

Evaluación de niveles de exposición electromagnética causados por las estaciones base de telefonía móvil celular^{*1}

[Assessment for electromagnetic exposure level caused by cellular mobile transmitting antennas in base station]

WALDER DE JESÚS CANOVA GARCÍA²

RECIBO: 20.02.2014 – APROBACIÓN: 14.07.2014

Resumen

El creciente número de estaciones base de telefonía móvil celular alrededor de sectores residenciales o tránsito de personas, causa preocupación en la comunidad sobre si la radiación de campos electromagnéticos puedan causar riesgos en la salud. Internacionalmente existen estándares que establecen límites a las diversas fuentes de campos electromagnéticos para garantizar que se minimizan los riesgos en la salud. Cada país adopta dentro de su legislación algún estándar o recomendación y exige su cumplimiento a los operadores de estaciones de telecomunicaciones, por ejemplo en Colombia rige el decreto 195 de 2005. El artículo presenta una evaluación, basados en mediciones técnicas en el 2010, para obtener los niveles de exposición a campos electromagnéticos generados por las antenas instaladas en las estaciones base de telefonía móvil.

* **Modelo para la citación de este artículo:**

CANOVA GARCÍA, Walder de Jesús (2014). Evaluación de niveles de exposición electromagnética causados por las estaciones base de Telefonía Móvil Celular. En: Ventana Informática No. 31 (jul-dic). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 25-41. ISSN: 0123-9678

- 1 Artículo de investigación científica y tecnológica proveniente del proyecto *Estudio y obtención de los niveles de exposición a campos electromagnéticos causados por las antenas instaladas en las estaciones base de telefonía móvil: Análisis crítico de la normatividad colombiana adoptada al respecto*, ejecutado en el periodo 08.2009-07.2010, inscrito en el Grupo de Investigación Aplicada en Señales y Sistemas, GUIAS [Tesis para el título de Maestría en Ingeniería, Área: Electrónica y Computadores de la Universidad de los Andes, con asesoría de PhD. Roberto Bustamante Miller].
- 2 Ingeniero Electrónico, Magíster en Ingeniería: Electrónica y Computadores. Docente de planta, Universidad Los Libertadores (Bogotá, Colombia). Correo electrónico: wdcanovag@libertadores.edu.co y wjcanova@gmail.com

Luego aparece el procedimiento general de mediciones, donde incluye el plan ejecutorial de mediciones, la configuración de la instrumentación y la caracterización de los lugares y puntos de medición. Por último, los resultados medidos en algunos lugares, donde las antenas de transmisión cumplieran con la normativa adoptada en Colombia.

Palabras Clave: *Exposición a campos Electromagnéticos, Estaciones base de Telefonía móvil celular, Mediciones de banda angosta.*

Abstract

The growth of installations of transmitting antennas on base stations surrounding residential spaces or person traffic causes concerns in the community, about whether the radiation of electromagnetic fields of transmitting antennas in mobile base station can generate health risk. Over the world, there are standards that establish maximum levels permitted to different electromagnetic field sources to accomplish security ranges for health risks. Each country adopts in their legislation some international standard and requires to telecommunication operators stations for its compliance. In Colombian, the decree 195 of 2005 is still valid. This article shows an assessment, based on technical measurements developed in 2010, to acquire the electromagnetic field exposure levels generated by transmitting antennas installed on Mobile Base Station. This assessment includes the measurement system procedure: plan of measurement, instrumental configuration, and characterization of measurement places. Finally, here presents the measured results in some places, which exposure levels satisfied the adopted legislation in Colombia.

Keywords: *Electromagnetic Field Exposure, Mobile Base Stations, Narrowband Measurement.*

Introducción

El reciente desarrollo de las comunicaciones móviles, ha impulsado el aumento de instalaciones de estaciones base de telefonía móvil en las ciudades incluyendo zonas densamente poblacionales. Los niveles de emisión electromagnética producidos por las antenas de transmisión instaladas en las estaciones base de sistemas de radiofrecuencia, y expuestas al área de alrededor, es lo que se denomina niveles de exposición a campos electromagnéticos. Estos niveles de exposición

generan preocupaciones sobre una posible afectación en la salud debida a estas fuentes de emisión. Sin embargo, no hay evidencias que muestren que las antenas de estas estaciones base generen unos niveles de exposición que puedan causar riesgos en la salud pública. Por ello, se diseña en este estudio, un plan general de mediciones de exposición electromagnética alrededor de las estaciones base de la telefonía móvil en la ciudad de Bogotá. El objetivo al final de estas mediciones de campo electromagnético es realizar una comparación con los niveles permitidos que se establece en los estándares internacionales y adoptados en la normatividad colombiana.

Con base en algunos estándares de organismos internacionales como el Comité Internacional sobre la Protección a Radiación No-Ionizante (ICNIRP, por sus siglas en inglés), el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés) y en normativas de países como España, Argentina y Brasil, se pretende diseñar un plan general de mediciones de campos electromagnéticos, obtener los niveles espectrales de los campos electromagnéticos, hacer el análisis respectivo y comparar los resultados con lo establecido en la norma colombiana. El plan de mediciones debe considerar los tipos de instrumentación a utilizar junto con su calibración y programación de medidas; el protocolo de medidas para determinados sitios de medición, establecer los puntos de medición alrededor de la estación base y la cantidad de muestras a medir. Finalmente, el plan de mediciones considera la forma de adquisición y programación de los datos, así como la adecuada presentación, control y comparación de los resultados.

Dentro de un procedimiento de medición de niveles de exposición a campos electromagnéticos es necesario definir, configurar y caracterizar los equipos de medición, tanto la antena de recepción que captará los niveles de emisión electromagnética, como el equipo de visualización de éstos niveles en unidades electromagnéticas (unidades de campo eléctrico, magnético o potencias o densidades de potencia) y también caracterizar el cable de pérdidas que conecta equipos con antena. Finalmente, después de la captura y visualización de la exposición a campos electromagnéticos, se procede a efectuar un análisis computacional y matemático de los datos tomados. Los equipos de medición utilizados están definidos dentro de la categoría de la instrumentación de banda angosta, donde hay que definir un rango de frecuencias de operación para obtener los niveles medidos de radiación electromagnética.

En Colombia, en el 2005 se efectuó un procedimiento similar, descrito por Rosas & Mejía (2005), donde desarrollaron un procedimiento de medición de banda ancha en un rango de frecuencias entre 54 MHz y

1 GHz y se obtuvieron unos niveles de exposición a campos electromagnéticos menores al 1% con respecto al límite máximo permitido. Estas mediciones se efectuaron en los sectores de Suba y El Chicó de la ciudad de Bogotá. En el 2007, la Universidad del Valle y el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente, DAGMA, según Aponte et al. (2007), presentaron un informe de medición de campos electromagnéticos en la ciudad de Cali, donde los resultados obtenidos con medición de banda ancha, la mayoría fueron menores al 5% de los límites permitidos, pero, dos muestras superaron los límites establecidos en el país.

1. Fundamento teórico

1.1 Niveles de exposición a campos electromagnéticos

Son los niveles de radiación producidos por un campo electromagnético debido a una fuente de radiofrecuencia expuesta al entorno que le rodea. ICNIRP (1998) e IEEE (2006), coinciden en que estos niveles son establecidos para que se cumplan las restricciones básicas de riesgos en la salud humana. Deben diferenciarse las restricciones básicas (se refieren a la absorción de los campos EM en la piel) de los niveles de exposición (la intensidad de campos EM producidas por una fuente de RF). Cabe anotar que las restricciones básicas se refieren para evitar que los niveles de radiación no ionizante generen peligros en la salud debido a la absorción de energía por calentamiento electromagnético que puede causar quemaduras en la piel (superficie que absorbe los campos electromagnéticos).

Existen dos tipos de niveles exposición a campos electromagnéticos: de tipo público, que se refiere a la exposición de una persona en campo lejano a la fuente de radiación y sin ser consciente de estar expuestos a dichos campos; y de tipo ocupacional, referido a la exposición en campo cercano de la fuente de radiación y con la conciencia de estar expuesto a los campos EM, se describe en un entorno laboral. Es claro que los niveles ocupacionales son mayores que los públicos, debido a que si se cumplen allí, se cumple para todo público.

1.2 Variables y unidades

Los niveles de referencia permitidos, de exposición a campos electromagnéticos, establecidos por ICNIRP (1998), se expresan en términos de la intensidad de campo eléctrico (E) con unidades de [V/m], la intensidad de campo magnético (H) en [A/m] y la densidad de potencia (S) en [W/m²].

Las bandas de frecuencia de interés para el presente documento serán las frecuencias atribuidas por el Ministerio de Tecnologías de Información y Telecomunicaciones para los sistemas de Telefonía Móvil Celular: 824-849 MHz, 869-894 MHz; y Sistemas de Comunicación Personal (PCS): 1710-1910 MHz, 1960-1990 MHz (MinTIC, 2010)

1.3 Marco legal

Se presenta el marco que regula los niveles de exposición electromagnética en Colombia y otros países, además de algunos estándares, adoptados por normatividades nacionales.

1.3.1 Normatividad colombiana. El decreto 195 del 2005 *«adopta límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, se adecuan procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas y se dictan otras disposiciones»* Ministerio de Comunicaciones (2005a). El decreto se aplica a *«quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones en la gama de frecuencias de 9 kHz hasta 300 GHz»*; y atendiendo las recomendaciones de la UIT (2005), obliga a los prestadores de servicios y actividades de Telecomunicaciones a entregar al Ministerio *«en un plazo no superior a dos años la Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica de todas sus estaciones radioeléctricas, el que harán constar el cumplimiento de los límites»*, y presenta otras disposiciones sobre la aplicación, vigilancia, control, plazos, mediciones, nuevas instalaciones, etc. Sin embargo, el parágrafo del artículo segundo establece que el decreto no *«aplica a emisores no intencionales, las antenas receptoras de radio frecuencia, fuentes inherentemente conformes³ y equipos o dispositivos radioeléctricos terminales de usuario»*.

La Resolución 001645 de 2005 (Ministerio de Comunicaciones, 2005b, 5-6), reglamenta el decreto 195 del 2005, en aspectos como la ampliación de las Fuentes Inherentemente Conformes, que incluyen a los servicios de Telefonía Móvil Celular, Servicios de Comunicación Personal, Sistemas de Acceso Troncalizado, Radiodifusión AM y FM y sistemas convencionales de radiocomunicación. En consecuencia, los operadores de telefonía móvil celular no están obligados a presentar la declaración de conformidad y por ende, a no evaluar los niveles de exposición electromagnética que causen las antenas instaladas en sus estaciones base. Los límites máximos permitidos adoptados en la normatividad colombiana son los recomendados por ICNIRP (Tabla 1) para el rango de frecuencias que incluyen los servicios de telefonía móvil celular y sistemas de comunicación personal.

³ UIT (2005, 36) define a las fuentes inherentemente conformes como aquellas que tengan una PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) menor de 2 W.

Tabla 1. Niveles de referencia para exposición a campos electromagnéticos para el rango de frecuencia de 400 MHz – 2000 MHz. (ICNIRP, 1998, 19)

Tipo Exposición\Variable	E – Field (V/m)	H – Field (A/m)	Power Density
Niveles de Exposición Público en General	$3f^{1/2}$	$0.008 \cdot f^{1/2}$	$f/40$
Niveles de Exposición Ocupacional	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 \cdot f^{1/2}$	$f/200$

f en MHz

1.3.2 Normatividad en España y otros países. La normativa existente en España donde incluye un procedimiento de evaluación de los niveles de radiación electromagnética se reglamenta en el Real Decreto 1066 de 2001, que acoge la recomendación 1999-519-CE (Consejo de la Unión Europea, 1999), así como los límites establecidos por la ICNIRP con respecto a los niveles de exposición a campos electromagnéticos, tanto ocupacional como público, también que las licencias tipo B2 y C2⁴ deben presentar ante el Ministerio de Ciencia y Tecnología, una certificación emitida por un técnico competente que se respetan los límites de exposición establecidos por la norma en el último año (MCyT, 2001). La Orden Técnica CTE/23/2002 (MCyT, 2002), que complementa al Real Decreto 1066 del 2001, tiene por objeto regular las condiciones, contenido y formatos de los estudios y certificaciones que los operadores de servicios de radiocomunicación deben presentar al Ministerio de Ciencia y Tecnología.

1.4 Marco metodológico

El artículo pretende proponer al lector un protocolo de evaluación de los niveles de exposición a los campos electromagnéticos causados por fuentes de radiofrecuencia. Además, el proyecto va más allá de un

- 4 De acuerdo con CMT (2001, 342-343), las licencias para el establecimiento o explotación de redes públicas de telecomunicaciones y para la prestación del servicio telefónico disponible al público, son:
- Licencia tipo A: habilita para la prestación del servicio telefónico fijo disponible al público, mediante la utilización de un conjunto de medios de conmutación y transmisión, sin asumir para ello los derechos y obligaciones de licencia B o C, en relación con el establecimiento o explotación.
 - Licencia tipo B1: habilita para la prestación del servicio telefónico fijo disponible al público, mediante el establecimiento o la explotación, por su titular, de una red pública telefónica fija.
 - Licencia de tipo B2: habilita para la prestación de servicio telefónico móvil disponible al público mediante el establecimiento o explotación, por su titular, de una red pública telefónica móvil.
 - Licencia de tipo C1: habilita para el establecimiento o explotación de redes públicas.
 - Licencia de tipo C2: habilita para el establecimiento o explotación de redes públicas que impliquen el uso del dominio público radioeléctrico.

procedimiento técnico de medición sino que presenta unos resultados y hace un análisis acerca de la normatividad existente en el país al respecto.

La metodología propuesta inicia definiendo y caracterizando el sistema de mediciones: respecto a los equipos de medición, su configuración y correcta calibración; después se enfoca en la definición y descripción de los escenarios adecuados para efectuar la evaluación de campos electromagnéticos; después la definición de los sitios y puntos de medición; una etapa dentro del proceso metodológico es la toma, el manejo y el análisis de los datos y su proceso de comparación con los niveles de referencia. Y finalmente, se emite un concepto acerca de los resultados y se saca unas conclusiones y recomendaciones para tener en cuenta en futuras evaluaciones. También se tendrá en cuenta los puntos débiles en que falla el procedimiento adoptado.

2. Metodología de mediciones

2.1 Instrumentación y configuración

En general, los instrumentos de medición de radiofrecuencia constan de un detector o sensor de campos electromagnéticos, un dispositivo métrico de procesamiento y un medio físico para transmitir las señales detectadas, asegura Industry Canada (2005, 8). Estos instrumentos se clasifican en de banda ancha y de banda estrecha. Los primeros, utilizados para mediciones de inmisión, tienen una respuesta uniforme sobre un amplio rango de frecuencias sin requerir sintonización y miden campos electromagnéticos producidos por fuentes de radiación RF de múltiples frecuencias. Los segundos, utilizados para mediciones de emisión, de acuerdo con Industry Canadá (2005, 8) y CNC (2004, 8), pueden ser utilizados en un rango de frecuencia pero tiene un ancho de banda de recepción angosto sintonizado alrededor de la frecuencia de operación de la antena de transmisión.

Las mediciones se pueden efectuar en dos fases, con cada uno de estos instrumentos, o en una sola fase con la instrumentación de banda angosta, dependiendo de los niveles de exposición evaluados y de la disposición del equipo de banda ancha, señala el MCyT (2002, 5-6). Debido al interés de evaluar la radiación electromagnética causada por antenas de telefonía móvil celular y una disponibilidad inmediata, se seleccionó la instrumentación de banda angosta para efectuar las mediciones de los niveles de exposición electromagnética.

2.2 Medición de emisión

Las mediciones de emisión se efectúan para obtener intensidades de radiaciones electromagnéticas producidas por una única fuente de campos a una determinada frecuencia de interés, utilizando, según Higuero (2008, 20-25), instrumentos de banda angosta, que constan de un analizador de espectros conectados con antenas receptoras diseñadas para responder a un rango de frecuencias, mediante un cable coaxial sin pérdidas.

2.2.1 Analizador de Espectros. Los analizadores de espectros actuales pueden ser utilizados en un amplio rango dentro del espectro de radiofrecuencias, dependen del modelo y del fabricante⁵. La visualización de una componente espectral en este analizador depende de tres parámetros: la frecuencia central, el ancho de banda y el *span* de medición. De acuerdo con Hewlett Packard (1998, 41-79), el primero ajusta la frecuencia de operación del servicio que se está evaluando; el segundo es la banda de medición alrededor de la frecuencia de sintonización, para determinar las componentes espectrales significativas, y el tercero es la división de la pantalla de medición dentro del ancho de banda.

Después de configurar el eje de la frecuencia del analizador de espectros, se configura, según los requerimientos de medición, la amplitud de medición de la componente espectral⁶. Específicamente, el parámetro que convierte unidades de tensión (dBmV o dBμV) en unidades de campo eléctrico es el *factor de antena* expresado en [m⁻¹ o dB (1/m)], por ende, la expresión se define como:

$$E[dB\mu V / m] = V_i[dB\mu V] + k[dB(1 / m)] - LOSS[dB],$$

donde V_i es el nivel de espectro medido, k es el factor de la antena de recepción y LOSS son las pérdidas en el cable que conecta la antena de recepción con el analizador de espectros.

La configuración del analizador de espectros, que describen matemáticamente Olivier & Martens (2005, 2) y Joseph, Olivier & Martens (2008, 2), consiste en ajustar los distintos parámetros de visualización de los espectros en la pantalla del analizador, de acuerdo con Packard (1998, 53-63):

5 Por ejemplo, el modelo HP8595E fabricado por *AGILENT Technologies*, utilizado en el proyecto, presenta un rango de operación de radiofrecuencia de 9kHz–6.5GHz, es decir, es sintonizable en las frecuencias que opera la telefonía móvil.

6 Se expresa en unidades de voltaje, dBmV o dBμV, o potencia espectral, dB o dBm. Sin embargo, las unidades para comparar con los niveles de referencias presentados en los estándares y normas internacionales, se expresan en campo eléctrico o en densidad de potencia, por ello las mediciones deben ser convertidas matemáticamente a dichas unidades de medición. $V[dBmV] = 20 \cdot \log(V[V]/1mV)$ igual con las unidades de dBμV y los dBm de la potencia.

- La frecuencia central es el centro de la banda de frecuencias de operación y el *span* es la asignación de la división de la pantalla de visualización alrededor de la frecuencia central. Juntos deben coincidir con las bandas de telefonía móvil celular y de PCS. Como alternativa de ajuste, existe una opción de establecer frecuencia inicial y frecuencia final.
- Ancho de banda de resolución (*Resolution Bandwidth*, RBW) establece cada cuanto (en Hz) se tomarán las componentes espectrales. Junto con el número de puntos configuran la resolución del analizador de espectros.
- El analizador de espectros HP8505E ajusta automáticamente otros parámetros como el tiempo de barrido (*Slew Rate*, SR) y el ancho de banda de video (*Video Bandwidth*, VBW).

2.2.2 Antena de recepción, cable de bajas pérdidas y otros implementos. El segundo elemento que hace parte de un sistema de medición de banda angosta es la antena de recepción⁷, para cuya selección adecuada deben considerarse la frecuencia de operación, la ganancia y el factor de antena, parámetros que, además del certificado de calibración por parte del fabricante, deben estar documentados claramente en la hoja de especificaciones de la antena receptora. Para las pruebas se dispuso de una antena log-periódica 3144 fabricadas por ETS-Lindgren, que opera en el rango de 80 MHz a 2 GHz, con impedancia de 50 ohm, caracterizadas para mediciones de emisiones de fuentes electromagnéticas.

La antena de recepción se conecta con el analizador de espectros mediante un cable coaxial de bajas pérdidas, con impedancia de 50Ω y conectores compatibles con el analizador de espectros (tipo N) y la antena receptora (BNC). Se debe considerar la menor longitud (preferiblemente <3m), para que las pérdidas tiendan a ser despreciables. Antes de iniciar las mediciones en un lugar, el analizador de espectros debe calibrarse con respecto al cable coaxial de bajas pérdidas, mediante su función *Autocal* (auto-calibración). Hay otros equipos, como el trípode de soporte para la antena receptora y el equipo de adquisición de datos del analizador de espectros (tarjeta y adaptador PCMCIA), que complementan las mediciones de inmisión.

2.3 Escenarios de medición

Los escenarios de medición pueden variar de una estación base a otra, y dependerá de: la antena de transmisión (omnidireccional o direccional), emplazamiento de la estación base (torres exclusivas o sobre terrazas de edificaciones), cohabitación con otras tecnologías (TV, radio

⁷ Puede ser log-periódica, biconica, cónica o corneta, entre otras.

o sistemas de comunicación inalámbrica) y región de exposición (edificaciones, montañas, puestos vulnerables). Las antenas de transmisión de telefonía móvil celular se reconocen porque son antenas en forma rectangular, generalmente de color blanco o gris, y tener instaladas más de una antena para dar cobertura circular.

A continuación se definen los criterios y características para seleccionar un conjunto de estaciones base de telefonía móvil entre todas las estaciones instaladas en la ciudad de Bogotá:

- Área de exposición de campos EM a personas humanas causadas por la propagación generada por una antena de transmisión y componentes adicionales producto de la difracción de los campos EM.
- Área de exposición causada por una estación base de telefonía móvil, donde alguna de sus antenas transmisoras se encuentran instaladas a una distancia menor a 10 m y con radiación directa sobre zonas habitadas permanentemente.
- Área de exposición ocupacional donde la zona de exposición está a una distancia de 2 a 8 m con respecto a las antenas de transmisión. Además, la línea de vista es directa, sin obstáculos ni estructuras cercanas y, por lo tanto, se esperan altos niveles de radiación.
- Área de exposición debida a múltiples fuentes de campos EM en menos de 100 metros de separación.
- Área de exposición rural o donde se espera que el radio de cobertura de la estación base sea una celda sea mayor que la ubicada en Bogotá.

2.4 Puntos de medición

Con base en los procedimientos de medición descritos por MCyT (2002, 5-7) e Industry Canada (2005, 24-29), se define el protocolo para seleccionar los puntos exactos alrededor de las estaciones base donde se efectuaron las mediciones de los niveles de exposición:

- Para cada estación base se reconoce la antena transmisora y su respectivo ángulo de incidencia sobre un área de exposición.
- Se define una línea imaginaria horizontal paralela al suelo como eje del plano de medición, cuyo origen es el emplazamiento de la antena transmisora.
- A partir del origen se miden ciertas distancias no determinadas (asumidas por el criterio y sentido de quien hace la medición), como tomar un barrido de mediciones en varios puntos alrededor de 2, 10, 20, 50 metros.
- En cada uno de los escenarios de medición se hacen mediciones verticales a distancias disponibles, por ejemplo: en una edificación

expuesta, mediciones en la azotea, pisos superiores y el área en el exterior a nivel del suelo con línea de vista a las diferentes antenas transmisoras; el registro de los datos presentan las diferentes alturas (h) en cada una de las ubicaciones a cierta distancia desde la estación base (x e y).

- En cada punto de medición se toma un número adecuado de muestras por un intervalo de seis minutos.
- Al final, se hace la adquisición de los datos para ser tabulados, organizados y promediados.

2.5 Procedimiento de toma de mediciones

Una vez localizado el escenario y los puntos de medición se procede a efectuar las capturas de los componentes espectrales provenientes de la estación base. Para mantener una uniformidad en las mediciones en todos los escenarios, se estableció un procedimiento de toma de mediciones:

- Ubicación e instalación de la antena receptora y el puesto de control: PC y analizador de espectros.
- Para efectos de obtener los niveles máximos posibles, la antena receptora apunta en dirección de la antena transmisora.
- La antena de recepción debe ser ubicada a una distancia aceptable del puesto de control.
- Efectuar la calibración automática del analizador de espectros con el cable de recepción.
- Configurar el analizador de espectros con respecto al rango de frecuencia de operación: 850–900 MHz para una banda, y 1950 – 2000 MHz, para la otra; atenuación del piso de ruido en 0dB; así como RBW = 30 kHz, y el tiempo de barrido y el VBW, de manera automática.
- Es necesario establecer las condiciones de localización de la antena para asegurar los máximos niveles de exposición posibles, por ello se hacen las siguientes variaciones en la posición de la antena: entre tres y cuatro alturas del trípode; inclinación vertical mínima (0°), media (15°) y máxima (30°); polarización vertical horizontal y, orientación (cuánto más dirigida a la antena de transmisión mayor es el nivel de exposición).
- Después de buscar las condiciones de máxima exposición, se registran los datos en el analizador de espectros en una duración de seis minutos. Se hace el registro de los datos por cada banda de frecuencia de operación: alrededor de 800 MHz y alrededor de 1900 MHz.

3. Resultados y discusión

Los resultados son las componentes espectrales, obtenidas directamente del analizador de espectros en unidades de voltaje (dBmV) y luego convertidas a unidades de campo eléctrico (dBmV/m) para ser comparados con los niveles de referencia permitidos por la ICNIRP que establece para el rango de frecuencia de 400–2000 MHz un nivel de

$$20 \log \left(\frac{1.375 \cdot \sqrt{f}}{10^{-3}} \right) \text{ con } f \text{ en MHz.}$$

En la tabla 2 se muestra el máximo y el mínimo porcentaje del límite adoptado por la ICNIRP obtenidos en cada una de las instalaciones evaluadas estación base de telefonía móvil.

Tabla 2. Porcentaje de los niveles de Exposición obtenidos con respecto al estándar ICNIRP

Escenario	1	2	3	4
Máximo Porcentaje del Límite (%)	1.436	0.777	0.459	0.547
Mínimo Porcentaje Límite (%)	0.033	0.034	0.055	0.062

3.1 Ubicación de los escenarios escogidos

Teniendo en cuenta los criterios de selección descritos anteriormente, se escogieron cinco escenarios donde efectuar el plan de medición para obtener los niveles de exposición a campos EM:

- Escenario residencial con una estación base ubicada a 3 m de separación.
- Área ocupacional con una antena transmisora separada a unos dos metros.
- Área de exposición con dos fuentes de campos electromagnéticos separados aproximadamente de 50 m.
- Escenario en Funza, donde existe una única estación base en 1 km a la redonda (aproximadamente).
- Escenario de medición donde la estación base está localizada a 20 m de un edificio residencial y, tiene como estructuras de difracción a un edificio educativo de 10 pisos localizado a 40 m y el cerro de Monserrate a 200 m.

Solo se presentan los datos obtenidos en los dos primeros escenarios debido a que en ellos se registraron las muestras más altas de niveles de exposición a campos EM. Estos dos escenarios corresponden a una estación base de telefonía móvil operada e instalada por Comcel, cuya instalación consta de un mástil de 24.5 m, con siete antenas instaladas

en total, ubicada en la Carrera 27 No. 45^a-32, barrio de Belalcázar en la ciudad de Bogotá.

En la parte adyacente de la estación base, a una distancia de separación de 3.4 m (entre sus lados más cercanos), se localiza un edificio residencial de cinco pisos, de una altura medida de 16 m. En los dos apartamentos del quinto piso se desarrolló la evaluación del primer escenario y los dos puntos de medición para la evaluación son: la cocina del apartamento 502, donde presenta línea de vista con la radiación de la antena; y el salón de estudio del apartamento 501, donde una de sus esquinas está de frente con la antena transmisora. En la terraza del edificio se desarrolla la evaluación del segundo escenario tomando diferentes puntos.

3.1.1 Escenario 1. Se ajustó en el analizador de espectros frecuencias central de 875 MHz y 1.97 GHz con un *span* de 50 MHz y 70 MHz, respectivamente; un RBW de 30 kHz, polarización de antena horizontal con ángulo de inclinación de medio. En las Figuras 1 y 2, se muestran los niveles de exposición, en términos de intensidad de campo eléctrico, recibidos en los dos puntos de medición definidos para el primer escenario en las dos bandas de frecuencia de interés.

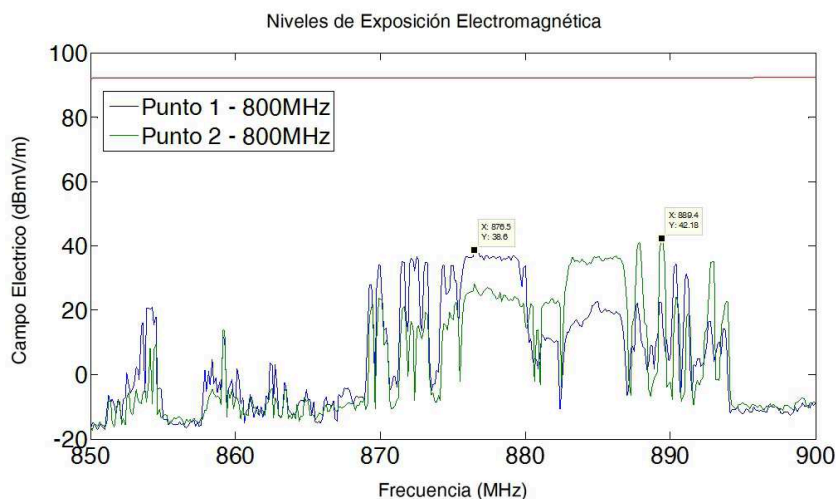


Figura 1. Niveles de Exposición Pública para frecuencias alrededor de 875 MHz.

De estas figuras se obtiene que el máximo campo eléctrico obtenido para el punto 1 es de 38.6 dBmV/m (85.11 mV/m) a una frecuencia de 876.5 MHz y de 30.45 dBmV/m (33.3 mV/m) a una frecuencia de

1944 MHz. Respectivamente, estos valores corresponden a un 0.3% y 0.055% del límite calculado para dichas frecuencias. Y, para el punto 2 se obtienen niveles de 42.18 dBmV/m (0.128V/m) a una frecuencia de 889.4 MHz y de 31.89 dBmV/m (0.0393) a una frecuencia de 1971 MHz. Estos valores corresponden a un 0.3% y 0.064% de los niveles permitidos para dichas frecuencias.

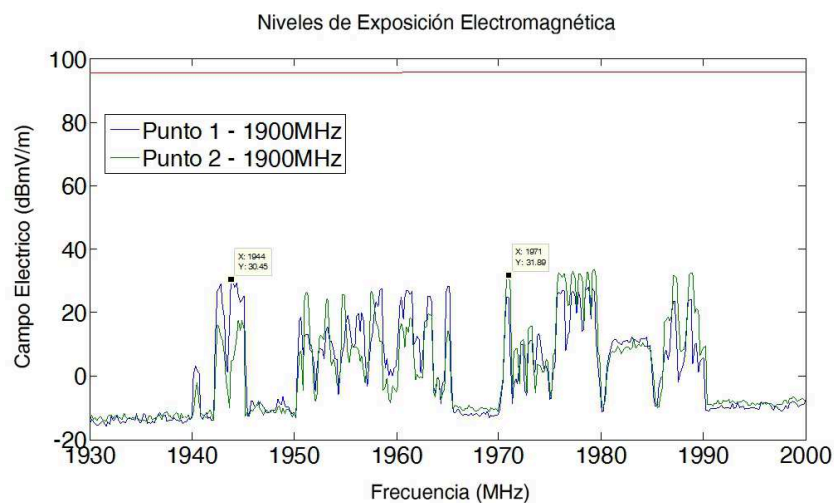


Figura 2. Niveles de Exposición Pública para frecuencias alrededor de 1965 MHz.

3.1.2 Escenario 2. En la Figura 3, se observan los niveles de exposición electromagnética que causa la estación base en cinco puntos de la terraza del edificio: frontal a 3 y 6 m de la antena, lateral izquierdo y derecho de la antena y una en campo lejano a 20 m de distancia. Esto aplica para un rango de frecuencia de 851–894 MHz, un ancho de banda de 43 MHz, y para una antena polarizada horizontalmente. En la figura se observa que el comportamiento de los niveles espectrales es similar para los cinco trazos y que se pueden confundir entre ellos sin guiar una tendencia, excepto en un rango de frecuencia, de 875–880 MHz, en donde hay notoria diferencia entre los niveles de campo eléctrico.

En orden de intensidades, se obtiene la máxima exposición en el punto de medición de campo lejano (20 m) con respecto a la antena transmisora, con un nivel de campo eléctrico de 55.35 dBmV/m (0.585 mV/m) a una frecuencia de 879 MHz, esto corresponde a un 1.44% del límite permitido. Luego sigue los niveles obtenidos en el punto de 6m con un campo eléctrico de 52.11 dBmV/m a 875 MHz (0.403 mV/m, 1% del límite permitido). Luego al punto de medición en el costado izquierdo,

donde se obtuvo un campo eléctrico de 48.75 dBmV/m a 878 MHz (0.274mV/m, 0.67% del límite). Tanto para el punto de medición ubicado a los 3m como para el ubicado en el costado derecho, obtuvieron sus máximos registros en la componente de frecuencia de 874 MHz, con valores de 47.03 dBmV/m (0.225 mV/m, 0.55% del límite) y 48.18 dBmV/m (0.256 mV/m, 0.63%) , respectivamente.

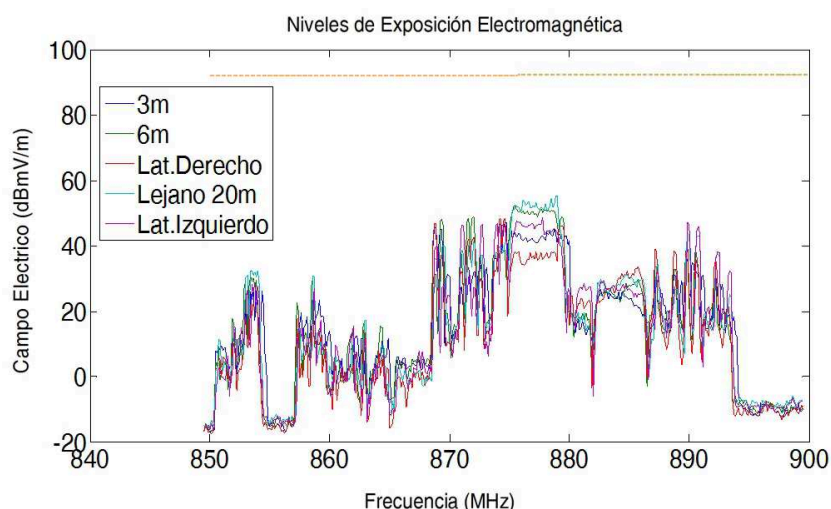


Figura 3. Niveles de Exposición Electromagnética Ocupacional alrededor de 870MHz.

4. Conclusiones

Aunque los cinco puntos de medición definidos no representan el universo de las estaciones base de telefonía móvil instaladas en Bogotá, cada punto de medición define cinco escenarios que agrupa características similares de propagación de distintas fuentes de campos EM en Bogotá.

Los resultados obtenidos con respecto a los niveles de exposición, en unidades de campo eléctrico, no superan el 1.5% del nivel máximo permitido por ICNIRP, por lo tanto, los resultados validan la normatividad colombiana en incluir a las estaciones de telefonía móvil dentro de las *Fuentes Inherentemente Conformes*.

El presente estudio no certifica el cumplimiento de los límites adoptados de niveles de exposición a campos EM de ninguna estación base o de algún operador ni descarta que algunas estaciones base de telefonía móvil celular puedan superar estos niveles permitidos.

Los procedimientos de medición pueden variar según el punto de medición de los niveles de exposición, porque puede depender de los obstáculos del lugar, de las calles y de los permisos de acceso.

Aunque los niveles de exposición no se acercan ni siquiera a un 2% de los límites permitidos, la normatividad al respecto sí debe restringir la instalación de múltiples estaciones base muy cercana a sitios de residencia para evitar que estos niveles se incrementen, de manera intencional o no intencional.

En el analizador de espectros se puede reconocer los rangos de frecuencia de interés, debido a que se reconoce los componentes espectrales que generan las antenas instaladas en las estaciones base.

Referencias bibliográficas

- AGENCIA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, ANATEL (2002). Resolução nº 303, de 2 de julho de 2002 [em línea]. Brasília (Brasil): Agencia Nacional de Telecomunicações, Anatel. <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/2002/128-resolucao-303>> [consulta: 20/04/2014]
- APONTE, G.; ESCOBAR, A.; PINEDO, C. & ARIZABALETA G. (2007). Medición de Campos Electromagnéticos en la Ciudad de Cali, Colombia. En: Revista Información Tecnológica Vol. 18 No. 3, 39-47 (2007). ISSN 0718-0764 . < <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v18n3/art06.pdf>>
- COMISIÓN DEL MERCADO DE LAS TELECOMUNICACIONES, CMT (2001). 4. Actividad de la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones [en línea]. En: Informe anual 2001. Barcelona (España): CMT. p. 341-413. <http://www.cmt.es/c/document_library/get_file?uuid=00fc2913-7448-4ad7-837c-563de0d440f7&groupId=10138> [consulta: 01/05/2014]
- COMISIÓN NACIONAL DE COMUNICACIONES, CNC (2000). Resolución 530/2000 (Boletín Oficial N°29.556, 29/12/12). Buenos Aires (Argentina): Comisión Nacional de Comunicaciones, CNC. <http://www.cnc.gov.ar/normativa/sc0530_00.pdf> [consulta: 09/03/2014]
- COMISIÓN NACIONAL DE COMUNICACIONES, CNC (2004). Resolución 3690/2004 (Boletín Oficial N° 30.524, 10/11/04). Buenos Aires (Argentina): Comisión Nacional de Comunicaciones, CNC. 21 p. <http://www.cnc.gov.ar/normativa/cnc3690_04.pdf> [consulta: 09/03/2014]
- CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA (1999). Recomendación 1999-519-CE de 12 de julio de 1999 [en línea]. Bruselas (Suiza): Consejo de la Unión Europea <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1999H0519:19990712:ES:PDF>> [consulta 01/09/2009]
- HEWLETT PACKARD (1998). User's Guide: HP8590 E-Series and L-Series Spectrum Analyzers [online]. Palo Alto (CA, USA): Agilent Technologies.<<http://www.sonoma.edu/eseee/manuals/08590-90301.pdf>> [consult: 29/04/2014]
- HIGUERO MIRALLES, R.; MUÑOZ FERNÁNDEZ, A. & GARCÍA LOZANO, M. (2008). Estudio Teórico-Práctico de las Emisiones Radioeléctricas en Redes Comerciales de Telefonía Móvil. Proyecto final de carrera (Ingeniero Superior de Telecomunicaciones). Barcelona (España): Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions. 65 p. + anexos. <<http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/4749>> [consulta: 09/03/2014]
- IEEE (2006). C95.1 - IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz [online]. New York (NY, USA): IEEE. 238 p. e-ISBN: 0-7381-4835-0. <<http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=10830>> [consult: 09/03/2014]
- INDUSTRY CANADÁ (2005). Code 6: Guidelines for the Measurement of Radio Frequency Fields at Frequencies from 3kHz to 300GHz [online]. In: Spectrum Management and Telecommunications GL-01, No. 2, (oct). Ottawa (Ontario, Canada): Industry Canada, 62 p. <[https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/gl01e.pdf/\\$FILE/gl01e.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/gl01e.pdf/$FILE/gl01e.pdf)> [consult: 09/03/2014].

- INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION, ICNIRP (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). In: Health Physics, Vol. 74, No. 4 (apr). Philadelphia (PA, USA): Lippincott Williams & Wilkins. p. 494-522. E-ISSN: 0017-9078.
- JOSEPH, W.; OLIVIER, C. & MARTENS, L. (2008). Accurate Assessment of Electromagnetic Exposure from WiMAX Signal using Spectrum analyzer [online]. In: IEEE Transactions on Instrument and Measurement, Vol. 57, No. 3 (mar). Washington D.C. (USA): IEEE p. 518-521. ISSN: 0018-9456. <doi:10.1109/TIM.2007.913812>
- MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, MCYT (España) (2001). Real Decreto 1066/2001 [en línea]. Madrid (España): Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. <<https://www.boe.es/boe/dias/2001/09/29/pdfs/A36217-36227.pdf>> [consulta: 29/04/2014]
- MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, MCYT (España) (2002). Orden CTE/23/2002 [en línea]. Madrid (España): Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. <<http://www.boe.es/boe/dias/2002/01/12/pdfs/A01528-01536.pdf>> [consulta: 29/04/2014]
- MINISTERIO DE COMUNICACIONES (Colombia) (2005a). Decreto 195 de 31 de enero de 2005 [en línea]. Bogotá (Colombia): Ministerio de las Tecnologías de Información y Comunicaciones. <http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-3569_documento.pdf> [consulta: 29/01/2014]
- MINISTERIO DE COMUNICACIONES (Colombia) (2005b). Resolución 1645 de 2005 [en línea]. Bogotá (Colombia): Ministerio de las Tecnologías de Información y Comunicaciones. <<http://www.mintic.gov.co/index.php/docs-normatividad?pid=57&sid=642:1645>> [consulta: 29/01/2014]
- MINISTERIO DE LAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES, MINTIC (Colombia) (2010). Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia. República de Colombia, Bogotá (Colombia): Ministerio de las Tecnologías de Información y Comunicaciones. <<http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-3758.html>> [consulta: 29/01/2014]
- MINISTERIO DE SALUD Y ACCIÓN SOCIAL (Argentina) (1995). Resolución 202 de 1995 [en línea]. Buenos Aires (Argentina): Comisión Nacional de Comunicaciones <<http://www.cnc.gov.ar/ciudadanos/espectro/normativa.asp>> [consulta: 29/04/2014]
- OLIVIER, C. & MARTENS, L. (2005). Optimal Settings for Narrow-Band Signal Measurement used for Exposure Assessment around GSM Base Station. In: IEEE Transactions on Instrument and Measurement, Vol. 54, No. 1 (feb). Washington D.C. (USA): IEEE. p. 311-317. ISSN: 0018-9456. <doi:10.1109/TIM.2004.838114>
- PORTELA, A.; SKVARCA, J.J.; MATUTE BRAVO, E.B. & LOUREIRO, L.A. (1995). Prospección de Radiación Electromagnética Ambiental no Ionizante. Volúmen I. [en línea]. Buenos Aires (Argentina): Ministerio de Salud y Acción Social. <http://www.cnc.gov.ar/normativa/sc0202_95Al.pdf> [consulta: 03/03/2014]
- ROSAS, D. & MEJÍA D. (2005). Medidas de Parámetros de Incidencia de Campos Electromagnéticos sobre Sistemas Biológicos en el Rango de Frecuencia de 50 MHz a 1 GHz. En: Revista Sistemas y Telemática. No. 5. Cali, Colombia: ICESI. p73-99. ISSN 1692-5238
- UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, UIT (2005). Recomendación UIT-T K.52: Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición a personas a los campos electromagnéticos. Ginebra (Suiza): Union Internacional de Telecomunicaciones, Sector de Normalización, UIT-T. 40 p. <<https://www.itu.int/rec/T-REC-K.52-200412-I/es>> [consulta: 23/03/2014]