

Diseño e Implementación de un Sistema de Exposición a Campos Magnéticos de Baja Frecuencia para Ratones de Prueba en Estudios Biológicos

Designing and Implementation of a setup in order to expose laboratory mice to magnetic fields for biological studies

Víctor Cruz Ornetta¹, Teresa Núñez Zuñiga², Alicia Varela Hernández³, Ángel Ayala Herrera⁴, Jorge Tafur Panduro⁵, Lidia Luna Rupay⁶, Renzo Quispe Samaritano⁷

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

Resumen— El objetivo del presente estudio fue diseñar e implementar un sistema de exposición a campos magnéticos de baja frecuencia para ratones de prueba en condiciones aceptadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de tal manera que puedan ser utilizados en estudios biológicos. Para ello se diseñó un sistema basado en bobinas de Helmholtz cuyas características se calcularon y luego se comprobaron mediante simulación antes de implementarse y acondicionarse para soportar a los ratones. Los resultados demuestran que se pudo diseñar un sistema que podía producir campos magnéticos uniformes entre 10 a 600 μT .

Abstract— The objective of this study was to design and to implement an exposure system to magnetic fields for mice models in conditions accepted by the World Health Organization (WHO) in order to use it for biological studies. To accomplish this purpose was designed a system based in Helmholtz coils which were simulated before implemented and set up to put the mice. The results showed that the system could produce uniform magnetic fields between 10 and 600 μT .

Palabras Claves— Campos magnéticos, bobinas de Helmholtz, sistema productor de campos magnéticos, sistema de exposición a campos magnéticos.

Key Words— Magnetic fields, Helmholtz coils magnetic field setup, exposure to magnetic field setup.

I. INTRODUCCIÓN

Las redes de energía eléctrica producen campos magnéticos que interactúan con el cuerpo humano. En el caso de exposición aguda a niveles ambientales estos campos magnéticos dan lugar a campos eléctricos inducidos en el cuerpo humano los que a su vez son responsables de los efectos biológicos y sobre la salud establecida. Entre los efectos conocidos se encuentran respuestas biológicas bien definidas, que van desde la percepción hasta las molestias. Dichas respuestas son función de la intensidad del campo, las condiciones ambientales y la sensibilidad individual [1], [2], [3].

Por otro lado para exposición crónica básicamente se desconocen los mecanismos. La Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) de la organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2001 clasificó a los campos magnéticos como posiblemente cancerígenos debido a los resultados de un conjunto de estudios epidemiológicos caso control que arrojan una duplicación de la incidencia de leucemia infantil para campos mayores a 0.4 μT , por lo que se recomienda una mayor investigación sobre los mecanismos de interacción y efectos crónicos de la exposición a los campos magnéticos [4].

¹ Víctor Manuel Cruz Ornetta, e-mail: vcruz@gmail.com

² Teresa Núñez Zuñiga, e-mail: nunezuniga@yahoo.es

³ Alicia Varela Hernández e-mail: avarelah@inictel-uni.edu.pe

⁴ Ángel Ayala Herrera e-mail: ayalaa@inictel-uni.edu.pe

⁷ renzo Quispe Samaritano e-mail: samaritano27@hotmail.com

Asimismo existen una variedad de estudios en los cuales se señalan la existencia de efectos positivos de la exposición a campos magnéticos de baja frecuencia como en el caso de la terapia por pulsos.

Es por eso que este estudio desarrollado de manera conjunta entre la FIEE – UNMSM Y EL INICTEL-UNI tiene por objetivo diseñar e implementar un sistema de exposición a campos magnéticos de baja frecuencia que pueda ser utilizado en estudios biológicos.

II. BASES TEÓRICAS

La bobina de Helmholtz consiste de un par de bobinas delgadas idénticas separadas entre sí para obtener un campo magnético bastante homogéneo en un volumen de espacio en su centro, cuando la misma corriente circula en ambas bobinas.

Esta constituida normalmente por dos bobinas circulares separadas por una distancia igual a su diámetro, aunque también se pueden usar bobinas cuadradas, rectangulares o poligonales.

El propósito más común de estas bobinas es la generación de un campo magnético conocido, sin embargo también pueden ser diseñadas para propósitos de detección de campos magnéticos, ya que el campo magnético variable induce una tensión proporcional en los terminales de una bobina Helmholtz, ver Fig. 1.

La teoría básica de las bobinas de Helmholtz [5], [6],[7], [8] nos muestra que si ambas espiras tienen un número de arrollamiento igual a N y por ambas espiras circula una corriente I (en el mismo sentido), se tiene que el campo magnético en el centro de las espiras es constante dentro de un volumen de radio R . El valor del campo magnético dentro de la espira viene dado por:

$$B(z) = \mu_0 \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{NI}{R} \quad (1)$$

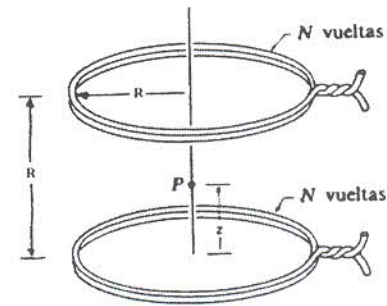


Fig. 1 Bobina Helmholtz

Dado un circuito cerrado recorrido por una corriente continua i , el campo magnético que crea viene dado por la expresión

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int_C \frac{dl \times \hat{r}}{r^2} \quad (2)$$

que constituye la ley de Ampere-Laplace o de Biot-Savart.

El campo magnético creado por una espira circular en un punto cualquiera es difícil de calcular, pero si consideramos solamente puntos sobre su eje de simetría el cálculo es sencillo, obteniéndose

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{m}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (3)$$

En función del momento magnético de la espira,

$$\vec{m} = i \cdot \vec{S} \quad (4)$$

(En este caso $m = i_p R^2$)

Esta configuración de espiras frecuentemente empleada (bobinas de Helmholtz), básicamente consisten en dos solenoides circulares del mismo radio R y con un eje común, separados por una distancia tal que la segunda derivada del campo magnético B se anula en el punto del eje equidistante de ambos solenoides (punto medio). Esto se consigue para una separación entre los dos solenoides igual a su radio R .

Las bobinas de Helmholtz desempeñan un papel importante en la investigación científica, donde se utiliza frecuentemente para producir un campo magnético relativamente uniforme en una pequeña región del espacio.

El módulo del campo magnético creado por la bobina de Helmholtz en un punto a una distancia z de uno de los solenoides y sobre el eje es:

$$B(z) = \frac{N\mu_0 i R^2}{2} \left[\frac{1}{(R^2 + z^2)^{3/2}} + \frac{1}{[R^2 + (R - z)^2]^{3/2}} \right] \quad (5)$$

Cuando las intensidades en los solenoides tienen el mismo sentido, y en el punto medio entre los dos solenoides y sobre el eje, el campo es

$$B = \frac{\mu_0 N i}{R} \quad (6)$$

Densidad de flujo de campo magnético con respecto al eje de simetría:

Ya que la densidad de campo magnético se define como:

$$B(z) = \frac{1}{2} \mu_0 N i R^2 \left\{ \left[R^2 + \left(z + \frac{R}{2} \right)^2 \right]^{-3/2} + \left[R^2 + \left(z - \frac{R}{2} \right)^2 \right]^{-3/2} \right\} \quad (7)$$

III. METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN

A. Cálculos Previos

Se busca conseguir campos de 500uT, 250uT, 50uT y 10uT aproximadamente para el estudio para eso debemos saber de qué parámetros depende la intensidad de campo en las bobinas de helmholtz.

Las bobinas de Helmholtz dependen de 3 parámetros para determinar la intensidad de campo magnético los cuales son [2]:

$$B = \mu_0 H = 8.99 \times 10^{-7} \mu \frac{NI}{R} \quad (8)$$

Donde

R: Radio de las bobinas.

I: Intensidad de corriente.

N: Número de espiras de las bobinas.

El radio de las bobina podemos considerarlo como una constante ya que se determinará una vez se haga las mediciones de cuán grande será la caja de los ratones y no se variará.

Lo que se puede considerarse en el diseño son el número de espiras que va tener cada bobina y la intensidad de corriente que debe pasar por ellas (para esto se está considerando usar un variac para poder variar el voltaje aplicado a las bobinas y así variar la intensidad de corriente).

Para facilitar el cálculo de los campos utilizamos una hoja de cálculo el cual muestra la variación del campo dependiendo de sus parámetros físicos.

Los parámetros físicos son:

Resistencia del cable a utilizar:

$$R = \frac{\rho l}{s} \quad (9)$$

Resistividad del material: 1.72×10^{-6} (cobre)

Radio del cable: r (m)

Longitud del cable: $2\pi r N$ (m)

Diámetro del cable: 2r (m)

Intensidad de Corriente: $I = V/R$ (A)

Voltaje aplicado en el cable en V

Número de espiras: N

Permeabilidad magnética: μ

Se utilizó para el diseño y construcción cable AWG N°18 de 0.00102m de diámetro, considerando un radio de la bobina de 0.36m y 80 vueltas por cada carrete, con una separación entre carretes de 0.36m.

Utilizando Matlab se grafico la respuesta del campo en función de la distancia con respecto al eje de simetría, ver figuras 2, 3, 4, 5.

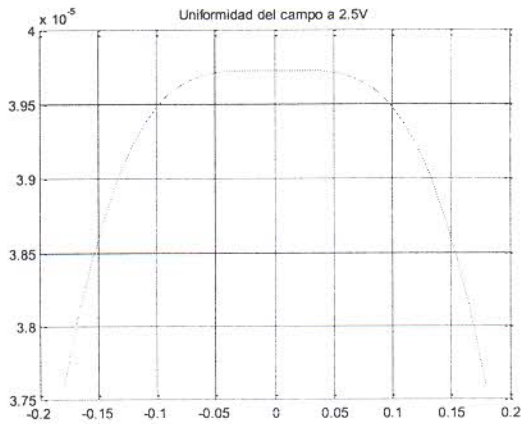


Fig.2 Campo magnético (T) Vs distancia (m) al centro para salida a 2.5Vrms

Luego se realizó una hoja de cálculo en Excel con los cálculos teóricos tentativos para el diseño de las bobinas con los parámetros antes expuestos (Tabla I)

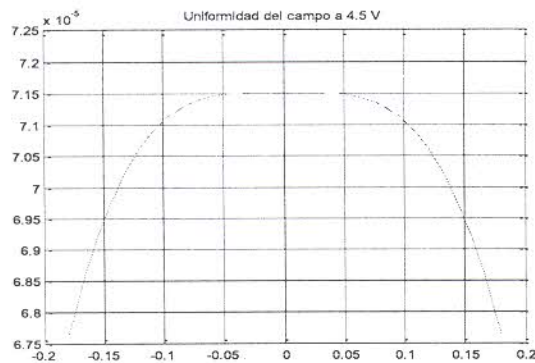


Fig.3 Campo magnético (T) Vs distancia (m) al centro para 4.5Vrms.

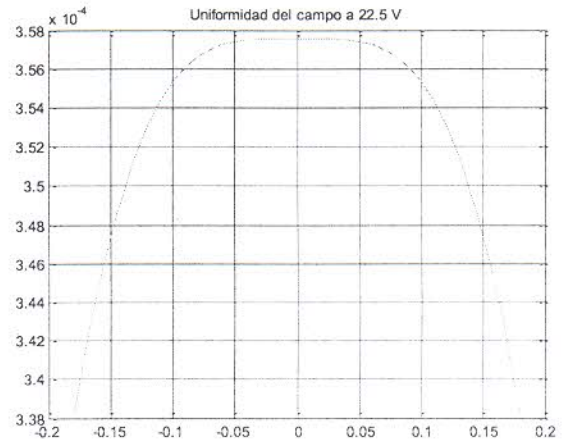


Fig. 4 Campo magnético (T) Vs distancia (m) al centro para 22.5Vrms

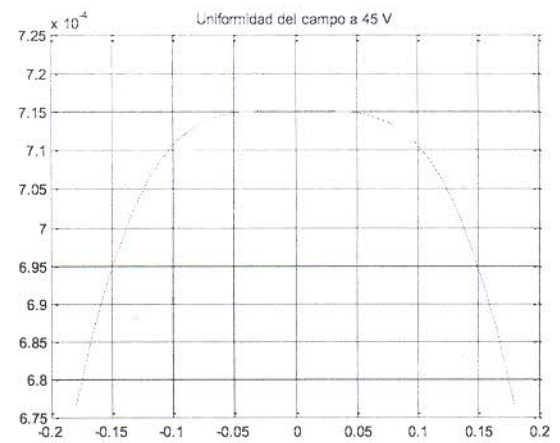


Fig. 5 Campo magnético (T) Vs distancia (m) al centro para 45Vrms.

TABLA 1. CAMPO MAGNÉTICO, POTENCIA, CORRIENTE VS VOLTAJE EFICAZ A LA SALIDA DEL TRANSFORMADOR

V_{rms} (V)	ρ_{Cu}	L (mm)	L_{TOTAL} (m.m)	D (m)	A (m ²)	R (cm)	N	I_{rms} (A)	R Ω	P (w)	B (T)
2.5	1.71E-08	180.956	361.9	0.0010	8.17128E-07	12.573	80	0.198827	0.36	0.497	39.7E-6
4.5	1.71E-08	180.956	361.9	0.0010	8.17128E-07	12.573	80	0.357889	0.36	1.610	71.5E-6
22.5	1.71E-08	180.956	361.9	0.0010	8.17128E-07	12.573	80	1.789449	0.36	40.262	357.5E-6
45	1.71E-08	180.956	361.9	0.0010	8.17128E-07	12.573	80	3.57889	0.36	161.050	715.0E-6

Donde:

- L : Longitud del cable para un carrete
 L_{TOTAL} : Longitud del cable para los dos carretes.
 D : Diámetro del cable
 A : Área de la sección transversal del cable
 R : Resistencia del cable
 N : Número de vueltas por carrete
 R : Radio de la bobina, y separación entre carretes
 P : Potencia de cada bobinado de Helmholtz
 B : Densidad de flujo magnético en el centro de las bobinas de Helmholtz.

B. Construcción de la Bobina

La construcción de la bobina y de los transformadores asociados a ellas para los voltajes aplicados de 2.5v, 4.5V ,22.5V Y 45V, ver Fig. 6 y Fig.7.

Las pruebas de comprobación experimental de las especificaciones de diseño se realizaron en el INICTELUNI utilizando analizadores de campos electromagnéticos EFA-300 de Narda STS. En estas pruebas se pudo comprobar que las bobinas funcionaban de acuerdo a las especificaciones del diseño (ver figuras 8, 9).



Fig. 6 Bobina de Helmholtz

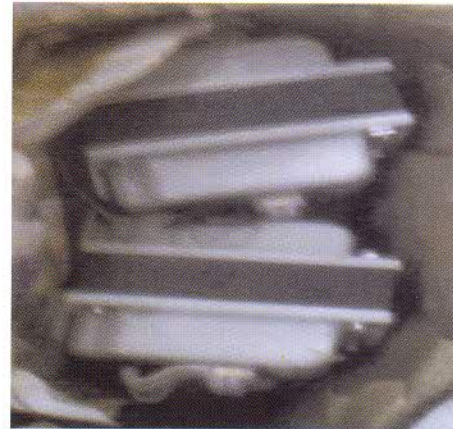


Fig. 7 Transformadores con 4 tomas (2.5v, 4.5V ,22.5V y 45V.)



Fig. 8 Mediciones realizadas para comprobar el desempeño de las bobinas de Helmholtz utilizando analizadores de radiaciones no ionizantes de baja frecuencia del INICTEL-UNI



Fig. 9 Mediciones en INICTEL-UNI

IV. CONCLUSIONES

Mediante el estudio realizado se pudo comprobar que la implementación de sistemas de exposición tanto para animales como seres humanos utilizando bobinas de Helmholtz es totalmente realizable a un costo razonable y bajo condiciones técnicas óptimas.

REFERENCIAS

- [1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)", Health Phys 74, N° 4, 494-522, 1998
- [2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (0-100 kHz)", ICNIRP, Munich, 2003.
- [3] World Health Organization "Environmental Health Criteria N° 238 Extremely Low Frequency Fields", WHO, Madrid, 2007.
- [4] International Agency for Research on Cancer. "Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans ", Non- Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Field, Volume 80", IARC, Lyon, 2002.
- [5] De Troye D, Chase R. 1994. The calculation and measurement of Helmholtz coil fields. Army Research Laboratory.
- [6] ETS-Lindgren . Model 6400 Series Helmholtz coil. ETS-Lindgren.
- [7] Trout S. use of Helmholtz coils for magnetic measurements.1988. IEEE transactions on Magnetism Vol 24 N ° 4 Julio.
- [8] Wang J, Tin G, Simm A, Lucas G. Simulation of magnetic field distribution of excitation coil for EM flow meter and its validation using magnetic camera.