

**Caracterización de los niveles de exposición a campos electromagnéticos durante el tratamiento con diatermia**

**Characterization of the exposure levels to electromagnetic fields during the diathermy treatment**

**MsC. Douglas Deás Yero, Dr. Fidel Gilart González e Ing. Daikel Quintana Revilla**

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

**RESUMEN**

Se realizó un estudio del campo electromagnético generado por distintos electrodos de tipo capacitivo, empleados en el equipo de fisioterapia por diatermia de onda corta YB4-66, considerando su interacción con el medio ambiente que le rodea. Se realizaron las mediciones de campo eléctrico para diferentes configuraciones de tratamiento y se utilizó un medidor de campo eléctrico de sonda isotrópica. Se diseñó, mediante un software profesional de simulación, un modelo electromagnético paramétrico bidimensional con simetría axial, para obtener detalladamente en cada configuración de los electrodos evaluados la interacción del campo electromagnético con el tejido biológico y el ambiente exterior. Se halló una buena correspondencia entre los resultados obtenidos de forma experimental y las simulaciones, lo cual permitió identificar los niveles de exposición y tomar decisiones para lograr un tratamiento más efectivo y con el menor daño posible a los seres humanos.

**Palabras clave:** fisioterapia, diatermia de onda corta, modelación de campos electromagnéticos.

**ABSTRACT**

A study of the electromagnetic field generated by different electrodes of capacitive type, used by the physiotherapy device for short wave diathermy (YB4-66), was carried out considering their interaction with the surrounding environment. The measurements of the electric field for different treatment configurations were carried out and a meter with electric isotropic field probe was used. By means of a professional software of simulation, a two-dimensional parametric electromagnetic model with axial symmetry was designed, to obtain detailedly in each configuration of the evaluated electrodes the interaction of the electromagnetic field with the biological tissue and the external environment. A good correspondence was found between the obtained results in an experimental way and the simulations, which allowed to identify the exposure levels and to make decisions to achieve a more effective treatment and with the shortest possible damage for the human beings.

**Key words:** physiotherapy, diathermy of short wave, modeling of electromagnetic fields.

## INTRODUCCIÓN

El uso de los campos electromagnéticos en la medicina de rehabilitación es una práctica mundialmente reconocida y se focaliza en la restauración de las funciones perdidas y en mejorar la calidad de vida del paciente. En el campo de la fisioterapia, la modalidad de terapia física como la electroterapia de alta frecuencia, específicamente la de onda corta y la de microonda, constituyen el agente terapéutico más eficaz para conseguir un efecto mediado por calor, pues se obtienen beneficios a corto y mediano plazos, además de que los efectos pueden abarcar todo un segmento corporal en extensión y profundidad.<sup>1</sup>

En Cuba, desde hace varios años, se emplean en la electroterapia equipos que generan campos electromagnéticos de alta frecuencia, generalmente llamados equipos de diatermia, entre los cuales figuran: Radarmed 950, Curapuls 970, Physiotherm-S, Ultratherm 708, Ultra-High Frequency YB4-66, por citar algunos. Dichos equipos emplean electrodos del tipo capacitivo, que se posicionan de forma transversal, coplanar y longitudinal en relación con el paciente. La frecuencia más utilizada es de 27,12 MHz y la energía puede ser generada continuamente o a través de pulsos o ráfagas. En todos los casos los niveles de radiación al ambiente dependen de la potencia, de las dimensiones y de la ubicación de los electrodos durante cada tratamiento, de manera que las recomendaciones dadas por algunos autores de mantenerse alejados a 1 m de distancia, no siempre garantizan los valores límites permisibles establecidos por la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP, por sus siglas en inglés).<sup>2-4</sup>

En este trabajo se realiza un estudio, a través de ensayos experimentales y técnicas de simulación, de los niveles de campo eléctrico emitidos al ambiente por un equipo de diatermia por onda corta (modelo YB4-66 de procedencia rusa), el cual emplea electrodos capacitivos y actualmente se encuentra en servicio en una sala de rehabilitación de Santiago de Cuba. Este trabaja en régimen continuo a una frecuencia de 27,12 MHz.

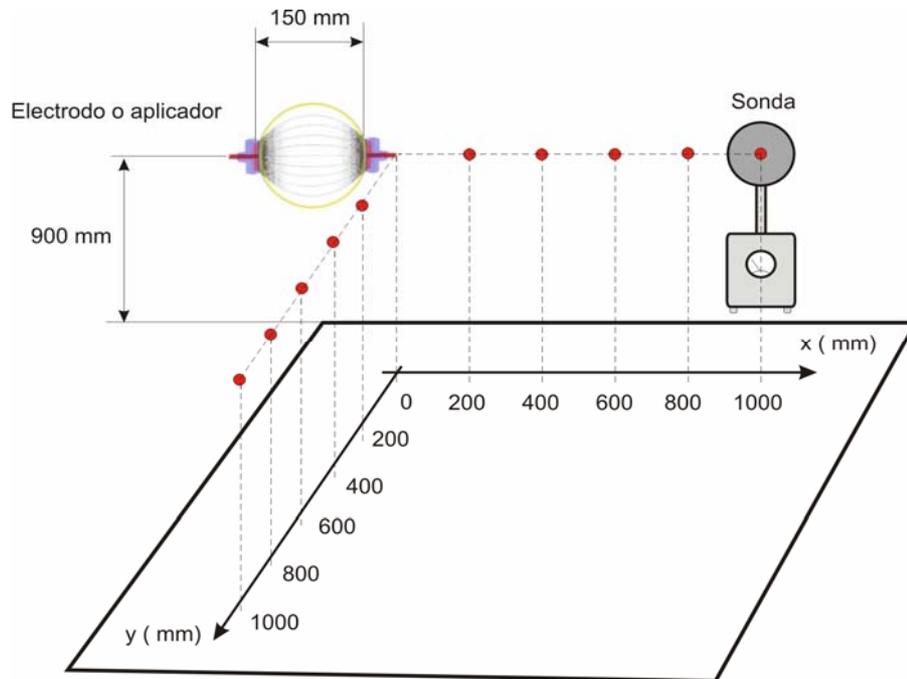
## MÉTODOS

Para la realización de los ensayos experimentales se elaboró un protocolo de medición a partir de las diferentes normas y trabajos consultados, teniendo en cuenta, además las características del equipo de diatermia YB4-66 y el instrumento de medición de campo eléctrico disponible.<sup>5-8</sup>

### Protocolo utilizado

1. Las mediciones se realizaron para cada tipo de aplicador (115 y 38 mm) y para los 3 niveles de potencia de salida nominal disponibles por el equipo de diatermia ( $20 \pm 6$  W,  $40 \pm 12$  W,  $70 \pm 21$  W).
2. Atendiendo a las dimensiones físicas del aplicador y del cable al que está conectado, se debe ubicar en un lugar libre de posibles obstáculos metálicos que puedan causar interferencia, en un radio de no menos de 50 cm.
3. La densidad de energía de la radiación no deseada es medida con cada aplicador ubicado a la distancia máxima recomendada por el fabricante para ese aplicador en específico, frente a un *phantom* que consiste en un recipiente cilíndrico de 20 cm de diámetro x 50 cm de largo, hecho de un material de bajas pérdidas como el acrílico y lleno con una solución de 9 g de cloruro de sodio por cada litro de agua. En su defecto se utiliza un paciente.

4. Se emplea un medidor de campo eléctrico con 2 sondas de pruebas isotrópicas.
5. Las mediciones de campo eléctrico se realizan en una línea de puntos en 2 planos: uno horizontal (eje x) y otro vertical (eje y) con respecto al aplicador. La sonda del instrumento de medición se coloca a la misma altura del electrodo y en diferentes posiciones cada 200 mm de distancia (figura 1).



**Fig. 1.** Esquema general de los ensayos experimentales con aplicadores en posición transversal

Para realizar las simulaciones se empleó el software COMSOL Multiphysics, herramienta basada en el método de elementos finitos, el cual permite evaluar la interacción de los campos electromagnéticos de alta frecuencia con modelos reales de tejidos biológicos.<sup>9-11</sup> Específicamente, se emplea la interfaz física ondas electromagnéticas del módulo radiofrecuencias, para construir un modelo electromagnético paramétrico bidimensional con simetría axial.

Este consta de 2 placas capacitivas (electrodos metálicos) entre las cuales se coloca el modelo de tejido biológico a tratar (7 capas definidas: piel, grasa, músculo y médula ósea). Los electrodos están formados por un disco y un vástago cilíndrico (terminal de alimentación) unidos entre sí. La alimentación se controla a través de 2 parámetros: amplitud de la intensidad de la corriente y frecuencia. Se usa un mallado adaptativo, con mayor precisión en la zona cercana a los electrodos y dentro del tejido. El número de elementos fue de 36 913 para la configuración con electrodos de 115 mm y de 38 501 para los de 38 mm.

El dominio de solución del problema electromagnético es un semicírculo de 1,25 m de diámetro y se modeló como aire todo el espacio exterior a los electrodos y el tejido biológico.

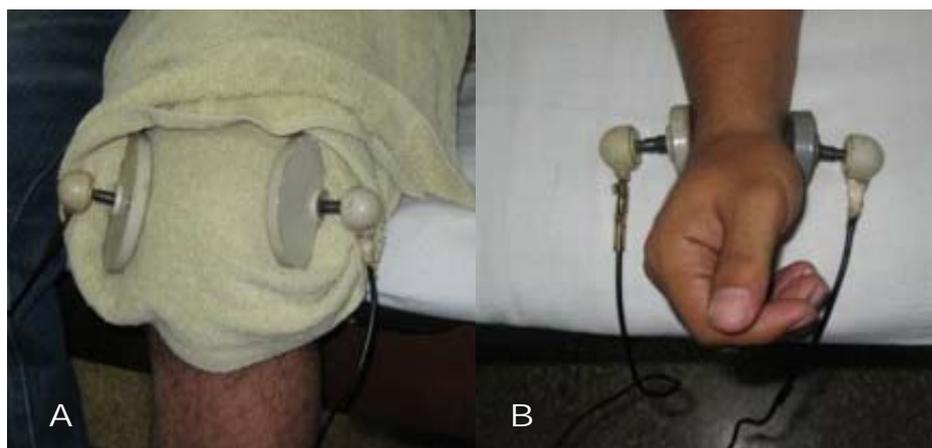
En la tabla se muestran las propiedades físicas utilizadas del tejido biológico: conductividad eléctrica ( $\sigma$ ), permitividad relativa ( $\epsilon_r$ ), permeabilidad magnética relativa ( $\mu_r$ ) y densidad ( $\rho$ ) obtenidas para la frecuencia de 27,12 MHz. <sup>12</sup>

**Tabla.** Propiedades físicas de los tejidos a 27,12 MHz

Tejido	$\sigma$ (S/m)	$\epsilon_r$	$\mu_r$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Piel	0,32887	165,03	1	1100
Grasa	0,032923	8,452	1	900
Músculo	0,65417	95,764	1	1000
Hueso	0,017186	10,453	1	1600

## RESULTADOS

Los ensayos experimentales se realizaron directamente en humanos. Primero se situaron los electrodos de 115 mm en una rodilla, en aplicación transversal, separados a 150 mm; luego, los de 38 mm en la muñeca, separados a 50 mm (figura 2). Ambos tratamientos son muy utilizados en pacientes con trastornos articulares y musculares.



**Fig. 2.** Ubicación de los electrodos en aplicación transversal: A) en la rodilla, B) en la muñeca

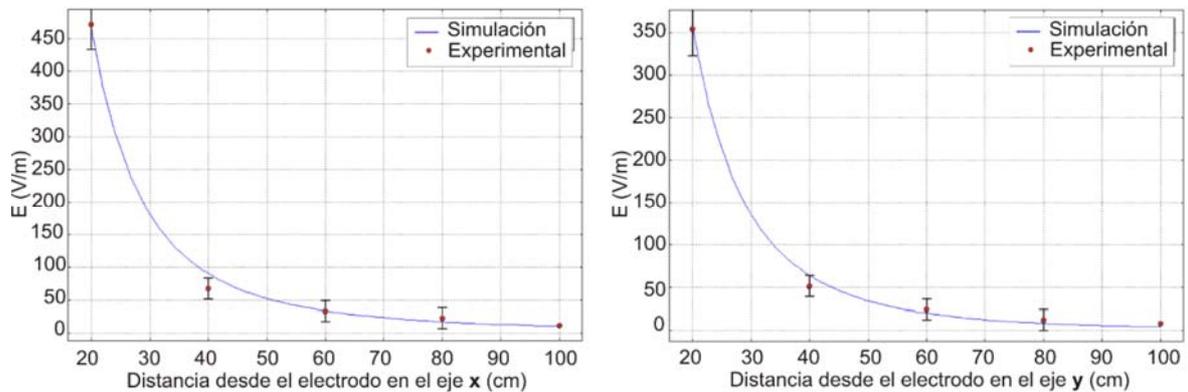
Teniendo en cuenta el protocolo descrito anteriormente, se realizaron las mediciones de campo eléctrico para cada tipo de electrodo en ambos planos (horizontal y vertical).

Los valores medidos con el instrumento se corrigieron posteriormente con el factor de calibración en función de la frecuencia y el tipo de sonda que ofrece el fabricante, es decir, para la frecuencia de 30 MHz de 1,18 en la sonda de 1000 V/m y de 0,82 en la de 100 V/m. El error de medición del instrumento es de 10 %.

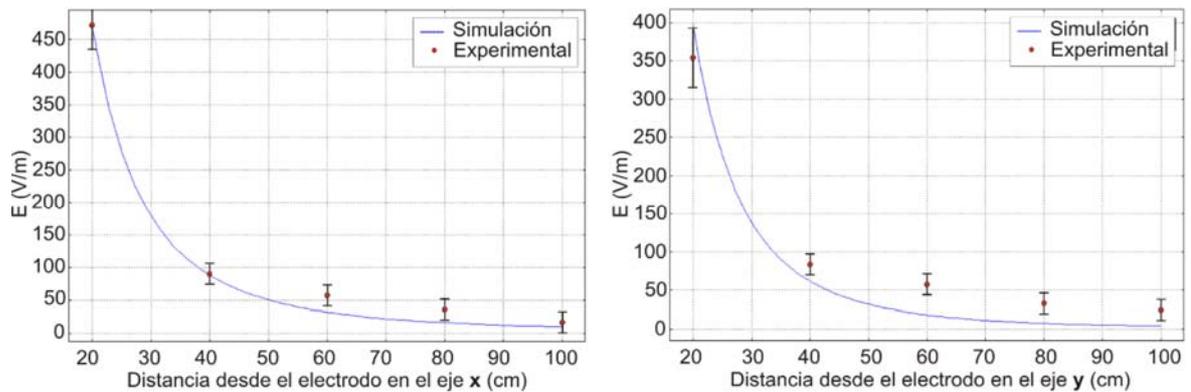
Por otra parte, mediante el software COMSOL y considerando el acoplamiento de los electrodos con el modelo de tejido biológico ya explicado, se procedió a efectuar las simulaciones para el acoplamiento transversal de los electrodos de 115 y 38 mm con el medio biológico en los 3 niveles de potencia evaluados, pues de esta forma es posible

conocer el patrón de radiación de los electrodos al medio ambiente, debido a la interacción del campo electromagnético con el tejido biológico, así como obtener los valores de intensidad del campo eléctrico radiado al ambiente del local, hasta una distancia de 1 m del electrodo, similar a los ensayos experimentales.

A continuación se muestran, de forma comparativa, los valores de intensidad de campo eléctrico experimental y simulado en cada plano o eje de coordenadas, para electrodos de 115 mm (figura 3) y de 38 mm (figura 4) cuando se emplea el máximo nivel de potencia que puede suministrar el equipo correspondiente a 70 W.



**Fig. 3.** Comparación de los valores de intensidad de campo eléctrico medido y simulado con el electrodo de 115 mm en cada plano, para un nivel de potencia de 70 W



**Fig. 4.** Comparación de los valores de intensidad de campo eléctrico medido y simulado con el electrodo de 38 mm en cada plano para un nivel de potencia de 70 W.

## DISCUSIÓN

En todos los casos los resultados son los esperados en cuanto a la disminución del campo eléctrico con la distancia. Aunque en este artículo solo se midió la magnitud de del campo eléctrico en 2 direcciones y no 8, se observa que los valores superiores se obtuvieron en el eje x, independientemente de la distancia, tipo de electrodo y potencia empleada, similar a los resultados obtenidos por Shields *et al.*<sup>7</sup>

En la mayoría de los casos, se obtuvo correspondencia aceptable entre los valores de intensidad de campo eléctrico simulado y medido en cada uno de los puntos, de modo que existió mejor correspondencia para el electrodo de 115 mm y para la potencia 70 W.

De lo anterior se infiere que el modelo paramétrico bidimensional desarrollado, así como los valores de intensidad de corriente aplicados en el electrodo durante las simulaciones, reproducen de forma razonable el funcionamiento real del equipo de diatermia estudiado.

Los resultados de las mediciones contrastaron con los niveles de referencia recomendados por la ICNIRP (de 61 V/m para la exposición ocupacional y de 28 V/m para el público en general).

En los resultados experimentales, los niveles de campo eléctrico para las distancias menores de 80 cm, generalmente sobrepasan los límites permisibles por la ICNIRP, tanto para el público en general como ocupacional. Solo para la distancia de 100 cm se satisfacen los requerimientos de la norma, por lo cual se recomienda que el operador siempre se mantenga a esta distancia de los electrodos una vez que el equipo se encuentre en funcionamiento.

Cabe agregar que se realizaron mediciones en áreas adyacentes con el electrodo de 38 mm, conectado sin la presencia del tejido biológico, y se alcanzaron valores de campo eléctrico de hasta 80 V/m. No es común que ocurra esta situación por períodos prolongados, pero es válido aclarar que si se mantiene el equipo funcionando al terminar un tratamiento y el paciente se retira, esta radiación afecta a las personas del local.

Se confirma que existen riesgos de exposición para los seres humanos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, que sobrepasan los límites permisibles establecidos por la ICNIRP durante el tratamiento con diatermia. Se recomienda que el fisiatra permanezca a una distancia superior a 1 m de los electrodos durante su funcionamiento.

Se demuestra que el protocolo de medición desarrollado, con menos puntos de medición y sin medir el campo magnético, permite caracterizar el ambiente electromagnético en las salas de rehabilitación, durante el tratamiento con diatermia con electrodos capacitivos.

El uso de herramientas computacionales permite realizar un estudio detallado en cada tratamiento empleado, a partir del modelo desarrollado para cada aplicador considerando su interacción con el tejido biológico y el medio ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Martín Cordero JE. Agentes físicos terapéuticos. La Habana: ECIMED; 2008.
2. Suárez Cabrera R, Diéguez Suárez R. Valoración del riesgo ocupacional por exposición a campos electromagnéticos en trabajadores que aplican el tratamiento con diatermia. Rev Cubana Hig Epidemiol. 1990; 28(1): 81-7.
3. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields. Health Physics. 1998;74(4): 494-522.
4. Polk Ch, Elliot P. Handbook of biological effects of electromagnetic fields. 2<sup>th</sup>. CRC Press. 1996.
5. ANSI/IEEE, C95.6-2002, IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic fields, 0-3 kHz. New York: Institute Electrical Electronics Engineers; 2002.
6. ANSI/IEEE, C95.1-2001, IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. New York: Institute Electrical Electronics Engineers; 2001.
7. Shields N, O'Hare N, Gormley J. An evaluation of safety guidelines to restrict exposure to stray radiofrequency radiation from short-wave diathermy units. Phys Med Biol. 2004;49(13):2999-3015.
8. Shields N, Gormley J, O'Hare N. Physiotherapist's perception of risk from electromagnetic fields. Adv Physiotherapy. 2005; 7(4): 170-5.
9. Comsol Multiphysics. Reference guide. Stockholm Sweden: Institute of Physics, University; 2007.
10. Drizdal T, Vrbal M, Cifral M, Togni P. Feasibility Study of Superficial Hyperthermia Treatment Planning Using COMSOL Multiphysics. Prague: Proceeding of Microwave Techniques; 2008.
11. Evans DJ, Manwaring ML. Electric Current Model of Varying Tissue Properties. Boston: Proceedings of the COMSOL Users Conference; 2006.
12. Gabriel C, Gabriel S. Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies. Texas: Radiofrequency Radiation Division; 1996.

Recibido: 25 de febrero de 2013.

Aprobado: 10 de marzo de 2013.

*Douglas Deás Yero.* Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Universidad de Oriente. Avenida de las Américas s/n, Santiago de Cuba, Cuba. Correo electrónico: [douglas@cnea.uo.edu.cu](mailto:douglas@cnea.uo.edu.cu)