

Comparación de las metodologías usadas para medir la radiación electromagnética de las bandas de servicios de 4G con las de servicios 3G*

Comparisson Between Methodologies Used for Measuring the Electromagnetic Radiation Coming from the 3G and 4G Services

Recibido: 18 de mayo de 2016 - Aceptado: 21 de febrero de 2017

Carlos Arturo Lezama Márquez**
Fabio Elberto Téllez Barón***
Ernesto Sabogal Gómez****

Para citar este artículo: A. Lezama, F. Téllez, E. Sabogal «Comparación de las metodologías usadas para medir la radiación electromagnética de las bandas de servicios de 4G con las de servicios 3G», *Ingenium*, vol18, n.º 36, pp. 57 -66, junio de 2017



Auxiliares de investigación, estudiantes:

Esteban Andrés Fonseca Latorre*****
Camilo Andrés Carmona García*****

* Grupo de Investigación: *Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida*, Universidad patrocinadora: *Universidad El Bosque*. Vicerrectoría de Investigaciones, proyecto de investigación: *Medición de la radiación electromagnética de los servicios celulares 4G en la localidad de Usaquén*; Fecha de inicio y finalización del proyecto: julio de 2015 a septiembre de 2016.

** M. Sc. Science Electrical Engineering, University of Connecticut, USA, Grupo de Investigación: *Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida*. E-mail: lezamacarlos@unbosque.edu.co

*** Especialista en Filosofía de la Ciencia, Universidad El Bosque, Grupo de Investigación: *Electromagnetismo Salud y Calidad de Vida*. E-mail: tellezfabio@unbosque.edu.co

**** M. Sc. Ingeniería Electrónica, Universidad El Bosque. Grupo de Investigación: *Electromagnetismo Salud y Calidad de vida*. Email: sabogalernesto@unbosque.edu.co

Estudiantes:

***** Universidad El Bosque, Ingeniería Electrónica, E-mail: E-mail: efonsecal@unbosque.edu.co

***** Universidad El Bosque, Ingeniería Electrónica, E-mail: ccarmonag@unbosque.edu.co

Resumen

En el presente artículo se compara la metodología usada para las mediciones del proyecto de Investigación *Mapa de Radiación Electromagnética producida por los Servicios de 4G en la Localidad de Usaquén*, con la Metodología usada para la medición de la radiación de servicios 3G. Las dos metodologías están basadas en los resultados de los análisis de las recomendaciones de la UIT-T K.52 [2], K.61 [3] y K.83 [4] ya publicados en el artículo *Metodología para hacer mediciones de radiación electromagnética de telefonía celular* [1]

Palabras clave

Metodología para la medición, Radiación electromagnética, 4G.

Abstract

This article compares the methodology of measurements applied on the project *Map of Electromagnetic Radiation Produced by the 4G Services in the Usaquén Locality* with the methodology applied to measuring the 3G services radiation. Both methodologies 4G and 3G are based on the analysis of the UIT-T K.52 [2], K.61 [3] and K.83 [4] recommendations, already published in the article *Methodology for doing measurement of electromagnetic radiation for cellphones* [1].

1. Introducción

En el año 2015, en la convocatoria interna de la Universidad el Bosque se aprobó el proyecto *Mapa de Radiación Electromagnética Producida por los Servicios de 4G en la Localidad de Usaquén*, el cual se está adelantando en el programa de Ingeniería Electrónica. Proyecto perteneciente a la línea de investigación *Efectos de los Campos Electromagnéticos en la Salud y Calidad de Vida*.

Dada la necesidad de hacer numerosas mediciones de radiación electromagnética para el proyecto, se tuvo que realizar un estudio para establecer los parámetros necesarios para realizar dichas mediciones, o en pocas palabras, elaborar una metodología de medición.

Para lograr esto, se analizaron los resultados expuestos en el artículo *Mapa de Radiación Electromagnética Producida por los Servicios de 4G en la Localidad de Usaquén* [1] al que se le llamará «Artículo de referencia» en lo que respecta al resto del documento.

Así mismo, se hizo un análisis de cada una de las recomendaciones existentes para estaciones base. Estas son dadas por el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (UIT – T), bajo la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), con base en las normas K.52 de 2004 [2], K.61 de 2008 [3] y K.83 de 2009 [4].

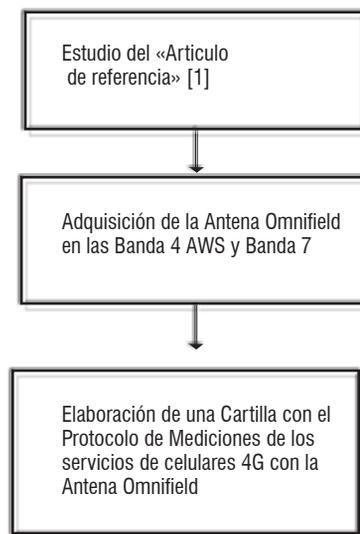
En la sección 2 se explica brevemente el proceso seguido para la elaboración de la metodología; en la sección 3 se presenta la metodología que se usó para las mediciones de la

radiación de los servicios celulares 3G, resultados expuestos en el artículo de referencia y ajustado a las recomendaciones del UIT-T K52 [2] y K 61 [3]; en la sección 4 se presentan las modificaciones que se hicieron con respecto a la metodología anterior; en la sección 5 se muestra el formato de los archivos guardados en DRIVE / 4G / MEDICIONES / con las mediciones de pruebas piloto, y por último en la sección 6 se concluye sobre cuál metodología se usó para el proyecto.

2. Desarrollo de la Metodología

El proceso de desarrollo para llegar a la metodología a usar en las mediciones 4G se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Proceso de desarrollo.



Fuente: elaboración propia 2017

3. La metodología de medición 3G:

Según la Metodología expuesta en el «Artículo de referencia» [1] para las mediciones de la radiación electromagnética 3G:

- Se mide en campo lejano, en interiores y la variable a medir será el campo eléctrico (E). A partir de esta se podrán calcular el campo magnético (H), la densidad de potencia (S) y la tasa específica de absorción (SAR).
- Se definen las frecuencias en las que se realizarán las mediciones. 850 MHz, uplink (entre 824 MHz y 849 MHz) y downlink (entre 869 MHz a 894 MHz); 1900 MHz, uplink (entre 1850 MHz y 1910 MHz) y downlink (entre 1930 MHz y 1990 MHz). Además, TDT en la banda de 470 – 800 MHz.

- Se define la antena del equipo de medición. Para el proyecto 3G se optó por una antena omnidireccional, que puede medir la intensidad de campo eléctrico (E) proveniente de todas las direcciones, pero en un solo plano a la vez. Por lo tanto, se deberán medir secuencialmente los tres ejes ortogonales, para posteriormente sumarlos vectorialmente.
- Se define el tiempo de muestreo. El equipo de medición debe tener un tiempo de muestreo máximo de 40 ms, durante los 6 minutos, es decir, 8800 muestras por cada archivo de medición.
- Se define el vector de parámetros de medición del analizador de espectro AARONIAN en modo MAXHOLD debido a que el patrón de radiación de estos servicios, GSM y UMTS son dependientes de tráfico, se define RBW en 1 MHz y VBW en 3 MHz, estos datos se tomaron de esta manera para estar lo más cerca posible de los índices indicados en las recomendaciones UIT K52 [2]
- Se debe identificar, mediante mediciones cortas de 30 segundos, la celda más radiada de cada piso del Edificio.
- Se debe documentar las coordenadas del punto o puntos de medición.
- Se ubica el dispositivo en la celda con mayor intensidad de radiación de cada piso, montada sobre un trípode no metálico a la altura de 1,5 metros y se programa la sonda en la banda deseada.
- El auxiliar de medición debe estar alejado por lo menos un metro de distancia del equipo para no causar interferencias. También, debe mantenerse apagado su celular.
- Al terminar el tiempo de medición, se detiene el equipo y se procede a cambiar de banda de frecuencia.
- Se almacenan los registros de cada medición en un computador portátil para leerlos desde la hoja de análisis en Excel diseñada para calcular la radiación medida y compararla con el umbral permitido por la Normatividad K52 [2].
- Se validan los datos obtenidos en las mediciones, comparándolas con la predicción del modelo de Okumura Hata para perfil de ciudad bajamente edificada.

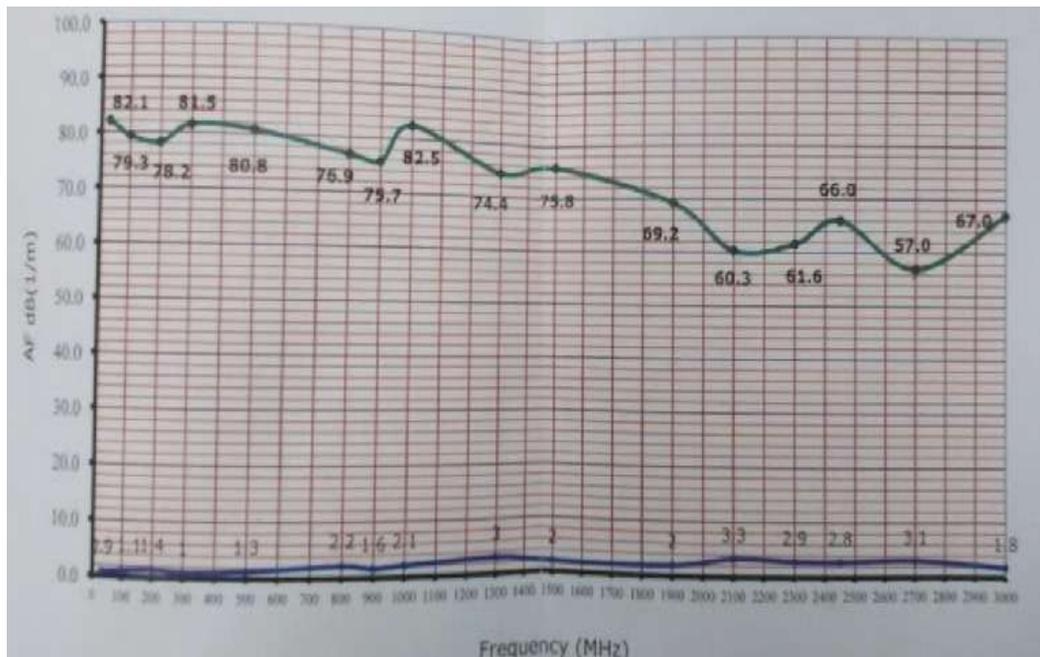
4. Diferencias entre la metodología de medición de la radiación de servicios celulares 4G con la metodología de mediciones de servicios 3G:

Las diferencias con la metodología de mediciones de la radiación de servicios celulares 3G, descrita en el numeral anterior, son las siguientes:

- Se midió la intensidad de campo eléctrico (E) en valor RMS debido a que la tecnología 4G utiliza OFDMA lo que garantiza la disponibilidad del DownLink independientemente del tráfico, a diferencia de las mediciones 3G GSM y UMTS cuya intensidad es dependiente de tráfico, obligando a medir en modo MAXHOLD.

- Se realizaron mediciones en dos bandas de frecuencia. Banda 4, downlink (2110 – 2155 MHz) y uplink (1710 -1755 MHz); banda 7, downlink (2620 – 2590 MHz) y uplink (2500 – 2570 MHz), a diferencia de la Banda única de 850 MHz que se midió con los servicios 3G GSM y UMTS.
- La antena que se usó para las mediciones fue una antena isotrópica Omnifield, modelo OFA-S, que por su patrón de recepción isotrópico da una medición vectorial, a diferencia de la antena Omnilog que se usó en las mediciones 3G, con la que se debieron realizar las mediciones independientemente sobre los 3 ejes de coordenadas X, Y y Z.
- Se programó el vector de parámetros de medición del equipo Analizador de Espectro *Aaronia Espectran HF 6065*: tiempo de muestreo en 28 ms, RBW en 1 MHz y VBW en 3 MHz; estos datos se tomaron de esta manera para estar lo más cerca posible de los índices indicados en las recomendaciones UIT K52 donde el VBW es de 5 MHz; por lo tanto, al contar solo con 3 MHz de VBW, las mediciones debieron ser corregidas multiplicándolas por el factor de corrección correspondiente dado por la Norma K52 (2).
- Se definieron las grillas de medición como de 2 metros de longitud, o sea, 15 longitudes de onda de centro de banda AWS 4, haciendo mediciones cortas de 30 segundos para identificar las celdas con mayor intensidad de radiación en cada piso, a diferencia de las mediciones 3G cortas de 30 segundos con antena omnidireccional y de banda ancha, para detectar las celdas más iluminadas en cada piso.

Figura. 2. Factor de Corrección de Antena



Fuente: elaboración propia 2017

En la figura 2 se muestran los factores de corrección de 69.2 dB para la banda AWS 4 y de 66 dB para la banda 7 de la antena isotrópica Omnifield, modelo OFA-S.

Figura 3. Montaje de la antena OMNIFIELD sobre el trípode de altura 1,5 m y analizador de espectro Aeronia Espectran HF 6065 en el piso.



Fuente: elaboración propia 2017

5. Formato de los archivos guardados en DRIVE / 4G / MEDICIONES /:

Inicialmente se realizó la medición de los espectros de banda de los servicios de 4G en las bandas AWS 4 y 7, para esto se utilizó el equipo analizador de espectro ANRITSU, con la antena 2000-1232-R (banda 7), y la antena P/N 2000-1031-R (banda AWS 4).

Figura. 5. Espectro medido de las Banda 7 con los servicios 4G LTE Advanced

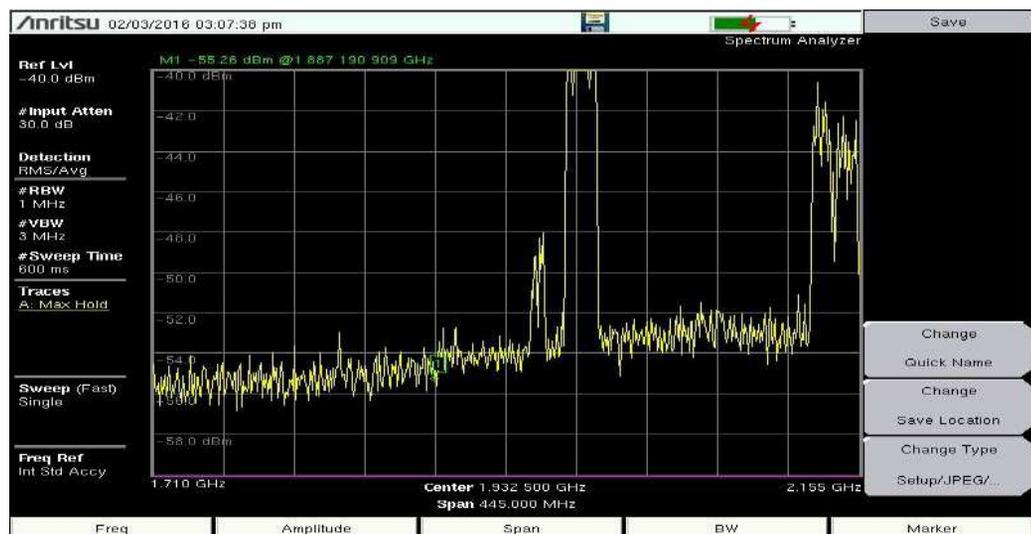
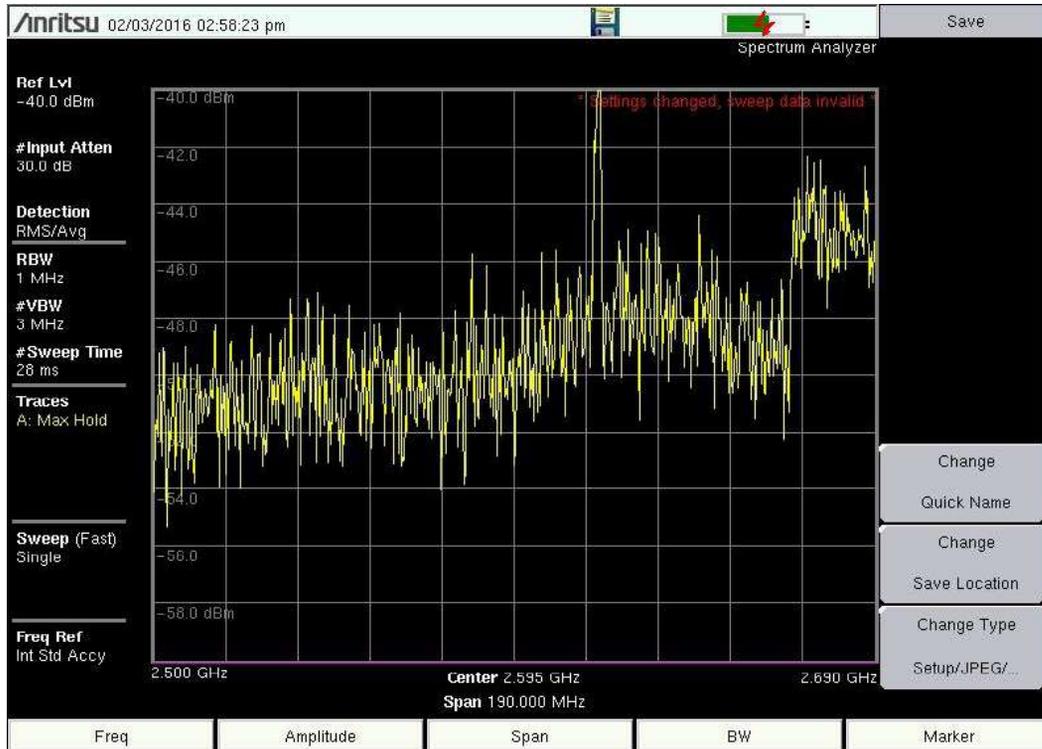


Fig. 4. Espectro medido de la Banda 4 AWS con los servicios 4G LTE Advanced



Con la distribución de frecuencias UpLink y DownLink para los Operadores que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Espectro de Frecuencia con los Operadores Telefonía Celular 4G

BANDA DE FRECUENCIAS	DOWN-LINK (MHz)	UP-LINK (MHz)	OPERADORES	BANDA DE FRECUENCIA DL POR OPERADOR (MHz)	BANDA DE FRECUENCIA UL POR OPERADOR (MHz)
Banda 4	2110 - 2155	1710 - 1755	Avantel	2110 - 2125	1710 - 1725
			Movistar	2125 - 2140	1725 - 1740
			Tigo-Etb	2140 - 2155	1740 - 1755
Banda 7	2620 - 2690	2500 - 2570	UNE	2620 - 2645	2500 - 2525
			Claro	2645 - 2660	2525 - 2540

Fuente: elaboración propia 2017

El formato de los archivos en el que se grabaron las mediciones cortas de 30 segundos y almacenados en archivos compartidos en DRIVE / 4G / MEDICIONES se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Formato de archivo de mediciones cortas con la Celda más iluminada con fondo en amarillo.

Fecha	5/2/2016	FACULTAD DE INGENIERÍA MEDICIONES RAPIDAS DE RADIACIÓN EN TELECOMUNICACIONES 4G												
Celda más radiada en el edificio facultades bloque E piso 1	celda	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	Valor Máximo	
	AWS	37dBu V/m	35dBu V/m	36dBu V/m	37dBu V/m	36dBu V/m	40dBu V/m	36dBu V/m	36dBu V/m	36dBu V/m	35dBu V/m	40dBu V/m	40dBu V/m	40dBu V/m
	Band7	33dBu V/m	32dBu V/m	34dBu V/m	34dBu V/m	32dBu V/m	35dBu V/m	32dBu V/m	32dBu V/m	34dBu V/m	34dBu V/m	35dBu V/m	35dBu V/m	35dBu V/m
Coordenadas														

Fuente: elaboración propia 2017

El Formato del correspondiente archivo con ubicación GPS Google geográfico (Google Earth), de las mediciones cortas y almacenado como archivos compartidos en DRIVE / 4G / MEDICIONES se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Ubicación GPS de punto más iluminado de banda 4 (AWS) con Google Earth.



Fuente: elaboración propia 2017

Finalmente, se hicieron las mediciones largas de 6 minutos en las grillas que resultaron ser las más iluminadas de cada piso del Edificio. El Formato gráfico de éstas mediciones usando el software del analizador de espectro AARONIA A.G., se presenta en la Figura 7.

Figura 7. Formato gráfico de mediciones de 6 minutos usando el software del analizador de espectro AARONIA A.G Pantalla en el PC mostrando resultado de una medición de 6 minutos.



Fuente: elaboración propia 2017

Nótese que en el formato de la imagen se muestra un valor numérico de 17.77 mV/m. Este valor indica la intensidad de campo eléctrico *máximo detectado* en la celda, la gráfica muestra los puntos más altos de las mediciones en un lapso de 40ms, y se repite durante los 6 minutos de la medición.

El software del analizador de espectro AARONIA A.G consigna automáticamente las mediciones en una hoja de cálculo convertible a Excel en el formato que se muestra en la Tabla 3

Tabla 3. Formato del archivo con las mediciones largas de 6 minutos

Timestamp	Measure Unit	2525000000 Hz	2525150000 Hz
2015-10-13T15:25:45,828	V/m	0,001490288647299	0,001498549841257
2015-10-13T15:25:46,088	V/m	0,001445141567527	0,001353883177515
2015-10-13T15:25:46,338	V/m	0,001398702635188	0,001557547112466
2015-10-13T15:25:46,598	V/m	0,001370488491952	0,001494311683316
2015-10-13T15:25:46,848	V/m	0,001496168107741	0,001385291571973
2015-10-13T15:25:47,098	V/m	0,001481615091794	0,001319383935793

Fuente: elaboración propia 2017

Con el vector de parámetros de medición:

Timestamp: En cada celda se indica la fecha y hora de un barrido de medición de 28 ms.

Measure Unit: Muestra las unidades de campo eléctrico de las mediciones, para este caso, voltios sobre metro (V/m).

6. Conclusiones:

En este artículo se compara la metodología usada en las mediciones de los servicios de celular 4G LTE Advanced con la Metodología usada en las mediciones de los servicios de celulares 3G servicios GSM y UMTS.

Las principales diferencias son el uso en las mediciones de 4G LTE Advanced de una antena Omnidirectional con medición vectorial directa a diferencia de la Antena Omnidirectional con mediciones en los tres ejes X, Y y Z y posterior procesamiento de datos vectorial, y la programación de las mediciones 4G en modo RMS debido a que el espectro medido de los servicios 4G LTE Advanced es constante independiente de tráfico por el multiplexaje OFDMA IS 94 en el Down Link a diferencia del espectro 3G GSM multiplexado en TDMA variable dependiente de tráfico que debió ser medido en el modo MAXHOLD.

Los formatos de los archivos con las mediciones se encuentran en el DRIVE / 4G / MEDICIONES y una cartilla completa con la metodología para las mediciones de servicios de celular 4G se puede encontrar en DRIVE / 4G / METODOLOGÍA, archivos del Grupo de investigación de medición de la radiación de los servicios celulares en la localidad de Usaquen.

«, Volumen 13

Referencias

- [1] C Lezama, E Sabogal, F Tellez. «Metodología para hacer mediciones de radiación electromagnética de telefonía celular». *Revista de Tecnología*, Vol. 13. Número 2. p. 67- 76., ISSN 1692-1399,2014.
- [2] www.itu.int «Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos UIT-T K52». 2004.
- [3] www.itu.int «Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas, UIT-T K61» 2009.
- [4] www.itu.int «Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético, UIT-T K83». 2009.
- [5] www.itu.int «Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos» [Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields K.52] Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT, p 1-50.
- [6] www.itu.int "Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas." Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT, p 1-26.
- [7] www.itu.int «Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético» UIT-T K83, Recomendación U.S.C. 2009.