

DISEÑO DE UN LABORATORIO AUTOMATIZADO DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y ULTRASÓNICA PARA EL ESTUDIO DE LA HIPERTERMIA

REFERENCIA PACS: 43.35.Zc

Chong J., Leija L., González G., Posada R., Vera A.
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I. P. N.
Av. IPN No. 2508, Col. San Pedro Zacatenco
C.P. 07300, México D. F.
México
Tel: (+52) 5747 3800 ext. 6212
Fax: (+52) 5747 7080
E-mail: jchong@mail.cinvestav.mx

ABSTRACT

The objective of this work is to describe the design and construction of an automated laboratory for electromagnetic and ultrasonic radiation, which will be used in the study of the effects of both kinds of radiation in living organisms, focusing the study in the effects of hyperthermia caused by radiation.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es describir el diseño y construcción de un laboratorio automatizado de radiación electromagnética y ultrasónica, el cual será útil en el estudio de los efectos de ambas radiaciones en organismos vivos, centrandó el estudio en los efectos de la hipertermia causada por la radiación.

I. INTRODUCCIÓN

El uso del calor en aplicaciones terapéuticas es conocido desde la antigüedad. Desde épocas de los griegos como Hipócrates, hasta los más prestigiados laboratorios de la actualidad, han enfocado parte de sus estudios a la investigación de diversos métodos para aplicar el calor en los seres vivos como una herramienta para curar de enfermedades tales como el cáncer. El método de inducción del calor en tratamientos terapéuticos ha variado conforme el paso del tiempo. Investigadores como Busch (1866), Fehleisen (1883) y Coley (1893), estudiaron los efectos benéficos de la fiebre sobre algunos pacientes con cáncer [1]. Por su parte, Arsene D'Arsonval (1892) estudió el uso de corrientes a frecuencias de 10 kHz para el calentamiento del tejido humano [2]; de manera similar, Tesla investigó los efectos biológicos que producen las radiaciones electromagnéticas de onda corta [3]. En 1899, los efectos del calentamiento producido por campos electromagnéticos variantes en el tiempo y por corrientes de alta frecuencia, en materiales biológicos, fueron reconocidos y teorizados por diversos fisiólogos. La palabra "diatermia" fue introducida por Nagelschmidt en 1907 [2] para describir el calor producido en el tejido: ***"Diatermia es la técnica utilizada para producir calentamiento terapéutico en el***

tejido por medio de la conversión de formas físicas de energía como ultrasonido, campos EM de onda corta y microondas en calor, después de ser transmitidas transcutáneamente hacia áreas profundas de tejido afectado” [4].

Después de la Segunda Guerra Mundial, el uso de las microondas en aplicaciones terapéuticas contra tumores cancerígenos permitió obtener mejores resultados al obtenerse una mejor focalización del área en tratamiento del tejido [5]. Por su parte, el ultrasonido también ha sido empleado como una técnica de calentamiento de tejido biológico en aplicaciones terapéuticas [1]. Ésta técnica ha demostrado tener gran efectividad en la focalización de la energía sobre el tejido a radiar y actualmente es una técnica en investigación por parte de diversos institutos. La producción de calor en el tejido debido a radiación por campos electromagnéticos se debe básicamente a 3 mecanismos de interacción de las ondas EM con el tejido:

- 1) Orientación de los dipolos eléctricos que ya existen en los átomos y moléculas del tejido.
- 2) Polarización de los átomos y moléculas para producir un momento dipolo.
- 3) Desacomodo de los electrones libres e iones en el tejido.

El calor puede generarse en el tejido debido a cada una de las 3 interacciones. En la orientación y polarización, la fricción asociada con el movimiento de los átomos y moléculas causa que se genere calor cuando se aplican campos EM variantes en el tiempo. En el desacomodo de los electrones de conducción o libres, las colisiones de los electrones con átomos inmóviles y moléculas de la estructura del tejido, se produce calor. Es solo el campo eléctrico interno E el que transfiere energía al tejido que se manifiesta en calor. El campo magnético interno H no imparte energía neta al tejido. Sin embargo, un campo magnético incidente puede producir un campo eléctrico en el tejido y ese campo eléctrico inducido genera calor. Así, ambos el campo eléctrico incidente y el campo magnético producidos por un aplicador EM son importantes en lo que respecta a la generación de calor, pero es solo el campo eléctrico en el tejido el que produce calor [6].

Ya es bien sabido para los terapeutas de cáncer que las células cancerosas pueden ser destruidas si se realiza un tratamiento de calentamiento prolongado a temperaturas de 6°C a 8°C por arriba de la temperatura normal del cuerpo [7]. Similarmente, las células normales calentadas también serán dañadas térmicamente o destruidas; sin embargo, la sensibilidad de éstas no parece ser tan pronunciada, y una mayor fracción de células sobrevive. Esta es la base del uso de la hipertermia en terapias de cáncer [8]. La fisiología de los tumores, y en particular la inhabilidad de muchos neoplasmas para intercambiar sangre rápidamente con sus alrededores en estado normal, los hace altamente atractivos para llevar a cabo un calentamiento vía irradiación local de energía; ya sea por ultrasonido o por técnicas electromagnéticas.

Debido a esto, el control de la intensidad de calor es un parámetro muy importante que debe ser observado cuidadosamente. Cuando la radiación electromagnética es aplicada, la intensidad de calor se encuentra en función de la frecuencia, potencia de radiación, distancia de radiación y las propiedades del tejido, por lo que es necesario el estudio de todos estos parámetros para la correcta evaluación de los efectos biológicos que surgen de la aplicación de estos dos tipos de radiación.

II. MÉTODOS

El desarrollo del Laboratorio Automatizado de Radiación Electromagnética y Ultrasónica requirió la construcción de diversas partes en que se divide este laboratorio, a continuación se describe cada una de ellas:

Sistema de blindaje electromagnético

Como medio de blindaje electromagnético se construyó una Jaula de Faraday [9], la cual permite contar con un espacio libre de radiación electromagnética proveniente de cualquier fuente externa al sistema de radiación a emplearse. Además, delimita el espacio en el que la radiación generada dentro de este laboratorio pueda actuar, asegurando de esta forma la seguridad del personal cercano a este laboratorio. Además, el interior de la Jaula de Faraday se encuentra recubierto de material absorbente de microondas [10], lo cual permite que las radiaciones liberadas sobre el material biológico sean originadas únicamente por el patrón de radiación proporcionado por el aplicador, es decir, que la radiación que provoque el calentamiento en el material biológico sea producto de la radiación incidente proveniente del aplicador y no de posibles reflexiones provenientes de cuerpos metálicos tales como las paredes de la Jaula de Faraday. Ésta se construyó con un doble recubrimiento metálico, las paredes exteriores son de cobre para atenuar los campos EM de altas frecuencias, mientras que el interior se construyó con laminas de hierro, las cuales atenúan los campos EM de baja frecuencia, en la figura 1 se puede apreciar la Jaula de Faraday diseñada.

Sistema de control

Este sistema permite habilitar todos los dispositivos electrónicos que se tengan en el interior del laboratorio desde el exterior del mismo con la ayuda de una computadora personal a través de una interface basada en el protocolo IEEE-488. En la figura 2 se puede apreciar un diagrama del sistema mencionado.

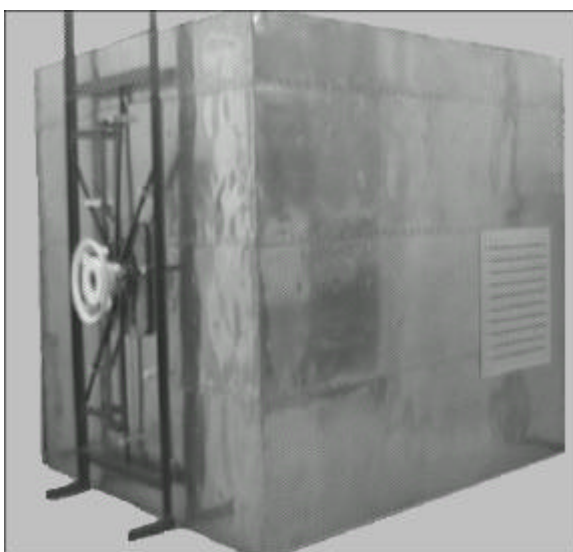


Figura 1. Jaula de Faraday diseñada para el Laboratorio de Radiación EM y US.

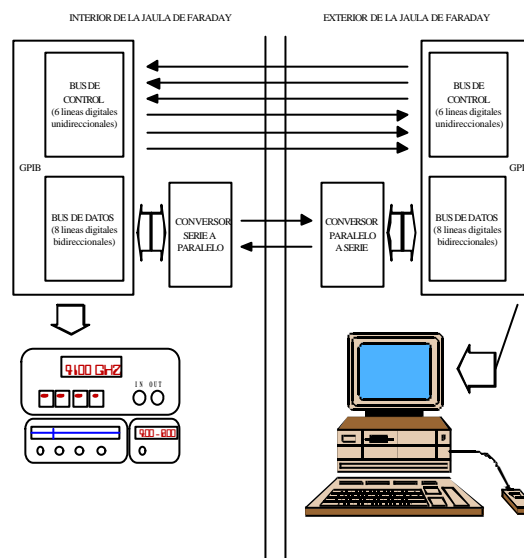


Figura 2. Sistema de control basado en la norma IEEE-488.

El medio de comunicación se realiza a través de fibra óptica para asegurar que no exista acoplamiento de radiación electromagnética desde el interior al exterior de la jaula de Faraday o viceversa, ya que de lo contrario se vería afectada la seguridad del personal.

Sistema de comunicación

Este sistema permitirá acceder a todas las variables mensurables en el interior del laboratorio, como son: las mediciones de temperatura, el pH y la potencia de radiación [11]. El medio de comunicación es fibra óptica debido a los motivos expuestos en el párrafo anterior.

Sistema de termometría

Este sistema permitirá realizar mediciones de temperaturas confiables ya que la presencia de los sensores de temperatura no perturban ni alteran los campos EM de radiación. Para lograrlo, los sensores de temperatura fueron construidos con fibra óptica [12], y es por ello que los campos EM no son perturbados con la presencia de estos sensores. Además, el sistema permite la medición de temperatura mientras se esta llevando a cabo la radiación, con el fin de realizar mediciones altamente confiables y dinámicas. En la figura 3 se puede observar un diagrama del sistema de termometría desarrollado.

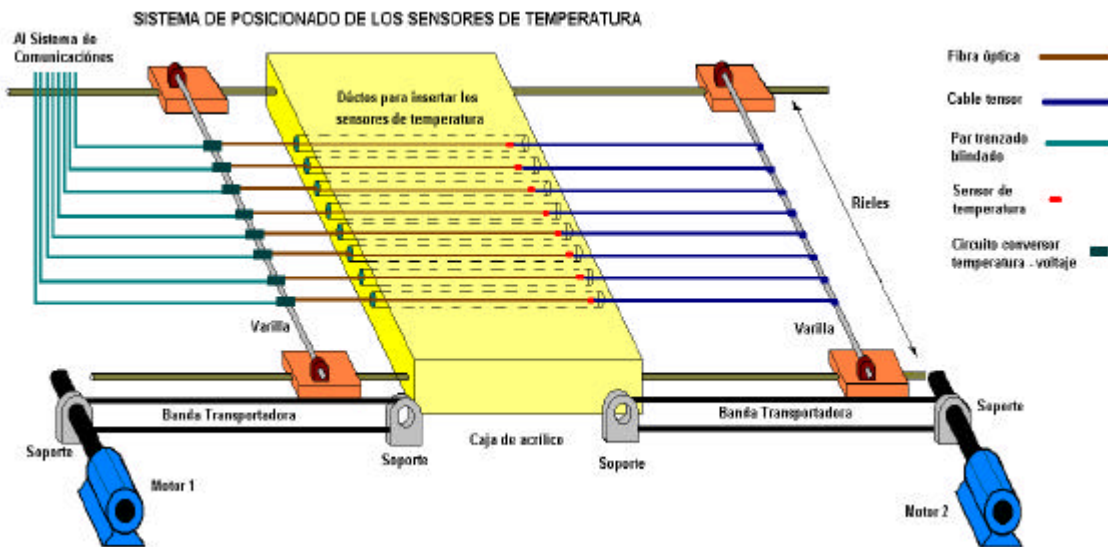


Figura 3. Sistema de termometría basado en fibra óptica.

Sistema de posicionamiento automatizado

Este sistema permitirá manipular la posición del aplicador o aplicadores (radiador) y los sensores de temperatura. El control de la posición será llevado a cabo desde el exterior de la jaula de Faraday a través de una computadora personal. En la figura 4 se muestra un esquema del sistema de posicionamiento mencionado.

Sistema de seguridad redundante

Este sistema permite leer los valores numéricos de las variables involucradas en el experimento a través de otro medio diferente al sistema de comunicación propuesto. Esto se llevó a cabo con el fin de poder detectar cualquier problema en el enlace de comunicación.

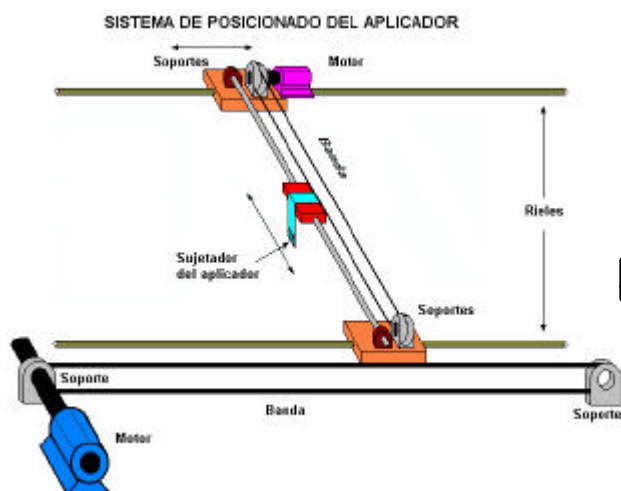


Figura 4. Sistema automatizado para el control de la posición de la antena radiadora.

SISTEMA DE SEGURIDAD REDUNDANTE BASADO EN UNA CÁMARA DE VIDEO

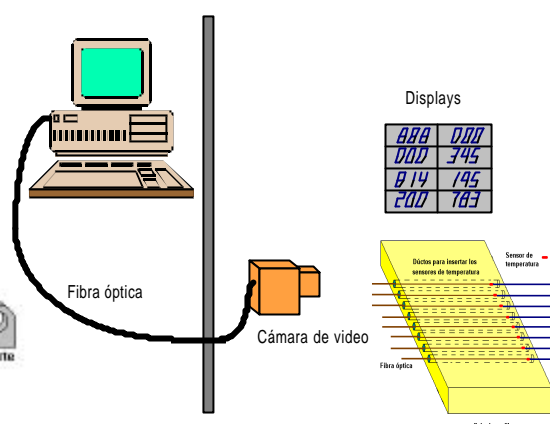


Figura 5. Sistema de seguridad redundante para la vigilancia del Laboratorio Automatizado de Radiación EM y US.

Sistema de radiación electromagnética

Este sistema permite generar la radiación electromagnética requerida para inducir la hipertermia en el material a radiar, las frecuencias de operación oscilan en el rango de 4 a 8 GHz. Se cuenta para ello, un generador de barrido de la marca Hewlett Packard y un amplificador de microondas del tipo TWT marca Logimetrics.

Sistema de radiación de ultrasonido

Este sistema permite generar la radiación ultrasónica requerida para inducir la hipertermia en el material a radiar, la frecuencia de operación es de 1 MHz. Además, este equipo se puede controlar desde una computadora en el exterior del laboratorio.

III. RESULTADOS

Los sistemas desarrollados actualmente han demostrado ser confiables para poder llevar a cabo los experimentos de radiación. El blindaje electromagnético presenta una efectividad de blindaje de 80 dB, el material absorbente de microondas desarrollado presentó buenas características de absorción, en la figura 6 se puede observar una imagen de este material desarrollado. Los sistemas de posicionamiento son totalmente controlables desde una computadora en el exterior del laboratorio y se ha obtenido una buena repetibilidad gracias al uso de encoders lineales. Los sensores de temperatura basados en fibra óptica han funcionado correctamente y actualmente se lleva a cabo la miniaturización de los mismos, en la figura 7 se puede observar la respuesta de estos sensores a la temperatura.

En general, actualmente se lleva a cabo la caracterización y puesta en marcha de todos los sistemas dentro y fuera de la jaula de Faraday, una vez finalizado este proceso de caracterización, estaremos en la posibilidad de desarrollar una gran gama de experimentos con radiación electromagnética y ultrasónica, ya sea empleando un tipo de radiación a la vez o en conjunto, lo cual nos brindará una diversidad de caminos a seguir a fin de conseguir controlar de manera óptima la temperatura en el material biológico, la profundidad de penetración de la radiación y la focalización de la energía depositada en el material radiado.



Figura 6. Material absorbente de microondas desarrollado para el recubrimiento de las paredes internas de la jaula de Faraday.

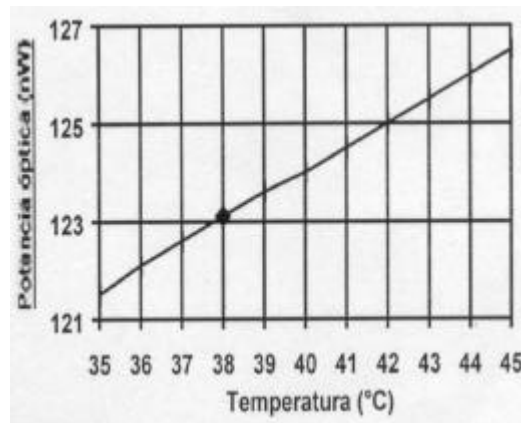


Figura 7. Gráfica de potencia óptica de salida vs. temperatura en el sensor de temperatura de fibra óptica [12].

IV. CONCLUSIONES

En la actualidad existe un gran interés en todo el mundo por encontrar un tratamiento eficaz contra el cáncer. Los tratamientos tradicionales como son la cirugía, la quimioterapia y la radiación ionizante, tienen un porcentaje de éxito no muy satisfactorio, y en el mejor de los casos las secuelas que dejan son muy desagradables. Por lo tanto, la búsqueda de un tratamiento alternativo para el tratamiento del cáncer es necesario.

Una de las técnicas alternativas que se ha investigado desde hace varias décadas y que día a día gana adeptos, es la hipertermia. Este método alternativo a demostrado su eficacia en diversos experimentos realizados sobre animales e incluso sobre humanos. A pesar de los éxitos obtenidos con esta técnica, aún falta mucho trabajo de investigación por realizar. Dado lo anterior, surge el interés de desarrollar un laboratorio automatizado de radiación electromagnética y ultrasónica, que provea de las herramientas y condiciones necesarias para realizar investigación en el campo de la hipertermia.

Este laboratorio brindará de un medio para realizar experimentos bajo condiciones reproducibles y de alta seguridad. Además, permitirá establecer una mejor concordancia entre los trabajos teóricos y los experimentales, gracias a la flexibilidad del sistema para desarrollar experimentos en material sustituto de tejido biológico, sobre tejido biológico e incluso sobre tejido in vivo.

REFERENCIAS

- [1] Hahn G., "Hyperthermia and Cancer", Plenum Press, NY, USA, 1982.
- [2] Licht S., "History of therapeutic heat," Therapeutic Heat and Cold, S. Licht, Ed New Heaven, Conn., Licht., 1965, sec 6, pp. 196-231.
- [3] Albert S., "Historical Introduction to EMF Health Effects", IEEE Engineering in Medicine and Biology. Vol 15, 1996, pp. 24-30.
- [4] Guy A. W., Lehmann J. F. and Stonebridge J. B., "Proceedings of the IEEE", vol. 62, no. 1, January 1974.
- [5] Thuéry J., "Microwaves: Industrial, Scientific, and Medical applications", London: Artech House, 1992.

- [6] Christensen D. A., and Durney C. H., "Hyperthermia production for cancer therapy: a review of fundamentals and methods", Journal of Microwave Power, vol. 16, No. 2, 1981, pp. 89-105.
- [7] Suit H., and Shwayder M., "Hyperthermia: Potential as an AntiTumor Agent", Cancer, vol. 34, 1974, pp. 122-129.
- [8] Robinson J. E., McCulloch D., Edelsack E. A., "Microwave heating of malignant mouse tumors heating of malignant phantom systems", Journal of Microwave Power, vol. 11, No. 2, 1976, pp. 87-98.
- [9] Chong J., Leija L., Valentino A., et al, "Radiación Electromagnética en el intervalo de las microondas con fines terapéuticos en el tratamiento del cáncer", Tercer Conferencia de Ingeniería Eléctrica, CIE97, México D. F., Septiembre 17-19, 1997.
- [10] Ronquillo E., Leija L., Chong J., et al, "Avances en el diseño y fabricación de material absorbente", Quinta Conferencia de Ingeniería Eléctrica, CIE99, México D. F., Septiembre 8-10, 1999.
- [11] Posada R., Leija L., Chong J., et al, " Sistema de Transmisión de Datos Biológicos por fibra óptica para monitoreo en un laboratorio automatizado de Radiación Electromagnética, Quinta Conferencia de Ingeniería Eléctrica, CIE99, México D. F., Septiembre 8-10, 1999.
- [12] Carranza O., Fonseca W., y Peña R., "Instrumento para medir la temperatura con fibras ópticas en aplicaciones en hipertermia con microondas", Quinta Conferencia de Ingeniería Eléctrica, CIE99, México D. F., Septiembre 8-10, 1999.