

Análisis Comparativo de los Niveles de Exposición a Campos Electromagnéticos Irradiados por Estaciones de Telefonía Móvil en el Municipio de Soledad, Atlántico, en Colombia

Milena P. Fandiño¹, Victoria A. Arana¹ y Jorge E. Trilleras²

(1) Grupo de Investigación Ciencia, Educación y Tecnología (CETIC), Programa de Química, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico, Carrera 30 No. 8-49, Puerto Colombia, Atlántico-Colombia (e-mail: victoriaarana@dcc.uniatlantico.edu.co; milefand@gmail.com)

(2) Grupo de Investigación en Compuestos Heterocíclicos, Programa de Química, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico, Carrera 30 No. 8-49, Puerto Colombia, Atlántico-Colombia (e-mail: jorgetrilleras@mail.uniatlantico.edu.co)

Recibido Oct. 24, 2017; Aceptado Dic. 26, 2017; Versión final Mar. 13, 2018, Publicado Ago. 2018

Resumen

Se realizó una evaluación teórica y experimental de la exposición poblacional a la radiación electromagnética debida a estaciones base de telefonía móvil ubicadas en el municipio de Soledad, Atlántico (Colombia). Esto se realizó mediante el cálculo de la intensidad de radiación de las antenas y la distancia de la persona expuesta. Experimentalmente, se realizaron mediciones de densidad de potencia en 22 estaciones base usando un equipo de medición de radiofrecuencia de banda ancha. Un conjunto limitado de valores de densidad de potencia medido fue comparado y discutido con los valores calculados. Los resultados demuestran que los valores de densidad de potencia en las estaciones base de telefonía móvil se encuentran muy por debajo de los límites permisibles a los campos electromagnéticos de la normatividad colombiana e internacional, 4.5 W/m^2 y 9.0 W/m^2 para frecuencias de 900 MHz y 1800 MHz, respectivamente.

Palabras clave: campos electromagnéticos; estaciones base; radiofrecuencia; exposición poblacional; densidad de potencia.

Comparative Analysis of Exposure Levels to Electromagnetic Fields Irradiated by Mobile Phone Stations at Soledad City, Atlántico, in Colombia

Abstract

Theoretical and experimental evaluation of people's exposure to electromagnetic radiation due to base stations of mobile telephony located in the city of Soledad, Atlántico (Colombia) was carried out. This was done by calculating the radiation intensity of the antennas and the distance of the exposed person. Experimentally, power density measurements were done at 22 base stations using a broadband radio frequency measurement equipment. A limited set of measured power density values were compared and discussed with the calculated values. The results show that the power density values in each mobile telephone base station are well below the permissible limits to electromagnetic fields in the Colombian and international regulations, 4.5 W/m^2 and 9.0 W/m^2 for frequencies of 900 MHz and 1800 MHz, respectively.

Keywords: electromagnetic fields; base stations; radiofrequency; population exposure; power density.

INTRODUCCIÓN

Con el fin de garantizar un mayor acceso a las telecomunicaciones y mejorar la calidad en el servicio de los usuarios se ha incrementado en los últimos años el número de estaciones base de telefonía móvil, generando una gran preocupación entre la población debido a la progresiva cercanía a sus hogares (Rodríguez et al., 2016). Si bien la tecnología en las telecomunicaciones mejora la calidad de vida de las personas, acercándolas a los sistemas de información y al conocimiento, también es muy cierto que los dispositivos o equipos creados para tal fin generan campos electromagnéticos y que la población se encuentra expuesta a radiaciones de alta frecuencia de forma permanente (Hamiti et al., 2016). Estudios recientes reportan que permanecer cerca de estaciones base de telefonía móvil y el uso continuo de teléfonos móviles puede llegar a tener un efecto adverso en el ADN a largo plazo (Gandhi et al., 2015; Siama et al., 2017).

La exposición humana a los campos electromagnéticos producidos por equipo de telecomunicaciones se puede analizar desde dos perspectivas diferentes, por posibles efectos sobre la salud y caracterizando el entorno electromagnético. En el primer caso, organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP) y el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) desarrollaron estudios para establecer los límites máximos permitidos y sus efectos. En el segundo caso, el IEEE, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) desarrollaron estándares y recomendaciones para mediciones de la radiación electromagnética y evaluación del cumplimiento de los límites de exposición (Linhares et al., 2013).

Las mediciones y evaluaciones de los campos electromagnéticos se pueden clasificar en banda ancha, proporciona una visión general rápida sin tener en cuenta contribuciones de fuentes (frecuencias) individuales, y banda angosta, proporciona información de las contribuciones de fuentes individuales. Muchos países han implementado estas mediciones para caracterizar los campos en una determinada gama de frecuencias y así decidir si el nivel de radiación es aceptable o no (Tabla 1).

Tabla 1: Estudios realizados sobre mediciones de radiación electromagnética de alta frecuencia.

Ciudad - País	Frecuencia Medida	Resultado Obtenido	Referencias
<i>Medida de exposición: Banda angosta</i>			
Pristina - Kosovo	GSM 900/1800 y 3G	Las densidades de potencia son inferiores al límite permisible establecido por la normativa.	Hamiti et al., 2016
Craiova - Romania	GSM 900/1800		Marinescu y Poparlan, 2016
Nsukka - Nigeria	GSM 900/1800		Ahaneku et al., 2015
Natal - Brasil	200 kHz, 5 MHz, 6 MHz y 22 MHz		Pinheiro et al., 2015
Haryana - India	GSM, CDMA, 3G/UMTS, WIMAX		Gandhi y Pahwa, 2015
Lagos, Ibadan y Abuja - Nigeria	GSM 900/1800		Ayinmode y Farai, 2014
Cartagena - Colombia	GSM 900/1800 y 3G		Escudero y Castro, 2008
Bucarest, Rumania	GSM 900		Miclaus y Bechet, 2007
<i>Medida de exposición: Banda ancha</i>			
Benin - Nigeria	Alta frecuencia	Los niveles de radiación están por debajo de los límites permitidos por ICNIRP	Ojuh y Isabona, 2015
Valle de Katmandú - Nepal			Parajuli et al., 2015
Chennai - India			Saravanamuttu et al., 2015
Ámsterdam - Holanda, Basel - Suiza, Gante y Bruselas - Bélgica			Urbiniello et al., 2014
Cuenca - Ecuador			Andrade y Contreras, 2014
Cartago - Colombia			Gallego et al., 2014
Makurdi - Nigeria			Iortile y Agba, 2014
Lokoja - Nigeria			Nwankwo et al., 2013
Universidad de Nigeria - Nigeria			Ahaneku y Nzeako, 2012
Naplusa - Palestina			Mousa, 2011
Potosí - Bolivia			Vera y Cruz, 2010
La Meca, Medina, Yeda, Taif y Yanbu - Arabia Saudita			Nahas y Simsim, 2011
Pereira - Colombia			Bañol et al., 2011
Bogotá - Colombia			Alcaldía Mayor de Bogotá, 2009
Cali - Colombia			Aponte et al., 2007
Gaza - Palestina			Abdelati, 2005

En Colombia, la normatividad con respecto a los límites máximos de exposición de las personas a campos electromagnéticos está dada por el Decreto 195 de 2005, fundamentado en las recomendaciones establecidas por ICNIRP y UIT, garantizando que no se genere algún efecto negativo sobre la salud de las personas y se aplica en especial a las zonas pertinentes en la que las personas pasan un lapso de tiempo significativo (ICNIRP, 1998; Ministerio de Comunicaciones, 2015). En este estudio, fueron medidos los campos electromagnéticos irradiados a alta frecuencia, en términos de densidad de potencia, en el municipio de Soledad (Atlántico – Colombia) y se compararon con los valores obtenidos a partir de cálculos matemáticos y con los límites máximos permisibles de exposición poblacional referenciados por directrices nacionales e internacionales. Cabe destacar que este es el primer estudio realizado en el municipio de Soledad, siendo un estudio base para futuras investigaciones.

ASPECTOS TEÓRICOS DE LA DENSIDAD DE POTENCIA Y DISTANCIA MÍNIMA DE SEGURIDAD

La densidad de potencia radiada por una antena es una magnitud vectorial que indica la tasa de flujo de energía electromagnética por unidad de área a una distancia de la antena transmisora y se puede calcular dividiendo la potencia de la radiación total por el área de una esfera de radio R , se asume como una radiación de una antena isotrópica (ideal), como se indica en la siguiente ecuación (Miclaus y Bechet, 2007; Kamo et al., 2010).

$$S = \frac{P_t}{4\pi R^2} 10^{\frac{G}{10}} \quad (1)$$

Donde, S es densidad de potencia (en W/m^2 o mW/cm^2), P_t es la potencia total de los canales por sector irradiado por la antena (en W o mW), G es la ganancia de la antena (en dB) y R es la distancia a la antena (en m o cm).

La densidad de potencia disminuye en función del inverso del cuadrado de la distancia de la antena transmisora. Cuando están presentes simultáneamente N antenas, la densidad de potencia total se determina a partir de la suma de las densidades de potencia individuales de cada antena. Esta es una forma de estimar la exposición de una persona a las antenas de una estación base en el campo lejano.

A una distancia d_0 de la antena, la forma del campo eléctrico cambia de una forma cilíndrica en el campo cercano a un campo esférico en el campo lejano. Para una antena sectorial, esta distancia se determina como

$$d_0 = \frac{\phi_{3\text{ dB}}}{6} G_A L \quad (2)$$

Donde, $\phi_{3\text{ dB}}$ es el ancho del haz de media potencia horizontal (o -3 dB), G_A es la directividad del lado de la antena y L es la altura de la antena.

Tomando el valor de azimut $\phi = 0$ (la dirección de la intensidad máxima de radiación) en la expresión y considerando que la densidad de potencia máxima es igual al nivel de referencia ICNIRP, la distancia de seguridad mínima d puede calcularse como (Hamiti et al., 2016).

$$d = d_0 \sqrt{\frac{(\frac{P_t}{\phi L S d_0})^2 + \frac{1}{16} - \frac{1}{4}}{2}} \quad (3)$$

METODOLOGÍA

Las mediciones de radiación electromagnética de alta frecuencia se llevaron a cabo en el municipio de Soledad perteneciente al departamento del Atlántico (Colombia), cuenta con un área total de 67 km^2 y alrededor de 650.000 habitantes. Su localización geográfica es $10^\circ 55' N$ y $74^\circ 46' O$.

La evaluación de la radiación electromagnética en el campo lejano se efectuó mediante los siguientes métodos:

a) Método de predicción: La densidad de potencia para una distancia dada a la antena transmisora cuando se puede producir exposición a la radiación de una única antena fue calculado empleando la ecuación 1, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de cada caso. Para predecir la distancia mínima de seguridad desde la antena transmisora que considere el límite de la exposición a la población en

general, fue empleada la ecuación 3.

b) Método de medición: La medición de la radiación electromagnética de alta frecuencia fue realizada tomando los valores de densidad de potencia máxima dentro de la zona de exposición, con el fin de verificar las predicciones de densidad de potencia y comparar con los límites de exposición máxima permitida del público en general en el espacio circundante a las antenas transmisoras.

Para efectos de esta investigación fueron seleccionadas las estaciones base de telefonía móvil que proporcionaron cobertura GSM, con mayor accesibilidad y cercanas a zonas con gran densidad de población, como zonas residenciales y comerciales, incluso cercanas a instituciones educativas, realizando un registro de las respectivas coordenadas mediante un dispositivo de posicionamiento geográfico. La altura de medición fue seleccionada con el valor máximo de densidad de potencia cuando fue medida a 6 alturas diferentes, sin superar los 200 cm. Se realizaron mediciones de la componente de densidad de potencia a distancias de 15 m, 50 m y 100 m desde la antena hasta el sitio de medición. Además, se llevaron a cabo 4 campañas de medición de la radiación electromagnética de alta frecuencia a las estaciones base de telefonía móvil seleccionadas durante un periodo de dos meses, entre las 8:00 am a 6:00 pm, registrándose el valor promedio máximo de densidad de potencia (W/m^2) una vez transcurridos 6 minutos (Ministerio de Comunicaciones, 2005).

El equipo utilizado para medir la densidad de energía de radiación en las estaciones base de telefonía móvil fue TM-196, Tenmars Electronics Co., Ltd., Taiwán. Este dispositivo de banda ancha permite realizar mediciones de inmisión para monitorear la radiación electromagnética de alta frecuencia en el rango de 10 MHz ~ 8 GHz (Figura 1). Además, cuenta con una sonda isotrópica que consiste en una sonda triaxial con los sensores de cada eje ubicados de forma ortogonal, esta geometría permite medir el campo electromagnético total sin necesidad de mover la sonda para cubrir todas las direcciones y la polarización del emisor.



Fig. 1: Medidor de intensidad de campo electromagnético de alta frecuencia, TenMars Modelo No. TM-196.

Los resultados obtenidos de las mediciones desarrolladas en cada una de las campañas se analizaron mediante estadística descriptiva y el empleo del software estadístico PSPP 4 Windows. Los niveles medidos de exposición de radiación electromagnética en el rango de frecuencias de 10 MHz ~ 8 GHz fueron comparados con los valores establecidos en el Decreto 195 de 2005, el cual reporta los límites máximos de exposición ocupacional y público en general reglamentados en Colombia (Tabla 2) y con los valores calculados de densidad de potencia. Los límites de densidad de potencia de $4,5 W/m^2$ y $9,0 W/m^2$ corresponden a las frecuencias utilizadas en telefonía móvil de 900 MHz y 1800 MHz, respectivamente.

Tabla 2: Límites máximos permisibles de exposición de acuerdo al Decreto 195 de 2005 del Ministerio de Tecnologías de Información y Telecomunicaciones, Colombia.

Tipo de Exposición	Gama de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico, E (V/m)	Intensidad de Campo Magnético, H (A/m)	Densidad de Potencia de Onda Plana Equivalente, S (W/m^2)
Ocupacional	9 kHz - 65 kHz	610	24.4	-
	65 kHz - 1 MHz	610	$1.6/f$	-
	1 MHz - 10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	-
	10 MHz - 400 MHz	61	0.16	10
	400 MHz - 2 GHz	$3f^{1/2}$	$0.008 f^{1/2}$	$f/40$
	2 GHz - 300 GHz	137	0.36	50

Tabla 2 (continuación)

Tipo de Exposición	Gama de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico, E (V/m)	Intensidad de Campo Magnético, H (A/m)	Densidad de Potencia de Onda Plana Equivalente, S (W/m ²)
Público en General	9 kHz - 150 kHz	87	5	-
	150 kHz - 1 MHz	87	0.73/f	-
	1 MHz - 10 MHz	87/f ^{1/2}	0.73/f	-
	10 MHz - 400 MHz	28	0.073	2
	400 MHz - 2 GHz	1.375f ^{1/2}	0.0037 f ^{1/2}	f/200
	2 GHz - 300 GHz	61	0.16	10

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las estaciones base de telefonía móvil seleccionadas para este estudio se componen de antenas sectoriales tipo paneles con configuraciones entre 3 y 6 sectores, montadas en el suelo y en techos de edificaciones. Las emisiones de estas antenas se concentran hacia el frente y en horizontal, formando un haz que abarca un sector entre 120° y 60°. Las bandas de frecuencias que usan estas antenas son de 900 MHz y 1800 MHz.

En la Figura 2 se muestra la ubicación geográfica de cada una de las estaciones base de telefonía móvil seleccionadas marcadas con puntos azules, mientras que los puntos rojos indican las estaciones base que no se tomaron mediciones. La distribución de los puntos donde se realizaron las mediciones dependiendo de su ubicación en el espacio urbano se muestra en la Figura 3, siendo la ubicación principal de estas antenas en lotes privados.

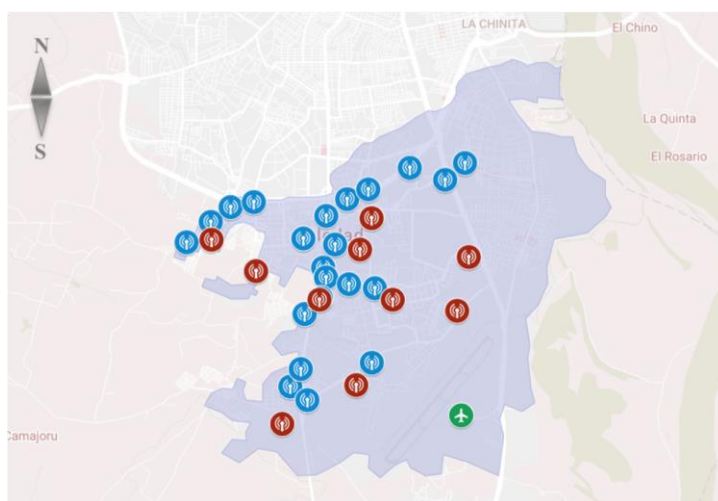


Fig. 2: Ubicación geográfica de las estaciones base de telefonía móvil en el municipio de Soledad, Atlántico. Puntos azules: Sitios donde se realizaron mediciones de radiación de alta frecuencia. Puntos rojos: Sitios donde no se realizaron mediciones de radiación.



Fig. 3: Distribución de los puntos de medición de radiación de alta frecuencia en el municipio de Soledad.

La estación base A18S fue usada para seleccionar la altura a la cual se realizarían las mediciones de densidad de potencia debido a su ubicación estratégica cercana a un centro comercial, zona residencial y vía ampliamente concurrida. La altura de medición seleccionada fue 200 cm como se presenta en las Figuras 4 y 5 para las medidas de densidad de potencia a 10 m y 50 m de distancia a la antena, respectivamente. Las mediciones de la densidad de potencia a distancias mayores a 10 m desde la antena hasta el sitio de medición son realizadas a campo lejano, teniendo en cuenta que el intervalo correspondiente al rango de frecuencias en MHz emitidas por las antenas, $900 \geq f \leq 1800$, le corresponden un valor mínimo para la distancia a campo lejano entre 1.0 m y 0.5 m, de acuerdo a la relación $d_{min} = 3\lambda$.

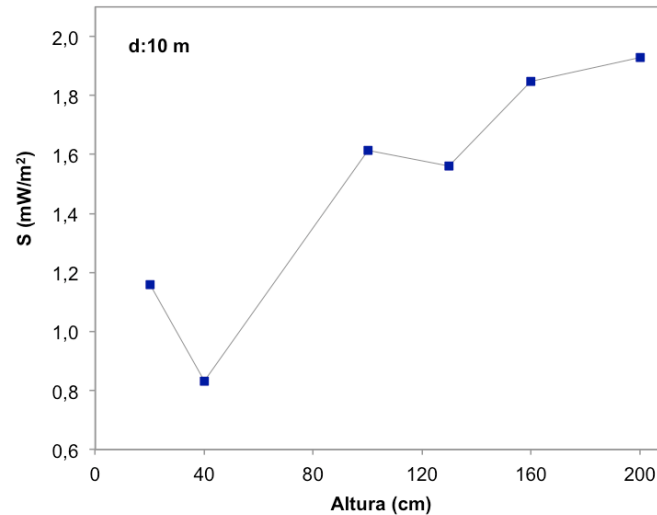


Fig. 4: Densidad de potencia (S) a diferentes alturas medida a 10 m de distancia de la estación base A18S.

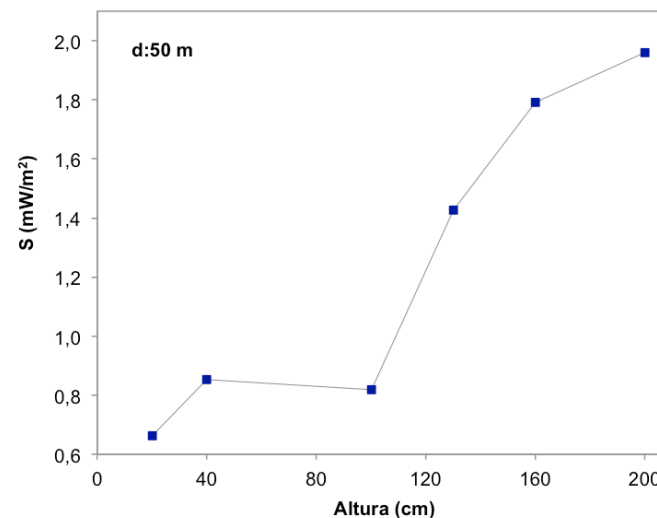


Fig. 5: Densidad de potencia (S) a diferentes alturas medida a 50 m de distancia de la estación base A18S.

Evaluación de la radiación electromagnética de alta frecuencia

Cuando se conocen los datos técnicos de la antena, como potencia transmitida y ganancia, y se define la posición de la persona expuesta es posible calcular la densidad de potencia de la radiación desde una antena de estación base. Por lo general, la energía de la radiación no es la misma en todas las direcciones, se concentra la mayor parte en la dirección principal de transmisión. Suponiendo el caso más simple que una persona está expuesta a una sola antena de estación base y sin tener en cuenta la atenuación de otros objetos, fue calculada la densidad de potencia para las distancias de 15 m, 50 m y 100 m desde las estaciones base (Ecuación 1), y comparadas con la densidad de potencia medida para un conjunto limitado de antenas de estaciones base (A03S, A04S, A10S, A12S, A13S y A21S) como se presenta en la Tabla 3. En todos los casos, los valores predichos son más alto que los valores medidos, debido a que se consideran como valores

de espacio libre en ausencia de atenuación, reflexión y absorción comparado a lo que puede ocurrir en la realidad (Alhekail et al., 2012; Suarez et al., 2016). Además, en la Tabla 3 se presentan los resultados para las distancias mínimas de seguridad para estaciones base con frecuencias de 900 MHz ($S = 4,5 \text{ W/m}^2$) y 1800 MHz ($S = 9,0 \text{ W/m}^2$) con variaciones de 2,11 m a 4,26 m para la exposición de la población general, las cuales son muy cercanas a los valores reportados en la literatura (Hamiti et al., 2016).

Tabla 3: Valores de densidad de potencia, S , (mW/m^2) medidos vs predichos en el campo lejano.

Estación base	Distancia (m)	Densidad de potencia, S , medido (mW/m^2)	Densidad de potencia, S , predicho (mW/m^2)	Distancia mínima de seguridad (m)	
				$S = 4,5 \text{ W/m}^2$	$S = 9,0 \text{ W/m}^2$
A03S	15	0,991	59,25	4,26	3,01
	50	0,707	5,333		
	100	0,182	1,333		
A04S	15	1,429	26,89	2,99	2,11
	50	0,960	2,420		
	100	0,467	0,605		
A10S	15	2,273	60,74	4,11	2,91
	50	1,529	5,467		
	100	1,108	1,367		
A12S	15	2,067	42,32	3,61	2,55
	50	1,916	3,809		
	100	0,849	0,952		
A13S	15	1,385	44,51	3,77	2,67
	50	1,032	4,006		
	100	0,737	1,001		
A21S	15	0,981	28,56	3,17	2,24
	50	0,344	2,570		
	100	0,224	0,643		

Los valores de densidad de potencia medidos de las antenas emisoras (A03S, A04S, A10S, A12S, A13S y A21S) a tres distancias diferentes en el campo lejano son presentados en la figura 6, donde se observa que la intensidad de radiación disminuye a medida que la persona expuesta se aleja de la antena. Estas antenas de estaciones base presentaron pocas fluctuaciones, con una desviación estándar entre 0.03 % y 0.20 % en las medidas de densidad de potencia en las cuatro campañas de medición, debido a que son bajas las interferencias por fuentes externas.

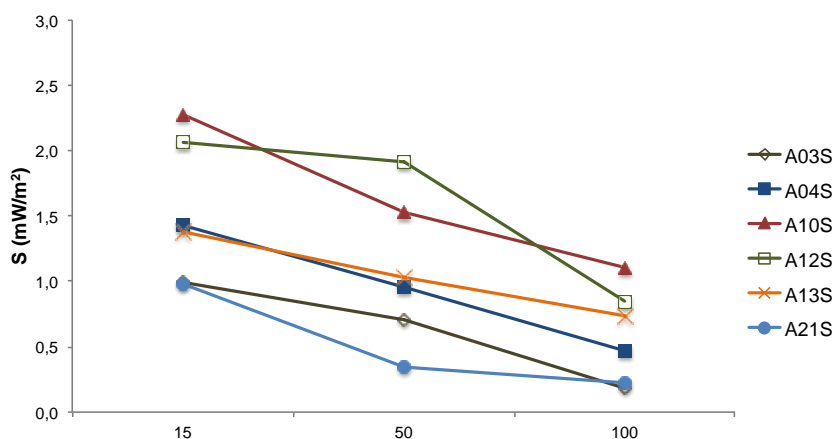


Fig. 6: Densidad de potencia (S) a diferentes distancias de las estaciones base en campo lejano.

Mientras que las demás antenas de estaciones base presentaron gran variabilidad en la intensidad de la radiación de una distancia a otra en la zona de medición debido a interferencias significativas de fuentes externas, con una desviación estándar entre 0.2 % y 5.0 % en las medidas de densidad de potencia, presentando valores de densidad de potencia superiores en la distancia de 100 m, $S(15\text{ m}) > S(50\text{ m}) < S(100\text{ m})$. En estos casos los factores más observados durante las mediciones fueron:

- (a) Obstrucción debida a estructuras inmóviles o rígidas colocadas dentro de la línea de visión de la medición. Las antenas A05S y A06S se encuentran ubicadas en techos de casas de 2 pisos, a su alrededor hay presencia de otras estructuras similares y árboles.
- (b) Interferencia de onda de otras fuentes de campos electromagnéticos alrededor de la estación base de referencia, tales como antenas de radio y TV, receptores, etc. La antena A01S se encuentra ubicada muy cercana a una antena de radio de la Estación de Policía Nacional.
- (c) Interferencia de la radiación (onda) y/o ruido de objetos en movimiento como vehículos, motocicletas, etc. Las antenas A09S y A18S se encuentran ubicadas en vías de alto flujo vehicular.
- (d) Interferencia de onda desde otra estación base agrupada alrededor de una estación base de referencia, muy frecuente en las antenas sectoriales. Además, se presenta el fenómeno de superposición que establece que el campo producido por un conjunto de fuentes es la suma de los campos de las fuentes individuales. Si las fuentes tienen la misma dirección en sus corrientes individuales, el potencial total puede obtenerse por la suma escalar de los potenciales individuales (Nwankwo et al., 2013). La antena A15S se encuentra muy cercana a las estaciones base A07S, A08S, A09, A16S.

Comparación con la Norma

Los valores máximos de densidad de potencia medidos a campo lejano fueron observados en las estaciones base A15S, A018S, A05S y A16S con valores entre $1,5 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$ y $8,0 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$, durante las cuatro campañas de medición. Estos valores en la actualidad se encuentran muy por debajo de los límites permisibles de la exposición poblacional planteados en la normatividad colombiana (Decreto 195 del 2005) e internacional (ICNIRP), el límite permisible para la densidad de potencia, S , es $4,5 \text{ W/m}^2$ y $9,0 \text{ W/m}^2$ para las frecuencias de 900 MHz y 1800 MHz, respectivamente. Este resultado es importante para aquellas personas que viven en cercanías a estas fuentes radiantes y que siempre se han preocupado por los posibles efectos que pueden ocasionar a su salud.

CONCLUSIONES

El método de medición experimental permitió obtener de una manera fácil y rápida la intensidad de radiación, en términos de densidad de potencia, de las antenas de estaciones base de telefonía móvil durante cuatro campañas de medición. Las 22 estaciones base de telefonía móvil evaluadas se encuentran muy por debajo de los límites permisibles establecidos en las directrices nacionales (Decreto 195 del 2005) e internacionales (ICNIRP), no superan el 0,33 % y 0,16 % de los límites para frecuencias de 900 MHz y 1800 MHz, respectivamente. Las cuatro campañas de medición permitieron establecer las antenas de estaciones base que presentaron pocas fluctuaciones, desviación estándar entre 0.03 % y 0.20 %, y aquellas que debido a diferentes factores son afectadas por interferencias significativas de fuentes externas, desviación estándar entre 0.2 % y 5.0 %.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Gobernación del Atlántico por la beca de estudios de Maestría en Ciencias Ambientales para la estudiante Milena Patricia Fandiño de la Hoz y a la Policía Nacional de Colombia por la seguridad brindada en las campañas de medición.

REFERENCIAS

- Abdelati, M., Electromagnetic Radiation from Mobile Phone Base Stations at Gaza, *Journal of the Islamic University of Gaza (Natural Sciences Series)*, 13(2), 129-146 (2005)
- Ahaneku, M. A. y A. N. Nzeako, GSM Base Station Radiation Level: A Case Study of University of Nigeria Environment, *International Journal of Scientific & Technology Research*, 1(8), 2277-8616 (2012)
- Ahaneku, M.A., A. A. Nzeako y N.N. Udora, Investigation of Electromagnetic Radiations by GSM Base Stations in Nigeria for Compliance Testing, *Advances in Physics Theories and Applications*, 47, 10-18 (2015)
- Alcaldía Mayor de Bogotá. Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá D.C. 2011-2023, Bogotá, Colombia (2011)
- Alhekail, Z.O., M.A. Hadi y M.A. Alkanhal, Public Safety Assessment of Electromagnetic Radiation Exposure from Mobile Base Stations, doi:10.1088/0952-4746/32/3/325, *Journal Radiological Protection*, 32, 325-337 (2012)

- Andrade, D. y C. Contreras, Medición y Análisis del Nivel de Exposición a Radiaciones No Ionizantes en Ambientes Indoor Dentro de la Banda de Frecuencia de Telefonía Celular en la Ciudad de Cuenca - Ecuador, Tesis de Titulación, Dpto. Ing. Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador (2014)
- Aponte, G., A. Escobar, C. R. Pinedo y G. Arizabaleta, Medición de Campos Electromagnéticos en la Ciudad de Cali, Colombia, doi:10.4067/S0718-07642007000300006, *Información Tecnológica*, 18(3), 39-47 (2007)
- Ayinmode, B. O. e I. P. Farai, Evaluation of GSM Radiation Power Density in Three Major Cities in Nigeria, *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 8(10), 740-743 (2014)
- Bañol, V., C. Guavita y M. López, Diseño e Implementación de Procedimientos Técnicos para la Evaluación del Riesgo de los Campos Electromagnéticos Producidos por la Telefonía Móvil Celular, Tesis de Titulación, Facultad de Ingenierías Eléctrica, Electrónica, Física y Ciencias de la Computación, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira-Colombia (2011)
- Escudero, G. e I. Castro, Exposición Poblacional a Campos Electromagnéticos de Radiofrecuencias en la Localidad Histórica y del Caribe Norte de Cartagena de Indias, doi:https://doi.org/10.25044/issn.2539-2190, *Teknos-Revista Científica*, 4(2), 18-30 (2008)
- Gallego, L. M., J. I. Torres y J. A. Castañeda, Metodología para el Diagnóstico de Áreas Urbanas con Alta Exposición a Radiaciones Electromagnéticas Emitidas por Estaciones Base de Telefonía Móvil, *Luna Azul*, 38, 171 – 190 (2014)
- Gandhi, G., G. Kaur y U. Nisar, A Cross-Sectional Case Control Study on Genetic Damage in Individuals Residing in the Vicinity of a Mobile Phone Base Station, doi:10.3109/15368378.2014.933349, *Electromagnetic Biology and Medicine*, 34(4), 344-54 (2015)
- Gandhi, E.G. y K. Pahwa, Analysis of Electromagnetic Radiation from Base Station Antennas to Prevent Health Hazards, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 5(1), 526-530 (2015)
- Hamiti, E., M. Ibrani, L. Ahma, V. Shala y R. Halili, Comparative Analysis of Electromagnetic Field Exposure Levels and Determination of the Minimum Safe Distances from Mobile-Phone Base Stations in Urban Areas, *Progress In Electromagnetics Research M*, 50, 117–128 (2016)
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz), *Health Physics*, 74 (4), 494-522 (1998)
- Iortile, J.T. y E.H. Agba, Assessment of Radiofrequency Radiation Distribution Around Mobile Base Stations in Makurdi, Benue State, *International Journal of Natural Sciences Research*, 2(1), 1-4 (2014)
- Kamo, B., R. M. Mitrushy, V. Kolici, O. Shurdi y A. Lala, Estimated Peak Power Density in the Vicinity of Cellular Base Stations in Albanian Territory, 2010 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 117–120, IEEE (2010)
- Linhares, A., M.A. Brasil Terada y A. J. Martins Soares, Estimating the Location of Maximum Exposure to Electromagnetic Fields Associated With a Radiocommunication Station, doi:http://dx.doi.org/10.1590/S2179-10742013000100012, *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, 12 (1), 141-157 (2013)
- Marinescu, I. E. y C. Poparlan, Assessment of GSM HF-Radiation Impact Levels Within the Residential Area of Craiova City, doi:https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.022, *Procedia Environmental Sciences*, 32, 177 – 183 (2016)
- Miclaus, S. y P. Bechet, Estimated and Measured Values of the Radiofrequency Radiation Power Density around Cellular Base Stations, *Romanian Journal of Physics*, 52 (3-4), 429-440 (2007)
- Ministerio de Comunicaciones. Decreto 195 de 2005, Bogotá, Colombia (2005)
- Mousa, A., Electromagnetic Radiation Measurements and Safety Issues of some Cellular Base Stations in Nablus, *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 4 (1) 35-42 (2011)
- Nahas, M. y M. T. Simsim, Safety Measurements of Electromagnetic Fields Radiated from Mobile Base Stations in the Western Region of Saudi Arabia, doi:10.4236/wet.2011.24030, *Wireless Engineering and Technology*, 2, 221-229 (2011)
- Nwankwo, V.U.J., N.N. Jibiri, S.S. Dada, A. A. Onugba y P. Ushie, Assessment of Radio-Frequency Radiation Exposure Levels from Selected Mobile Base Stations (MBS) in Lokoja, Nigeria, *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, 3 (2), 48-55 (2013)
- Ojuh, O. D. y J. Isabona, Radio Frequency EMF Exposure Due to GSM Mobile Phones Base Stations: Measurements and Analysis in Nigerian Environment, doi:http://dx.doi.org/10.4314/njt.v34i4.20, *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*, 34 (4), 809 – 814 (2015)
- Parajuli, P., J. P. Panday, R. P. Koirala y B. R. Shah, Study of the Electromagnetic Field Radiated from the Cell Phone Towers Within Kathmandu Valley, *International Journal of Applied Science and Biotechnology*, 3 (2), 179-187 (2015)
- Pinheiro, F. S. R., E. M. de Oliveira Maranhão y otros ocho autores, Assessment of Non-Ionizing Radiation from Radio Frequency Energy Emitters in the Urban Area of Natal City, Brazil, doi:https://doi.org/10.5897/SRE2014.6025, *Scientific Research and Essays*, 10 (2), 79-85 (2015)
- Saravanamuttu, S., V. Singh, R. Khumukcham y S. Dorairaj, A Case Study of Cellular Base Stations in an Indian Metro (Chennai), *Environment & We: An International Journal of Science & Technology*, 10, 37-49 (2015)

Siama, Z., M. Zosangzuali, M. Lalramdinpui y G.C. Jagetia, Impact of Radiofrequency Radiation on DNA Damage and Antioxidants in Peripheral Blood Lymphocytes of Humans Residing in the Vicinity of Mobile Phone Base Stations, doi: 10.1080/15368378.2017.1350584, *Electromagnetic Biology and Medicine*, 36 (3), 295-305 (2017)

Suárez, C. A., J. Carroll y G. A. Puerto, Puerto Antena Compacta para Aplicaciones en Satélites de Reducido Tamaño, doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000300018>, *Información Tecnológica*, 27 (3), 189-198 (2016)

Rodríguez, A.B., L.J. Ramírez y F.R.M. Basile, Percepción Social de las Tecnologías Electromagnéticas, doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000600023>, *Información Tecnológica*, 27 (6), 227-236 (2016)

Urbiniello, D., J. Wout y otros seis autores, Radio-Frequency Electromagnetic Field (RF-EMF) Exposure Levels in Different European Outdoor Urban Environments in Comparison With Regulatory Limits, doi:10.1016/j.envint.2014.03.007, *Environment International*, 68, 49–54 (2014)

Vera, R. y V. M. Cruz, Campos Electromagnéticos de las Estaciones Bases de Telefonía Móvil-2008 en la ciudad de Potosí – Bolivia y sus Efectos en la Salud, *Electrónica-UNMSM*, 25, 12-17 (2010)