

Caracterización de campos electromagnéticos de alta frecuencia en ambientes urbanos

High Frequency Electromagnetic Fields Characterization in Urban Environments

Adolfo Escobar Ordoñez^a, Héctor Cadavid Ramírez^b, Guillermo Aponte Mayor^c

PALABRAS CLAVES

Ambientes urbanos, campo electromagnético, estaciones base, telefonía celular.

RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados de la caracterización del campo electromagnético producido por sistemas de comunicación inalámbricos, como estaciones base de telefonía celular y antenas de radio y TV, en ambientes urbanos. La caracterización se hizo en 110 sitios de la ciudad de Cali – Colombia durante tres campañas de medición. En general, los valores encontrados fueron inferiores al 5% del límite establecido por la Comisión Internacional para la Protección de las Radiaciones No Ionizantes ICNIRP (0,2 mW/cm²) y adoptado por el gobierno colombiano. Sin embargo, en tres sitios los niveles fueron cercanos a dicho límite y en otros dos fueron superados.

KEY WORDS

Base stations, electromagnetic field, mobile telephone, urban environments.

ABSTRACT

In this paper the results of electromagnetic field characterization produced by wireless communication systems, such radio, TV antennas and mobile telephone base stations in urban environments are presented. The characterization was carried out in 110 sites in the city of Cali - Colombia during three measurement campaigns. In general, the values found were lower than 5% of the reference level established by the International Commission for the Protection of Non-Ionizing Radiation, ICNIRP (0,2 mW/cm²) and adopted by the Colombian government. However, in three sites the measured values were close to this level and in other two sites the level was exceeded.

a PhD. en Ingeniería. Grupo de Investigación en Integración de Soluciones con Tecnologías de Información y Comunicación – GIT, Docente ocasional tiempo completo, Centro de Investigación, Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín, Colombia.

✉ adolfoescobar@itm.edu.co

b PhD. en Ingeniería, Grupo de Investigación en Alta Tensión – GRALTA, Profesor titular, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. Cali, Colombia. ✉ hcadavid@univalle.edu.co

c MSc. en Ingeniería, Grupo de Investigación en Alta Tensión – GRALTA, Profesor titular, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. Cali, Colombia. ✉ gponete@univalle.edu.co

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el rápido desarrollo de las infraestructuras de telecomunicaciones móviles en Colombia y el mundo ha incrementado el número de fuentes de campo electromagnético en el rango de frecuencia de las microondas, principalmente en las zonas urbanas, debido a la proliferación de estaciones base para las comunicaciones móviles. Sin embargo, este fulgurante desarrollo ha generado efectos negativos: el impacto visual, originado en los entornos urbanos por el notable incremento del número de estaciones base de telefonía móvil, y el interés entre el público acerca de los posibles riesgos para la salud de la exposición continua a los campos electromagnéticos emitidos por estas estaciones. Igualmente, muchas personas se quejan de que las estaciones base devalúan sus propiedades, lo que provoca conflictos entre la sociedad, las empresas de telecomunicaciones y las autoridades.

En este contexto, las autoridades de la mayoría de los países han adoptado normas reguladoras en cuanto al despliegue de infraestructuras de servicios radioeléctricos, las cuales afectan diversos aspectos como el urbanístico, el medioambiental o el sanitario. Respecto a este último aspecto, la normativa, basándose en recomendaciones de organizaciones internacionales competentes (ICNIRP, CENELEC, ANSI-IEEE), suele incluir límites máximos de exposición a campos electromagnéticos, de modo que no resulten ser nocivos para la salud. Estos límites, dado el bajo nivel de potencia empleado en las estaciones base de telefonía móvil, son por lo general respetados con un amplio margen de seguridad [1, 2, 3, 4].

Las pautas dadas por la Comisión Internacional sobre Protección a las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) [5] están dadas para dos tipos de exposición: ocupacional y poblacional. La exposición ocupacional consiste en la ocasionada, bajo condiciones conocidas, sobre adultos que han sido entrenados que conocen bien el riesgo potencial y que saben tomar

las precauciones apropiadas. En contraste, la exposición poblacional o del público general es la ocasionada de manera continua sobre grupos de individuos de todas las edades y estados de salud que, en la mayoría de los casos, no tienen conocimiento de su exposición a los campos eléctricos y magnéticos. Estas consideraciones llevan a la adopción de valores más estrictos para el público general que para el sector ocupacional.

En Colombia, el Ministerio de Comunicaciones definió en el Decreto 195 de 2005 [6] los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos producidos por estaciones radioeléctricas en la gama de frecuencias de 9 kHz a 300 GHz. En este decreto, reglamentado por la Resolución 001645 de 2005 [7] y motivado por la creciente demanda de servicios de telecomunicaciones por parte de la población colombiana, se adecúan procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas y se dictan otras disposiciones. Además, los límites adoptados en él son los recomendados por la ICNIRP; en la Figura 1, se pueden observar gráficamente los valores límites establecidos de exposición a campos electromagnéticos en este Decreto.

A pesar de la implementación de estos límites, la inquietud en las personas no ha desaparecido. Por el contrario, a medida que aumente la penetración de la telefonía móvil (y consecuentemente también lo haga el número de estaciones base), el nivel de rechazo de la población al despliegue de infraestructuras radiantes aumentará, a menos que se tomen medidas que generen confianza en la opinión pública, habitualmente propensa a creer informaciones alarmistas, poco rigurosas científicamente y difundidas por cierto tipo de prensa sensacionalista. Por esto, es importante caracterizar los niveles de campo electromagnético producidos por las estaciones base y evaluar si cumplen o no con los límites señalados a nivel nacional e internacional.

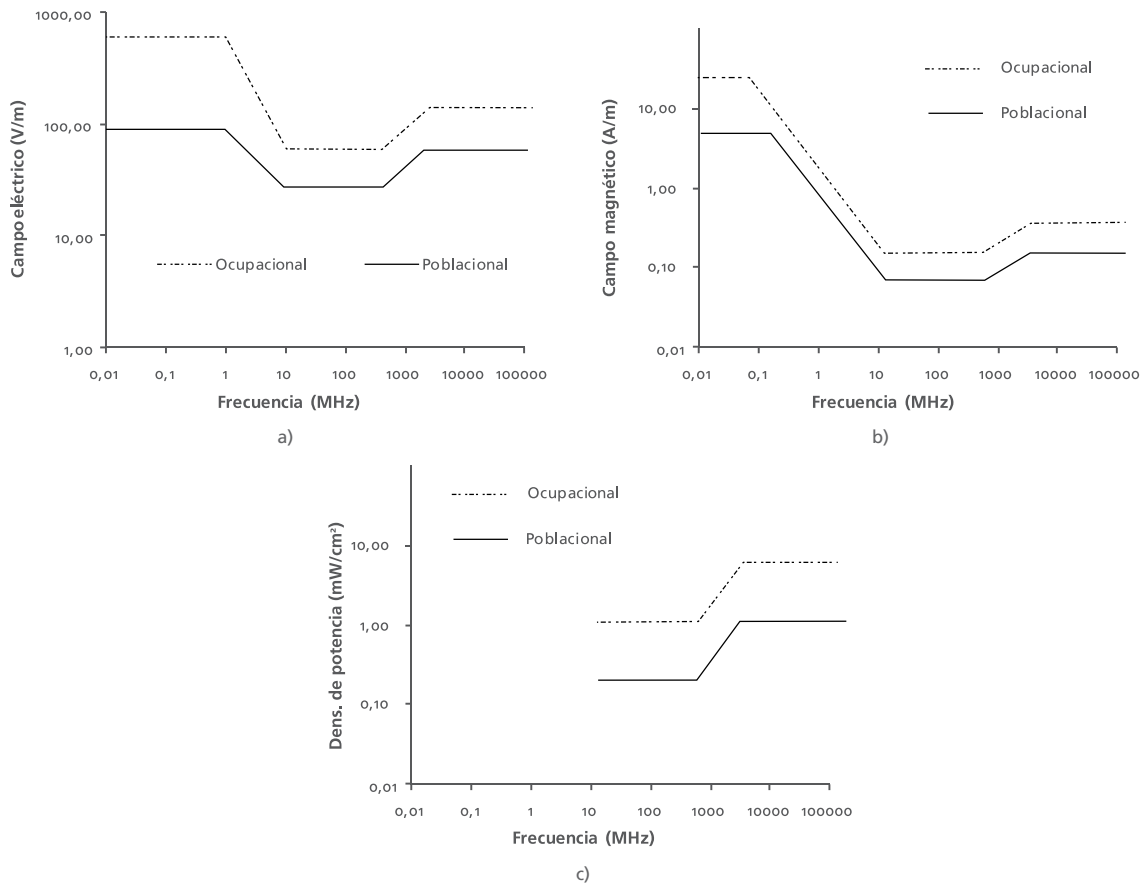


Figura 1. Límites de exposición para a) campo eléctrico, b) campo magnético y c) densidad de potencia [5]

A continuación se presentan los resultados de la caracterización de los niveles de inmisión de campo electromagnético producido por sistemas de comunicación inalámbricos en un ambiente urbano. La caracterización se hizo en 110 sitios de la ciudad de Cali – Colombia, durante tres campañas de medición. Igualmente, se describe el procedimiento de medición utilizado para una primera caracterización. Este procedimiento se basó en recomendaciones y normas internacionales [8, 9].

METODOLOGÍA

Según el tipo de equipo que se use para medir el campo electromagnético, las mediciones se clasifican en mediciones de inmisión y emisión. La primera corresponde a la densidad de potencia total registrada en un punto, sin discriminar su origen y dentro de un margen amplio de frecuencias. La segunda es la origi-

nada por una fuente en particular, la cual opera a una frecuencia específica.

Este trabajo se enfoca en la medición de inmisión en banda ancha ya que, desde el punto de vista de la seguridad, la sumatoria de todas las fuentes de radiación es a la que está expuesta la población. En caso de que los límites de exposición sean superados, se deben realizar análisis más complejos (medición de emisión) a fin de determinar el aporte de una fuente en particular. Este análisis se lleva a cabo con analizadores de espectro.

EQUIPO DE MEDICIÓN UTILIZADO

Las mediciones se realizaron con un medidor isotrópico de campo electromagnético, modelo EMR – 300 de la marca NARDA. Este equipo banda ancha utiliza diferentes sondas, dependiendo de si se desea medir el campo eléctrico o el magnético, y de la banda de frecuencia en la cual se requiere medir. Durante las

mediciones se utilizaron dos sondas: una para campo eléctrico con rango de frecuencia desde 100 kHz hasta 3 GHz y el rango de medida de 0,2 V/m hasta 320 V/m, y otra para campo magnético con rango de frecuencia desde 3 kHz hasta 3 MHz y el rango de medida desde 0,25 A/m hasta 250 A/m. Ambos sensores tienen un error absoluto de $\pm 1,0$ dB y se encontraban calibrados (al igual que el medidor) durante las campañas de medición.

PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Antes de iniciar la medición, se hizo un recorrido por el sitio con el objetivo de reconocer el tipo de instalación. Esto determinó, de acuerdo a las características, los puntos de mayor interés para medir y si existían zonas accesibles para el público en general próximas a la antena radiante más cercana.

En el caso de antenas omnidireccionales situadas en campos despejados y en las afueras de la ciudad (como es el caso de antenas de radio AM), se consideraron cuatro direcciones ortogonales entre sí (perfiles), a partir de la estación base; sobre estos perfiles se midieron tanto los niveles de campo eléctrico como los de campo magnético en al menos cuatro puntos a distancias de aproximadamente 2, 12, 50 y 100 metros de la antena, como se observa en la Figura 2a. Debido a la frecuencia de transmisión de las antenas de radio AM, se debe medir tanto el campo eléctrico como el campo magnético para determinar si el sitio cumple o no con los niveles de máxima exposición permitida.

Por otro lado, existen regiones en sitios elevados dentro o fuera de la ciudad donde se concentran numerosas antenas transmisoras de radio y televisión, que operan con altos niveles de potencia. En estas zonas se hizo una búsqueda preliminar para encontrar los puntos con los niveles más altos y en ellos se midió el nivel de campo eléctrico.

Cuando se realizaron mediciones dentro de la ciudad, como en estaciones de telefonía celular, las distancias y la dirección de los puntos de medición estuvieron condicionadas por la ubicación de las antenas. En este caso, se escogieron tres perfiles de acuerdo a la

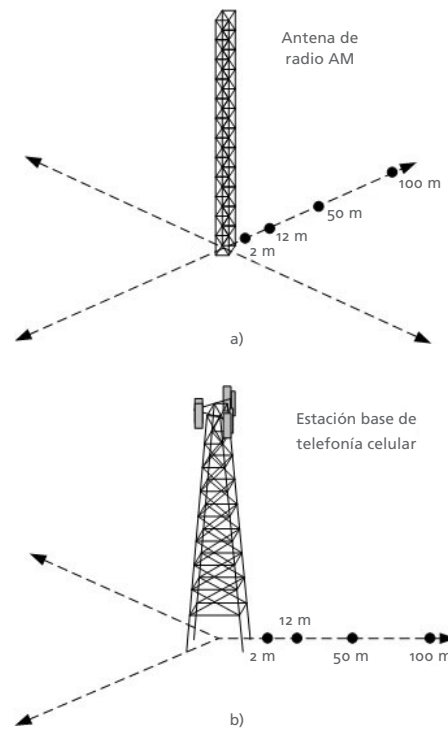


Figura 2. Perfiles de medición para a) antenas omnidireccionales y b) antenas sectorizadas

dirección de máxima propagación de las antenas de la estación base (cada una cubre un sector de 120°) y en cada perfil se midió el nivel de campo eléctrico en al menos cuatro puntos. Ya que en contados casos, debido a problemas de accesibilidad, las mediciones pudieron realizarse a las distancias definidas anteriormente, se establecieron los siguientes rangos para agrupar los datos: 2 metros fueron las realizadas entre 0 y 6 metros, 12 metros entre 6 y 20 metros, 50 metros entre 20 y 70 metros, y 100 metros de 70 metros en adelante como lo ilustra la Figura 2b. El primer punto de medición en cada perfil se definió como el sitio más cercano a la torre de transmisión, dado al interés de los vecinos por conocer los niveles de campo cerca de sus casas.

Para escoger los puntos de medición también se tuvo en cuenta las áreas de concentración de la población en lugares próximos a la estación base, como escuelas, hospitales, parques, etc. Cuando fue posible, se

realizaron mediciones en apartamentos de edificios que estaban a la misma altura de la torre y justo en la dirección del lóbulo principal de la antena.

En la mayoría de los puntos de medición, el sensor se encontraba a una altura de 1,8 metros sobre el suelo y se dejaba registrando por un período de 6 minutos. Se realizaron también mediciones a alturas diferentes, como en el caso de espacios cercanos a escuelas o parques, donde 1 metro puede ser un valor acorde con la altura promedio de los niños. Sobre los datos medidos, se realizó un análisis estadístico descriptivo. Se expresaron los valores medio y máximo, y el porcentaje de los mismos respecto del límite establecido. También se pudieron realizar mediciones a alturas diferentes a 1,8 metros, por la misma razón arriba expuesta.

SITIOS DE MEDICIÓN

Durante las campañas de medición se caracterizaron los niveles de inmisión de campo electromagnético en 110 sitios distribuidos, en distintas zonas de la ciudad de Cali – Colombia, con el propósito de identificar

los niveles máximos de campo a los cuales podría estar expuesta la población. Estos sitios se escogieron teniendo en cuenta las zonas con mayor densidad de antenas instaladas y de manera tal que se lograra una buena cobertura de toda la ciudad. En la Figura 3 se observa la ubicación de los 110 sitios medidos durante las campañas de medición.

RESULTADOS

Es importante señalar que los resultados de las mediciones proporcionan una visión de la situación en un momento determinado del tiempo. Los sistemas de telecomunicación móviles no son infraestructuras rígidas sino más bien dinámicas, que evolucionan y se adaptan a los requisitos. Los transmisores funcionan de acuerdo a la demanda y la potencia de transmisión varía en función del control adaptativo de potencia.

La Figura 4 muestra una distribución del número de antenas medidas durante las tres campañas de medición de acuerdo a su tipo y cantidad. Se puede observar que la mayoría (69%) correspondió a antenas de telefonía móvil celular.

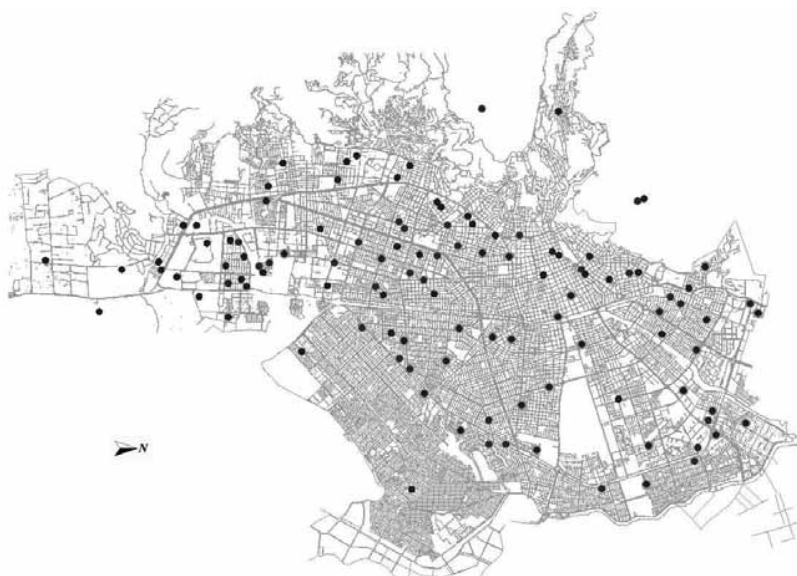


Figura 3. Ubicación de los 110 sitios medidos durante las campañas de medición, Cali - Colombia

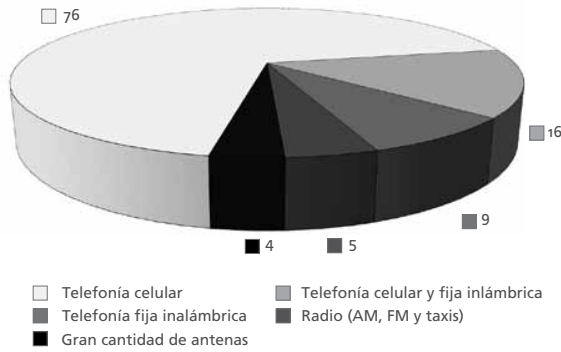


Figura 4. Tipos de antenas medidas

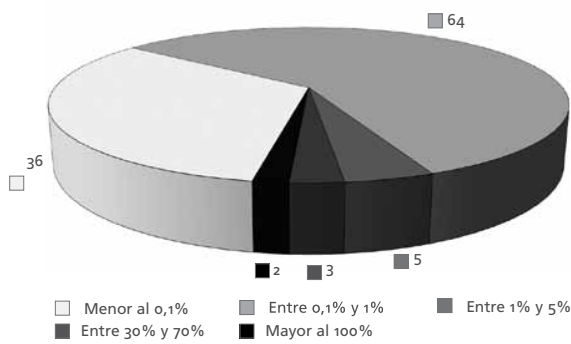


Figura 5. Número de sitios medidos vs. Porcentaje del nivel de referencia (0,2 mW/cm²)

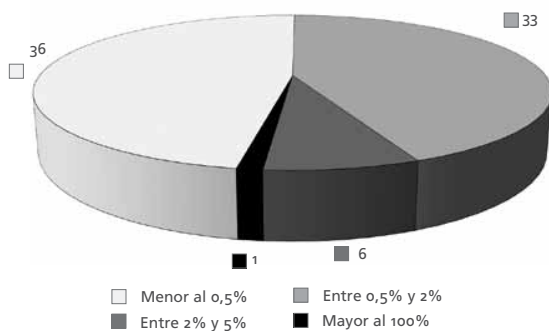


Figura 6. Número de sitios medidos con antenas de telefonía celular vs. Porcentaje del nivel de referencia (0,2 mW/cm²)

Los valores registrados de las mediciones efectuadas en los distintos sitios de la ciudad se compararon con el nivel de referencia de densidad de potencia (0,2 mW/cm²), indicado en el Decreto Colombiano 195 de 2005 [6].

La Figura 5 presenta, sobre el total de 110 sitios, la cantidad de ellos que se encuentran en los rangos de porcentaje indicados con respecto al valor de referencia más bajo. En tres de los 110 sitios medidos (2,7%), el nivel máximo de campo electromagnético estuvo entre el 30% y el 70% del valor de referencia más bajo de densidad de potencia. Correspondían a regiones en los cerros tutelares donde había una gran concentración de antenas. En dos de los sitios (1,8%), una antena de telefonía celular montada en una terraza y una antena de radio AM, se superó este nivel valor. Y en el resto (95%), el nivel máximo de campo electromagnético no superó el 5% del valor de referencia de 0,2 mW/cm².

En la Figura 6 puede verse la cantidad de sitios que se encuentran dentro de los rangos indicados de porcentaje con respecto al valor de referencia de 0,2 mW/cm², sobre el total de 76 sitios medidos con antenas de telefonía celular. Se observa que en la mayoría de los sitios (75), los valores máximos se encontraban por debajo del 5% del valor máximo permitido y que en sólo uno se superó este valor debido a malas prácticas de instalación de una de las antenas.

CONCLUSIONES

Aunque la intensidad de campo electromagnético radiada por las estaciones base y los demás sistemas inalámbricos se puede predecir teóricamente, el ambiente real siempre se desvía del modelo ideal. Esto hace que las mediciones sean indispensables.

En general, los niveles de campo medido en los 110 sitios fueron muy inferiores al nivel de referencia establecido en el Decreto colombiano. Sólo se encontraron cinco sitios de especial interés; en tres de ellos, debido a la gran concentración de antenas, los valo-

res máximos estaban cercanos al nivel de 0,2 mW/cm². En el futuro, antes de instalar de nuevas antenas en estos sitios, se debe hacer una evaluación previa para no sobrepasar los límites de referencia.

En los otros dos sitios de especial interés, una antena de radio AM y una antena de telefonía celular instalada en la terraza de un edificio, los niveles máximos de campo superaron el nivel de referencia. En estos dos casos sería suficiente colocar un encerramiento alrededor de la antena, con el fin de restringir el acceso de las personas a las zonas de máxima exposición. No obstante, tanto en los sitios donde se sobrepasaron los límites como en aquéllos donde se estuvo cerca de hacerlo, se deben realizar mediciones exhaustivas (emisión) con el fin de identificar de forma clara las diferentes fuentes que puedan estar aportando al campo en ese sitio.

Como trabajo futuro, se espera continuar con la campaña de mediciones con el fin de cubrir toda la ciudad y aumentar el rango de frecuencia de los equipos, para evaluar los servicios de telecomunicación con frecuencias superiores a 3 GHz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **B.S.M.C. Galvao, G. Santos, H. Onusic, L. Sant'Anna.**
 “Electromagnetic Environmental Measurements in Specific Populated Areas of Brazil”. Presentado en: *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC'2001*. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=00950554>
- [2] **M. Bangay, S. Henderson.**
 “Survey of RF exposure levels from mobile telephone base stations in Australia”. *Bioelectromagnetics*. Vol. 27, No. 1, January 2005, pp. 73-76.
- [3] **C. Giliberti, F. Boella, A. Bedini, R. Palomba, L. Giuliani.**
 “Electromagnetic Mapping of Urban Areas: The Example of Monselice (Italy)”. *Progress in Electromagnetics Research Symposium*. PIERS Online, Vol. 5, No. 1, 2009, pp. 56-60.
- [4] **J.K. Amoako, J.J. Fletcher, E.O. Darko.**
 “Measurement and Analysis of Radiofrequency Radiations from Some Mobile Phone Base Stations in Ghana”. *Radiation Protection Dosimetry*. Radiat Protect Dosim, Vol. 135, No. 4, 2009, pp. 256-260.
- [5] **ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection).**
 “Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)”. 1998. Disponible en: <http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>
- [6] **Ministerio de Comunicaciones de la República de Colombia.**
 “Decreto 195 del 31 de Enero de 2005”.
- [7] **Ministerio de Comunicaciones de la República de Colombia.**
 “Resolución 001645 del 29 de julio de 2005. Por la cual se reglamenta el Decreto 195 de 2005”.
- [8] **CNC, Comisión Nacional de Comunicaciones.**
 “Resolución 117/2003: Evaluación previa a la instalación de antenas emisoras de conformidad con los parámetros de la Res. 202/95”, Argentina, 2003.
- [9] **IEEE.**
 “Std. C95.3, IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz–300 GHz”. The Institute of Electrical and Electronic Engineers, 2002.