

Protocolo de ensayos de emisiones radiadas en equipos médicos: caso de estudio de equipos de telemedicina

Test protocol for radiated emissions in medical electrical equipment: case study of telemedicine equipment

Antonio José Salazar Gómez, Diana Katherine Cuervo Ramírez*

¹ Laboratorio de Electrofisiología y Telemedicina. Universidad de los Andes. Carrera 1E N.º. 19A-40. Bogotá, Colombia.

(Recibido el 5 de abril de 2011. Aceptado el 7 de octubre de 2012)

Resumen

El presente protocolo se realizó con el propósito de contar con una metodología de certificación de compatibilidad electromagnética de equipos electromédicos, en lo referente a emisiones radiadas, de acuerdo a lo establecido por las normas IEC 60601-1-2 y CISPR 11. Se realizaron ensayos sobre equipos de telemedicina en cámara anecoica, con analizador de espectros conectado a una antena bicónica (20 MHz a 200 MHz) y a una antena log-periódica (200 MHz a 1000 MHz). La distancia de las mediciones fue 3 m, por lo cual los límites de emisiones de perturbaciones establecidos por CISPR 11 fueron normalizados. Los niveles de ruido encontrados en la cámara anecoica fueron bajos. Los equipos probados presentaron múltiples emisiones por fuera del valor permitido. Este es el primer trabajo en Colombia de emisiones radiadas de equipos electromédicos en cámara anecoica.

----- *Palabras clave:* Cámara anecoica, compatibilidad electromagnética, CISPR 11, equipos electromédicos, IEC 60601-1-2, seguridad eléctrica

Abstract

The purpose of the present protocol is to provide a certification methodology for electromagnetic radiations disturbances in medical equipment, according to IEC 60601-1-2 and CISPR 11 standards. Tests were undertaken for telemedicine equipment in anechoic chamber with a spectrum analyzer

* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 + 1 + 339 4949 ext. 3360, fax: + 57 + 1 + 332 4316, correo electrónico: sala@uniandes.edu.co (A. Salazar)

connected to a biconical antenna (20 MHz a 200 MHz) and to a log-periodic antenna (200 MHz a 1000 MHz). Measuring distance was 3 m, so the radiation disturbance limits established by CISPR 11 were normalized. Low noise levels were registered in the anechoic chamber. Several disturbance radiations over limits were found in tests for the selected equipments. This is the first work in Colombia about electromagnetic radiations disturbances assessment for medical equipment using an anechoic chamber.

----- **Keywords:** Electrical safety, medical electrical equipment, IEC 60601-1, CISPR 11

Introducción

El espectro electromagnético se puede dividir en dos grupos de acuerdo a su nivel de energía: radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes. Las radiaciones ionizantes son aquellas producidas por ondas de frecuencias mayores a 10^{16} Hz (e.g., rayos X, rayos gamma). La ionización puede generar efectos nocivos en los tejidos biológicos, que varían según el tiempo y la dosis de exposición. Los efectos que involucran daños en el ácido desoxirribonucleico (ADN) son llamados genotóxicos (e.g., aberraciones cromosómicas, alteraciones del ADN). Los efectos no-genotóxicos no afectan el ADN pero producen cambios en las funciones celulares (e.g., secuelas cancerígenas) [1]. Las radiaciones producidas por ondas en el rango de 0 Hz a 10^{16} Hz son no ionizantes (e.g., rayos infrarrojos, microondas, radio), por lo que la mayoría de sus efectos están asociados a inducción de corrientes en el cuerpo, causando calentamiento y efectos fotoquímicos, que aunque son menos peligrosos que los ionizantes, deben ser evitados. Por otra parte, la radiación electromagnética producida por un equipo puede producir perturbaciones en otros equipos, por lo cual deben ser atenuadas en ciertos rangos de frecuencias, lo cual también aplica para equipos electromédicos, tal como lo establece la norma IEC 60601-1, de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, *International Electrotechnical Commission*). En Colombia esta norma corresponde a la NTC 60601-1 [2] y a sus normas colaterales [3-4], las cuales son de obligatorio cumplimiento, aunque su aplicación no es muy difundida en nuestro país. En [5] se

realizaron pruebas de inmunidad cubiertos por otras normas IEC requeridas para cumplir los requisitos de comercialización de un producto médico. En [6] se realizaron medidas *in situ* del nivel de interferencia y ruido electromagnético generados entre la red inalámbrica y los equipos médicos de algunas áreas de un hospital (e.g., urgencias, salas de cirugía).

Este documento presenta el desarrollo y puesta en práctica de un protocolo de verificación de los requerimientos de *Emisiones Radiadas* en cámara anecoica —única existente en el país— como parte del proceso de la certificación de la compatibilidad electromagnética (CEM) para equipos electromédicos definidos en la norma IEC 60601-1 [2] y en su norma colateral 60601-1-2 (Compatibilidad Electromagnética) [4], la cual a su vez se basa en la norma *CISPR 11* [7]. El protocolo desarrollado se aplicó a dispositivos bajo prueba (DBP) consistentes en equipos de telemedicina. Se quiere así acercar al lector al entendimiento y comprensión de la norma, constituyendo un aporte al desarrollo de equipos electromédicos en el país, ya que aunque existen los medios para diseñarlos y producirlos, aún no existe un procedimiento definido, ni una entidad que permita certificar la seguridad eléctrica y la CEM de tales equipos.

La CEM comprende el conjunto de ensayos, regulaciones y estándares que debe cumplir un equipo electrónico para asegurar un funcionamiento electromagnético correcto en cualquier condición posible de operación. Los problemas de CEM se dan por la transferencia de energía entre una fuente y un receptor por medio de

un medio de propagación. La transferencia puede ser directa (i.e., por cables) o por acoplamiento (i.e., conductivo, inductivo, capacitivo, radiado). A frecuencias altas hay mayor probabilidad de que el medio de propagación sea radiado, mientras que a frecuencias bajas hay mayor probabilidad de que el medio de propagación sea conducido [8]. Para que un equipo cumpla los requisitos de CEM, debe aprobar los ensayos sobre: 1) Emisiones radiadas; 2) Emisiones conducidas; 3) Inmunidad radiada; 4) Inmunidad conducida; y 5) Descargas electrostáticas. Las emisiones radiadas son las que emanan de un equipo en forma de campo electromagnético. Para los ensayos de emisiones radiadas la norma IEC 60601-1-2 contiene algunos de los requisitos que deben cumplir los equipos y en general hace referencia a la norma la *CISPR 11* del Comité Internacional Especial de Perturbaciones Radioeléctricas (CISPR, Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques), la cual se tomó como guía para los ensayos del presente protocolo. La norma *CISPR 11 (Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement)* [7], en adelante la *norma*, aplica para todos los equipos electrónicos industriales, científicos y médicos que operan en el rango de 0 Hz a 400 GHz. Además, presenta de forma específica los requisitos, ensayos y límites de emisión de radiación que deben cumplir estos equipos en el rango de 9 KHz a 400 GHz (según el numeral 36.201.2.2 de [4] por debajo de 9 KHz los límites de emisión de radiación aún están bajo estudio). Según lo definido en CISPR 11 los equipos cubiertos por la norma están clasificados en dos grupos y dos clases. En el *Grupo 1*, equipos médicos que no están clasificados en el *Grupo 2*; en el *Grupo 2*, equipos médicos en los cuales la energía de radio frecuencia en el rango de 9 KHz a 400 GHz es generada y/o usada intencionalmente; en la *Clase A*, equipos destinados para ser usados en ambientes industriales; y en la *Clase B*, equipos aptos para el uso en establecimientos domésticos, conectados a la red eléctrica de baja tensión (i.e., < 1000 V). El presente protocolo está enfocado a

equipos médicos de diagnóstico y tratamiento del Grupo 1 y la *Clase B*, que es la clasificación de la mayor parte de equipos electromédicos.

Experimentación

Cálculo de los límites de emisiones radiadas

Los límites de emisiones radiadas para equipos *Grupo 1* y *Clase B* están definidos por la norma (artículo 6.2) para una distancia de 10 m entre la antena y el DBP (tabla 1). Dado que en la cámara anecoica la distancia de medición es de 3 m, se realizó la normalización requerida por la norma, como se muestra a continuación. Entre 10 metros y 3 metros hay 0,52 décadas calculadas así:

$$\log_{10} \left(\frac{10 \text{ m}}{3 \text{ m}} \right) = 0,52 \text{ décadas} \quad (1)$$

Según lo dispuesto por la norma el procedimiento de normalización se realiza con un factor de 20 dB por década, de manera que el factor de ajuste que se suma a los límites presentados en la tabla 1 es:

$$\begin{aligned} \text{Factor}_{3 \text{ m}} &= (20 \text{ dB}(\mu\text{V/m})/\text{década}) \\ &\cdot (0,52 \text{ década}) = 10,45 \text{ dB}(\mu\text{V/m}) \end{aligned} \quad (2)$$

El límite ajustado a 3 m será el límite definido por la norma para 10 m más el factor de ajuste a 3 m calculado en (2). En el rango de 30 MHz a 230 MHz el límite será:

$$\begin{aligned} \text{Límite}_{30 \text{ MHz a } 230 \text{ MHz}} &= 30 \text{ dB}(\mu\text{V/m}) \\ + 10,45 \text{ dB}(\mu\text{V/m}) &= 40,45 \text{ dB}(\mu\text{V/m}) \end{aligned} \quad (3)$$

En el rango de 230 MHz a 1000 MHz el límite se calcula así:

$$\begin{aligned} \text{Límite}_{230 \text{ MHz a } 1000 \text{ MHz}} &= 37 \text{ dB}(\mu\text{V/m}) \\ + 10,45 \text{ dB}(\mu\text{V/m}) &= 47,45 \text{ dB}(\mu\text{V/m}) \end{aligned} \quad (4)$$

Tabla 1 Límites de emisiones radiadas definidos por CISPR 11 para equipos Grupo 1 y Clase B

| Rango de frecuencias MHz | Cuasi-pico^{a,b} dB(µV/m) | |
|---------------------------------|---|-------------------------------|
| | Límite definido por la norma a 10m | Límite calculado a 3 m |
| 30 - 230 | 30 | 40,45 |
| 230 - 1000 | 37 | 47,45 |

- a. Los rangos no definidos por la norma no se verifican
- b. En las frecuencias de transición aplica el límite más estricto

Equipos utilizados

Los DPB fueron localizados dentro de una cámara anecoica y sus emisiones radiadas se captaron por antenas cuya señal de recepción se capturó con un analizador de espectros. A continuación se presentan sus respectivas características.

Cámara anecoica

Para realizar las pruebas de emisiones radiadas en este tipo de equipos la norma establece que se deben realizar en un lugar de ensayos (y no *in situ*). En este caso el ambiente ideal es una cámara anecoica, que es un recinto cerrado que absorbe la energía que incide sobre sus paredes. La parte exterior de las paredes internas están recubiertas con una malla metálica para producir el efecto de la jaula de Faraday, creando una pantalla que anula las perturbaciones producidas por la incidencia de los campos externos. En la parte interior de las paredes se realiza un recubrimiento con material absorbente electromagnético de manera que las reflexiones sean muy pequeñas, simulando características de espacio libre ideal. La cámara anecoica utilizada es la ETS-Lindgren MIL-STD-461E/F (ETS-Lindgren, USA), la cual tiene las siguientes características: rango de frecuencias de operación de 80 MHz a 40 GHz; desempeño de absorción en frecuencias críticas según la norma IEEE-1128 (e.g., absorción mínima de 6 dB en el rango de 80 MHz a 250 MHz y 10 dB a frecuencias mayores a 250 MHz); desempeño de atenuación según tipo de campo, como se indica en la tabla 2; medidas físicas aproximadas de 6 m de ancho, 9 m de largo y 6 m de altura; los absorbentes utilizados son de forma

de forma piramidal, cubren el rango de 80 MHz a 40 GHz y soportan campos de hasta 200 V/m en operación.

Tabla 2 Atenuación cámara anecoica ETS-Lindgren MIL-STD-461E/F

| Tipo de campo | Atenuación |
|----------------------|------------------------------------|
| | 20 dB a 1 KHz |
| Magnético | 56 dB a 10 KHz 100 dB a 200 KHz |
| Eléctrico | 100 dB desde 200 KHz hasta 50 MHz |

Antenas

En los ensayos de radiación es necesario realizar mediciones de campo lejano de la intensidad de campo eléctrico a diferentes frecuencias (para lo cual se utilizan antenas de diferentes tipos según la banda de frecuencias) [9]. Para cubrir los rangos de frecuencias especificados por la norma se utilizaron dos tipos de antenas omnidireccionales con impedancias de 50 Ω: 1) Antena Bicónica ETS-Lindgren 3104C (ETS-Lindgren, USA), formada por dos conductores y permite realizar barridos de frecuencia de 20 MHz a 200 MHz; 2) antena en arreglo de dipolos log-periódica ETS-Lindgren 3148B (ETS-Lindgren, USA), constituida por un número variable de dipolos paralelos ordenados sobre el mismo plano, diseñada para barridos de frecuencia de 200 MHz a 2 GHz. El factor de antena suministrado por el fabricante para distancias de 3 m, para antena bicónica se muestra en la figura 1 y en la antena log-periódica en la figura 2.

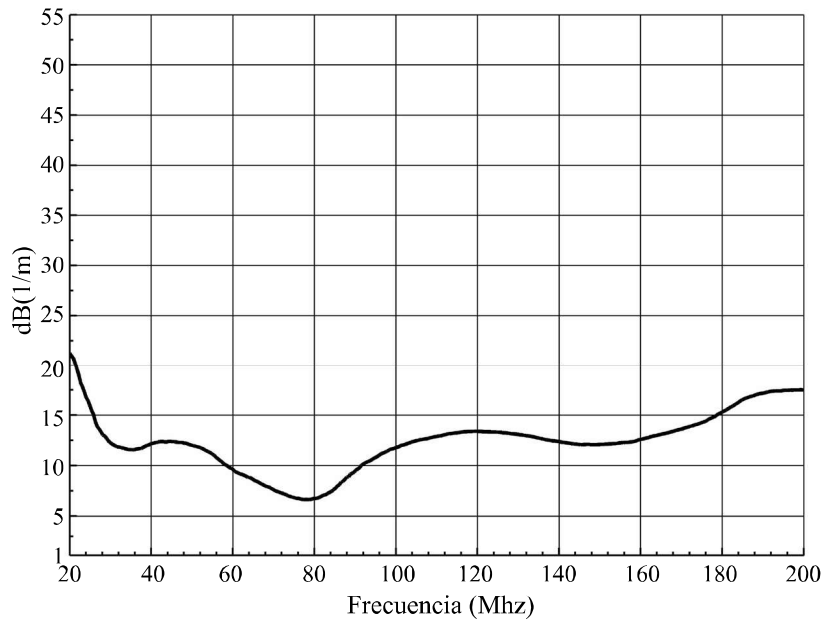


Figura 1 Factor de antena bicónica en dB(1/m) de 20 MHz a 200 MHz

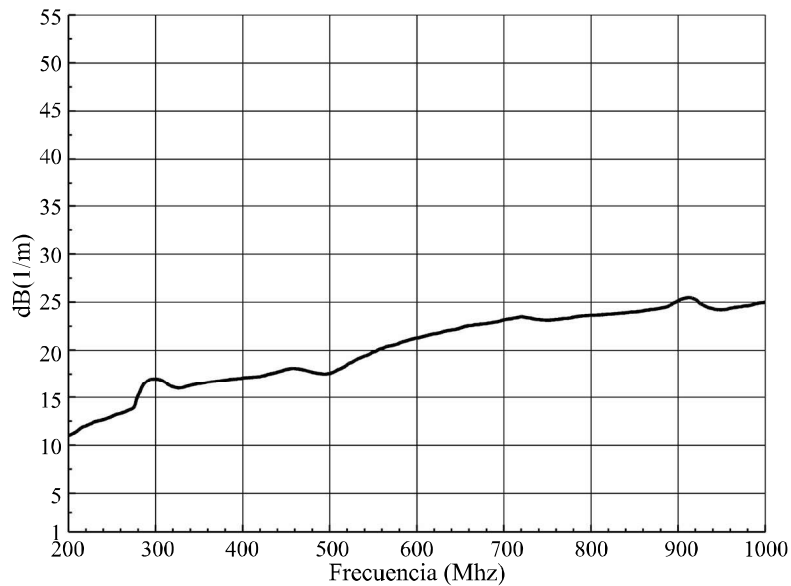


Figura 2 Factor de antena log-periódica en dB(1/m) de 200 MHz a 1000 MHz

Analizador de espectros

Se utilizó un analizador de espectros Agilent HP 8595E (Hewlett-Packard Company, Englewood, CO, USA) de 9 KHz a 6,5 GHz. Dado que el analizador de espectros muestra los datos de campo eléctrico en unidades de [dB(μ V)], se

deben convertir a [dB(μ V/m)]. Esta conversión está caracterizada por el *factor de antena* (K), que es la relación entre el campo eléctrico (E) tomado por la antena y el voltaje (V) que se obtiene a la salida sobre la impedancia [8]. Para el cálculo del campo eléctrico con el cual se

relacionan las emisiones de radiación, se utiliza la ecuación de factor de antena en decibeles tomando como referencia $1\mu\text{V/m}$ para facilitar así su comparación con los niveles definidos por la norma CISPR 11. Así, la expresión para campo eléctrico es:

$$E [dB(\mu\text{V/m})] = K_{\text{distancia}} [dB(1/\text{m})] + V [dB(\mu\text{V})] + \alpha (dB) \quad (5)$$

Donde $E [dB(\mu\text{V/m})]$ es el campo eléctrico, $K_{\text{distancia}} [dB(1/\text{m})]$ es el factor antena a la distancia de medición (figura 1 y 2), $V [dB(\mu\text{V})]$ el voltaje medido por el analizador de espectros y $\alpha (dB)$ representa las pérdidas en el cable. Esta misma operación se realizó para todos los datos medidos en cada DBP.

DBP utilizados en el presente protocolo

Según las normas IEC 60601-1 y CISPR 11 los DBP utilizados en los ensayos están clasificados como Grupo 1 y Clase B. A continuación se describe cada uno de ellos.

FibroscoPIO Digital: el fibroscoPIO AMD-400S (AMD Telemedicine Inc. Lowell, MA, USA) es un sistema de iluminación por fibra óptica y cámara digital para generar imágenes diagnósticas de otorrinolaringología (ORL), oftalmología y dermatología entre otros, las cuales se transmiten a un PC o a un sistema de videoconferencia.

Ultrasonido: equipo portátil de ultrasonido Terason US System 128 4C2 (Teratech, Burlington, MA, USA); el sistema se basa en un transductor

alimentado y controlado por un PC portátil, el cual captura y transfiere las imágenes.

Estetoscopio digital: AMD-3550 SmartSteth (AMD Telemedicine Inc. Lowell, MA, USA). El dispositivo permite visualizar, grabar, reproducir y transmitir los sonidos del estetoscopio por medio de un PC.

Protocolo de ensayos de emisiones radiadas para equipos electromédicos

1. Seleccionar e instalar una de las dos antenas disponibles según los rangos de frecuencia en los cuales se realizará el barrido. Las emisiones radiadas se van a analizar en los rangos definidos por la norma con dos antenas: 30 MHz a 200 MHz con antena bicónica y de 200 MHz a 1000 MHz con antena log-periódica. Medir las pérdidas del cable de la antena al analizador de espectros.
2. Inicialmente se ubica el DBP sobre la mesa y la antena según la configuración de la figura 3, teniendo cuidado de que la parte inferior de la antena esté mínimo a 0,2 m del plano de tierra. La distancia del DBP al centro de la antena debe ser de 3 m. La antena debe estar a la misma altura del DBP, moviéndola por medio del posicionador de la cámara anecoica. Si el DBP requiere un computador personal (PC) para su configuración básica, este se debe aislar con una cubierta que elimine las radiaciones del PC, como se muestra en la figura 4.

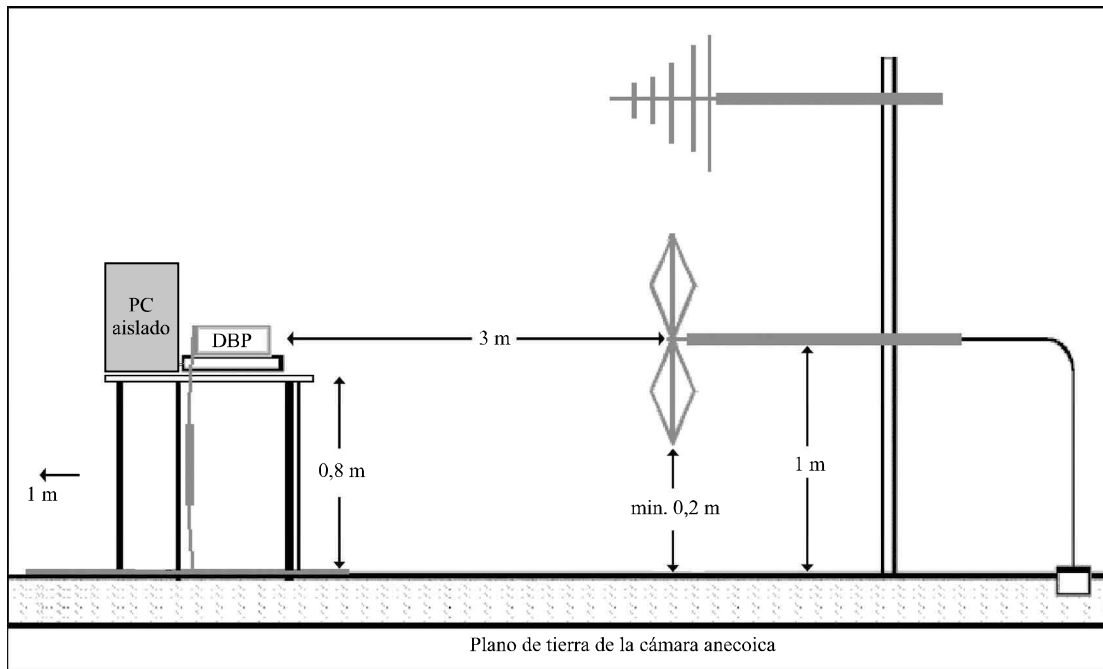


Figura 3 Configuración de equipos para medición de emisiones radiadas. Inicialmente el DBP debe estar a 3 m del centro de la antena. Luego las antenas se ubican a alturas 2 m, 3 m y 4 m respecto al plano inferior. Si se requiere PC para operar el DBP se debe aislar con una caja de aislamiento



Figura 4 Caja de aislamiento para el PC. Solo el DPB queda expuesto (en este caso el fibroscopio)

3. Conectar la línea de la antena al analizador de espectros para la medición del voltaje en sus terminales.

4. Configurar en el analizador de espectros las siguientes funciones: 1) resolución del ancho de banda (RBW, Resolution Band Wide) a un valor pequeño para mantener una buena relación señal a ruido, se seleccionó 30 KHz; 2) atenuación (Attenuation) en 0 dB; 3) unidades en dB(μ V), dado que por defecto el analizador está en unidades de dB·m; 4) tipo de respuesta en quasi-pico (valor por defecto del analizador).
5. Seleccionar en el analizador de espectros los rangos de frecuencia en los cuales se realizará el barrido de acuerdo a la antena seleccionada.
6. Realizar la medición de los niveles de ruido con el DBP apagado para verificar si están 6 dB por debajo de los límites máximos definidos por la norma (tabla 1). En caso de no cumplirse se debe acercar la antena al DBP y medir nuevamente hasta encontrar una distancia para la cual se cumpla, ajustando nuevamente los límites permitidos (tabla 1) a esa distancia.

7. Ubicar la antena en polarización horizontal. La polarización horizontal corresponde a una posición normal paralela al piso.
8. Encender y activar las funciones de operación normal del DBP.
9. Tomar la medición de voltaje recibido por el analizador de espectros para valores del ángulo Azimuth del DBP con la antena de 0°, 90°, 180° y 270°, rotando el DPB.
10. Detectar el rango de frecuencias que presentó emisión de radiación más alta. Para estas frecuencias, se mide a alturas de antena de 2 m, 3 m y 4 m, variando el ángulo de Azimuth como en el paso 9. Para la caracterización del DPB no se seleccionó el rango con más altas frecuencias sino que se realizó el barrido para toda la banda seleccionada en el paso 5.
11. Ubicar la antena en polarización vertical y repetir los pasos 9 y 10.
12. Envío de datos del analizador de espectro al computador por medio de LabView o MatLab para análisis posterior del cumplimiento de la norma.
13. Apagar todos los equipos y repetir todos los pasos anteriores con la segunda antena.

Resultados y discusión

La puesta a punto del presente protocolo en nuestra cámara anecoica representa en sí mismo el resultado más importante de este proyecto. A continuación se presentan los resultados de la aplicación del protocolo a los DPB seleccionados.

Las pérdidas en el cable con antena bicónica pasaron de 0,54 dB a 1,7 dB en el rango de 20 MHz a 200 MHz, con un comportamiento lineal. Las pérdidas en el cable con antena log-periódica pasaron de 1,7 dB a 3,15 dB en el rango de 200 MHz a 1000 MHz, también con un comportamiento lineal.

En la medición de los pisos de ruido en la cámara se encontraron valores muy bajos con las dos antenas (ver tabla 3). En ambos casos el nivel de ruido es muy inferior a los límites de la norma, i.e., 6 dB por debajo de los límites de la tabla 1, que corresponde a 34,45 dB(μ V/m) para antena bicónica y 41,45 dB(μ V/m) para antena log-periódica. La variación del ruido con la frecuencia no es muy grande. Esto muestra las bondades de la cámara anecoica y de la instrumentación utilizada.

Tabla 3 Niveles de ruido en la cámara anecoica

| <i>Antena</i> | <i>Rango de frecuencias</i> | <i>Nivel de ruido dB(μV/m)</i> | | |
|---------------|-----------------------------|---|-----------------|---------------|
| | <i>MHz</i> | <i>mínimo</i> | <i>promedio</i> | <i>máximo</i> |
| bicónica | 20 - 200 | 21,8 | 24,4 | 26,3 |
| log-periódica | 200 - 1000 | 21,6 | 24,8 | 26,6 |

A continuación se presentan los resultados de emisiones radiadas para cada uno de los DPB según el protocolo diseñado. Para cada equipo se graficó el valor máximo del campo eléctrico (E) para cada frecuencia con cada antena al variar el ángulo del equipo (0°, 90°, 180° y 270°) como se indicó en el paso 9 del protocolo y la altura (2 m, 3 m, 4 m) como se indicó en el paso 10 del protocolo.

En el caso del fibroscopio, con antena bicónica se encontraron emisiones por encima de los límites de la norma entre 30 MHz y 45 MHz, entre 70 MHz y 76 MHz, así como entre 180 MHz y 200 MHz (figura 5); con la antena log-periódica se encontraron emisiones por encima de los límites de la norma entre 540 MHz y 1000 MHz (figura 6).

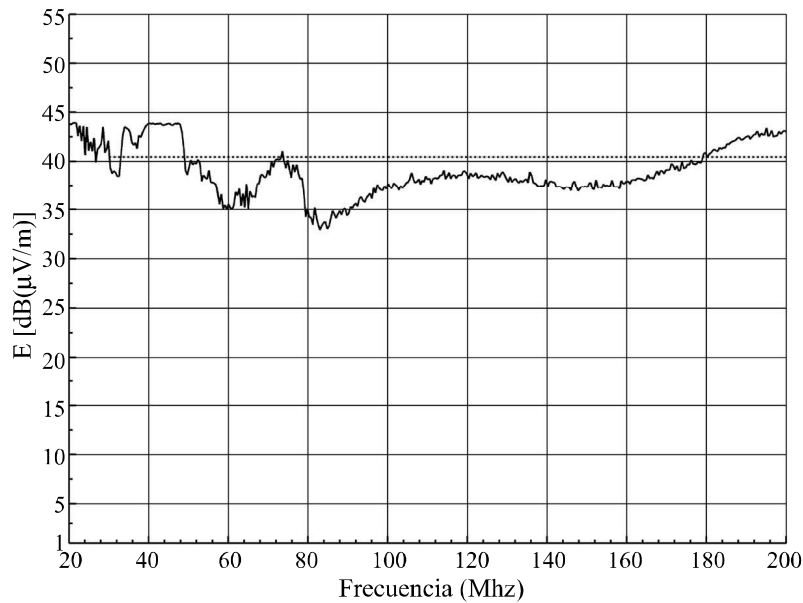


Figura 5 Emisiones radiadas en fibroscopio con antena bicónica. Se presenta el máximo para cada frecuencia al variar la altura (2 m, 3 m y 4 m) y el ángulo (0°, 90°, 180°, 270°). La línea punteada indica el límite máximo permitido por la norma

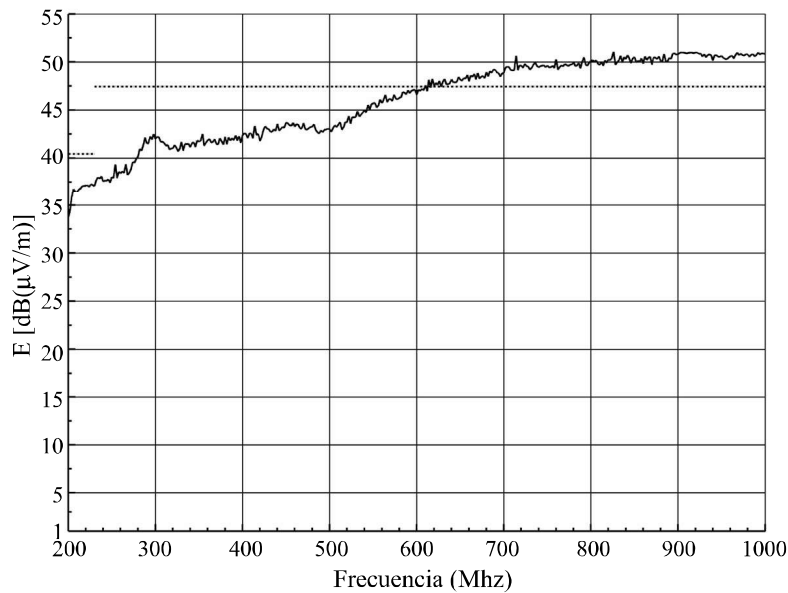


Figura 6 Emisiones radiadas en fibroscopio con antena log-periódica. Se presenta el máximo para cada frecuencia al variar la altura (2 m, 3 m y 4 m) y el ángulo (0°, 90°, 180°, 270°). La línea punteada indica el límite máximo permitido por la norma

Para el ultrasonido, con antena bicónica se encontraron emisiones por encima de los límites de la norma entre 86 MHz y 90 MHz, así como

entre 168 MHz y 200 MHz (figura 7); con la antena log-periódica se encontraron emisiones por encima de los límites de la norma entre 540 MHz y 1000 MHz (figura 8).

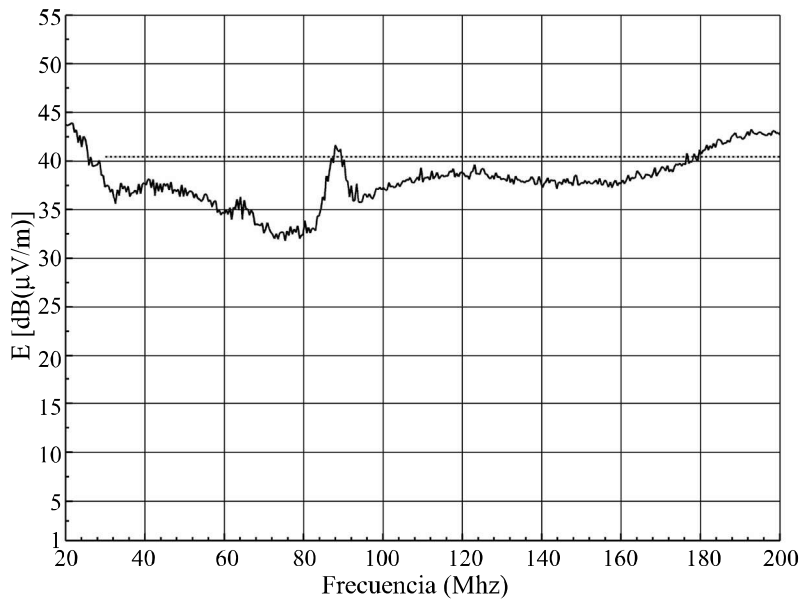


Figura 7 Emisiones radiadas en ultrasonido con antena bicónica. Se presenta el máximo para cada frecuencia al variar la altura (2 m, 3 m y 4 m) y el ángulo (0°, 90°, 180°, 270°). La línea punteada indica el límite máximo permitido por la norma

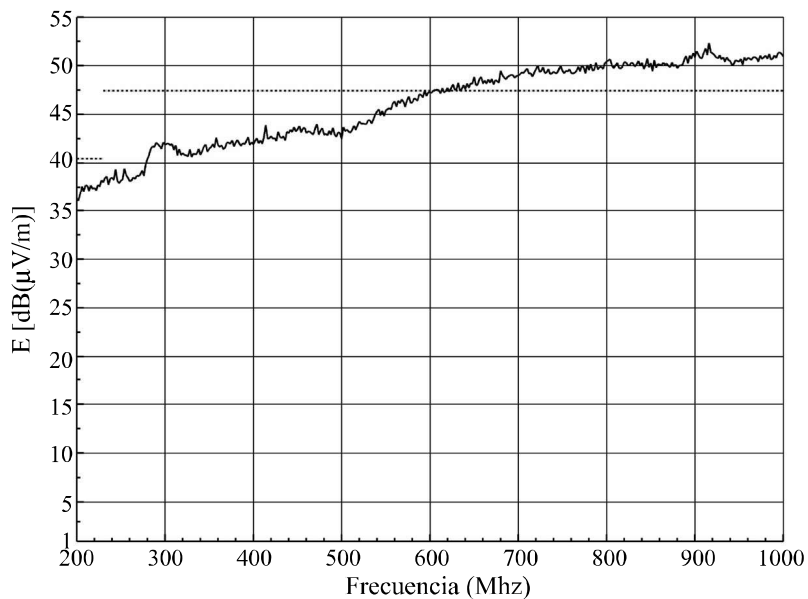


Figura 8 Emisiones radiadas en ultrasonido con antena log-periódica. Se presenta el máximo para cada frecuencia al variar la altura (2 m, 3 m y 4 m) y el ángulo (0°, 90°, 180°, 270°). La línea punteada indica el límite máximo permitido por la norma

En el caso del estetoscopio, con antena bicónica se encontraron emisiones por encima de los límites de la norma entre 30 MHz y 45 MHz y entre 97 MHz y 200 MHz (figura 9); con la antena log-

periódica se encontraron emisiones por encima de los límites de la norma entre 200 MHz y 230 MHz, 455 MHz, 480 MHz y entre 535 MHz y 1000 MHz (figura 10).

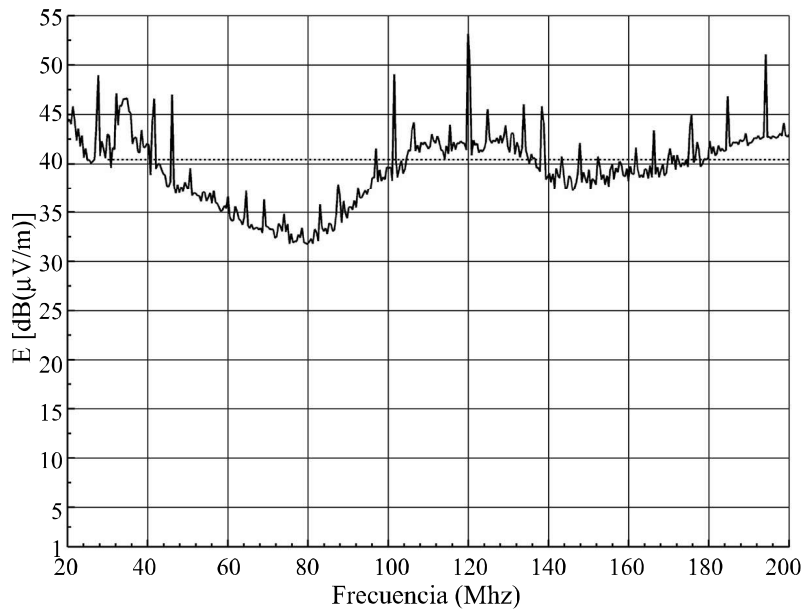


Figura 9 Emisiones radiadas en estetoscopio con antena bicónica. Se presenta el máximo para cada frecuencia al variar la altura (2 m, 3 m y 4 m) y el ángulo (0°, 90°, 180°, 270°). La línea punteada indica el límite máximo permitido por la norma

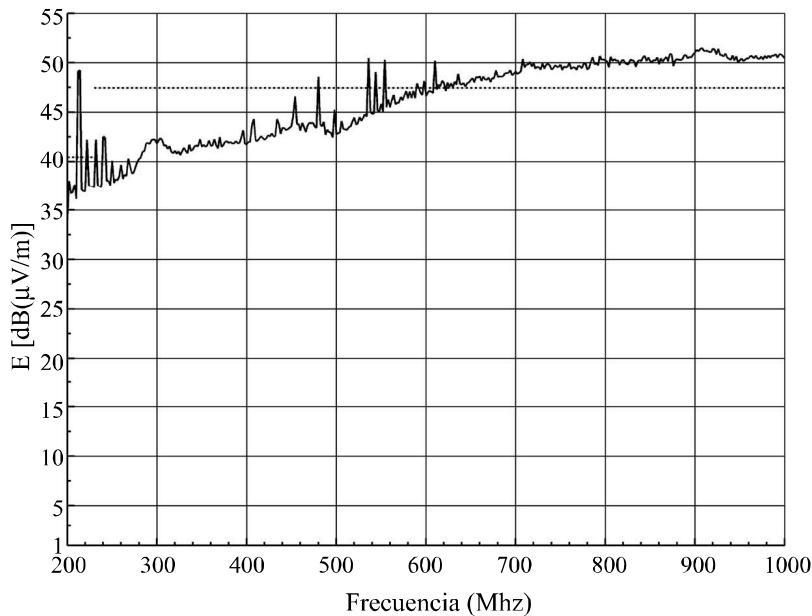


Figura 10 Emisiones radiadas en estetoscopio con antena log-periódica. Se presenta el máximo para cada frecuencia al variar la altura (2 m, 3 m y 4 m) y el ángulo (0°, 90°, 180°, 270°). La línea punteada indica el límite máximo permitido por la norma

Es importante recordar que los ensayos sobre los DPB se realizaron aislando el PC que la mayoría de ellos requiere para diversas funciones, lo que

permitió encontrar las emisiones propias del componente médico del sistema. En la realidad el PC estará en el entorno del paciente y por tanto en

presencia de otros equipos vitales para el paciente (e.g., sistemas de ventilación, monitoreo), por lo cual se deben realizar las pruebas de CEM para el PC —con los mismos límites definidos aquí— tal como se realizó en [10] para un PC de características similares a los que usan los DPB del presente estudio.

Conclusiones

En el desarrollo del presente proyecto se realizó un extenso y analítico estudio de los requerimientos de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética definidos por normas internacionales de la IEC, a partir de lo cual fue posible poner a punto un protocolo de ensayos de emisiones radiadas en equipos electromédicos en cámara anecoica, como parte de los ensayos requeridos para comprobar su CEM. Igualmente se logró ponerlo a prueba con ensayos realizados con varios equipos electromédicos de telemedicina. El protocolo desarrollado ha sido utilizado posteriormente en otros equipos electromédicos desarrollados en nuestra universidad en proyectos de grado desarrollados en el área de ingeniería biomédica [11] y en proyectos de investigación de mayor complejidad como el sistema de monitoreo de mecánica respiratoria Medivent [12], el cual opera en la Fundación Cardio-infantil de Bogotá.

Adicionalmente a estos ensayos de emisiones radiadas se han realizado pruebas de seguridad eléctrica como se define en [2]. Posteriormente se realizarán ensayos relativos a los demás factores relativos a la CEM (i.e., emisiones conducidas, inmunidad radiada, inmunidad conducida y descargas electrostáticas).

Es necesario resaltar que el diseño e implementación de este protocolo es un aporte importante a la ingeniería biomédica, en lo referente a la producción y certificación de equipos electromédicos en nuestro país, dado que no existe en Colombia otra cámara anecoica que permita realizar este tipo de ensayos.

Agradecimientos

A los miembros del Grupo de Electrónica y Sistemas de Telecomunicaciones de la Universidad de los Andes por su colaboración en las mediciones en la cámara anecoica.

Referencias

1. J. Miyakoshi. *Cellular Biology Aspects of Mobile Phone Radiation*. J. Lin. (editor). Advances in electromagnetic fields in living systems. 5ª ed. Ed. Springer. Chicago, USA. 2009. pp. 1-33.
2. ICONTEC. NTC-IEC 60601-1. *Equipo Electromédicos. Parte 1: Requisitos generales para la seguridad*. Bogotá, Colombia. 1998. pp. 247.
3. ICONTEC. NTC-IEC 60601-1-1. *Equipos Electromédicos. Parte 1: Requisitos generales de seguridad. Sección: 1: Norma Colateral. Requisitos de seguridad para sistemas electromédicos*. Bogotá, Colombia. 2001. pp. 19.
4. ICONTEC. NTC-IEC 60601-1-2. *Equipos Electromédicos. Parte 1: Requisitos generales de seguridad". Sección: 2: Norma Colateral. Compatibilidad electromagnética. Requisitos y ensayos*. Bogotá, Colombia. 2001. pp. 14.
5. C. Salcedo, J. Yaya. *Preparación del equipo carboxi de la compañía Dermocell Colombia LTDA para aprobación de las directivas europeas sobre compatibilidad electromagnética 89/336/cee y seguridad de equipos en baja tensión*. Proyecto de grado. Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 2006. pp. 1-34.
6. M. Rojas, F. Sánchez. *Estudio, a través de mediciones, del canal de radio en las bandas ISM y UNII, y de las interferencias generadas en el hospital Universitario de la Samaritana*. Proyecto de grado. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. 2005. pp. 1-166.
7. CISPR 11. *Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement*. Central bureau of the IEC, 3 rue de Varembe. Ginebra, Suiza. 2009. pp. 1-106.
8. P. Clayton. "Antennas -Antennas Factor". *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. 2ª Ed. John Wiley & Sons Hoboken. N. J. 2006. pp. 456-463.
9. P. Clayton. "Antennas -Broadband Measurement antennas". *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. 2ª Ed.

- Ed. John Wiley & Sons Hoboken. N. J. 2006. pp. 486-494.
10. J. Pantoja, O. Nova, J. Bohórquez, N. Peña. “Caracterización de Emisiones y Susceptibilidad Radiada de un Computador Personal.” *Rev. Ing.* Vol. 33. 2011. pp. 25-33.
 11. J. Rozo. *Salida de audio de la separación del sonido cardiaco y pulmonar en procedimientos de auscultación*. Proyecto de grado. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. 2010. pp. 1-39.
 12. L. Peñuela, W. García, A. García. *MediVent: Consideraciones Médicas de Diseño*. V Seminario Internacional de Ingeniería Biomedica. Bogotá, Colombia. 2009. en CD.