



## SISTEMA DE MEDICION Y CONTROL DE CAMPOS MAGNETICOS PARA FINES TERAPEUTICOS

Arnulfo Lara Eliosa<sup>a</sup>, Jaime Cid Monjaraz<sup>b</sup>, Javier Méndez Mendoza<sup>b</sup>, Fernando Reyes Cortes<sup>b</sup>, Ignacio Becerra Ponce de León<sup>a</sup>.

<sup>(a)</sup>Laboratorio de Tecnología del Agua, Instituto de Ciencias. [arnulfo.lara@correo.buap.mx](mailto:arnulfo.lara@correo.buap.mx)

<sup>(b)</sup>Facultad de Ciencias de la Electrónica. [jmm@ece.buap.mx](mailto:jmm@ece.buap.mx) [jaime.cid@correo.buap.mx](mailto:jaime.cid@correo.buap.mx)  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

### RESUMEN

Es conocido que los campos magnéticos reducen el dolor de inflamaciones y la susceptibilidad a las infecciones, por lo que existe una inmensa gama de afecciones que pueden ser tratadas con la aplicación de campos magnéticos. En nuestro caso lo llevamos a cabo por medio de bobinas solenoides de campos magnéticos de intensidad variable que emiten una frecuencia de 1 a 1000 Hertz, convirtiendo el campo magnético en un campo pulsante. Por lo que es importante no solo poder medir la magnitud del campo magnético, sino que es necesario además controlarlo considerando el tipo de enfermedad y las características físicas del paciente.

En este trabajo se presenta un sistema que nos permite controlar por medio de un dispositivo PIC-16F877 y medir el campo magnético a través de un sensor de Efecto Hall para observar su simulación en tiempo real. Logrando que sea un método eficiente para poder pensar y medir la intensidad del campo magnético en un rango de 10 a 100 Gauss, encontrando que una de las limitantes del sistema es que el toroide se calienta por lo que es importante monitorear la temperatura durante su operación para lo cual utilizamos un sensor de temperatura (LM35). Se presenta la lógica de programación del controlador, así como la conexión del hardware para su programación, operación y puertos de entrada y salida. Utilizando un programa de apoyo En Lab-View con el fin de representar en forma gráfica la operación de este proyecto y lograr una comunicación fácil y directa para el usuario de este equipo el cual solo debe asignar valores de intensidad del campo magnético y tiempo de la terapia. Resultando un equipo práctico que se puede utilizar en hospitales, clínicas y en los hogares, donde se necesite terapia de emisión de campo magnético.

### INTRODUCCION

La magnetoterapia es un sistema dentro de la medicina alternativa natural y económico, absolutamente indoloro y con mínimos efectos colaterales. Existe una inmensa gama de afecciones que pueden ser tratadas con la aplicación de campos magnéticos y que son de gran ayuda en las terapias tradicionales, por ejemplo en el dolor de oídos, dientes, calambres, jaquecas, dolores musculares, urinarios, menstruales, gota, artríticos y en el control de tumores malignos. La aplicación de campos magnéticos en el cuerpo humano, debe ser controlada, para lo cual se requiere de un dispositivo que mida la intensidad magnética que se está aplicando, ya que los pacientes tienen diferentes características corporales, por lo que para cada terapia dependerá la magnitud magnética a la cual debe ser sometido dicho tejido. Se propone la teoría del efecto hall, como un método eficiente para poder medir la intensidad del campo magnético que se está generando, el cual será aplicado a un tejido determinado. Al usar un toroide y posicionar el sensor en el centro, lugar donde se concentra el campo magnético se optimiza la medición del campo magnético.

La aplicación de la bobina generadora de campos magnéticos de intensidad variable así como los dispositivos de control para su operación, las interfaces de aplicación, se presentan como producto final de esta investigación y aplicación real. Por lo que se plantea como objetivo principal diseñar y construir un equipo para medir el campo magnético en un rango de 10 a 100 Gauss. Que utilice un micro controlador, un sensor de efecto Hall, programando el tiempo por medio de un teclado matricial, con salidas a través de una pantalla de cristal líquido, debiendo indicar valores de: intensidad del campo magnético y el record de duración de la terapia. Y así poner al alcance de la sociedad en general, un equipo de terapias, de fácil utilización, operación segura y un costo accesible.

## DESCRIPCION DEL FENOMENO FISICO

El efecto Hall tiene lugar cuando sobre un conductor recorrido por una corriente eléctrica  $I$  actúa transversalmente un campo magnético  $B$ , apareciendo un campo electrónico  $E$  en el interior del conductor con dirección perpendicular a  $I$  y a  $B$ .

Las experiencias realizadas por Hall le llevarían a descubrir y demostrar que se podía obtener una diferencia de potencial entre las caras de laminas de material conductor, que eran finísimas laminas de oro, a través de la cual se hacía circular una corriente eléctrica a la vez que se aplicaba un campo magnético perpendicular a la superficie de las mismas

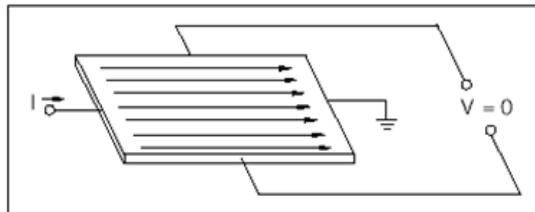


Figura 1 Principio básico del Efecto Hall, lamina delgada de semiconductor y una corriente.

Cuando un campo magnético perpendicular está presente como se muestra en la Figura 3.2, una fuerza Lorentz es ejercida sobre la corriente. Esta fuerza desordena la distribución de corriente, resultando una diferencia de potencial a través de la salida, llamado Voltaje Hall (VH).

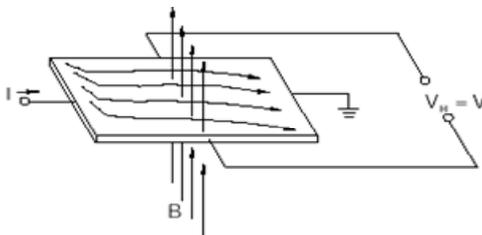


Figura 2 Campo magnético perpendicular, una fuerza Lorentz es ejercida sobre la corriente y se crea un voltaje.

La interacción del campo magnético y la corriente es mostrada en la siguiente ecuación (1)

$$V_H \propto I \times B \quad (1)$$

Los sensores de efecto Hall pueden ser aplicados en muchos tipos de dispositivos de medición. El voltaje Hall es proporcional al vector transversal producto de la corriente ( $I$ ) y del campo magnético ( $B$ ). Este está en el orden de  $7 \mu\text{V}/\text{Vs}/\text{gauss}$  en silicón y hasta ahora requiere amplificación para aplicaciones prácticas.

### Razón para usar el Efecto Hall

La razón para usar una tecnología particular o sensor varía de acuerdo a la aplicación. El costo, función y disposición son algunas formas de consideración. Las características y beneficios de una tecnología dada, junto con los requerimientos específicos de aplicación son factores que deben tomarse en cuenta al tomar una decisión. Las características generales del efecto Hall basadas en los dispositivos generales son:

Estado sólido constante.	Piezas no movibles
Vida larga (30 billones de operaciones)	Compatibilidad lógica de entrada y salida
Alta velocidad de operación – superior a 100 k Hz	Amplio rango de temperatura (- 40 hasta + 150 ° C)
Operaciones con entrada estacionada (velocidad cero)	Operación altamente repetible.

### Sensor Lineal de Efecto Hall, Características y Beneficios

El sensor lineal es designado para responder a un amplio rango de campos magnéticos positivos o negativos. Lo crítico para su funcionamiento son su sensibilidad y linealidad por encima de su rango de temperatura de operación específica.

La cuarta generación de los sensores lineales Allegro's, el A3516, optimizan este criterio de diseño. Este sensor ratio métrico tiene una sensibilidad de 2.5 mV/gauss, un rango de temperatura de operación de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+150^{\circ}\text{C}$ , y una temperatura de compensación por encima de su amplio rango de operación.

El sensor lineal de Efecto-Hall es inmune a la mayor parte de los disturbios ambientales que quizás afecten al dispositivo óptico o mecánico, tales como vibración, humedad, suciedad o capas de aceite, iluminación del ambiente, etc.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

El medidor de campo magnético de nuestro experimento está formado por lo siguiente. Un sensor de campo magnético de Efecto Hall. El cual se produce en materiales semiconductores (tipo P o tipo N) a través de los cuales hay previo movimiento de cargas cuando un campo magnético es aplicado perpendicularmente a la dirección del movimiento de estas. Las cargas son aceleradas en una dirección normal a la de su avance y al campo magnético, acumulándose en las paredes del material y creando así una **diferencia de tensión** que en régimen estacionario, es proporcional al **campo magnético** aplicado.

- Un microcontrolador (PIC-16F877)
  1. PIC de 8 bits.
  2. 5 Puertos.
  3. un convertidor Analógico Digital
  4. un reloj.
- Una pantalla de cristal líquido (LCD).
  1. pantalla de caracteres ASCII.
  2. despliegamientos de los caracteres hacia la izquierda o la derecha.
  3. Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla.
  4. Permite que el usuario pueda programar ocho caracteres.

Un Teclado matricial.

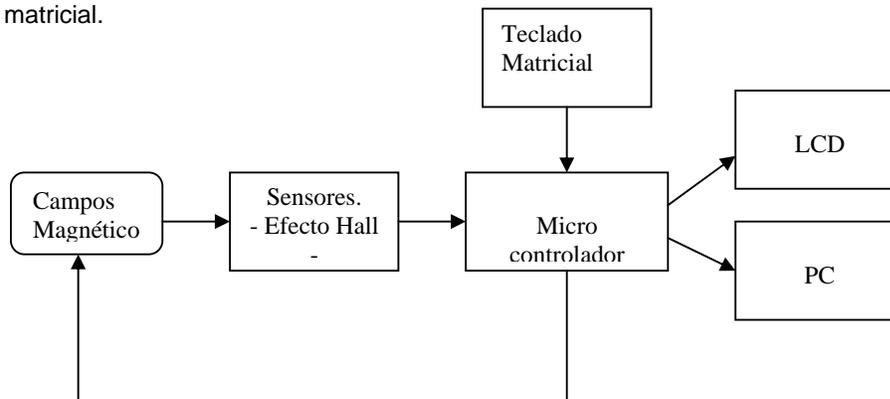


Figura 3. Diagrama de Bloques del medidor del campo magnético que se deduce del concepto físico.

### Sistema de control del campo magnético.

Este está formado por los siguientes bloques:

Un sensor de campo magnético de EFECTO HALL (MLX90215). El efecto Hall se produce en materiales semiconductores (tipo P o tipo N) a través de los cuales hay un previo movimiento de estas. Las cargas son aceleradas en una dirección normal a la de su avance y al campo magnético, acumulándose en las paredes del material y creando así una diferencia de tensión que, en régimen estacionario, es proporcional al campo magnético aplicado.

- Un micro controlador (PIC-16C74).
- PIC de 8 bits.
- 5 puertos.

- Un convertidor Analógico Digital.
- Un reloj.
- Una pantalla de cristal líquido (LCD).
- Pantalla de caracteres ASCII.
- Des plegamiento de caracteres izquierda o la derecha.
- Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla.
- Movimiento del cursor y cambio de su aspecto.
- Permite que el usuario pueda programar ocho caracteres.
- Conexión a un procesador usando un interfaz de 4 u 8 bits.

El siguiente diagrama de bloques representa el desarrollo experimental.

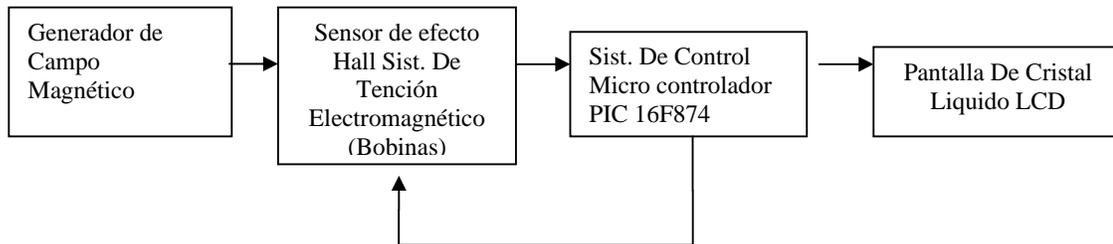


Figura 4. Diagrama de bloques experimental del medidor de campos magnéticos

### Campos magnéticos

a) Para la generación de Campos Electromagnéticos utilizamos alambre magneto Calibre 19, (D1) Diámetro total de la bobina 44 Cm.

Distancia (suma de las espiras de la bobina) 2 Cm, No. De vueltas 518 ,Gauss medidos  $\pm 86$

- |                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| • Corriente = 1.41 Amperes. | • VAR = 170 |
| • Watts = 56.3              | • VA = 179  |
| • F.P. = 0.32 Inductivos    | • Hz = 60   |

b).Para la generación de Campos magnéticos constantes utilizamos imanes comerciales de: 600 Gauss, 400 Gauss, 750 Gauss.

Para medir la corriente se utiliza un sensor de Efecto Hall de la marca Allegro Micro System el cual está diseñado para registrar campos magnéticos positivos y negativos con un rango de 800 Gauss.

Para registrar la temperatura se utiliza un sensor de la marca Nacional Semiconductor (LM35). Con un rango de -50 a +150 °C.

En esta parte del sistema se utiliza un micro controlador de la Marca Microchip (PIC16F877), de acuerdo a sus características se elabora el programa para medir las señales analógicas (temperatura y Corriente), las cuales se convierten a señales digitales, estas se pueden visualizar en una pantalla de cristal liquido y en la PC.

Los valores de salida serán observados en una pantalla de cristal líquido (LCD), de dos líneas por 16 caracteres. Se programa el PIC de tal forma que los valores del campo magnético y temperatura se grafiquen en una computadora.

Se utiliza un teclado matricial para programar el tiempo de activación y duración de la bobina generadora del campo Electromagnético.



### Aplicación de la Bobina Generadora de Campos Electromagnéticos en Terapias.

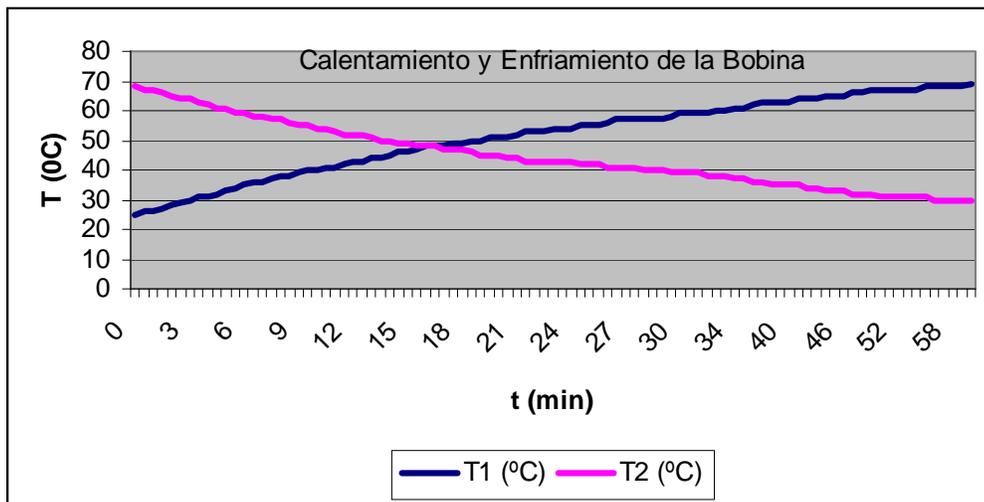
De acuerdo a las características corporales del paciente y el tipo de enfermedad a tratar previamente diagnosticados, se aplicara la técnica de magnetoterapia, un ejemplo de instalación de dicha bobina es sobre una silla de aluminio, lo anterior lo podemos observar en la siguiente figura



**Figura 7. Aplicación de la bobina generadora de Campos Electromagnéticos.**

#### Variación de la temperatura en la bobina con respecto al Tiempo

Las terapias con campo electromagnético son de 15 a 30 minutos, la bobina que se utilizo en este proyecto muestra su grafica de comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo, T1 es la temperatura de incremento de la bobina (calentamiento), T2 es la Temperatura en descenso (enfriamiento). En la grafica 4.3 podemos observar que en los primeros 15 minutos de uso la temperatura en la bobina aumenta 21 °C y los siguientes 15 minutos aumenta 13 °C, teniendo una temperatura total al final de la terapia de 59 °C. Para el caso del enfriamiento de la bobina es más lento, bajo hasta 25 °C (Temperatura Ambiente) en un lapso de 2 hrs., cabe aclarar que no hubo factores externos, para enfriar más rápido la bobina se puede utilizar un ventilador externo, de esta manera se puede utilizar nuevamente en más terapias.



*Figura 8. Variacion de la temperatura de la bobina.*

## CONCLUSIONES, ALCANCES Y LIMITACIONES.-

Este equipo se puede utilizar dentro la medicina alternativa, en hospitales, clínicas y en los hogares, donde exista la necesidad de someter una persona a la emisión de campo magnético. El factor temperatura del toroide durante su operación es una limitante, por lo que existe la necesidad de monitorearla, en todo momento.



### Efectos colaterales

El campo magnético induce al sueño.

Presentación de ligera cefalea. Puede corregirse disminuyendo la intensidad en Gauss.

En algunos casos, puede presentarse intensificación de los síntomas. Pero, la tendencia es pasajera. El máximo estimado para que cedan las molestias es de aproximadamente seis sesiones.

- Aumento en la diuresis durante las aplicaciones de campo magnético.
- Sensación de hormigueo en la parte tratada.
- Aceleración del proceso de supuración presente, en el caso de infecciones. De este modo, se favorece la eliminación de cuerpos extraños.

### Tiempo y frecuencia de aplicación

Los tratamientos en consultorio se dividen en series compuestas por un número estimado entre 8 y 16 sesiones, divididas en frecuencias de 1 a 3 veces por semana, según se trate de presentaciones agudas o crónicas. El tiempo de aplicación de los campos magnéticos puede variar entre 30 y 45 minutos, cuando se emplean imanes de alta potencia en Gauss.

La frecuencia ideal es de tres aplicaciones diarias de 30 minutos, en el caso de los antes mencionados imanes. Los imanes portables facilitan la continuidad y frecuencia de las aplicaciones. Los controles en consultorio pueden realizarse una vez a la semana, hasta comprobar la remisión de los síntomas. Los tratamientos ambulatorios requieren mini-ímanes de baja potencia, del tamaño de una cabeza de alfiler. Permanecen aplicados sobre el cuerpo, sostenidos por una bandita adhesiva hipoalergénica, durante varios días. Sólo son retirados en caso que produzcan eritema o aumento de temperatura en la zona.

### TRATAMIENTOS MÁS COMUNES.

- En Cardiología: Angina de pecho; arritmias; isquemia miocárdica.
- En Dermatología: Acné; Celulitis; Dermatitis; lesiones herpéticas; psoriasis; verrugas; lunares; envejecimiento.
- En Flebología: Flebitis; hemorroides; úlceras varicosas; linfedema; pie diabético.
- En Ginecología: Amenorrea; dismenorrea; cervicitis; síndrome premenstrual; herpes.
- En Gastroenterología: Colitis ulcerosa; colon irritable; colon espasmódico; meteorismo; hernia de hiato; gastritis; constipación crónica.
- En Neurología: Cefaleas; insomnio; herpes zoster; neuralgia del Trigémino; neuritis; parálisis facial; Parkinson.
- En Neumotisiología: Asma bronquial; bronquitis aguda y crónica; sinusitis.
- En Oftalmología: Glaucoma; retinopatías diabéticas; conjuntivitis; cataratas; presbicia.
- En Traumatología : Cervicobraquialgias; dorsalgias; lumbalgias; lumbociática; hemicráneas; coxartrosis; espondiloartrosis; gonartrosis; síndrome de túnel carpiano; espolón calcáneo; tendinitis aquiliana; artropatías agudas; bursitis; contusiones; artritis reumatoidea; desgarros musculares; epicondilitis; esguinces; hematomas; hernia de disco; osteomielitis; osteoporosis; retardo de consolidación ósea; hombro doloroso; calcificaciones.



- En Urología: Inflammaciones de la vejiga y de la uretra; impotencia sexual masculina; enuresis.

Una de las aplicaciones de este medidor es en la medicina alternativa como es la magnetoterapia, debido a la complejidad del cuerpo Humano y sus variables de tiempo y magnitud del campo magnético depende directamente del tipo de enfermedad del Paciente y de sus características corporales. Razón por la cual es muy importante medir y controlar el campo magnético en pacientes que se les aplica la técnica de la Magnetoterapia.

Este proyecto es de bajo costo muy accesible a las personas de bajos recursos, además de que lo puede utilizar en la comodidad de sus hogares sin tener que desplazarse al consultorio médico.

<b>IMPACTO</b>	<b>RESULTADO ESPERADO:</b>
<b>EFFECTIVIDAD: Beneficio para el paciente.</b>	Ofrecerle un equipo compacto de medición a bajo costo, confiable y de fácil operación.
<b>EFICACIA: Beneficio para el Médico.</b>	Contar con un equipo confiable que le ayude a desarrollar sus terapias y sobre todo que le garantice su seguridad.
<b>EFICIENCIA: Beneficio para la Universidad</b>	Que este equipo de medición sea el prototipo de una Innovación Incremental, con un costo beneficio de 5 a 1, además de que sirva de base para despertar el interés y desarrollo de los Estudiantes. Así mismo una mejor imagen de la universidad en la iniciativa privada.

#### REFERENCIAS

- Charles Kittel. Introduction to Solid State Physics cuarta edición John Wiley & Son, Inc., New York
- Melexis. Microelectronic Integrated Systems, Applications' and Data book.
- Ronald. J. Tocci. Digital Systems Principles and Applications, Mc. Graw Hill España 1997.
- Benjamin C. Kuo. Automatic Control Systems. Prentice-Hall Hispanoamericana, Séptima edición México, 1996.