

Metodología para hacer mediciones de radiación electromagnética de telefonía celular

Methodology for doing measurement of electromagnetic radiation of cell phones

Fabio Téllez, Carlos Lezama, Ernesto Sabogal

Resumen

El presente artículo expone los resultados del análisis de las recomendaciones de la UIT-T K.52, K.61 y K.83, de los estudios publicados en Colombia sobre mediciones de radiación electromagnética de los equipos de la telefonía celular y de otros estudios a nivel internacional, con el fin de elaborar una metodología de mediciones para el proyecto de *Mapa de Radiación Electromagnética en Centros Educativos y de Salud de la Localidad de Usaquén*. La metodología propuesta se probó y ajustó durante un año en el campus central de la Universidad El Bosque. Se utilizará en mediciones de las bandas de 850 MHz, uplink y downlink; 1900 MHz, uplink y downlink; y en el servicio TDT, en la banda de 470 - 800 MHz. Los sitios escogidos son los colegios y hospitales de la localidad de Usaquén. Las mediciones se realizarán a una altura de 1 m y se utilizará una antena omnidireccional.

Palabras Clave: Metodología de medición de radiación electromagnética, radiación electromagnética, radiación de telefonía móvil celular, radiación no ionizante, banda de 850 MHz, banda de 1900 MHz, uplink, downlink, TDT.

Abstract

This paper presents the results of the analysis of the ITU-T recommendations K.52, K.61 and K.83, published studies in Colombia and other countries on measurements of electromagnetic radiation due to cellular telephone equipment, in order to develop a methodology for the project *Electromagnetic Radiation Map in Education and Health Centers for the Locality of Usaquén*. The proposed methodology was tested and adjusted for a year in the central campus of the El Bosque University. The methodology will be used in measurements of the 850 MHz band and 1900MHz band, uplink and downlink; and the DTT service in the 470 - 800 MHz band. The chosen sites are schools and hospitals in the locality of Usaquén. Measurements would be made at a height of 1 m and an omnidirectional antenna would be used.

Keywords: Methodology-key measurement of electromagnetic radiation, words; electromagnetic radiation; Mobile Cell Phone Radiation; non-ionizing radiation; 850 MHz band; 1900 MHz band; uplink, downlink, TDT.

Recibido / Received: Agosto 01 de 2014 Aprobado / Approved: Diciembre 03 de 2014

Tipo de artículo / Type of paper: Artículo científico y Tecnológico.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad El Bosque.

Autor para comunicaciones / Author communications: Fabio Téllez, tellezfabio@unbosque.edu.co

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

Introducción

El programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad El Bosque, en el marco de la línea de investigación Efectos de los Campos Electromagnéticos en la Salud y Calidad de Vida, adelanta actualmente el proyecto de investigación Mapa de Radiación Electromagnética en Centros Educativos y de Salud de la Localidad de Usaquén, aprobado en la convocatoria interna de la Universidad El Bosque en 2013.

Con este fin, fue necesario realizar un estudio para fundamentar los parámetros seleccionados para hacer mediciones de radiación electromagnética de la telefonía celular. El estudio se llevó a cabo por los investigadores del grupo de investigación en Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida de la Universidad El Bosque.

Para llegar a la meta propuesta, se analizaron los estudios realizados en Colombia por las universidades durante la última década y, además, se tuvieron en cuenta algunos estudios realizados en otros países.

También, como base fundamental, se analizaron las recomendaciones existentes para estaciones base, dadas por el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (UIT-T), bajo la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), con base en las normas UIT-T K.52 de 2004, UIT-T K.61 de 2008 y UIT-T K.83 de 2009. Además, se estudiaron las normas nacionales de tres países.

En la sección II se muestra la recopilación de estudios y recomendaciones sobre medición de radiación electromagnética. En la sección III se presenta un resumen de los principales hallazgos encontrados en la sección anterior. En la sección IV se hace una discusión sobre los principales parámetros que se usan en la metodología a utilizar en la Universidad El Bosque, que difieren con respecto a la mayoría de los estudios revisados.

En la sección V se presentan las conclusiones sobre la metodología que se va seguir para la realización del Mapa de Radiación Electromagnética en Centros Educativos y de Salud de la Localidad de Usaquén

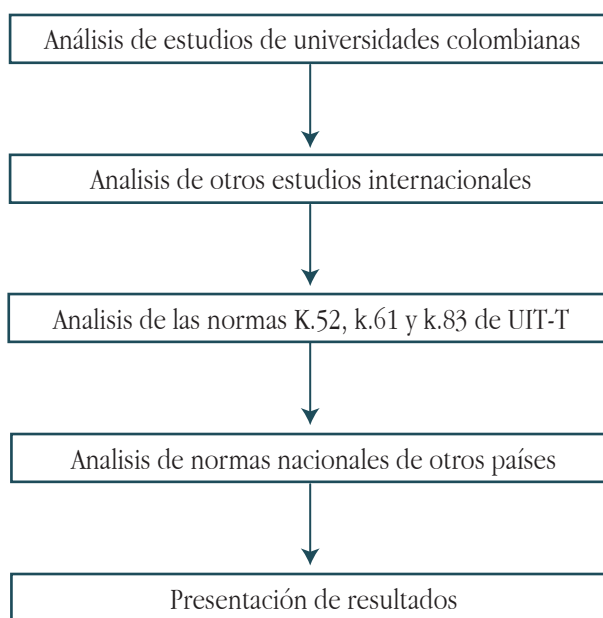
Desarrollo

El proceso de desarrollo para llegar a la metodología que se utilizará se muestra en la Fig. 1.

Universidades colombianas

En Colombia, durante la última década, varias universidades han elaborado estudios sobre la irradiación electromagnética de las estaciones de telefonía celular. Estos antecedentes fueron importantes para el trabajo que realizó la Universidad El Bosque. Se resaltan aquellos trabajos que se orientaron a mediciones concretas.

Figura. 1. Proceso de desarrollo



Los primeros intentos se realizaron por La Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [1] y por la Universidad del Valle [2], quienes hicieron mediciones en campo abierto (outdoor) con antenas isotrópicas bajo la recomendación de la norma UIT-T K.52 de 2004.

Otras contribuciones importantes fueron realizadas en la Universidad Industrial de Santander. En el estudio de Rúgeles [3] se analizaron los límites de exposición de la norma UIT-K.52 [4]; utilizaron antenas omnidireccionales. En otro trabajo Ortega [5] realizó un estudio enfocado al desarrollo de un sistema que midiera la radiación electromagnética (GeoRadScanner) cuyo último fin era el empleo de Google maps. Rodríguez en la UIS también realizó dos estudios [6] y [7] que tuvieron como objetivo la realización de mediciones con el sistema GeoRadScanner.

Los trabajos culminaron con el mapa de radiación de Bucaramanga, destacando que se utilizó el método de interpolación de Krigin en los sitios en que no había información.

En la Universidad Nacional, seccional Manizales, Henao [8], midió la cantidad de radiación electromagnética que recibía el público por la emisión de las radio bases de telefonía móvil. Se escogieron sitios con población sensible y con aglomeraciones de público.

Casi todos los estudios utilizaron antenas isotrópicas y las mediciones se hicieron en campo abierto (outdoor). Todos hicieron las mediciones en campo lejano a una altura de 1.5 metros, o superior, de conformidad con la norma K.52 de la UIT. Sin embargo, Rugeles [3] utilizó antenas omnidireccionales y Rodríguez [6] hizo una medición en el campus de la UIS.

Otros estudios internacionales

A nivel internacional se han desarrollado una variedad de estudios en distintos países; entre los seleccionados se tienen los descritos a continuación.

Hay una serie de estudios que utilizaron antenas isotrópicas y analizadores de espectro. Así, en España, Montaña [9] utilizó el medidor de campo PMM 8053, a una altura de 1.5 m del suelo, en el rango de frecuencias entre 100 KHz y 3 GHz; consideraron las bandas de GSM800 y GSM1900. Se midió el campo eléctrico y el tiempo de medición fue de 6 minutos.

En Holanda, Aerts [10] realizó un trabajo utilizando las mismas frecuencias anteriores; usó el equipo Narda NBM-550 y una sonda isotrópica.

Un conjunto de estos estudios, utilizó, además, dos tipos de equipos. El primero, casi siempre un analizador de espectro, se utilizó para detectar los puntos con mayor intensidad de campo eléctrico. Luego, en éstos, se emplearon equipos menos costosos con antenas omnidireccionales o unidireccionales.

Así, Joseph [11] utilizó un analizador de espectro R&S TS-EMF y una antena isotrópica. Buscaron el punto con mayor intensidad de campo eléctrico para un ancho de banda entre 30 y 3000 MHz; luego, para las mediciones en cada banda, utilizó un medidor personal Eme Spy 120.

Se midieron las frecuencias de celular (uplink y downlink), las mediciones se realizaron outdoor y la variable de medida fue la densidad de potencia

En Turquía, Seyfi [12] midió la radiación electromagnética en el ambiente urbano con un analizador de espectro en la banda de 9 KHz a 3.66 GHz con una antena isotrópica. En las bandas específicas se utilizó una antena omnidireccional por lo que se debió medir en los tres ejes. La altura en que se ubicó la antena fue de 1.7 m.

En Hungría, Thuróczy [12] midió la exposición del público a la telefonía móvil tanto en interiores como exteriores (indoor y outdoor). El equipo se configuró con RBW y VBW en 100 KHz cada uno; la altura de la antena fue de 1.5 m. Las mediciones selectivas se realizaron con el dispositivo de medición personal Antennesa DSP-090.

Cuando los sujetos de medición están a alturas diferentes a las propuestas en la norma UIT-K.61 [13], los estudios varían la altura para ubicar los equipos según el problema que traten. Así pues, en Francia Viel realizó un estudio [14] para determinar cuanta radiación llega directamente al público y si se cumplía con los límites establecidos según la recomendación de la UIT-K.52 [4].

Se utilizó el equipo Eme Spy 120 (medidor personal de radiación) que registró durante 24 horas la radiación recibida por el voluntario; de esta manera, se obtuvo una medición continua y su comportamiento en el tiempo. El equipo se puso en la cintura del voluntario.

Breckenamp, en Alemania, [15] describe un estudio donde se realizaron mediciones en el interior de una edificación, acomodando los medidores personales en la cama de tal manera que se cubrieran las zonas del tronco y la cabeza para conocer cuanta radiación de telefonía celular llega durante las horas de la noche (8 horas).

En Hungría, Juhász [16] realizó mediciones en una escuela para calcular la exposición de los niños a campos electromagnéticos. Se asignaron equipos de medición personal a voluntarios, ubicándoselos en la cintura para simular la altura de los niños.

De manera similar, en Alemania Thomas realizó una investigación [17] con jóvenes y niños más grandes en relación al estudio anteriormente citado, a quienes se les entregó un cinturón con un medidor de radiación

ESM-140 para ajustarlo al hombro. Además, debían disponer de un diario donde describían la rutina de actividades realizadas.

En las ciudades de Besel y Amsterdam, Urbinello [18] utilizó medidores personales Eme Spy 140 y 120 a una altura de 1 m del suelo para capturar la medición del campo eléctrico en el lugar.

También, se encuentran estudios dedicados a observar la variabilidad temporal. Así, en los Países Bajos Bolte [19] realizó un estudio enfocado en observar la variabilidad en el tiempo de la exposición; en este caso se utilizó un medidor personal y se dispuso de antenas omnidireccionales en cada eje con un dipolo.

Frei, en Suiza, [20] elaboró un trabajo con la misma finalidad donde se toman datos cada 90 segundos con el medidor personal Eme Spy 120; el estudio hizo, además, análisis estadístico.

Algunos otros, como Montaña [9], enfatizan la importancia de que la metodología de medición tenga en cuenta la calibración del equipo, de tal manera que se obtenga un margen de variación de medida menor a 4 dB (UIT K.61, 2009).

Otros estudios, insisten en la importancia de evitar interferencias con el personal de medición. Así, en el estudio realizado por Seyfi en Turquía, [12], se ubicó al auxiliar a 2 metros de distancia del equipo de medición. En Holanda Aerts [10] realizó un estudio donde se utilizó 1 m² de área libre alrededor del equipo.

Por otra parte, Joseph [11] enfatiza en su estudio la importancia de tomar los datos referentes al clima en el sitio de medición.

Además, se han realizado algunos estudios que utilizaron sólo medidores personales como [15], [16], [17], [18], [19] y [20].

Normas nacionales de otros países

Australia [22], Irlanda [23] y Mauritania [24] establecieron sus propias normas basadas en recomendaciones internacionales.

Así, la norma australiana se basa en la recomendación de ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing

Radiation Protection) de 1998 [25]. A su vez, la norma irlandesa [23] sigue básicamente los procedimientos señalados en las recomendaciones ECC (02)04 (Electronic Communications Committee), CENELEC EN 50492:2008 y, también, del IMST (Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik GmbH) de Alemania.

El protocolo de Mauritania [24] se basa especialmente en la ECC (02)04 “Measuring Non-Ionising Electromagnetic Radiation (9kHz – 300 GHz)” y en el estándar de IEC 62232 (Determination of RF fields and SAR in the vicinity of radio communication base stations for the purpose of evaluating human exposure). Aplica solamente para las radiobases.

Bajo estas normas, los operadores de esos países están obligados a hacer mediciones que cumplan con los parámetros allí señalados.

Cabe resaltar que el uso de la antena isotrópica es obligatorio, ya no es sólo recomendable.

Resultados

En la Tabla1 se pueden ver los parámetros de los diferentes estudios que más nos interesan para establecer la metodología de medición. Los estudios realizados por las universidades colombianas siguen la norma K.52 de la UIT [15]. Los estudios europeos siguen principalmente la norma EU 1999.

La mayoría de los estudios son hechos en exteriores; los que utilizan PEM (dosímetros personales) se hacen tanto en interiores como en exteriores; los estudios de Breckenkamp [16] (2012), y de Seyfi [12] (2013) se hicieron en interiores. Sin embargo, en general los estudios siguen los pasos de la metodología genérica propuesta por la recomendación K.61 [14].

No hay una metodología única de medición; los parámetros (especialmente la altura de la antena, el tipo de antena utilizada en la medición y la variable a medir) se adaptan al contexto. El tiempo de medición varía según el estudio.

En consecuencia, la metodología de medición fue desarrollada para cada estudio siguiendo las recomendaciones internacionales pero adaptándola a sus necesidades.

Tabla 1. Resumen de algunos parámetros de los estudios

Estudio	Indoor Outdoor	Altura antena	Tipo de antena	Norma	Variable
Henao,2012	Out	1,5 m	Isotrópica	K.52	S
Ortega,2010	Out		Isot.	K.52	
Rodríguez,2011	Out	1.7 m	Isot.	K.52	E
Rosas, 2005	Out	2 m	Omnidir.	K.52	E
Joseph, 2009	Out	1,5 m	Isot.	Cenelec 2008	E
Rodríguez,2010	Out	Carro	Isot	K.52	E
Rugeles,2007	Out	GSP	Varios tipos	K.52	E
Viel, 2012	In/Out	Cintura	No isot		E
Breke- mkamp,2012	Indoor	Cama	PEM		E
Turoczy, 200	In/Out	1,5 m	Omnid	EU 1999	S
Silke, 2008	In/Out	Cintura	PEM		E
Juhasz, 2011	In/Out	Cintura	PEM		E
Urbiniello,2014	Out	1	PEM		E
Seyfi	In	1,7 m	Isot.		E
Aerts. 2013	Out	1,5 m	Isot.		E
Comreg 2014		1,5 m	Isot.		E
Bolte, 2012	In/out	Cintura	PEM		S
Frei,2009	In/Out	Cintura	PEM		S
Montaña, 2011	Out	1,5 m	Varios Tipos		S

En el campus de la Universidad El Bosque, se hicieron pruebas para ajustar la metodología, con los siguientes resultados:

Mediciones en campo abierto

Figura 2. Mediciones por día zona Caduceo

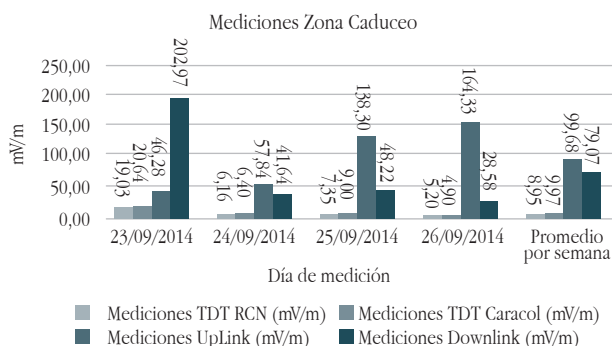


Figura 3. Mediciones por día zona Carpas Blancas

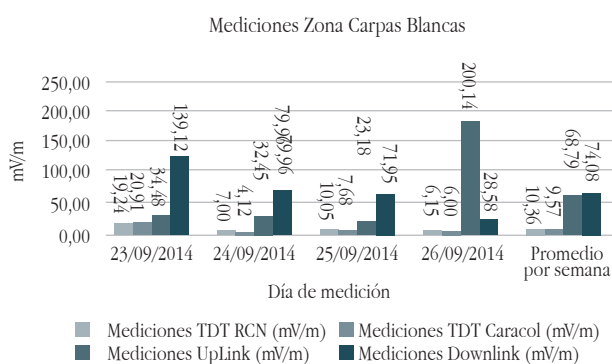
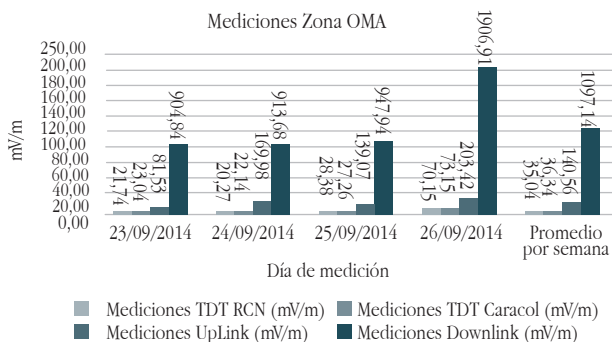


Figura 4. Mediciones por día zona Oma



En las figuras 2, 3 y 4 se puede ver que la radiación recibida por las antenas de los operadores (down) es claramente mayor en las zonas de Oma y, salvo un día, en la de Carpas Blancas. Pero es mayor la radiación generada por los celulares (up) en la zona del Caduceo, salvo un día. Así pues, hay zonas abiertas donde la radiación de los celulares puede ser mayor que la de las radio bases de los operadores.

Medición de recintos cerrados

Figura 5. Mediciones por día edificio El Campito

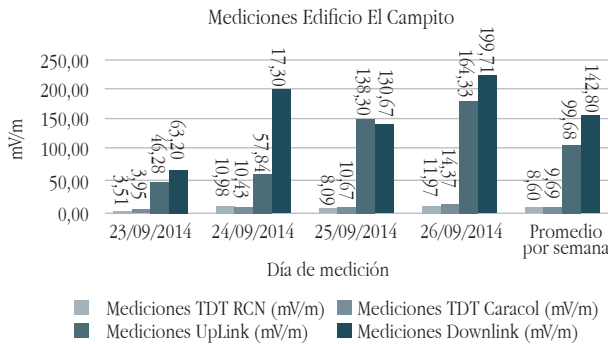


Figura 6. Mediciones por día edificio Bloque A

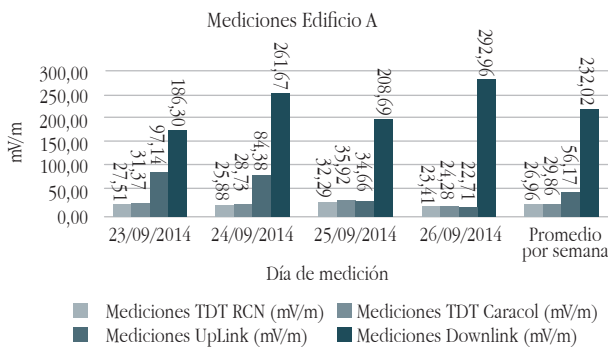
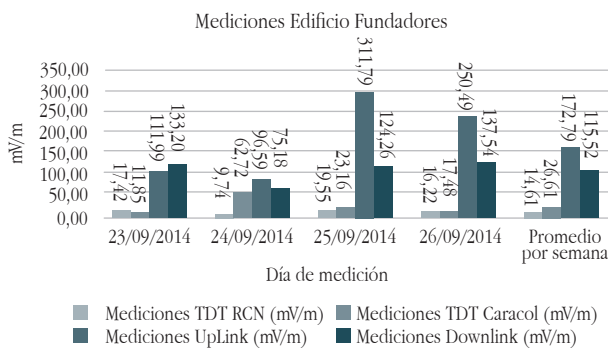


Figura 7. Mediciones por día edificio Fundadores



En las figuras 5, 6 y 7, se puede ver que la radiación recibida por las antenas de los operadores (down) es claramente mayor en el edificio A y mayor en El Campito. En forma contraria, es mayor la radiación generada por los celulares (up), en el Edificio Fundadores. Así que también, en interiores, se tienen casos en que la radiación de los celulares es mayor que la generada por las radio bases de los operadores.

Mediciones en cada uno de los ejes ortogonales

Figura 8. Mediciones en los tres ejes (up) edificio El Campito

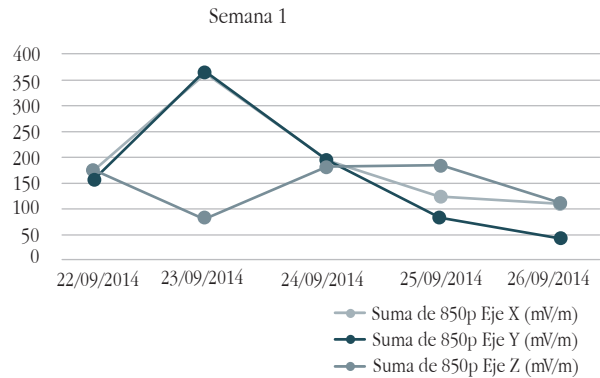
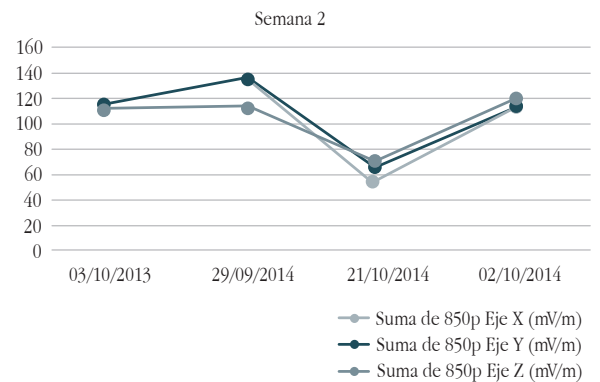


Figura 9. Mediciones en los tres ejes(down) edificio El Campito



Se puede ver (Figs. 8 y 9), que tanto para la radiación generada por las radio bases como por los celulares, los tres ejes ortogonales tienen datos de radiación no despreciables.

Mediciones a diferentes alturas

Figura 10. Mediciones a diferentes alturas (down) zona Oma

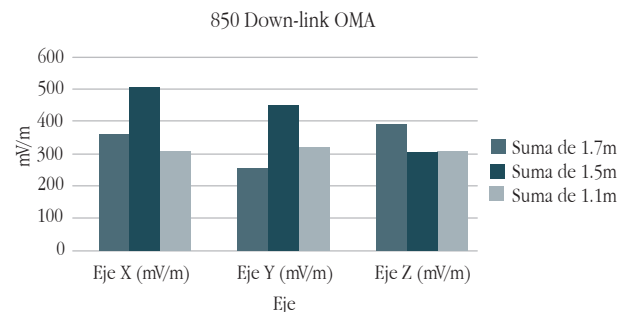
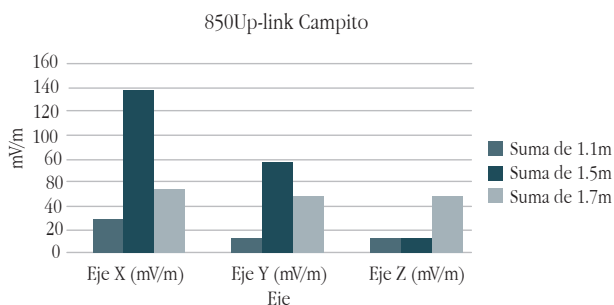


Figura 11. Mediciones a diferentes alturas (up) zona Oma

En las figuras 10 y 11, se ve que los resultados de las mediciones realizadas a diferentes alturas varían, tanto en uplink como en downlink.

Por lo tanto, la metodología de medición del proyecto debe considerar los siguientes pasos en forma genérica.

- Caracterizar el escenario de medición. Se medirá en el campo lejano, en interiores y la variable a medir será el campo eléctrico (E). A partir de ésta, se podrán calcular el campo magnético (H), la densidad de potencia (S) y la tasa específica de absorción (SAR).
- Se definieron 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 1990MHz). Además, TDT en la banda de 470 - 800 MHz.
- Se definió la antena del equipo de medición. Para el proyecto 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.
- Se definió el tiempo de muestreo. El equipo de medición debe tener un tiempo de muestreo máximo de 40 ms, durante los 6 minutos (360 s), es decir, 8800 muestras por cada archivo de medición.
- Se debe identificar el punto o puntos de mayor radiación del sitio. Se hace un barrido en el sitio de medición, para detectar el punto o puntos de mayor intensidad de radiación electromagnética, con un analizador de espectro en banda ancha.
- Se deben tomar las coordenadas del punto o puntos de medición.

- Se debe ubicar el dispositivo en el punto con mayor intensidad de radiación, y ajustar la sonda en la banda deseada. Ésta se coloca sobre un trípode no metálico a la altura deseada.
- El auxiliar de medición debe alejarse por lo menos a un metro de distancia del equipo para no causar interferencias. También debe mantener apagado su celular.
- Al terminar el tiempo de medición, se detiene el equipo y se procede a cambiar de banda de frecuencia.
- Se tienen que almacenar los registros de cada medición en un computador portátil para realizar el análisis pertinente más adelante.
- Se tienen que validar los datos obtenidos en las mediciones.

Discusión

Para hacer una medición en banda ancha la antena debe medir el nivel de radiación electromagnética de múltiples fuentes y en múltiples direcciones. La recomendación UIT-T K.61 [14] recomienda utilizar una antena isotrópica. Sin embargo, para nuestro proyecto optamos por una antena omnidireccional, que puede medir la intensidad de campo eléctrico, provenientes de todas las direcciones pero en un solo plano a la vez. Por lo tanto, se deberán medir secuencialmente los tres ejes ortogonales. La antena seleccionada debe estar dentro del rango de frecuencias en el que desea hacer las mediciones: 850 MHz, uplink y downlink; 1900 MHz, uplink y downlink; TDT 470 - 800 MHz.

Por otra parte, la UIT-T K.61 [14] recomienda medir a 1.7 m, 1.5 m y a 1.2 m. Sin embargo, dado que nuestro público objeto de las mediciones en los colegios estará sentado, se ha decidido tomar las mediciones a 1 m. En forma similar, los pacientes de los hospitales estarán sentados o en la cama: Así que, también se toma una altura de medición de 1m

Conclusiones

No hay una metodología única de medición; los parámetros se adaptan a las variables que se desean medir y al contexto. Lo anterior es cierto en relación a mediciones exploratorias; por otro lado, los operadores de telefonía celular sí se deben ajustar a metodologías de medición dadas por los entes reguladores de cada país.

En consecuencia, la metodología de medición es desarrollada por cada institución siguiendo las recomendaciones de la UIT pero adaptándola a sus necesidades.

Este proyecto tendrá su continuidad considerando, al menos, dos aspectos:

En el primero, se hará un estudio que incluya la banda de frecuencias asignada por el Gobierno Nacional a los operadores en 4G, pues se estima que la radiación puede ser mayor dado que los operadores inicialmente no están dispuestos a instalar más antenas y aumentarían la potencia de las radio bases con el fin de compensar la mayor atenuación debido a la frecuencia superior de la banda 4G.

Por otra parte, el estudio que se está realizando tiene en cuentas los sitios donde está el público objeto del estudio (estudiantes y pacientes), pero no considera que las personas no están permanentemente en un solo sitio. Con este fin, se harán mediciones personalizadas durante 24 horas seguidas a estudiantes de la Universidad El Bosque, utilizando equipos personalizados.

Referencias

- [1] D. Rosas y D. Mejía, “Medidas de parámetros de incidencia de campos electromagnéticos sobre sistemas biológicos en el rango de frecuencia de 50 MHz a 1 GHz,” *Sistemas y Telemática- Universidad ICESI*, 2005, pp.73-99.
- [2] G. Aponte, A. Escobar, C. Pinedo y G. Arizabaleta, “Medición de campos electromagnéticos en la ciudad de Cali, Colombia,” *Información Tecnológica*, 18(3), 2007, pp.39-47.
- [3] J. Rúgeles, A. Oviedo, V. Sánchez y O. Mantilla, “Análisis de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de acuerdo a la norma UIT-K.52 para frecuencias entre 10 kHz y 3 GHz en áreas urbanas de Bucaramanga,” *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 2007, pp.149-158.
- [4] ITU, “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, 2004, pp.1-50.
- [5] H. Ortega, C. Rodríguez y S. Muñoz, “Sistema de escaneo y georeferenciación de radiación electromagnética no Ionizante (GeoRadScanner),” *Revistaesalud*, 6(22), 2010, C. Rodríguez, S. Peña y H. Ortega, “Estudio de los niveles de radiación electromagnética no ionizante en varias zonas de la ciudad de Bucaramanga,” *UIS Ingenierías*, 9(2), 2010, pp.207-218.
- [6] C. Rodríguez, A. Forero y H. Ortega, “Electromagnetic field measurement method to generate radiation map. [Metodología para la medición de campos electromagnéticos para la generación de un mapa de radiación],” *IEEE*, 2011, pp.1-7.
- [7] [7] C. Henao, “Propuesta metodológica para la medición de la contaminación electromagnética y su aplicación en la elaboración de un mapa de riesgo de la ciudad de Manizales,” *Universidad Nacional de Colombia*, 2012, pp.1-134.
- [8] M. Montaña, M. Paniagua, A. Jiménez y A. Antolín, “Exposure to high-frequency electromagnetic fields (100 KHz-2GHz) in Extremadura (Spain),” *Health Phys.*, 101(6), 2011, pp.739-745.
- [9] S. Aerts, D. Deschrijver, L. Verloock, T. Dhaene, L. Martens and W. Jose, “Assessment of outdoor radiofrequency electromagnetic field exposure through hot spot localization using kriging-based sequential sampling,” *Environmental Research*, 126, 2013, pp.184-191.
- [10] W. Joseph, L. Verloock, E. Tanghe and L. Martens, “In-situ measurement procedures for temporal RF electromagnetic field exposure of the general public,” *Health Physics*, 96(5), 2009, pp. 529-542.
- [11] L. Seyfi, “Measurement of electromagnetic radiation with respect to the hours and days of a week at 100 KHz–3 GHz frequency band in a turkish dwelling,” *Measurement*, 46, 2013, pp.3002-3009.
- [12] G. Thuróczy, F. Molnár, J. Szabó, G. Jánossy, N. Nagy, G. Kubinyi and J. Bakos, “Public exposure to RF from installed sources: Site measurements and personal exposimetry,” *National Research Institute for Radiobiology and Radiohygiene*, 2005, pp.1-4.
- [13] UIT, “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 K-61,” Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT, 2009, pp.1-26.
- [14] J. Viel, S. Clerc, C. Barrera, R. Rymzhanova, M. Moissonnier, M. Hours and E. Cardis, “Residential exposure to radiofrequency fields from mobile phone base stations, and broadcast transmitters: A population-based survey with personal meter;” *Occup Environ Med*, 1(66), 2009, pp. 550-556.
- [15] J. Breckenkamp, M. Blettner, J. Schüz, C. Bornkessel, S. Schmiedel, B. Schlehofer and G. Berg-Beckhoff, “Residential characteristics and radiofrequency electromagnetic field exposures from bedroom measurements in Germany,” *Radiat Environ Biophys*, 51, 2012, pp.85-92.
- [16] P. Juhász, J. Bakos, N. Nagy, G. Jánosy, V. Finta and G. Thuróczy, “RF personal dosimetry on employees of elementary schools, kindergartens and day nurseries as a proxy for child exposures,” *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 107, 2011, pp. 449-455.
- [17] S. Thomas, A. Kühnlein, S. Heinrich, G. Praml, R. von Kries and K. Radon, “Exposure to mobile telecommunication networks assessed using personal dosimetry and well-being in children and adolescents: The German MobilEe-study,” *Environmental Health*, 7(54), 2009, pp.1-12.
- [18] D. Urbinello, A. Huss, J. Beekhuizen, R. Vermeulen and M. Rössli, “Use of portable exposure meters for comparing mobile phone base station radiation in different types of areas in the cities of Basel and Amsterdam,” *Science of the Total Environment*, 2014, 1028-1033.
- [19] J. Bolte and T. Eikelboom, “Personal radiofrequency electromagnetic field measurements in the Netherlands: Exposure level and variability for everyday activities, times of day and types of area,” *Environment International*, 48, 2012, pp.133-142.
- [20] P. Frei, E. Mohler, G. Neubauer, G. Theis, C. Braun-Fahrla, J. Bolte, and M. Rössli, (2009). Temporal and spatial variability of personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields,” *Environmental Research*, 109, 2009, pp.780-785.
- [21] ARPANSA (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency), “Radiation Protection Standard, Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields — 3 kHz to 300 GHz,” 2002, pp.1-124.
- [22] ComReg (Commission for Communications Regulation), “Methodology for the Conduct of Surveys to Measure Non-Ionising Electromagnetic Radiation from Transmitter Sites,” Ireland, 2014, pp.1-119.
- [23] ICTA/EMF/01/2012, “In-Situ measurement protocol for determination of RF fields between 80 MHz and 6 GHz in the vicinity of radio communication base stations for the purpose of evaluating general public exposure to non-ionising electromagnetic fields (EMF),” 2012, pp.1-24.
- [24] ICNIRP (International Commission On Non Ionizing Radiation Protection), “Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz),” 1997.
- [25] UIT-T K83. Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético UIT-T K83, Recomendación U.S.C. (2009). pp.1-14.

Los Autores



Ing. Fabio Téllez Barón

Investigador del grupo Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida de la Universidad El Bosque. Docente del Programa de Ingeniería Electrónica. Profesor Asociado.

Ingeniero Electrónico Universidad Distrital. Especialista en Filosofía de la Ciencia de la Universidad El Bosque.



Ingeniero Carlos Lezama Márquez

Investigador del grupo Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida de la Universidad El Bosque. Docente del Programa de Ingeniería Electrónica. Profesor Asociado.

Magister en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Connecticut



Ingeniero Ernesto Sabogal Gómez

Investigador del grupo Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida de la Universidad El Bosque. Docente del Programa de Ingeniería Electrónica. Profesor Asociado.

Magister en Ingeniería de la Universidad de los Andes.