de RBs solicitados por la nueva conexión. El resultado de la sumatoria debe ser menor o igual al número total de RBs del ancho de banda disponible [4, 13].

$$\sum_{i=1}^K N_i + N_{new} \leq N_{tot} \quad (2)$$

### *A. Parámetros de QoS Asociados al AC en LTE*

Los parámetros para definir el comportamiento de la QoS en LTE son [6, 8-9, 14-16]:

*Identificador de Clase de QoS (QCI, QoS Class Identifier)*: es un parámetro que identifica un determinado servicio ofrecido por el sistema LTE. El 3GPP especifica los QCI en términos de tipo de servicio, retardo, prioridad y tasa de pérdidas de paquetes en situaciones de no congestión. El QCI maneja múltiples servicios diferenciándolos por su tasa de bit ofrecida al usuario como lo indica [7].

*Tasa de Bit Garantizada (GBR)*: velocidad mínima de transmisión para determinados servicios que no toleran pérdidas de paquetes; se utiliza normalmente para aplicaciones como Voz sobre IP (VoIP, *Voice over Internet Protocol*) que necesitan altas tasa de bits para su correcto funcionamiento.

*Servicios con Tasa No Garantizada (N-GBR, Non-GBR)*: no garantizan ningún tipo de tasa de bit en particular y se utiliza para servicios como la señalización y navegación web.

*Tasa de Bit Máxima (MBR, Maximun Bit Rate)*: se encarga de acotar la tasa máxima de bits por medio de un mecanismo denominado control de tasa; el volumen de tráfico que exceda el MBR se descarta por el sistema.

*Prioridad de Asignación y Retención (ARP, Allocation and Retention Priority)*: indica las prioridades en un rango de 1-16; se utiliza en los procesos de establecimiento, modificación y desactivación de un flujo de paquetes IP [1, 6].

*Indicador del Estado de Canal (CQI, Channel Quality Indicator)*: representa y describe 16 valores posibles de Esquemas de Modulación y Codificación (MCS, *Modulation and Coding Scheme*) [8], con base en las características que el usuario está experimentando en ese momento. Además, informa constantemente al eNodeB sobre los posibles valores a utilizar en el proceso de adaptación del enlace [17].

### III. ESCENARIOS Y CASOS DE SIMULACIÓN

Para efectuar la simulación, se implementó el módulo de AC Dinámico, el cual permite hacer la asignación de recursos en función del estado del canal y los requerimientos de la QoS que necesita cada usuario, lo que es acorde con el comportamiento real de un sistema LTE. Se utilizó el simulador *System Level Simulator*, desarrollado por la Universidad de Viena, otorgado bajo licencia

académica. Este software implementado en Matlab, permite la planeación celular, planificación de paquetes, generación de interferencia entre celdas, además de evaluar el rendimiento de sistemas MIMO y SISO en LTE. La metodología de simulación adoptada para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, se basa en [18-19] y consta de:

*Definición de escenarios y casos de simulación*: los escenarios definidos son: por un lado una red sin AC (NAC) y por otro lado una con AC, para los anchos de banda de 1.3MHz y 4MHz. Adicionalmente estos escenarios, varían en el número de usuarios que solicitaran ingreso a la red y los cuales están ubicados en idénticas posiciones en la celda. La Fig. 1. ilustra los escenarios.

*Descripción de las características técnicas de los escenarios de simulación*: para ambos casos los parámetros técnicos son idénticos, los cuales se muestran en la TABLA 1.

TABLA I.  
PARÁMETROS DE SIMULACIÓN.

Caso 1	1,4 MHz (6RBs)
Caso 2	3 MHz (15RBs)
Frecuencia	2 GHz
Número de UEs	5, 10 respectivamente
Pérdida por acoplamiento (REC TS 36.942)	70 dB Zona Urbana
Modelo de pérdida de propagación	Zona Urbana $L = 40(1 - 4 * 10^{-3} * h_{BS}) * \log_{10}(R) - 18 \log_{10}(h_{BS}) + 21 \log_{10}(f) + 80 \text{ dB}$
Tipo de Antena	Kathrein 742212
Planificador de Paquetes	Proportional Fair Admission Control
Tiempo de Simulación	10ms
Arreglo de Antenas	1x1
Potencia de transmisión	40 W
Ganancia Antena	15 dBi
Altura del Transmisor	20 m
Altura del Receptor	1.5 m
Modelo de Canal	Winner fase II
Velocidad de los UEs	1,38 m/s (ITU Peatonal A)
Figura de Ruido	7 dB
Modelo de Trafico	Full Buffer

El área de estudio para las simulaciones corresponde a un sector de celda de 120°, que representa un área urbana con geometría de red hexagonal mostrada en la Fig. 2, la cual está conformado por varios usuarios los cuales se están moviendo a una velocidad de 5/3.6 Km/h, el patrón de radiación es unidireccional, la distancia entre eNodeB es de 500m.

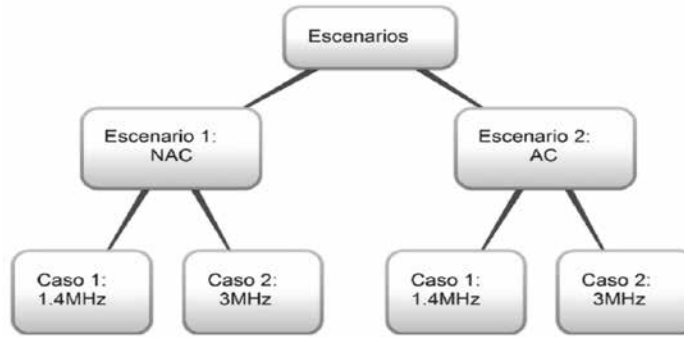


Fig. 1. Escenarios y casos de simulación.

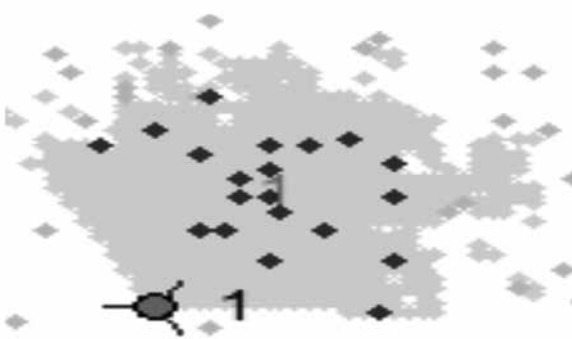


Fig. 2. Sector de una celda LTE.

*Ejecución de la simulación:* la longitud de la simulación en Intervalos de Tiempo de Simulación (TTIs, *Transmission Time Intervals*) establecido es de 10 TTIs (o 10ms), modelo de tráfico es Full Buffer<sup>1</sup> [20], número de iteraciones por simulación 100.

#### IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el análisis de resultados se tomó como base los datos obtenidos de la ejecución de las simulaciones entregadas por el *System Level simulator*, correspondientes a Throughput, CQI, número de RB asignados y posición de los usuarios. Se presenta inicialmente los resultados para el escenario 1 (Sin AC), que está conformado por un número determinado de usuarios en los anchos de banda de 1.4MHz y 3MHz, para luego comparar los resultados obtenidos con los casos del escenario 2 (con AC), y así determinar el impacto que tiene el control de admisión en el desempeño de un sistema LTE.

1) *Escenario 1: caso 1*

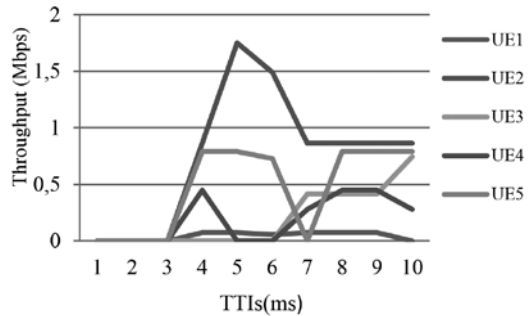


Fig. 3. Throughput 5UE-1,4MHz

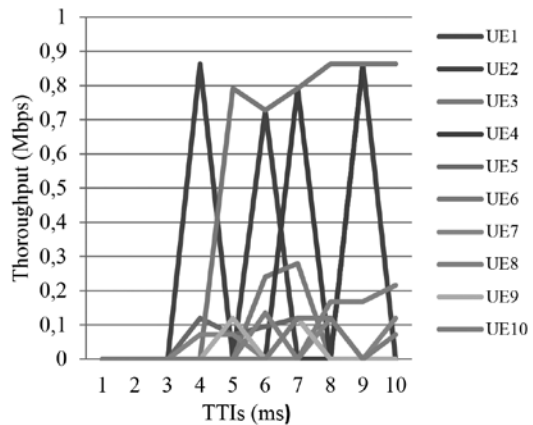


Fig. 4. Throughput 10UE-1,4MHz

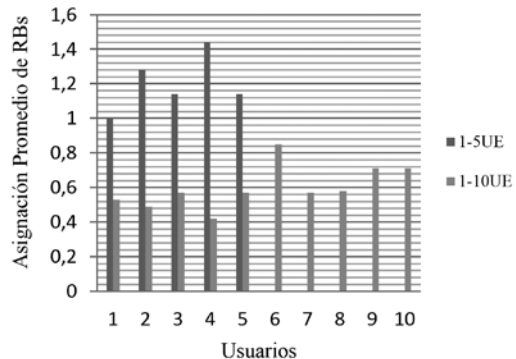


Fig. 5. Asignación de RBs para 5UE y 10UE en 1,4MHz

<sup>1</sup> Full buffer: Es una combinación de varios tráficos (voz, video, datos) recibido/transmitido por un usuario en una sesión establecida.

Las Fig. 3 y 4, muestran el Throughput para 5 y 10 usuarios en una red sin AC, con ancho de banda de 1.4MHz. Se observa que del TTI 1 al TTI 3 el Throughput es cero, porque estos son utilizados por el simulador para los procesos de señalización por lo cual son descartados. También se verifica que a ningún usuario se le garantiza una GBR determinada. Además, se observa que el Throughput fluctúa de forma severa para todos los usuarios que tienen sus conexiones establecidas, lo cual afectará la calidad de servicio requerida por las aplicaciones.

La Fig. 5 representa la asignación de RBs para 5 y 10 usuarios. Como se indica en [5] la asignación de RBs se realiza en números enteros, siendo la unidad mínima 1RB. Debido a que el UE experimenta diferentes condiciones durante la sesión, el simulador hace un promedio de RBs asignados durante el tiempo de simulación, si se tiene buenas condiciones de canal se asigna un número entero de RBs que está dentro del rango de 1-2, en caso contrario se asigna un 0.

2) Escenario 1: caso 2

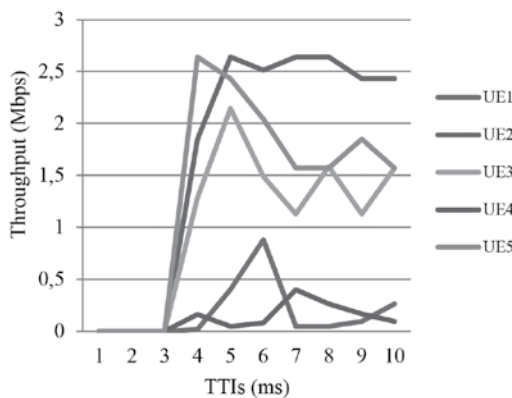


Fig. 6. Throughput 5UE-3MHz

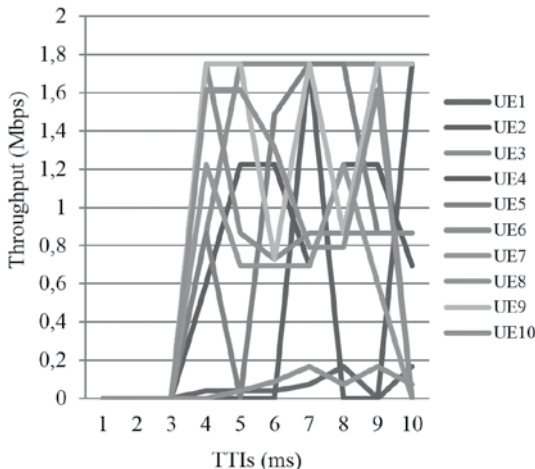


Fig. 7. Throughput 10UEs-3MHz

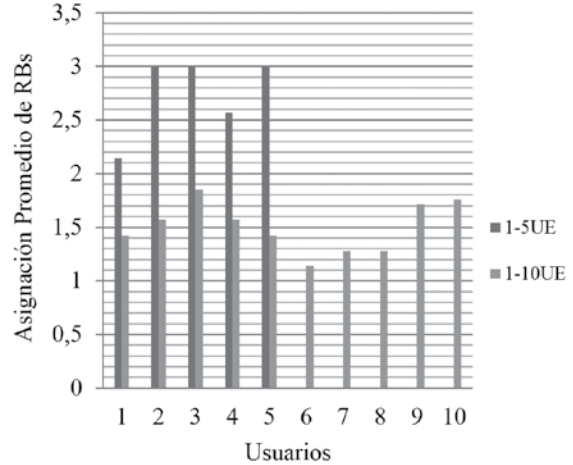


Fig. 8. Asignación de RBs para 5UE y 10UE en 3MHz

En las Fig. 6 y Fig. 7 se indica el Throughput experimentado por 5 y 10 usuarios en el ancho de banda de 3MHz, los usuarios alcanzan velocidades de transmisión más altas, porque en este caso se manejan un número mayor de recursos que el anterior. Además la mayoría de los usuarios experimentan fluctuaciones severas en el throughput de sus sesiones, por lo cual la red no está garantizando la QoS que requieren las aplicaciones.

La Fig. 8, muestra la asignación de RBs, las barras de color azul representan la designación para 5 usuarios; aquí 2UEs experimentan malas condiciones durante la sesión establecida por lo cual su Throughput en algún instante de la comunicación cae a cero, los 3UEs restantes como tiene buenas condiciones, su asignación de RBs es constante durante toda la transmisión. El color rojo representa la asignación de RBs para 10UEs donde el sistema admite a todos los usuarios sin importar que experimenten malas condiciones, lo cual se ve reflejado en fluctuaciones severas en el Throughput de la sesión establecida.

3) Escenario 2: caso 1

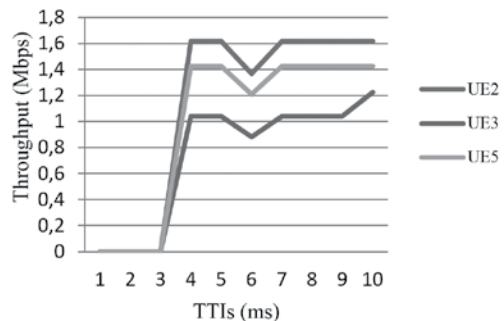


Fig. 9. Throughput 5UE-1.4MHz

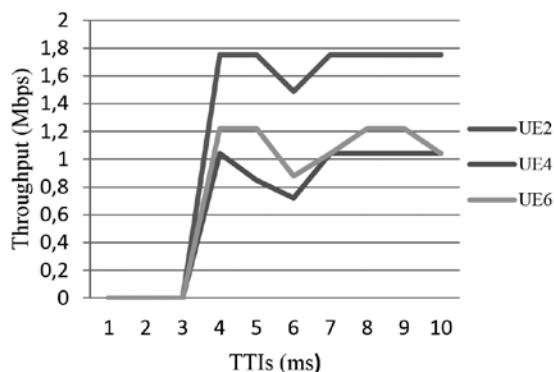


Fig. 10. Throughput 10UEs-1.4MHz

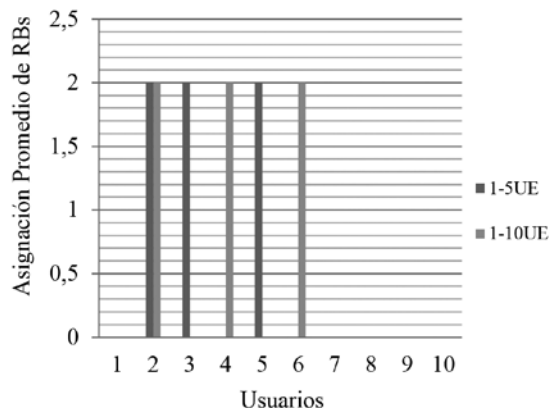


Fig. 11. Asignación de RBs para 5UE y 10UE en 1.4MHz

En las Fig. 9 y Fig. 10, se muestra el comportamiento de Throughput para 5 y 10 usuarios en una red que hace uso del AC. En el ancho de banda de 1.4 MHz se cuenta con 6RBs, el AC implementado analiza las condiciones de todos los usuarios permitiendo el acceso a la red, a los que cumplan con un CQI determinado, asignando de 2RBs, hasta que estos se terminen, impidiendo el ingreso de más usuarios. Para el caso de 5 usuarios, el sistema analiza las condiciones de cada uno, dejando entrar al usuario 2, 3 y 5 como se observa en la Fig. 9. Además se mantiene una QoS mínima determinada, los usuarios tienen un movimiento aleatorio dentro del sector de la celda, por lo cual se alejan o acercan al patrón de radiación unidireccional producido por la antena, ocasionando que el usuario experimente pequeñas fluctuaciones de Throughput, pero en ningún caso su caída es hasta cero. En el caso de 10 UEs, el AC permite la entrada a los usuarios 2, 4 y 6 que experimentan buenas condiciones, manteniéndoles siempre su sesión establecida.

En la Fig. 11, se muestra la asignación de RBs, como se explicó el AC implementado entrega RBs a los usuarios que mejores condiciones experimenten.

4) Escenario 2: caso 2

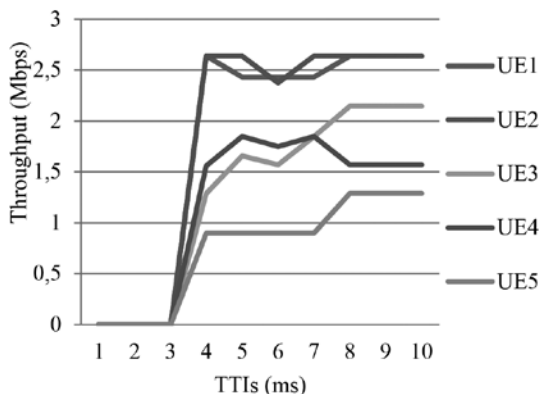


Fig. 12. Throughput 5UEs-3MHz

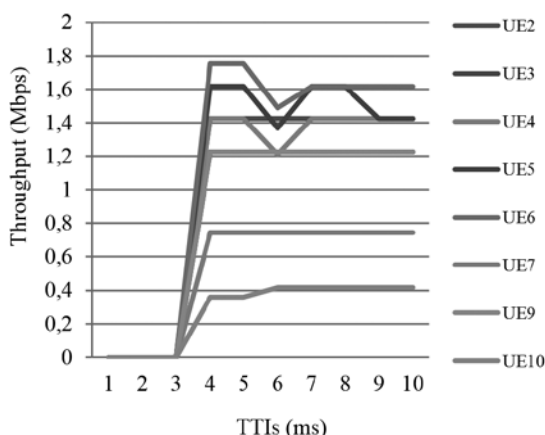


Fig. 13. Throughput 10UEs-3MHz

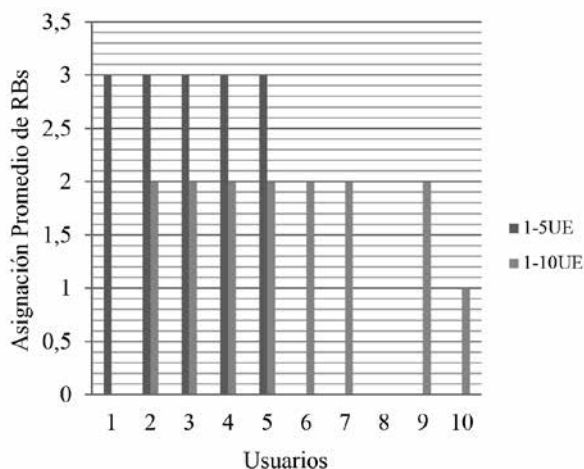


Fig. 14. Asignación de RBs para 5UE y 10UE en 3MHz

Como muestra las Fig. 12. y Fig. 13, tanto para 5 y 10 usuarios el AC trabaja manteniendo la QoS en todas las sesiones impidiendo que el Throughput tenga caídas hasta cero.

En el ancho de banda de 3MHz se tienen 15RBs, por lo cual el número máximo de usuarios que puede ser de 7 con 2RBs y un usuario con 1RB. Para el caso de 5UEs como el sistema no está en congestión el AC hace un reparto justo entre los usuarios por lo cual a cada uno le asigna 3RBs Figura 14. En el caso de 10UEs el AC analiza cuales son los UE que experimentan mejores condiciones para ser aceptados por el sistema, garantizándoles siempre una determinada QoS.

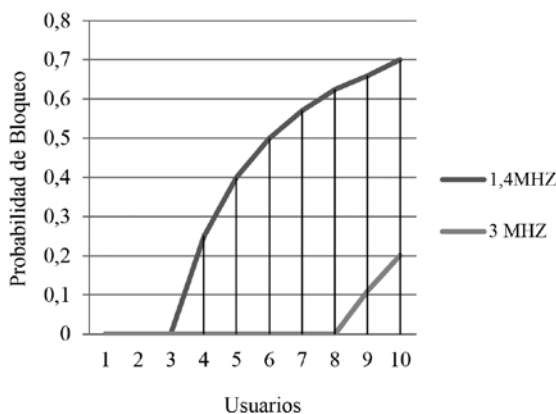


Fig. 15. Probabilidad de bloqueo.

La Fig. 15 muestra la probabilidad de bloqueo que ocurre cuando todos los recursos del sistema se encuentran ocupados, para el primer caso ocurre después de 3 usuarios y para el segundo caso después de 8 usuarios. La probabilidad de bloqueo viene definida como el número de conexiones bloqueadas dividido por el número de conexiones generadas [9].

Se observa que el ancho de banda de 1.4MHz tiene una probabilidad de bloqueo mayor que la de 3MHz, porque cuenta con menos recursos. La línea de color azul y de color rojo tiene un crecimiento casi exponencial y representa la probabilidad que un usuario sea rechazado por el sistema, se observa que a medida que crece el número de usuarios esta probabilidad aumentará.

## V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que en un sistema sin AC, entre mayor número de usuarios se tenga, el Throughput por usuario va a ser más reducido y la fluctuación del mismo durante el tiempo de duración de la sesión será mucho mayor, por lo cual no se garantiza una apropiada calidad de servicio a las aplicaciones; un sistema sin AC atiende a más usuarios pero en peores condiciones. También

a nivel general la red LTE con AC obtiene mejores niveles de Throughput para 1.4MHz y 3MHz, con pocas fluctuaciones impidiendo la caída de la sesión establecida, el AC permite la entrada de una menor cantidad de usuarios pero garantizando siempre un Throughput mayor que un sistema sin AC. Finalmente se evidencia que en el ancho de banda de 1.4MHz se atiende a un número reducido de usuarios debido a los escasos recursos con los que cuenta, por lo cual la tasa de bloqueo de 1.4MHz es la más grande en un sistema LTE gobernado por el AC.

## REFERENCIAS

- [1] V. Flórez y C. Hernández, "Introducción a LTE," Marzo 2013 [Online]. Disponible en: <http://artemisa.unicauca.edu.co/~vflorez/LTE/Capitulo%201.pdf>, [Consultado: Julio 2013].
- [2] C. Pearson et al., "Mobile Broadband Acceleration in the Americas," Mayo 2013 [Online]. Disponible en: <http://www.4gamericas.org/UserFiles/file/Presentations/2013/May%2014%20Mobile%20Broadband%20Acceleration%20in%20the%20Americas%20Chris%20Pearson.pdf>, [Consultado: Julio 2013].
- [3] C. Pearson, et al., "Latin America Deep Dive," Mayo 2013 [Online]. Disponible en: <http://www.4gamericas.org/UserFiles/file/Presentations/2013/May%2013%20Latin%20America%20Deep%20Dive%20Erasmus%20Rojas.pdf>, [Consultado: Julio 2013].
- [4] R. Agusti, et al., *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, Fundación Vodafone España, Departamento de la Teoría de la Señal, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España, 2010.
- [5] 3GPP TS 36.300, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description," 2009 [Online]. Disponible en: <http://www.3gpp.org/ftp/specs/html-INFO/36300.htm>, [Consultado: Julio 2013].
- [6] W. Min et al., "Efficient QoS over LTE – a Scheduler Centric Approach," en *23rd Internat. Sympo. On PIMRC*, Sidney, Australia, 9-12 Septiembre 2012, pp. 1395-1400.
- [7] S. Jae, et al., "A Resource-Estimated Call Admission Control Algorithm in 3GPP LTE System," en *Proceedings of International Conference on Computational Science and Applications (ICCSA)*, Suwon, Korea, junio 2009, pp. 250-260.
- [8] F. Kuo, et al., "Call admission control based resource allocation scheme for LTE uplink," en *15th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, Taiwan, pp. 554-558, Sep. 24-27, 2012.
- [9] M. Buil y M. Hernández, "Control de Admisión y Gestión de Recursos en movilidad en sistemas móviles 4G," Tesis de Maestría, Departamento de ingeniería electrónica y comunicaciones, universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, 2011.
- [10] S. Ferrán, "QoS - Control de Admisión Uplink en Long Term Evolution," Ingeniería Técnica en Telecomunicación, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España, 2012.
- [11] S. Bae et al., "Delay-aware Call Admission Control Algorithm in 3GPP LTE System," en *Tencon 2009 IEEE Region 10 Conference*, Korea del Sur, Suwon, Noviembre. 2009.

- [12] W. Min et al., "Efficient QoS over LTE – a Scheduler Centric Approach," en 23rdInternat.Sympo. On PIMRC, Sidney, Australia, 9-12 Septiembre 2012, pp. 1395-1400.
- [13] M. Anas et al., "Combined Admission Control and Scheduling for QoS Differentiation in LTE uplink," en Proceedings of the 68th Semi-Annual IEEE Vehicular Technology (VTC '08), Calgary, Canadá, 21-24 Septiembre 2008, pp. 1502-1506.
- [14] B. Bojovic, "A Cognitive Scheme for Radio Admission Control in LTE systems," en 3rd Internat. Workshop on Cognitive Information Processing (CIP), Baiona, España, 28-30 Mayo 2012, pp- 1-3.
- [15] M. Qian et al., "A Novel Radio Admission Control Scheme for Multiclass Service in LTE systems," en Proceedings IEEE Globecom, Honolulu, Hawaii, pp. 1-6, Diciembre 2009.
- [16] 3GPP TS 23.203, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Policy and charging control architecture," 2009 [Online], Disponible en: <http://www.3gpp.org/DynaReport/23203.htm>, [Consultado: Julio 2013].
- [17] V. Flórez y C. Hernández, "Gestión de Recursos Radio," Marzo 2013 [Online]. Disponible en: <http://artemisa.unicauca.edu.co/~vflorez/LTE/Capitulo%204%20x6.pdf>, [Consultado: Agosto 2013].
- [18] O. M. Ülgen et al., "Simulation Methodology -- A Practitioner's Perspective," University of Michigan-Dearborn, MI, 2006.
- [19] V. Wojcik, "Steps in Simulation and Model Building," en Simulation Methodology – Discrete Event Simulation, ed Ontario, Canada, 2003.
- [20] P. Ameigeiras, et al., "Traffic models impact on OFDMA scheduling design," en EURASIP de Wireless Communications and Networking, pp. 1-13, Febrero 2012



Oscar Calderón Cortés. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones y Especialista en Redes y Servicios Telemáticos de la Universidad del Cauca, 1996 y 1999 respectivamente. Obtuvo el Diploma de Estudios Avanzados – DEA, de la Universidad Politécnica de Cataluña, España en 2004. Miembro activo del Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones (GNTT). Actualmente se desempeña como Decano de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca. Sus áreas de interés incluyen la Calidad de Servicio en Internet, Redes Vehiculares y Redes Móviles.

## BIOGRAFÍA



Juan Majín Narváez. Recibió el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, 2014. Miembro del Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones (GNTT) de la Universidad del Cauca. Trabajó en Huawei Technologies, en el cargo de

Field Operation. Sus áreas de interés incluyen, protocolos de enrutamiento, seguridad informática y redes móviles.



Ricardo Muñoz Arcos. Recibió el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, 2014. Miembro del Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones (GNTT) de la Universidad del Cauca. Actualmente se desempeña como

Ingeniero de Soporte de Clientes Corporativos de Claro Móvil. Sus áreas de interés son: Implementación de redes móviles de telecomunicaciones, Diseño e implementación de radioenlaces y enlaces de fibra óptica.