

Interferencia electromagnética en equipos médicos debida a equipos de comunicación inalámbrica

Electromagnetic interference on medical equipments due to wireless communication devices

Paulo César Calvo¹, Adolfo Escobar^{2}, Carlos Pinedo³*

¹ Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica – G-BIO, Universidad Autónoma de Occidente, Calle 25 N.º. 115-85. Cali, Colombia.

² Grupo de Investigación en Alta Tensión – GRALTA, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Calle 13 N.º. 100-00, Edif. 356, Cali, Colombia.

³ Grupo Percepción y Sistemas Inteligentes – PSI, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Calle 13 N.º. 100-00. Cali, Colombia.

(Recibido el 28 de febrero de 2008. Aceptado el 30 de junio de 2008)

Resumen

En este artículo se presentan los efectos de las interferencias electromagnéticas radiadas, producidas por algunos equipos de comunicación inalámbrica, en equipos médicos utilizados para monitorear o mantener la vida de un paciente. Para esto, primero se midió el nivel de campo eléctrico producido por cuatro teléfonos celulares y un radioteléfono a diferentes distancias de los equipos.

Luego se evaluó el comportamiento de 16 equipos médicos cuando fueron expuestos a los campos electromagnéticos medidos previamente. Los resultados de estas pruebas mostraron que una gran cantidad de los equipos médicos bajo estudio presentaron alguna alteración funcional con diferentes niveles de severidad. Igualmente se encontró, que algunos equipos no cumplieron lo establecido en el estándar IEC 60601-1-2, el cual establece los límites de pruebas de inmunidad que deben soportar los equipos médicos.

----- *Palabras clave:* Campo electromagnético, comunicaciones móviles, equipo médico, interferencia electromagnética.

* Autor de correspondencia: teléfono: +57 + 2 + 333 42 52 Ext. 108, fax: +57 + 2 + 321 21 51, correo electrónico: adesord@univalle.edu.co

Abstract

In this paper the effects of the radiated electromagnetic interferences produced by some wireless communication devices on medical equipments that monitor or support a patient's life are presented. First, it was measured the electric field level produced by four cellular phones and one walkie-talkie at different distances from the devices. Afterwards, it was evaluated the behavior of 16 medical equipments when they were exposed to the electric fields measured previously. The results showed that a significant number of the medical equipments tested presented some functional alteration with different levels of severity. Likewise, it was found that some medical equipments were interfered at electric field values below immunity test levels established by the international standard IEC 60601-1-2.

----- *Keywords:* Electromagnetic field, electromagnetic interference, medical equipment, mobile communications.

Introducción

Desde la década de los 70 existe una preocupación relacionada con los efectos de las interferencias electromagnéticas (IEMs) en los hospitales. En 1979 la Food and Drug Administration publicó una norma titulada “Electromagnetic Compatibility Standard for Medical Devices” [1]. Esta norma trataba aspectos generales relacionados con las IEMs. En cuanto a las pruebas en equipos médicos, en 1983 y 1992 fueron publicados dos trabajos donde se observaron y describieron efectos indeseables causados por IEMs en el comportamiento de marcapasos y otros instrumentos implantables [2, 3]. La verificación de estas observaciones despertó el interés en los investigadores hacia la evaluación de IEMs en otros equipos médicos. Silberberg [4] fue uno de los primeros investigadores que presentó evidencia sobre la influencia de los campos electromagnéticos en el desempeño de los equipos electromédicos, su trabajo fue referencia para investigaciones posteriores. Al final de la década de los 90 la investigación fue enfocada hacia verificación de la influencia de los campos electromagnéticos producidos por equipos de comunicación portátiles (tal como telefonía móvil celular), en el desempeño de los equipos electromédicos presentes en el ambiente hospitalario [5-7]. Adler *et al.* evaluaron el impacto de los equipos de radiocomunicación en los equipos electromédicos, mediante pruebas experimentales en los ambientes hospitalarios. Baba *et al.* [6] por su parte probaron la susceptibilidad electromagnética y analizaron los efectos de las IEMs en 366 equipos en una cámara anecoica y 108 equipos en ambiente hospitalario. Witters *et al.* [7], establecieron protocolos de verificación de IEMs en equipos electromédicos utilizando la IEC 60601-1-2 [8] como norma aplicable a los equipos médicos y el borrador de la ANSI C63.18 [9], aplicable al ambiente hospitalario.

En los últimos años, las investigaciones se siguen concentrando en la evaluación de problemas presentes en equipos médicos ante la influencia de nuevas tecnologías móviles [10-13]. En [14] se presenta un resumen cronológico, de los principales estudios realizados para evaluar la IEM en

equipos médicos. A pesar de la gran cantidad de investigaciones a nivel mundial, en Colombia no se ha hecho un estudio en el que se evalúe el comportamiento de los equipos médicos cuando son expuestos a campos electromagnéticos producidos por equipos de comunicación inalámbrica. Debido a lo anterior, en este trabajo se planteó investigar el comportamiento de los equipos electrónicos de uso médico, para apoyo vital y monitoreo crítico, cuando estos fueran sometidos a señales electromagnéticas externas provenientes de telefonía móvil celular y radioteléfonos. La metodología se desarrolló en dos partes. En la primera se caracterizó el campo eléctrico producido por cinco equipos de comunicación inalámbricos (fuentes de disturbio electromagnético). Se evaluaron cuatro teléfonos celulares de uso común y un radioteléfono. El nivel de campo eléctrico fue obtenido para los cuatro lados de la fuente y a diferentes distancias.

En la segunda parte, se utilizaron las fuentes de disturbio caracterizadas en la etapa anterior para evaluar el comportamiento de 16 equipos médicos de monitoreo crítico y apoyo vital, cuando estos eran expuestos a campos electromagnéticos generados por las fuentes. Las fuentes se acercaban lentamente a los equipos médicos, mientras recibían una llamada, y se observaba si ocurría alguna alteración funcional. Se registró el tipo de falla presente y la distancia a la que se generó.

En este estudio, se encontró que el 87% de los equipos médicos probados sufrieron algún tipo de alteración funcional durante las pruebas, inclusive para niveles de campo inferiores a los establecidos en la normativa internacional [8]. De acuerdo a los tipos de falla encontrados, el 75% de los equipos interferidos podrían afectar la salud de un paciente.

Metodología

El desarrollo experimental se realizó en dos etapas, en la primera se caracterizó el campo eléctrico producido por algunos equipos de comunicación inalámbrica (teléfonos celulares y radioteléfono), con el fin de compararlo con el límite normativo

establecido para los equipos médicos [8]. Esta norma establece que en el rango de frecuencia de 80 MHz a 2,5 GHz los equipos médicos de monitoreo no crítico deben estar protegidos satisfactoriamente para intensidades de campo eléctrico de hasta 3 V/m y los equipos de monitoreo crítico y apoyo vital para intensidades de hasta 10 V/m. En la segunda etapa, se realizaron pruebas de inmunidad electromagnética en diferentes equipos médicos utilizando como fuente de disturbio los equipos caracterizados en la etapa anterior.

Caracterización de las fuentes de disturbio

La metodología para la caracterización de las fuentes fue realizada bajo las indicaciones de las

normas IEEE C95.3 [15] e IEC CISPR 16-1 [16], las cuales establecen las prácticas recomendadas para la medición de campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Se evaluaron cinco equipos de comunicación inalámbrica: cuatro teléfonos móviles (tres de ellos con frecuencias de transmisión a 850 MHz y uno a 1,9 GHz) y un radioteléfono (con frecuencia de transmisión de 450-527 MHz). Debido a que la potencia de transmisión de los teléfonos móviles no pudo ser controlada, ya que los equipos realizan control automático de potencia, se buscó un sitio para la realización de las caracterizaciones donde la cobertura no fuera muy buena con el fin de que los equipos transmitieran a la mayor potencia posible. En la tabla 1 se presentan los equipos de comunicación caracterizados junto con sus rasgos más importantes.

Tabla 1 Fuentes de disturbio utilizadas

<i>Fuente</i>	<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	<i>Operador</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Tecnología</i>
Celular	Motorola	L6i	Movistar	850 MHz	GSM
Celular	Motorola	C385	Comcel	850 MHz	GSM
Celular	Nokia	1600	Movistar	850 MHz	GSM
Celular	Samsung	C207L	Tigo	1,9 GHz	GSM
Radioteléfono	Motorola	Pro 5150	----	450 – 527 MHz	----

Para esta etapa se utilizó el medidor *EMR 300* junto con el *Sensor Tipo 18*, ambos equipos de Narda Safety Test Solutions. Este medidor de campo electromagnético, es un medidor isotrópico de banda ancha con sensores orientados en los tres ejes que determinan la resultante del valor de campo eléctrico en un punto específico. El sensor utilizado tiene un ancho de banda entre 100 kHz y 3 GHz, adecuado para las frecuencias de transmisión de los equipos evaluados y presenta un error absoluto de $\pm 1,0$ dB. Ambos equipos, medidor y sensor se encontraban calibrados. Las caracterizaciones se hicieron en un espacio amplio, libre de obstáculos en al menos 5 m a la redonda, sin fuentes de radiofrecuencia cercanas y donde el nivel de campo eléctrico ambiental no

fuera superior a 0,2 V/m. El procedimiento fue el siguiente: en el centro del sitio de prueba se ubicó el equipo a caracterizar (teléfono celular o radioteléfono) a una altura de 1 m sobre el nivel del piso. A una distancia de 0 cm. y frente al teléfono (perfil 1) se colocó el medidor de campo electromagnético, de tal forma que el sensor quedara a la misma altura del teléfono (Figura 1).

Aproximadamente desde una distancia de 15 m del sitio de prueba, y utilizando otro teléfono celular, se realizó una llamada al equipo bajo estudio y se midió el nivel de campo eléctrico generado por éste. En el caso del radioteléfono, simplemente se presionaba el botón para hablar. Con el fin de obtener un promedio del nivel máximo de campo eléctrico producido por el teléfono al recibir una

llamada (sin contestar) se realizaron tres mediciones. Una vez obtenido el nivel de campo en este punto, el medidor fue ubicado a una distancia de 5 cm. y se repitió el procedimiento anterior. Al final, se midió el campo eléctrico en este perfil hasta una distancia máxima de 4 m, obteniéndose en total 11 puntos (0, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200 y 400 cm.). Después de caracterizar uno de los perfiles, se procedió a realizar el mismo procedimiento con los tres restantes, con el fin de conocer el comportamiento del campo eléctrico en cada uno de los lados del teléfono.

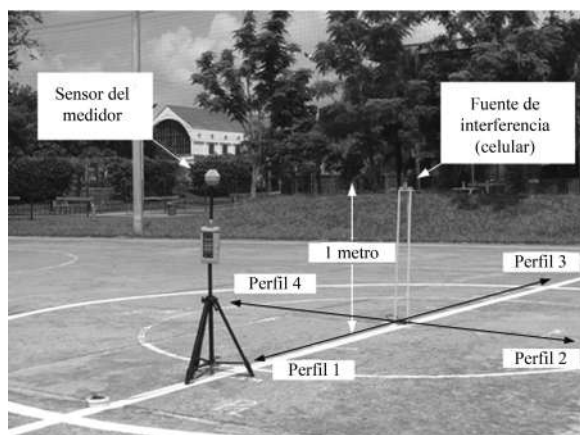


Figura 1 Disposición de los equipos para la realización de las caracterizaciones de campo eléctrico

Pruebas de inmunidad en los equipos médicos

La metodología que se siguió para la realización de las pruebas descritas a continuación se basa en la Norma ANSI C63.18 [9], la cual tiene como propósito estimar la inmunidad electromagnética radiada de equipos electromédicos cuando son sometidos a transmisores portátiles cuya potencia de transmisión sea inferior a 8 W.

Una vez que se caracterizaron los equipos que serían utilizados como fuentes de disturbio para

la segunda etapa, se realizaron las pruebas de inmunidad electromagnética en diferentes equipos médicos. El sitio más adecuado para realizar estas pruebas es el interior de una cámara anecoica. Esta cámara crea un ambiente aislado de los disturbios externos, de tal modo que dentro de ella sólo existen los campos electromagnéticos que fueran ahí generados, y por lo tanto los efectos detectados serían derivados exclusivamente de estos campos. Debido a que no fue posible contar con una cámara anecoica en este estudio, las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Bioinstrumentación de la Universidad Autónoma de Occidente, siguiendo las recomendaciones dadas en las normas internacionales [9]. Igualmente, se realizaron algunas pruebas en sitio (en un quirófano de la IPS Clínica Las Américas) con el objetivo de probar el procedimiento en un ambiente hospitalario. Ambos sitios cumplían las especificaciones en cuanto a la selección del área de prueba recomendados en el apartado 6 de la Norma ANSI C63.18. En este se establece que las pruebas deben realizarse en un área libre de estructuras y objetos metálicos al menos a 3 m del equipo médico. Los equipos médicos utilizados para las pruebas fueron seleccionados de acuerdo a los siguientes criterios: equipos con nivel de riesgo alto (es decir, equipos de monitoreo crítico o apoyo vital) y equipos que son de uso común en el ambiente hospitalario. En la tabla 2 se muestran los equipos médicos que fueron probados durante el estudio.

Los equipos médicos fueron ubicados sobre una mesa no conductora (Figuras 2 a) y b)). En todas las pruebas los equipos médicos estaban conectados a su correspondiente simulador de paciente, el cual fue utilizado para establecer una línea base en el comportamiento de cada uno de los equipos bajo prueba y poder identificar las perturbaciones que se presentaran cuando eran sometidos a las fuentes de disturbio. Los simuladores de paciente cumplían con los requisitos técnicos que cita la norma ANSI C63.18.

Tabla 2 Equipos médicos seleccionados para las pruebas

N.º	Equipo	Marca	Modelo	Tipo
1	Ventilador pulmonar	Ohmeda	7000	Apoyo vital
2	Cardiodesfibrilador	Hewlett Packard	Codemaster XL	Apoyo vital
3	Cardiodesfibrilador	Hewlett Packard	43100A	Apoyo vital
4	Cardiodesfibrilador	Hewlett Packard	Codemaster XL+	Apoyo vital
5	Cardiodesfibrilador	Physio-Control	Life Pack 5	Apoyo vital
6	Bomba de infusión	Baxter	6200	Apoyo vital
7	Bomba de infusión	Baxter	6201	Apoyo vital
8	Incubadora	Ohio	Care Plus	Apoyo vital
9	Cámara de luz radiante	Ohio	4400	Apoyo vital
10	Pulsoxímetro	Mindray	PM-600	Monitoreo crítico
11	Pulsoxímetro	Nellcor	N-395	Monitoreo crítico
12	Monitor multiparamétrico	Spacelabs	90309	Monitoreo crítico
13	Monitor multiparamétrico	Biosys	BPM-300	Monitoreo crítico
14	Monitor multiparamétrico	Air Shields	R22	Monitoreo crítico
15	Electrocardiógrafo	Welch Allyn	Schiller AT-1	Monitoreo crítico
16	Electrocardiógrafo	Kenz	108	Monitoreo crítico

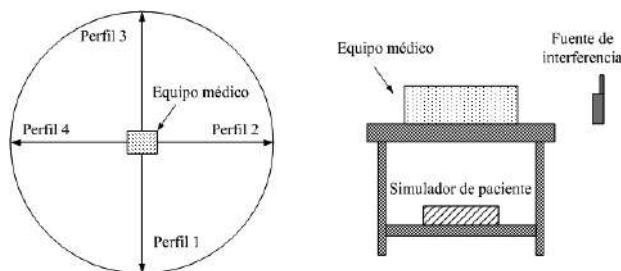


Figura 2 Disposición de los equipos para las pruebas de interferencia electromagnética, a) vista superior y b) vista lateral

Antes de iniciar la prueba se verificó el correcto funcionamiento del equipo médico utilizando para ello el simulador de paciente configurado para entregar parámetros fisiológicos de referencia. El procedimiento consistió en ubicar la fuente de disturbio a la distancia inicial de prueba (1

m para los teléfonos celulares y 3 m para el radioteléfono). A esa distancia se hacía una llamada al teléfono celular desde un sitio lejano a la zona de pruebas o en el caso del radioteléfono se presionaba el botón para hablar. En todo momento se monitoreaba la respuesta que entregaba el equipo bajo prueba ante los disturbios aplicados.

En el caso de que se observara un mal funcionamiento del equipo médico, se reportaba la distancia a la que se encontraba la fuente de disturbio, las características de la falla y se repetía el procedimiento para confirmar la reproducibilidad de los resultados. Al establecer la distancia a la cual se presentaban las fallas, se podría identificar indirectamente el nivel de campo eléctrico que ocasionara estas fallas. Si no se presentaba alteración funcional a esa distancia, se acercaba la fuente de disturbios y se repetía el procedi-

miento anterior. Esto se realizó con cada una de las cinco fuentes caracterizadas y acercando las fuentes por cada uno de los cuatro lados (perfiles) del equipo médico. Al finalizar la prueba, se verificaba de nuevo el correcto funcionamiento del equipo bajo prueba.

Clasificación de las fallas

Al exponer los equipos médicos a los campos electromagnéticos producidos por los equipos de comunicación inalámbrica, se pueden observar una gran diversidad de alteraciones funcionales. Estas alteraciones funcionales pueden producir fallas de gravedad tanto al paciente (despliegue de falsas alarmas, diagnósticos incorrectos) como al equipo médico expuesto a estos campos (daños en sus componentes electrónicos). Para determinar la gravedad de estas fallas, se tuvieron en cuenta las recomendaciones de la Food and Drug Administration (FDA) [17], donde se establecen tres niveles de riesgo para el paciente; *Nivel I*: consecuencias adversas serias para la salud o muerte del paciente, *Nivel II*: consecuencias adversas temporales para la salud o clínicamente reversibles y *Nivel III*: no es probable que cause consecuencias adversas para la salud. De acuerdo a las alteraciones funcionales observadas en los equipos se realizó una clasificación del tipo de falla que estos presentaron [11]. Las categorías son las siguientes: *Sin efecto – Categoría 0*: el equipo médico no presenta ningún tipo de falla, *Efecto reversible – Categoría 1*: la falla desaparece al desaparecer el disturbio, *Categoría 2*: la falla no desaparece al quitar el disturbio, pero el personal médico puede restablecer su funcionamiento; *Efecto irreversible – Categoría 3*: el equipo requiere de intervención técnica para restablecer su funcionamiento, *Categoría 4*: el equipo requiere reparación para restablecer su funcionamiento y *Efecto de enmascaramiento – Categoría 5*: el equipo presenta resultados dentro de los valores y parámetros esperados por el personal médico pero estos son erróneos. Esta última categoría se determinó con la ayuda de médicos y personal clínico especializado.

Resultados

En la figura 3 se presentan los valores de campo eléctrico medidos en los cuatro perfiles para el teléfono Motorola C385, comparados contra los valores que deben cumplir los equipos médicos según la normativa internacional.

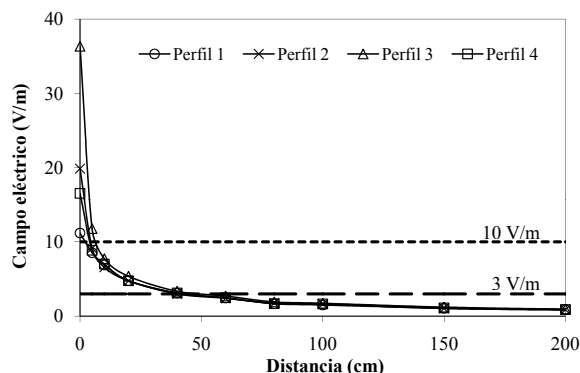


Figura 3 Perfiles de campo eléctrico medidos en el teléfono Motorola C385

En la tabla 3 se muestran el nivel de campo eléctrico máximo generado por cada una de las fuentes evaluadas y las distancias a las cuales se superaron los límites de conformidad (3 y 10 V/m) que deben soportar los equipos médicos de acuerdo a lo establecido por la IEC 60601-1-2.

Los resultados de las pruebas de inmunidad se presentan en resumen en la tabla 4. Para cada equipo médico probado con las diferentes fuentes, se muestra la distancia a la que ocurrió el primer efecto y las alteraciones observadas. El número del equipo corresponde al indicado en la tabla 2. Es importante aclarar que los resultados de estas pruebas aplican únicamente a los equipos médicos ensayados. Otras unidades de los mismos modelos pueden tener un comportamiento distinto.

En la figura 4 se observa el porcentaje de los equipos médicos de acuerdo a las categorías definidas en la sección anterior. Se observa en la figura 4 que el 87% de los equipos probados, sufrió algún tipo de alteración en su funcionamiento durante las pruebas.

Tabla 3 Valores máximos de campo eléctrico producidos y distancias a las que se superan los límites establecidos en la normativa para las fuentes de disturbios

<i>Fuente</i>	<i>Campo eléctrico máximo medido</i>	<i>Distancia a la que se supera 3 V/m</i>	<i>Distancia a la que se supera 10 V/m</i>
Motorola L6i	33,29 V/m	80 cm	10 cm
Motorola C385	36,34 V/m	40 cm	5 cm
Nokia 1600	33,89 V/m	60 cm	10 cm
Samsung C207L	20,64 V/m	40 cm	5 cm
Radioteléfono	116,22 V/m	400 cm	100 cm

Tabla 4 Resumen de los resultados de las pruebas de interferencia. Distancia a la que se presentó el primer disturbio y alteraciones observadas

<i>Equipo N.º</i>	<i>Motorola L6i</i>	<i>Motorola C385</i>	<i>Nokia 1600</i>	<i>Samsung C207L</i>	<i>Radio teléfono</i>	<i>Alteraciones observadas</i>
1	10 cm	10 cm	10 cm	5 cm	90 cm	Disparo de alarma
2	10 cm	10 cm	10 cm	5 cm	100 cm	Disparo de alarma y ruido en la señal ECG (todos los cardiodesfibriladores)
3	20 cm	20 cm	20 cm	5 cm	100 cm	
4	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	40 cm	Disparo de alarma y alteración en lectura (todas las bombas)
5	50 cm	50 cm	50 cm	50 cm	100 cm	
6	5 cm	5 cm	5 cm	0 cm	50 cm	Disparo de alarma y alteración en lectura (todas las bombas)
7	5 cm	5 cm	5 cm	0 cm	50 cm	
8	----	----	----	----	----	No se presentaron alteraciones
9	----	----	----	----	----	
10	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	100 cm	Disparo de alarma y alteración en lectura (todos los pulsoxímetros)
11	5 cm	5 cm	5 cm	0 cm	120 cm	
12	5 cm	5 cm	5 cm	0 cm	90 cm	Ruido en la señal ECG y SpO ₂ (todos los monitores multiparamétricos)
13	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	100 cm	
14	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm	150 cm	Ruido en la señal ECG (todos los electrocardiógrafos)
15	5 cm	5 cm	0 cm	0 cm	80 cm	
16	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	50 cm	

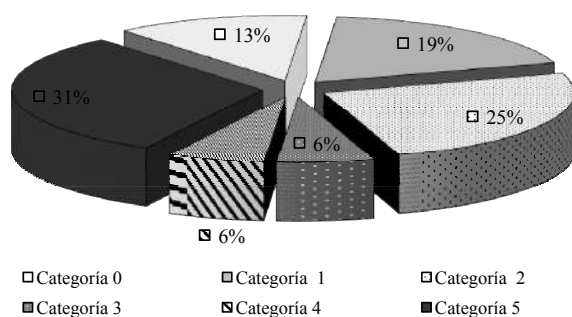


Figura 4 Porcentaje de equipos médicos de acuerdo a las categorías establecidas por la FDA

Al evaluar los niveles de riesgo para el paciente debido a las fallas en los equipos médicos, se observó que el 31% de los equipos interferidos se encontraron dentro del Nivel I, el 44% dentro del Nivel II y un 25% dentro del Nivel III.

Evaluando la separación entre el equipo médico y la fuente, el 56% de los equipos interferidos sufrió algún tipo de anomalía cuando la fuente se encontraba ubicada a 0 cm. de ellos, el 33% cuando la fuente estaba ubicada a menos de 15 cm. y el 11% cuando la fuente de disturbio estaba ubicada a distancias inferiores a 1 m. En cuanto al nivel de campo eléctrico, el 14 % de los equipos médicos se interfirió con intensidades menores a 5 V/m, el 36 % con niveles de campo entre 5 y 10 V/m y el 50% de los equipos médicos con intensidades superiores a 10 V/m.

Discusión

Durante la caracterización de las fuentes, se encontró que la mayor intensidad de campo eléctrico en los teléfonos celulares se presentó en el perfil 3 correspondiente a la parte posterior del equipo. Esto debido a que en esta zona se encuentra ubicada la antena del mismo. El valor más alto medido en el perfil 3 correspondía a entre 1,5 y 2,5 veces los valores máximos medidos en los perfiles restantes. En el caso del radioteléfono, los niveles de campo medidos en los cuatro perfiles fueron muy similares.

Los valores máximos registrados por los cuatro teléfonos celulares fueron aproximados, a excep-

ción del Samsung C207L que presentó un nivel máximo 0,6 veces inferior al producido por los otros tres celulares. Esto debido a que a la frecuencia de operación de este teléfono, la potencia de transmisión es menor.

Todos los equipos de comunicación evaluados produjeron niveles de campo eléctrico superiores a los indicados en la normativa que establece los valores de inmunidad para equipos médicos (3 V/m para equipos de monitoreo no crítico y 10 V/m para equipos de monitoreo crítico y apoyo vital). Para los teléfonos celulares el nivel de 10 V/m se superó a distancias inferiores a 10 cm., mientras que a distancias inferiores a 80 cm. se superó el nivel de 3 V/m. En el caso del radioteléfono, el nivel de 10 V/m se superó a menos de 1 m y el nivel de 3 V/m a menos de 4 m.

De acuerdo a la tabla 4, algunos equipos médicos evaluados presentaron alteraciones a partir de 50 cm. cuando la fuente era un teléfono celular. Mientras que en el caso del radioteléfono, algunos equipos presentaron fallas a partir de 120 cm. A partir de esta tabla y los datos obtenidos durante las caracterizaciones de las fuentes, se encontró que algunos equipos médicos presentaron fallas en su funcionamiento a distancias en las cuales la intensidad de campo eléctrico era inferior a la establecida en la normativa internacional.

En la figura 4 se observa que el 87% de los equipos probados, sufrió algún tipo de alteración. De estos, el 19% de los equipos volvió a trabajar normalmente después de quitar el disturbio, el 25% de los equipos requirió de personal clínico para reestablecer su funcionamiento, el 12% de los equipos requirió intervención técnica especializada para restablecer su funcionamiento y el 31% de los equipos presentó enmascaramiento de datos. Sólo el 13% de los equipos no presentó alteración alguna.

El alto número de equipos interferidos genera una gran preocupación, ya que estas fallas pueden llegar a producir un impacto negativo en la salud del paciente y la calidad del servicio prestado. De acuerdo al nivel de riesgo asociado al paciente se encontró que el 31 % de los equipos interferidos podría causar lesiones serias al paciente e inclu-

so la muerte, el 44% de los equipos interferidos podría causar consecuencias temporales para la salud del paciente pero clínicamente reversibles y un 25% no causaría algún efecto sobre la salud del paciente. Por lo tanto, el 75% de los equipos presentaron algún tipo de falla que podría desencadenar en lesiones en la salud del paciente. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede afirmar que existen algunas variables que inciden en el comportamiento de los equipos médicos cuando estos son sometidos a campos electromagnéticos.

La primera es la separación entre la fuente de disturbio y el equipo médico. Se pudo observar que el 56% de los equipos interferidos falló cuando la distancia a la fuente era de 0 cm., el 33% cuando la distancia era inferior a 15 cm. y el 11% cuando la distancia era inferior a 1 m.

La segunda es el tiempo de exposición al disturbio. Durante las pruebas se determinó que algunos equipos necesitaron hasta 10 segundos o más de exposición para activar algún tipo de alarma o inhibir su funcionamiento, mientras que otros presentaron fallas inmediatamente se iniciara la llamada.

La tercera y última es la frecuencia y potencia de transmisión de la fuente de disturbio. Estas variables, definidas por la infraestructura celular, son descriptores importantes del campo eléctrico que genera la fuente. De acuerdo con los resultados, se estableció que el 50% de los equipos evaluados fueron interferidos con intensidades de campo eléctrico inferiores a 10 V/m.

Conclusiones

Sin importar el sitio de prueba, se encontró que los equipos médicos de monitoreo crítico y apoyo vital evaluados, a excepción de la incubadora y la cámara de luz radiante, fueron altamente susceptibles a disturbios electromagnéticos producidas por equipos de comunicación inalámbricos. Las fallas observadas ocasionaron ruidos en la señal, enmascaramiento de datos y despliegue de falsas alarmas, entre otras.

Estos resultados podrían ser representativos de las posibles fallas que pueden presentarse en los diferentes equipos médicos de clínicas y hospitales de Colombia, cuando son expuestos a fuentes de radiofrecuencia, donde no se han tomado medidas con respecto al uso de la telefonía móvil e incluso no hay un conocimiento de esta problemática. Las fallas en los equipos médicos pueden comprometer no sólo el funcionamiento de los mismos sino también la salud del paciente que dicho equipo puede estar monitoreando o manteniendo.

El 50% de los equipos evaluados, presentó algún tipo de falla cuando la fuente de disturbio producía valores de campo eléctrico menores a los que deberían soportar según lo establecido en la norma internacional (10 V/m). Esto demuestra que algunos equipos no cumplieron con el nivel de inmunidad señalado internacionalmente.

De acuerdo con los valores medidos en las fuentes de disturbio, se estableció que ninguno de los dispositivos utilizados para las pruebas se encontraba transmitiendo a máxima potencia. Al aumentar la potencia de transmisión, aumenta considerablemente el riesgo de interferencia en los equipos médicos, ya que esto produce un aumento en la intensidad de campo eléctrico generado. La potencia con que transmitan estos equipos de comunicación dependerá de las condiciones de cobertura que se presenten en el ambiente.

Al evaluar los niveles de susceptibilidad e inmunidad electromagnética de los equipos médicos seleccionados, se observó que el teléfono Samsung cuya infraestructura celular es diferente a la de los otros tres teléfonos celulares, no ocasionó alteraciones funcionales importantes en los equipos médicos. Esto debido a que la potencia de transmisión es inferior a la de las demás infraestructuras.

De acuerdo con los resultados de este estudio, se debe mantener una distancia mínima de seguridad entre los equipos de comunicación inalámbricos y los equipos médicos de monitoreo crítico y apoyo vital, para que estos últimos trabajen sin ningún problema. En el caso de los teléfonos ce-

lulares está distancia puede ser superior a 1 m. Mientras que para los equipos de comunicación utilizados por el personal de servicios generales o el personal clínico, como los radiotéfonos, esta distancia debe ser superior a 2 m.

Referencias

1. Food and Drug Administration. *Electromagnetic compatibility standard for medical devices MDS-201-004*. Rockville. BMD Publication. 1979. pp. 1-28.
2. A. Warnowicz. "The pacemaker patient and the electromagnetic environment". *Clin. Prog in Pacing and Electrophysiol.* Vol. 1. 1983. pp. 166-176.
3. D. Marco, G. Eisinger, D. Hayes. "Testing of work environments for electromagnetic interference". *Pacing Clin Electrophysiol.* Vol. 15. 1992. pp. 2016-2022.
4. J. L. Silberberg. "Performance degradation of electronic medical devices due to electromagnetic interference". *Compliance Eng.* Vol. 10. 1993. pp. 25-39.
5. D. Adler, L. Margulies, Y. Mahler, A. Israeli. "Measurements of electromagnetic fields radiated from communication equipment and of environmental electromagnetic noise: impact on the use of communication equipment within the hospital". *Biomed. Instrum. Technol.* 1998. Vol. 32. pp. 581-590.
6. I. Baba, H. Furuhashi, T. Kano, S. Watanabe, T. Ito, T. Nojima, S. Tsubota. "Experimental study of electromagnetic interference from cellular phones with electronic medical equipment". *J. Clin. Eng.* Vol. 23. 1998. pp. 122-134.
7. J. Turcotte, D. Witters. "A practical technique for assessing electromagnetic interference in the clinical setting: ad hoc testing". *Biomed. Instrum. Technol.* Vol. 32. 1998. pp. 241-252.
8. International Electrotechnical Commission. *International standard IEC 60601-1-2, medical electrical equipment, Part 1: General requirements for safety, Part 2: Collateral standard: electromagnetic compatibility – Requirements and tests*. 2004.
9. American National Standard. *ANSI Standard C63.18 Recommended practice for an on-site, ad hoc test method for estimating radiated electromagnetic immunity of medical devices to specific radio-frequency transmitters*. 1997.
10. M. Pozzolini. *La suscettibilità a radiofrequenza nei dispositivi medici elettronici*. Tesi di Laurea. Ingegneria delle Telecomunicazioni. Università di Pisa. Pisa/Italia. 2004. pp. 9-25.
11. S. Cabral, S. S. Mühlen. "Interferência eletromagnética no ambiente hospitalar". *Revista MultiCiencia*. Vol. 5. 2005. pp. 44-49.
12. M. Wallin, T. Marve, P. K. Hakansson. "Modern wireless telecommunication technologies and their electromagnetic compatibility with life-supporting equipment". *Anesth. Analg.* Vol. 101. 2005. pp. 1393-1400.
13. S. Iskra, B. W. Thomas, R. McKenzie, J. Rowley. "Potential GPRS 900/180-MHz and WCDMA 1900-MHz interference to medical devices". *IEEE Trans on Biom. Eng.* Vol. 54. 2007. pp. 1858-1866.
14. N. Lawertschuk, D. M. Bolton. "Mobile phone interference with medical equipment and its clinical relevance: a systematic review". *Med. J. Aust.* Vol. 181. 2004. pp. 145-149.
15. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. *Std C95.3-1991 Recommended practice for measurements and computations of radio frequency electromagnetic fields with respect to human exposure to such fields, 100 kHz – 300 GHz*. 2002.
16. International Electrotechnical Commission. *International Standard CISPR 16-1-4 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Radiated disturbances*. 2007.
17. Food and Drug Administration. *Technical information report (TIR) 18, Guidance on electromagnetic compatibility of medical devices for clinical/biomedical engineers*. AAMI TIR 18. Arlington. Virginia. 1997.