

Análisis Experimental de Señales LTE y LTE-Advanced para la Evaluación del Efecto de la Agregación de Portadoras

Diego Chicango, Pablo Lupera Morillo
Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de la Información (DETRI),
Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

Resumen—En este trabajo se propone evaluar experimentalmente el efecto de la agregación de portadoras en un sistema LTE-A (Long Term Evolution Advanced) sobre los parámetros de radiofrecuencia (RF) con respecto a un sistema LTE. Los parámetros de RF evaluados son: espectro de las señales, potencia de canal, densidad espectral de potencia, potencia de canal adyacente, emisiones fuera de banda, emisiones no esenciales y análisis de modulación. De las mediciones realizadas se observa que la agregación de portadoras influye sobre los parámetros evaluados.

Palabras Claves—LTE, LTE-Advanced, agregación de portadoras.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de servicios y aplicaciones de banda ancha por parte de los usuarios de telefonía móvil, hace que las operadoras busquen nuevas tecnologías con el propósito de satisfacer los requerimientos de sus abonados. De esta manera, las tecnologías evolucionan con la finalidad de aumentar su capacidad. En la actualidad en las redes de comunicaciones móviles coexisten dos tecnologías, como son LTE y LTE-A. Para el estudio de dichas tecnologías se han desarrollado varios trabajos que permiten establecer experimentalmente la capacidad de transmisión en un sistema con agregación de componentes de portadoras, que es una de las modificaciones de LTE-A con respecto a su predecesora LTE.

En el trabajo de Kakishima y otros [1] se presenta la evaluación experimental del desempeño del throughput frente a la agregación de portadoras en LTE-A. En dicho trabajo se llegó a determinar que en el enlace de bajada (downlink) se alcanza un throughput de 500 Mbps cuando se utiliza un esquema de agregación de 5 componentes de portadora de 20MHz cada una y un sistema MIMO de 2x2 con una relación de potencia de señal a ruido (SNR) de aproximadamente 25

D.Chicango, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Facultad de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, EPN, Ladrón de Guevara E11-253, Quito, Ecuador (e-mail: diego.chicango@epn.edu.ec.)

P.Lupera, Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información, Escuela Politécnica Nacional, EPN, Ladrón de Guevara E11-253, Quito 170517, Ecuador, (e-mail: pablo.lupera@epn.edu.ec.)

dB.

Otra evaluación similar de la capacidad del enlace downlink de LTE-A la realizan nuevamente Kakishima y otros [2] para un sistema MIMO multiusuario 4x2 con dos estaciones móviles y utilizando 5 componentes de portadora. Entre los resultados más relevantes se llegó a determinar que en dicho sistema, el throughput puede ser mayor a 750 Mbps en un escenario con antenas no correlacionadas, de baja movilidad y con una dispersión de retardo pequeña.

La agregación de portadoras en un sistema LTE-A permite aumentar considerablemente el throughput, sin embargo, es necesario analizar la influencia de esta técnica sobre los parámetros de radiofrecuencia para establecer su efecto en la transmisión de señales, lo que debería ser tomado en cuenta para evitar una influencia perjudicial en el funcionamiento de la red de acceso de radio.

Es por ello que el enfoque de este artículo se basa en realizar un análisis experimental de las señales LTE y LTE-A, mediante equipos que permiten generar y analizar señales en ambientes próximos a la realidad.

Para esto, se realiza una breve descripción de las tecnologías LTE y LTE-A, su arquitectura, interfaz de radio, acceso al medio, esquema de duplexación y agregación de portadoras. Además, se describen los parámetros configurables en cada una de las señales, así como, los parámetros de radiofrecuencia medidos.

II. LTE Y LTE-ADVANCED

El proyecto 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) estandarizó a la tecnología LTE en los *releases* 8 y 9 que determinan la arquitectura básica de la red, así como, mejoras en determinados elementos del sistema. Por su parte, la tecnología LTE-A se estandarizó a partir del *release* 10 e incluye mejoras importantes en los *releases* 11 y 12 aplicadas al sistema LTE, con el objetivo de cumplir los requerimientos en cuanto a mayor velocidad de transmisión y menor latencia [3].

A. LTE

Las principales características que definen al sistema LTE son

[4]:

- Arquitectura de red simplificada “plana”, basado totalmente en conmutación de paquetes.
- Emplea técnicas de acceso al medio *OFDMA* (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) y *SC-FDMA* (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*).
- Utiliza anchos de banda escalables de: 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz.
- Alcanza velocidades de datos superiores a 100 Mbps en *downlink* y 50 Mbps en *uplink*.
- Latencia menor a 10 ms desde la red al equipo de usuario con un alto nivel de movilidad y seguridad.
- Incrementa la eficiencia espectral en relación a sistemas anteriores.
- Basada completamente en IP.

B. LTE-ADVANCED

LTE-Advanced, es la evolución de la tecnología *LTE*, se centra básicamente en el desarrollo de nuevas características y tecnologías que permiten incrementar las capacidades del sistema y es totalmente compatible con las versiones anteriores de *LTE* [3]. Las nuevas tecnologías de *LTE-A* incluyen una serie de mejoras en las que se destacan [5]:

- Tecnologías multiantena *MIMO*.
- Agregación de portadoras.
- Nodos de retransmisión.
- CoMP.
- Redes Heterogéneas.

En la Tabla I se presentan los requerimientos del *IMT-Advanced* para las redes 4G y las capacidades establecidas tanto para *LTE* como para *LTE-Advanced*, permitiendo apreciar las diferencias entre ambas tecnologías.

TABLA I.
REQUISITOS *IMT-ADVANCED* Y CAPACIDADES PARA *LTE* Y *LTE-A* [6]

Item	LTE Capability	IMT-Advanced Requirement	LTE-Advanced Capability
Peak Data Rate Downlink	150Mbps		1 Gbps
Peak Data Rate Uplink	75 Mbps		500 Mbps
Spectrum Allocation	Up to 20+20 MHz	Up to 40+40 MHz	Up to 100+100 MHz
Latency User Plane	30 msec	10 msec	10msec
Latency Control Plane	100 msec	100 msec	50 msec
Peak Spectral Efficiency DL	15 bps/Hz	15 bps/Hz	30 bps/Hz
Peak Spectral Efficiency UL	3.75 bps/Hz	6.75 bps/Hz	15 bps/Hz
Average Spectral Efficiency DL	1.87 bps/Hz	2.2 bps/Hz	2.6 bps/Hz
Average Spectral Efficiency UL	1.0 bps/Hz	1.4 bps/Hz	2.0 bps/Hz
Cell-Edge Spectral Efficiency DL	0.06 bps/Hz	0.06 bps/Hz	0.09 bps/Hz
Cell-Edge Spectral Efficiency UL	0.03 bps/Hz	0.03 bps/Hz	0.07 bps/Hz

C. Arquitectura del Sistema LTE/LTE-Advanced

LTE-Advanced al ser el paso evolutivo de la tecnología *LTE*, conserva su misma arquitectura básica e incorpora

componentes adicionales que mejoran el funcionamiento y la capacidad del sistema. En la Fig. 1 y Fig. 2 se ilustran las arquitecturas *LTE* y *LTE-A* respectivamente.

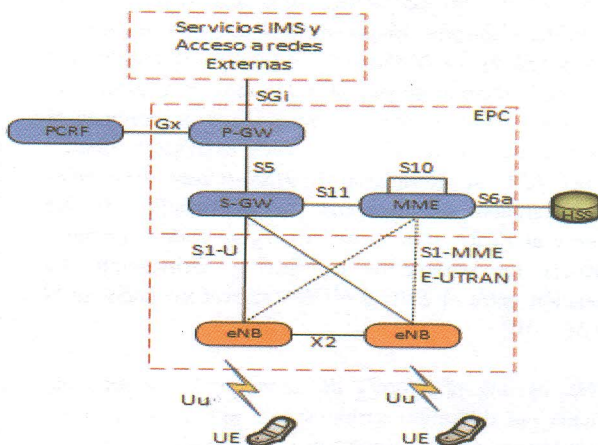


Fig. 1. Arquitectura *LTE* [7], [8]

Los bloques funcionales que conforman el sistema *LTE/LTE-A* son: la red de acceso *E-UTRAN* (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*), el core de la red *EPC* (*Evolved Packet Core*), la plataforma de servicios *IMS* (*IP Multimedia Subsystem*) y el equipo de usuario (*UE*).

En la red de acceso *E-UTRAN* se distingue al *eNB* (*Evolved Node B*); entidad lógica que cumple las funciones de una estación base, proporcionando conectividad entre el *UE* y la *EPC*. En *LTE-A* se incorpora los nodos de retransmisión y en algunos se incluyen los *HeNBs* (*Home eNBs*) y *HeNB-GWs* (*HeNB Gateways*) cuya función es mejorar la capacidad del sistema. La red de acceso *E-UTRAN* se comunica con los *UEs* mediante la interfaz *E-UTRAN Uu* y con la *EPC* mediante la interfaz *S1* [9].

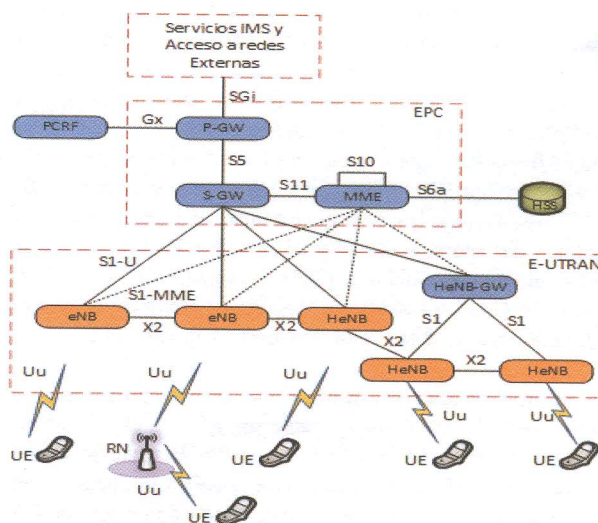


Fig. 2. Arquitectura *LTE-Advanced* [7], [8]

El EPC está conformada por tres elementos importantes que son: el MME (*Mobility Management Entity*) encargado del acceso a la red, el S-GW (*Serving Gateway*) responsable del enrutamiento y reenvío de paquetes de datos de usuario, y el PG-W (*Packet Data Network Gateway*) que proporciona la conectividad entre el EPC y las redes externas. Además, dentro del EPC se consideran al HSS (*Home Subscriber Server*) encargado de almacenar la información de los abonados y al PCRF (*Policy and Charging Rules Function*) que maneja los parámetros de QoS y tarificación. La comunicación entre el EPC y el IMS se realiza mediante la interfaz SGi [10].

El IMS es una plataforma de servicios IP multimedia; conformada por diferentes servidores de aplicación, base de datos y gateways que proporcionan los diferentes servicios a los usuarios conectados a la red móvil.

El equipo de usuario es un dispositivo final que permite acceder a los diferentes servicios proporcionados por la red de comunicación móvil. Este, consta de un módulo de suscripción de usuario SIM (*Subscriber Identity Module*) y el equipo móvil.

D. Interfaz de Radio LTE/LTE-A

La interfaz de radio es la encargada de la interconexión y transferencia de información entre el eNB y el equipo de usuario. De hecho, esta interfaz integra los protocolos y mecanismos físicos para la transmisión y recepción de la información de usuario, así como, la señalización y procedimientos básicos de la capa física.

La capa física del sistema LTE/LTE-A es el nivel fundamental que contiene los protocolos y procedimientos encargados de la gestión de las señales en banda base, e interactúa con el medio físico por el cual la señal es propagada. Así, esta capa fue diseñada para funcionar en la banda UHF (*Ultra High Frequency*) y utilizar los esquemas de duplexación tanto FDD (*Frequency División Duplexing*) como TDD (*Time División Duplexing*). Además, en lo que respecta a esquemas de modulación digital en banda base, ambos sistemas utilizan modulación QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) y 64-QAM, tanto en uplink como en downlink [10], [11], [12].

La mínima unidad de información de tiempo-frecuencia utilizada para la transmisión entre un eNB y el UE se lo conoce como PRB (*Physical Resource Block*). Este se forma por un grupo de 12 subportadoras contiguas en frecuencia con una separación de 15 KHz, sobre una ranura de tiempo de 0.5 ms [3], [11]. La estructura de un PRB se puede apreciar en la Fig.3.

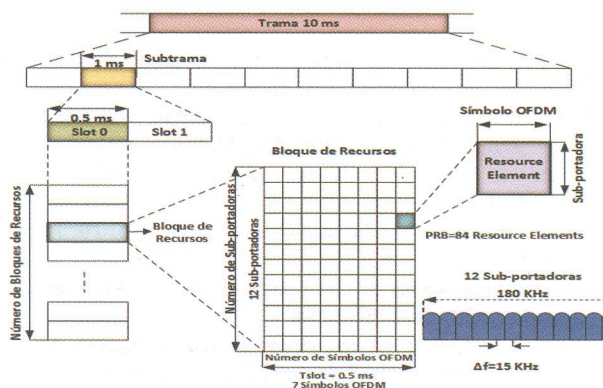


Fig. 3. Estructura de un PRB [3], [11].

El número de PRBs empleados en una transmisión depende del ancho de banda configurado para la celda. La Tabla II muestra el número de PRB y subportadoras de acuerdo al ancho de banda utilizado para el sistema LTE. En el caso de LTE-A el número de PRBs varía acorde al número de componentes de portadora utilizadas [11].

TABLA II.
ANCHO DE BANDA, PRBS Y SUBPORTADORAS EN EL SISTEMA LTE [11]

Canalización	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Número de PBRs	6	15	25	50	75	100
Número de Sub-portadoras	72	180	300	600	900	1200

E. Técnicas de Acceso al Medio en el Downlink

Las tecnologías LTE y LTE-A en su red de acceso E-UTRAN utilizan diferentes esquemas de transmisión, todos sustentados en la técnica de transmisión OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). En el enlace descendente tanto el sistema LTE como LTE-A utilizan OFDMA como técnica de acceso múltiple.

OFDM: es una forma de multiplexación y modulación multiportadora; permite transmitir información de datos y control (símbolos) en un gran número de subportadoras paralelas y moduladas individualmente en QPSK o QAM, utilizando FDM (*Multiplexación por División de Frecuencia*). Cada subportadora está localizada en los puntos de cruce por cero de otra subportadora, esto mantiene la ortogonalidad espectral [3].

El número de subportadoras utilizadas en una señal LTE/LTE-A es determinado acorde al espectro disponible y las emisiones fuera de banda. Así, el ancho de banda de una señal OFDM corresponde al número de subportadoras paralelas multiplicado por la separación entre estas. Además, para suprimir las emisiones fuera de banda, se utiliza un 10% del ancho de banda total para banda de guarda [3].

Una señal OFDM frente a un canal dispersivo en el tiempo puede perder la ortogonalidad entre subportadoras, en consecuencia, habría interferencia entre subportadoras y entre los símbolos dentro de cada una de estas. Para solucionar este inconveniente se utiliza el denominado prefijo cíclico (CP). Este es la última parte del símbolo OFDM, el cual se copia y se inserta al principio de dicho símbolo. Con esto, se aumenta la longitud del símbolo OFDM [3].

F. Técnica de duplexación FDD

FDD es un esquema de duplexación en donde la transmisión en uplink y en downlink se realiza simultáneamente utilizando diferentes frecuencias, separadas lo suficientemente para evitar que la señal recibida sea afectada por la señal transmitida.

Las transmisiones de información se estructuran en base a tramas de radio denominadas tipo 1, las cuales tienen una duración de 10 ms. Estas se dividen en 10 subtramas de igual tamaño compuestas por dos ranuras de tiempo iguales a 0.5 ms. Adicionalmente, cada ranura de tiempo está conformada por siete o seis símbolos OFDM dependiendo si se utiliza un CP normal o extendido [10]. Todo lo anteriormente mencionado, puede apreciarse en la Figura 6.

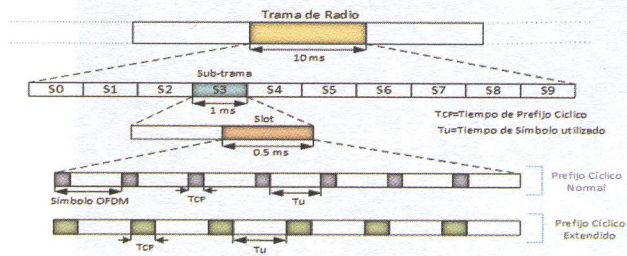


Fig. 6. Estructura de trama tipo 1 [11]

G. Agregación de Portadoras (CC)

LTE-Advanced como tecnología 4G ofrece grandes mejoras en relación a su predecesora LTE, una de estas es el incremento en las velocidades de transmisión de datos. Para esto, se ha recurrido a la agregación de varias portadoras LTE, con el fin de aumentar el ancho de banda disponible.

Un operador no siempre podrá obtener bloques de frecuencia en una misma banda de operación, de hecho, se ve en la necesidad de utilizar bloques de diferentes bandas de frecuencia. Esto conlleva a que las componentes de portadora (CC) utilizadas para la agregación de portadoras puedan ser contiguas y no contiguas en la misma banda de espectro y no contiguas en diferentes bandas de espectro [14]. En la Fig. 4 se distinguen las tres configuraciones de agregación de portadoras empleadas en el sistema LTE-A.

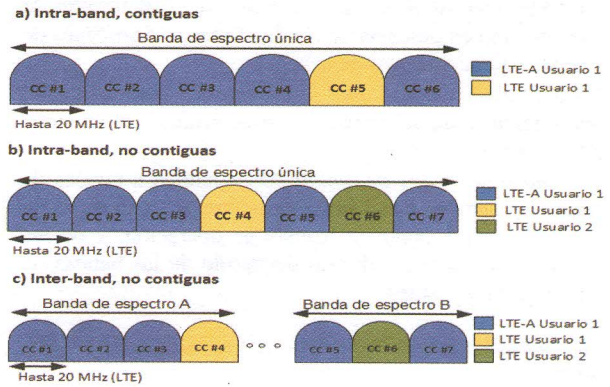


Fig. 4. Agregación de portadoras intra e inter banda [14]

III. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

A. Equipamiento utilizado

Los equipos utilizados para la generación y análisis de señales LTE y LTE-A pertenecen al Laboratorio de Investigación del DETRI – EPN y se presentan en la Fig. 5. El equipamiento está conformado por la computadora portátil con el software N7624B Signal Studio for LTE/LTE-Advanced FDD [15] desarrollado por Keysight previamente instalado y conectado al generador de señales Keysight E8267D PSG [16] mediante una interfaz LAN y a través de un switch básico. También, se muestra la conexión entre el generador vectorial de señales E8267D PSG y el analizador vectorial de señales Keysight N9010A EXA [17], mediante un cable de RF (radio frecuencia) Pasternack's PE302-60 con una impedancia característica de 50 Ohms y conectores N macho en ambos extremos [18].

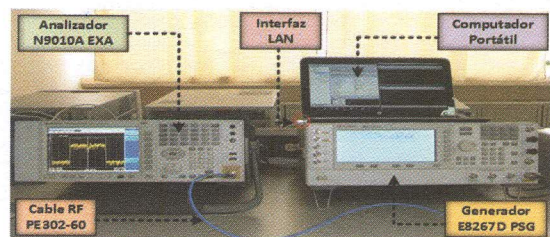


Fig. 5. Equipos de generación y análisis de señales

B. Parámetros RF medidos de las señales LTE y LTE-A

Algunos de los parámetros de radiofrecuencia medidos de las señales LTE y LTE-A se detallan a continuación [19]:

- El espectro de la señal, corresponde a todo el conjunto de frecuencias que constituyen la señal y se muestra como un gráfico en el dominio de la frecuencia.
- La potencia de canal indica la potencia media que puede alcanzar una señal dentro del ancho de banda del canal de frecuencia.

- La PSD (*Densidad Espectral de Potencia*) determina la contribución en potencia de las diferentes componentes de frecuencia constitutivas de la señal.
- El ACP (*Potencia de Canal Adyacente*) es una medida del nivel potencia de interferencia que se produce en un canal adyacente.
- Las emisiones fuera de banda corresponden a niveles de potencia fuera de canal utilizado sobre una extensión de frecuencias que incluyen bandas de operación, y de los canales por encima y debajo del borde de las bandas de frecuencia empleadas.

C. Configuración y generación de las señales LTE y LTE-advanced

Las señales LTE y LTE-A configuradas mediante el software N7624B previo a su envío al generador E8267D PSG constan de diferentes parámetros acorde a las características de cada tecnología. Los parámetros configurados en cada una de las señales se presentan en la Tabla III.

TABLA III.
PARÁMETROS CONFIGURADOS EN LAS SEÑALES LTE Y LTE-A

Parámetro	Señal LTE	Señal LTE-A
Formato de radio	Downlink	Downlink
Frecuencia	1.85 GHz	1.85 GHz
Potencia	-20 dBm	-20 dBm
Relación portadora a ruido	30 dB	30 dB
Ancho de banda de la señal	20 MHz	80 MHz
Ancho de banda de ruido	1 Hz	1 Hz
Modulación	QPSK	CC0 16QAM CC1 16QAM CC2 64QAM CC3 QPSK CC4 64QAM
Ancho de banda de cada portadora	20 MHz	CC0 10 MHz CC1 10 MHz CC2 20 MHz CC3 15 MHz CC4 20 MHz
Frecuencia de offset	0 Hz	CC0 -12.5 MHz CC1 12.5 MHz CC2 -27.5 MHz CC3 0 Hz CC4 27.5 MHz
Bloque de recursos	100 RBs	CC0 50 RBs CC1 50 RBs CC2 100 RBs CC3 75 RBs CC4 100 RBs
Longitud de trama	10 ms	CC0 10 ms CC1 8 ms CC2 6 ms CC3 4 ms CC4 2 ms
Prefijo cíclico	Normal	Normal

De la tabla anterior se observa que la señal LTE-A consta de 5 componentes de portadora (CC) con la configuración establecida para cada una de ellas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la evaluación del efecto de la agregación de portadoras se realizaron las mediciones que se presentan a continuación.

A. Espectro de las Señales

En la Fig. 6 y Fig. 7 se presentan los espectros promedio de las señales LTE y LTE-A.

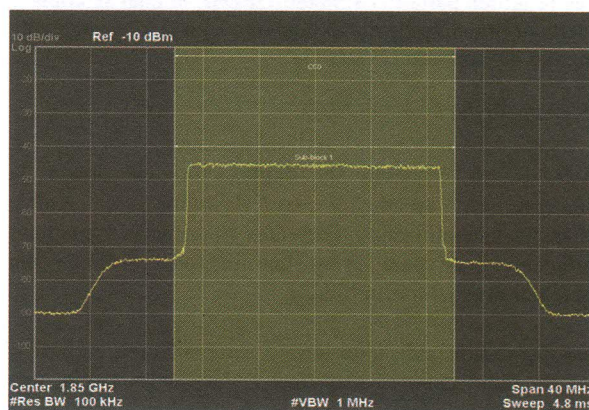


Fig. 6. Espectro promedio de la señal LTE

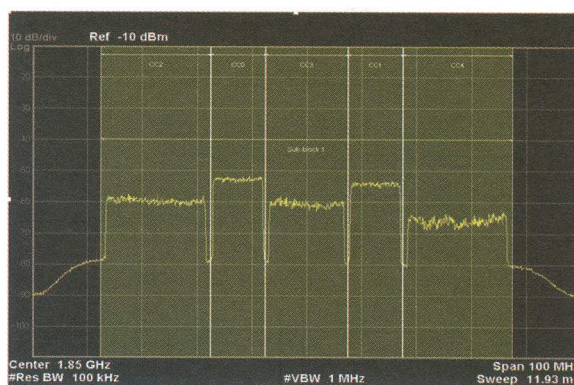


Fig. 7. Espectro promedio de la señal LTE-A

En la imagen se observa que la señal LTE está formada por una única portadora. Esta puede tener diferentes anchos de banda con un límite de 20 MHz. En cambio, la señal LTE-A presenta la característica de agregación de portadoras, es decir, puede estar conformada por 2 o más portadoras con un ancho de banda máximo de 100 MHz. Cada portadora puede tener diferente ancho de banda, tal como se muestra en la Fig. 7.

En ambas señales se puede apreciar que las portadoras no ocupan todo el ancho de banda asignado a estas. La razón de esto es que, de todo el ancho de banda asignado a cada portadora, según el 3GPP se asigna un 10 % de esta para banda de guarda entre portadoras.

Es importante destacar que ambas señales presentan un espectro con forma escalonada. Esto se debe al nivel de ruido Gaussiano introducido en las 2 señales a la salida del generador y varía acorde a la relación portadora a ruido configurado.

B. Potencia de Canal y Densidad Espectral de Potencia

En la Tabla IV se presentan los resultados de las mediciones de potencia de canal y PSD de las señales LTE y LTE-A. Se debe mencionar que las dos señales tienen configurado un mismo nivel de potencia, sin embargo, los valores medidos no concuerdan con los valores configurados, debido principalmente a las emisiones fuera de banda y atenuaciones debido al cable y conectores.

De las mediciones se observa que la potencia total transmitida de una señal LTE-A es menor que la de una señal LTE. Además, en el caso de las señales LTE, la potencia de canal es la misma que la potencia de la portadora. Esto se debe a que la señal LTE está compuesta por una única portadora.

En la señal LTE-A, se observa que todas las componentes de portadora no tienen el mismo nivel de potencia, esto se debe a que las portadoras tienen diferentes anchos de banda y la potencia se distribuye a un mayor número de subportadoras.

TABLA IV. MEDICIONES DE POTENCIA DE CANAL Y PSD DE LAS SEÑALES LTE Y LTE-A

Señal	Potencia configurada (dBm)	Potencia de canal (dBm)	Potencia de las portadoras (dBm)	PSD de la señal (dBm/Hz)	PSDs de las portadoras (dBm/Hz)
LTE	-20	-23.32	-23.32	-96.33	-96.33
LTE-A	-20	-29.20	CC0: -33.33 CC1: -34.96 CC2: -36.43 CC3: -38.37 CC4: -43.47	-108.0	CC0: -103.33 CC1: -104.96 CC2: -109.44 CC3: -110.13 CC4: -116.48

C. Potencia de Canal Adyacente

En la Tabla V se presentan las mediciones del ACP en las señales LTE y LTE-A. Estas mediciones se realizan tomando en cuenta la única portadora en la señal LTE y las portadoras laterales en la señal LTE-A.

TABLA V. MEDICIONES DEL ACP EN LAS SEÑALES LTE Y LTE-A

Señal	Potencia de las portadoras laterales de la Señal (dBm)		Frecuencia Offset (MHz)	Ancho de Banda (MHz)	ACP Lateral Izquierdo		ACP Lateral Derecho	
	Izquierda	Derecha			Potencia relativa (dBc)	Potencia Absoluta (dBm)	Potencia Relativa (dBc)	Potencia Absoluta (dBm)
LTE	-23.35		5	4.515	-6.242	-29.59	-5.856	-29.21
			10	4.515	-10.58	-33.93	-12.39	-35.74
LTE-A			5	4.515	-13.89	-47.29	-23.15	-56.55
	CC2: -33.40	CC4: -48.50	10	4.515	-20.22	-53.62	-27.17	-60.57

De las mediciones se observa que la potencia en los canales adyacentes (Potencia Absoluta) es menor a la potencia de la única portadora en las señales LTE, y menor a la potencia de las portadoras laterales de las señales LTE-A. Por lo tanto, ninguna de las señales LTE y LTE-A provocan interferencias significativas en los canales adyacentes.

También se determina que, una señal LTE con ancho de banda corto tendrá menor probabilidad de provocar

interferencias en los canales adyacentes que una señal LTE-A compuesta por componentes de portadoras con anchos de banda cortos. Por otro lado, una señal LTE con alto ancho de banda tendrá mayor probabilidad de provocar interferencia en los canales adyacentes que una señal LTE-A compuestas por componentes de portadora con altos ancho de banda.

D. Emisiones Fuera de Banda

En la Tabla VI se muestran los resultados de las mediciones de las emisiones fuera de banda de las señales LTE y LTE-A. Estas mediciones se presentan para los rangos de frecuencia laterales respecto a la frecuencia en la que finaliza el ancho de banda de la señal y se definen los anchos de banda en los que se miden las emisiones fuera de banda. También, se presentan las potencias pico y las frecuencias en las que se producen dichas emisiones.

TABLA VI. MEDICIONES DE LAS EMISIONES FUERA DE BANDA EN LAS SEÑALES LTE Y LTE-A

Señal	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia de Finalización (MHz)	Ancho de Banda (MHz)	Emisiones Laterales Izquierdas			Emisiones Laterales Derechas		
				Potencia Pico (dBm)	Diferencia de Potencia Límite (dB)	Frecuencia Offset (MHz)	Potencia Pico (dBm)	Diferencia de Potencia Límite (dB)	Frecuencia Offset (MHz)
LTE	0.050	5.050	0.102	-72.85	-62.13	-3.781	-74.07	-62.88	4.111
	5.050	10.05	0.100	-76.14	-63.64	-5.050	-76.79	-64.29	5.050
	10.50	15.00	1.000	-75.94	-60.94	-14.30	-75.97	-60.97	14.35
LTE-A	0.050	5.050	0.102	-79.32	-66.82	-5.050	-80.40	-68.65	4.517
	5.050	10.05	0.100	-78.87	-66.37	-5.525	-80.93	-68.43	5.475
	10.50	15.00	1.000	-76.89	-61.89	-11.85	-76.14	-61.14	13.81

De las mediciones con la máscara de espectro de las diferentes señales, se observa que las emisiones fuera de banda laterales izquierdas y derechas de una señal LTE son mayores que las emisiones en una señal LTE-A, en las frecuencias más próximas a las señales.

E. Emisiones no Esenciales

Las emisiones no esenciales son causadas generalmente por problemas en el transmisor, como armónicos, productos de intermodulación, productos en conversiones de frecuencia, en los amplificadores de potencia, etc. Así, este parámetro se encarga de identificar y medir el nivel de potencia de las emisiones no esenciales en las bandas de frecuencia definidas por el 3GPP [19]. En la Fig. 8, Fig. 9 y en la Tabla VII se presentan las mediciones de las emisiones no esenciales en las señales LTE y LTE-A.

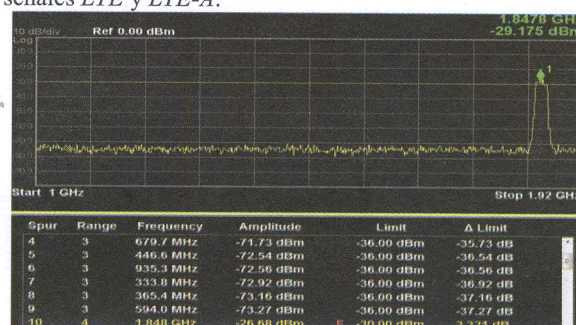


Fig. 8. Emisiones no esenciales en las señales LTE

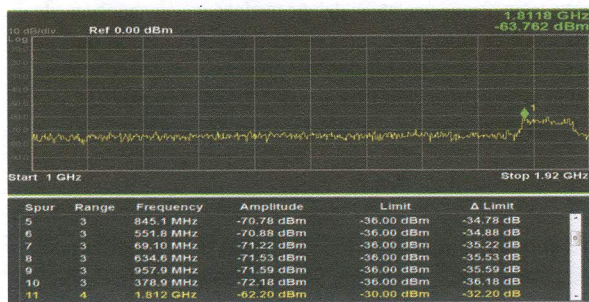


Fig. 9. Emisiones no esenciales en las señales LTE-A

TABLA VII. MEDICIONES DE LAS EMISIONES NO ESENCIALES EN LAS SEÑALES LTE Y LTE-A

Señal	Frecuencia (GHz)	Nivel de Potencia (dBm)	Nivel de Potencia Limite (dBm)	Diferencia de Potencia (dB)
LTE	1.848	-26.68	-30.00	3.321
LTE-A	-	-	-30.00	-

Las dos señales pueden verse afectadas por las emisiones no esenciales. Sin embargo, en este caso de estudio se observa que las emisiones con un nivel de potencia lo suficientemente alto para influir en las señales se presenta únicamente en la señal LTE. Con estas mediciones es posible identificar la frecuencia en la que se producen dichas emisiones, cuyo nivel de potencia supera el límite establecido en el analizador de señales. Además, permiten verificar que los rangos de frecuencia de interés, estén libres de interferencia de señales no deseadas.

F. Análisis de Modulación

Esta medición permite observar el efecto del ruido introducido en las señales LTE y LTE-A mediante sus diagramas de constelación. En la Fig. 10 se muestran los diagramas de constelación de cada una de las portadoras que componen las señales LTE y LTE-A.

En los diferentes diagramas de constelación se observa como sus puntos resultantes presentan dispersión en los estados de modulación. Esto, debido al ruido que se introdujo en las señales LTE y LTE-A. Si a estas señales no se les introducía ruido, el diagrama debería presentar puntos definidos.

En la Fig. 10 (f) se observa como el diagrama de constelación de la portadora CC4 se presenta como una nube de puntos. Esto se debe a varios factores como: el tipo de modulación, el ruido introducido de tipo Gaussiano, distorsiones debido a la PAPR y por la longitud de trama de 2 ms. Por lo tanto, esto hace que la portadora de la señal LTE-A no tenga un diagrama de constelación bien definido.

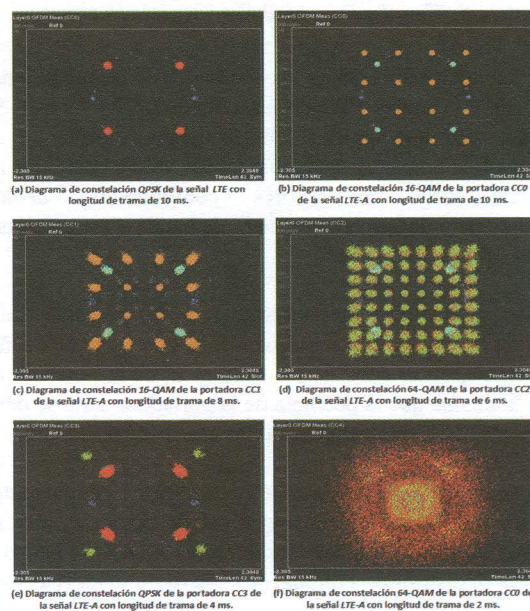


Fig. 10. Diagramas de constelación de las portadoras en las señales LTE y LTE-A

V. CONCLUSIONES

De la ejecución del presente proyecto y considerando la configuración propuesta, se puede concluir que la agregación de las componentes de portadora provoca que los parámetros de radiofrecuencia analizados varíen entre las señales LTE y LTE-A.

Se observa que el espectro de la señal LTE-A no se encuentra completamente ocupado, ya que existen bandas de guarda entre las componentes de portadora que se agregan. Se determinó experimentalmente que de todo el ancho de banda asignado, el 10% del espectro es utilizado como bandas de guarda.

De las mediciones se observa que existe una disminución de la potencia de canal y de la PSD de la señal LTE-A con respecto a la señal LTE, probablemente debido a un funcionamiento no lineal en frecuencia de los elementos constitutivos de los transmisores que provoca una atenuación adicional a una señal de mayor ancho de banda, como resulta ser la señal LTE.

De las mediciones de ACP se puede concluir que la agregación de portadoras no provoca interferencias significativas en los canales adyacentes. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que un ancho de banda mayor de las componentes de portadora provocará una mayor probabilidad de interferencia en los canales adyacentes.

Se observa que la señal LTE llega a alcanzar mayores

niveles de emisiones fuera de banda y emisiones no esenciales que una señal LTE-A.

En el sistema LTE-A se pueden asignar diferentes esquemas de modulación a cada una de las componentes de portadora, lo que provoca flexibilidad al momento de establecer la mejor configuración de transmisión. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que debe haber una compatibilidad entre el esquema de modulación y la longitud de la trama para que la recepción sea aceptable al contar con un diagrama de constelación bien definido.

En un trabajo futuro se proponen realizar mediciones de los parámetros de RF y throughput de una red LTE-A en un ambiente real con diferentes configuraciones de componentes de portadora y sistemas MIMO.

VI. REFERENCIAS

- [1] Y. Kakishima, T. Kawamura, Y. Kishiyama, H. Taoka and T. Nakamura, "Experimental Evaluation on Throughput Performance of Asymmetric Carrier Aggregation in LTE-Advanced," *2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Yokohama, 2011, pp. 1-5.
- [2] Y. Kakishima, K. Takeda, T. Kawamura, Y. Kishiyama, H. Taoka and T. Nakamura, "Experimental evaluations on carrier aggregation and multi-user MIMO associated with EVD-based CSI feedback for LTE-Advanced downlink," *2011 8th International Symposium on Wireless Communication Systems*, Aachen, 2011, pp. 884-888.
- [3] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Skold, *4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*, Oxford, United Kingdom: Elsevier Press, 2011.
- [4] F. Khan, *LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance*, New York: Cambridge University Press, 2009.
- [5] Nokia, "LTE-Advanced: The advanced LTE toolbox for more efficient delivery of better user experience," *Nokia Networks White Paper*, 2014 [Online]. Available: <https://goo.gl/NNi1PP>. [Access: July 27, 2017]
- [6] Rysavy Research, "Mobile Broadband Explosion: The 3GPP Wireless Evolution", 4G Americas, 2013 [En línea]. Disponible: <https://goo.gl/QgKzUE>. [Accedido: 22-may-2017]
- [7] N. Bravo, and B. Ñauta, "Análisis técnico, Socio-Económico y Legal de la Implementación del Estándar Long Term Evolution Advanced en el Ecuador", Ecuador, 2013 [En línea]. Disponible: <https://goo.gl/kA1Cr1>. [Accedido: 22-may-2017]
- [8] *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2*, Technical Specification, 3GPP TS 36.300, Version 13.2.0, Release 13, 2016.
- [9] I.F. Akyildiz, D. M. Gutierrez, E. C. Reyes, "The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced," USA: Elsevier Press. 2010.
- [10] R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez, and O. Sallent, *LTE: Nuevas tendencias en las Comunicaciones Móviles*. España: Editorial Fundación Vodafone, 2010.
- [11] S. ADMADI, *LTE-Advanced: A Practical System Approach to Understanding 3GPP LTE Releases 10 and 11 Radio Access Technologies*. USA: Elsevier Press. 2014.
- [12] T. Kawamura, Y. Kishiyama, Y. Kakishima, S. Yasukawa, K. Saito, H. Taoka, "LTE-Advanced – Evolution of LTE – Radio Transmission Experiments" NTT DOCOMO Technical Journal, Vol. 14, No.2, 2010 [Online]. Available: <https://goo.gl/1NE2E3>. [Access: May 22, 2017]
- [13] Agilent Technologies, "3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development, and Test Challenges". *Agilent Technologies application note*, 2009. [Online]. Available: <https://goo.gl/lww9oU>. [Access: May 22, 2017]
- [14] I.F. Akyildiz, D. M. Gutierrez, E. C. Reyes, "The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced," USA: Elsevier Press. 2010.

- [15] Keysight Technologies, "Simplify Signal Creation with Signal Studio Software," 5989-6448EN, USA, January 14, 2015 [Online]. Available: <https://goo.gl/FlIGGm>. [Access: 22-may-2017]
- [16] Keysight Technologies, "E8267D PSG Vector Signal Generator," Data Sheet, 5989-0697EN, USA, February 10, 2016 [Online]. Available: <https://goo.gl/37TIgO>. [Access: 22-may-2017]
- [17] Agilent Technologies, "Agilent X-Series Signal Analyzer," N9080B LTE-Advanced FDD Measurement Application Measurement Guide, N9080-90008, USA, February 2012 [Online]. Available: <https://goo.gl/XsotX6>. [Access: 22-may-2017]
- [18] Pasternack Enterprises, "PE302-60," RF Cable Assemblies Technical Data Sheet, 53919, 2016 [Online]. Available: <https://goo.gl/gWp3sO>. [Access: 22-may-2017]
- [19] Agilent Technologies, "Agilent X-Series Signal Analyzer," N9080B LTE-Advanced FDD Measurement Application Measurement Guide, N9080-90008, USA, February 2012 [Online]. Available: <https://goo.gl/XsotX6>. [Access: 22-may-2017]

VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Laboratorio de Investigación del DETRI – EPN por permitir el uso del equipamiento para la ejecución de este trabajo.



Diego Chicango Chinchuña, nació en San Gabriel-Carchi, Ecuador el 23 de Noviembre de 1988, terminó los estudios secundarios en el Colegio Nacional "José Julián Andrade". Los estudios universitarios los realizó en la Escuela Politécnica Nacional en la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Sus estudios se han enfocado en el área de Networking, CNNA, Security y Linux. Se ha desempeñado como asistente técnico en el mantenimiento de centrales telefónicas Alcatel.



Pablo Lupera Morillo, obtuvo el título de ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en el año 2002 y el título de Ph.D. en ciencias técnicas en la Universidad Estatal de Telecomunicaciones de San Petersburgo en Rusia en el año 2009. Sus áreas de investigación son el comportamiento del canal inalámbrico, técnicas de transmisión aplicadas en la capa física y la planificación y optimización de redes de comunicación móvil.