

12. MEDIDA DE CAMPO MAGNETICO: SONDA HALL

TAREA DE PREPARACION

Nombre Estudiante: _____ Código: _____ Plan: _____
Fecha: _____

Lea cuidadosamente la guía para esta práctica, consulte la bibliografía dada al final de la misma y responda las siguientes preguntas antes de la realización de la práctica.

1. Encuentre que la expresión para el campo magnético creado por una corriente I que circula por un solenoide de N espiras y longitud L con radio de espira $a=0.1L$, en un punto sobre el eje del solenoide dentro de la región media, está dada por la expresión:

$$B = \frac{\mu_0 N}{L} I$$

Calcule el valor del campo magnético (en microteslas) si $N=200$ espiras, L de 0.2 m, $I=5$ amperios.

2. Calcule el valor del campo magnético (en microteslas) de una bobina de radio $a=0.1$ m que tiene 50 espiras por la que se hace pasar una corriente de 4 amperios.
3. Dos bobinas de estas, cuyos planos están separados entre sí una distancia d igual a su radio a , crean un campo uniforme cerca del punto equidistante entre las dos, y cuya magnitud está dada por la ecuación (3). Hacer una gráfica de B en función de la distancia x a lo largo del eje común, entre los límites $x=-0.1$ m y $x=+0.1$ m tomando como $x=0$ el punto equidistante entre los planos de las bobinas.
4. De acuerdo con la expresión para el Voltaje Hall, ecuación (6), que aparece en una sonda Hall de material Cobre (capa delgada de cobre densidad de portadores de carga $n= 8.4 \cdot 10^{22}$ electrones/cm³. y de espesor de 50 nm) cuando se coloca en un campo magnético uniforme de intensidad 1 Tesla, calcule el valor de V_H si la corriente I que se hace circular por la sonda es de 1 mA.
5. Identifique cada una de las magnitudes físicas que Ud. va a medir en este experimento. ¿Cuáles son las magnitudes físicas definidas en la ecuación que describe el fenómeno físico?. Si no coinciden, explique cómo va a obtener las magnitudes físicas de la ecuación para explicar el fenómeno en estudio

12. MEDIDA DE CAMPO MAGNETICO: SONDA HALL

1 OBJETIVO

- Estudiar el efecto Hall en una lámina conductora y determinar el signo y la concentración de portadores
- Utilizar una sonda Hall como una herramienta para medir campos magnéticos.
- Estudiar las configuraciones geométricas de bobinas de corriente que crean campos magnéticos uniformes: configuración de bobinas Helmholtz, y solenoide.

2 MODELO TEORICO: campos creados por bobinas y en qué consiste una sonda Hall.

La magnitud del campo magnético creado en cualquier punto sobre el eje de una bobina de radio a y N espiras por donde circula una corriente I está dada por la expresión:

$$B = \frac{\mu_0 N a^2 I}{2(y^2 + a^2)^{3/2}} \quad (1)$$

siendo y la distancia del punto en consideración al centro de la bobina. El campo en el centro de la bobina, $y=0$ está dado por la expresión:

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2a} \quad (2)$$

siendo μ_0 la permeabilidad magnética del vacío. La dirección del campo magnético va a lo largo del eje de la bobina para cualquier punto sobre el eje. Si se tienen dos bobinas idénticas con eje común, el campo magnético en cualquier punto sobre el eje de las mismas es la suma vectorial del campo creado por cada bobina. Si las bobinas están separadas una distancia d (distancia entre los centros de las bobinas), colocamos nuestro origen de coordenadas en el punto equidistante entre los dos centros, de tal manera las posiciones de las bobinas (sus centros) son $y=-d/2$ y $y=+d/2$, el campo magnético en cualquier punto de coordenada y con respecto al origen de coordenadas está dado por la expresión:

$$B = \frac{\mu_0 N a^2 I}{2} \left[\frac{1}{\left((y + d/2)^2 + a^2 \right)^{3/2}} + \frac{1}{\left((y - d/2)^2 + a^2 \right)^{3/2}} \right] \quad (3)$$

Existen dos configuraciones de bobinas que dan lugar a campos magnéticos uniformes. La configuración de bobinas Helmholtz y, el solenoide, el cual es una bobina en la que se cumple que su radio es menor que la longitud de la bobina. La configuración Helmholtz son dos bobinas de estas son colocadas sobre el mismo eje a una distancia entre

12. MEDIDA DE CAMPO MAGNETICO: SONDA HALL

centros igual al radio de las bobinas. El campo magnético es aproximadamente uniforme en **la región entre las bobinas** y su magnitud esta dada por:

$$B = \frac{8\mu_0 NI}{5\sqrt{5}a} \quad (4)$$

Un solenoide es una configuración de espiras cuando el radio de la espira es menor que la longitud total que ocupan las espiras. Si el solenoide de n espiras por unidad de longitud con radio de espira a mucho menor que su longitud, el campo en la región central del solenoide es uniforme y su magnitud esta dada por la expresión:

$$B = \mu_0 nI \quad (5)$$

En cualquier otro punto sobre el eje y dentro del solenoide, cuya longitud va desde $y=-c$ hasta $y=+b$ el campo magnético viene dado por la expresión:

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 nI \left(\frac{b}{\sqrt{b^2 + a^2}} + \frac{c}{\sqrt{c^2 + a^2}} \right) \quad (6)$$

la cual se reduce a la expresión 4 cuando b y c son mucho menores que el radio a .

Una **sonda Hall** es un dispositivo que consta de una lámina de un material conductor ó semiconductor, en forma de una película delgada, por la que circula una corriente I . Si la lámina de ancho d y espesor w esta colocada en el plano yz y la corriente circula en la dirección z , significa que los portadores de carga del material conductor se mueven con la velocidad de arrastre v_d en la dirección $(-z)$. Se aplica un campo magnético uniforme H dirigido a lo largo del eje $(-x)$ que ejercerá una fuerza magnética sobre los portadores de carga que hará que las cargas negativas se acumulen en el borde izquierdo y dejando un exceso de carga positiva en el borde derecho (figura 1). Si los portadores de carga NO SON NEGATIVOS SINO POSITIVOS la acumulación de carga positiva será en el borde izquierdo dejando el exceso de carga negativa en el borde derecho. Esta acumulación de carga en los bordes aumenta hasta que el campo electrostático creado por la misma acumulación de carga equilibre la fuerza magnética sobre los portadores. Cuando esta condición de equilibrio se alcanza, los electrones ya no se desvían. Entre los bordes de la lámina separados el ancho d aparece una diferencia de potencial conocida como **Voltaje Hall**, ó un campo eléctrico E_H . Un voltímetro de alta sensibilidad puede utilizarse para medir este voltaje Hall V_H . En equilibrio, la fuerza magnética que el campo magnético externo B ejerce sobre los portadores se compensa con la fuerza eléctrica del campo Hall E_H :

$$qv_d B = qE_H \quad (7)$$

$$v_d B = E_H \quad (8)$$

$$V_H = E_H d = v_d B d \quad (9)$$

El número de portadores de carga por unidad de volumen, n , puede obtenerse midiendo la corriente I_{SH} que circula por la lámina conductora en un campo magnético

conocido. El signo del voltaje Hall nos dice también el signo de los portadores de carga en ese material. La velocidad de arrastre puede expresarse en función del área transversal A y la densidad de portadores de carga n y la carga de los portadores e ; a su vez $A=wd$ (d ancho, w espesor de la lámina):

$$v_d = \frac{I_{SH}}{neA} = \frac{I_{SH}}{newd} \quad (10)$$

$$V_H = \frac{d}{neA} I_{SH} B = \frac{1}{new} I_{SH} B = \frac{R_H}{w} I_{SH} B \quad (11)$$

La cantidad $1/ne$, se conoce como el coeficiente Hall R_H , característico de cada material. Todas las magnitudes físicas de esta ecuación medibles, excepto n ; así, el efecto may posibilita la determinación experimental de la concentración de portadores de carga para el material de que consta la placa. En el caso de los metales, por ejemplo Ag, el resultado está de acuerdo con el modelo de un gas de electrones libres, según el cual los electrones de valencia (débilmente ligados al átomo) se mueven libremente dentro del meta. En el caso del tungsteno, el cual presenta un efecto Hall anómalo, el signo de los portadores es positivo que corresponde a los “huecos”, que son estados vacíos en le borde superior de una banda llena y se comportan como portadores de carga con signo positivo.

Igualmente, un conductor calibrado de manera apropiada, esto es conocemos su constante Hall y el espesor de la lámina, puede emplearse para medir la intensidad de un campo magnético desconocido B si por el conductor hacemos circular una corriente conocida I_{SH} . Así hay una relación directa entre un voltaje Hall V_H , normalmente en micro voltios, para un campo B (en Gauss, o teslas).

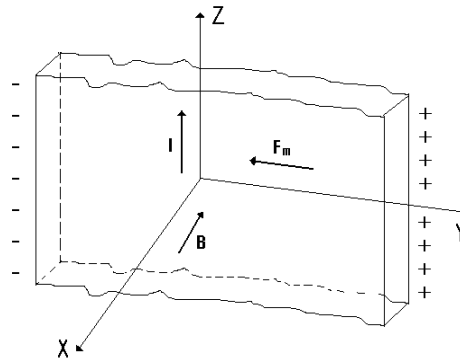


Figura 1. Esquema que representa las direcciones de corriente, campo magnético externo y plano de la sonda en efecto Hall.

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1 Materiales Y Equipo:

Para medición de constante Hall:

12. MEDIDA DE CAMPO MAGNETICO: SONDA HALL

1. Electroimán
 2. Lámina conductora de Ag y W, con espesores de 5×10^{-5} m
 3. Casquillo de conexión de la lámina.
 4. Amperímetros (20 A) y Nanovoltímetro
 5. Fuentes de poder: 20 A para la sonda y de 5 A para el electroimán
- Para medición de campos magnéticos:
1. Sondas Hall (axial y tangencial) y Teslámetro
 2. Bobinas de Helmholtz ó solenoide
 3. Fuentes de poder para las bobinas ó le solenoide (10 A)
 4. Cables de conexión, soportes y regla

3.2 Montaje

A. Constante Hall en láminas conductoras:

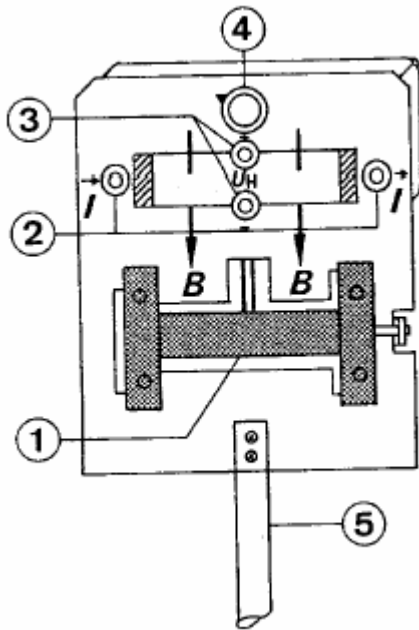


Figura 2. Esquema del casquillo de conexión de la placa conductora para medición del efecto Hall.

La figura-2 muestra un esquema del casquillo de conexión de la lámina conductora (Ag ó W), rotulada con el número (1). Su espesor es de 5×10^{-5} m. Numeral 2 indica los bornes de entrada y salida de la corriente de sonda I_{sh} ; máxima corriente que puede circular por la placa es de 20 A cc por **intervalos cortos de tiempo**.

Numeral 3 indica los bornes de conexión para la medición del voltaje Hall (del orden de microvoltios), tienen polaridad para indicación de voltaje Hall positivo; así mismo tiene un reóstato de 0-5 Ohm, numeral 4, para calibración del punto cero, y una varilla de soporte (5) al electroimán que genera el campo magnético homogéneo.

La intensidad del campo debe estar entre 0.1 a 0.9 T.

La conexión para la medición del voltaje Hall se efectúa de acuerdo con el esquema mostrado en la Figura-3. Las zapatas o polos del imán deben colocarse lo más cerca posible de la lámina. Para medir el campo magnético con la sonda hall debe mantener esta distancia idéntica.

Es importante tener presente que hay que desmagnetizar el imán antes de hacer la medición de la curva I_M-B . Se deja pasar por las bobinas una corriente alterna del orden de 5 A durante corto tiempo y luego se disminuye a cero lentamente. Registrar la curva de calibración $B=f(I_M)$ sin la lámina.

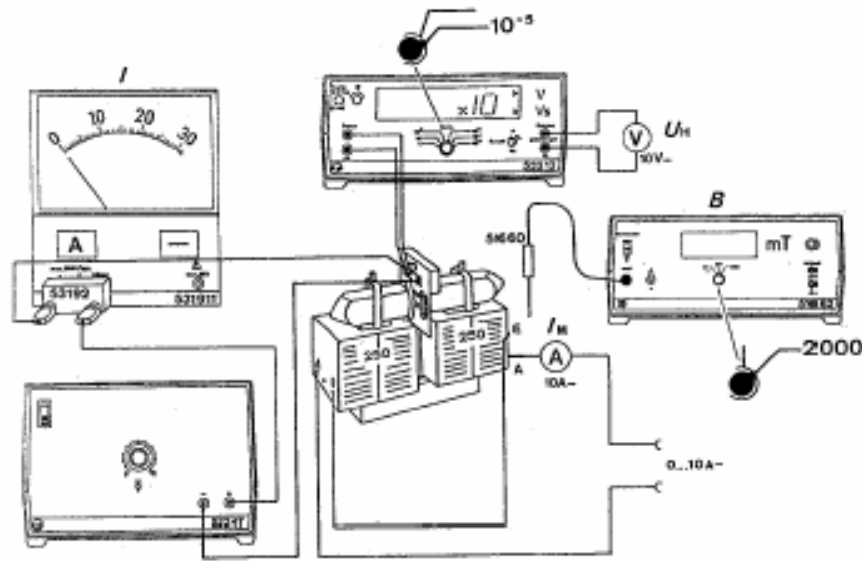


Figura 3 Esquema de conexión de la lámina conductora para medición del voltaje Hall.

B. Sonda Hall para medir campos B: Para crear el campo magnético a medir, conecte en serie la fuente de poder el multímetro en función de amperímetro y las bobinas de Helmholtz ó el solenoide. La sonda Hall axial ó coaxial se conecta al teslámetro y se fija al soporte para luego ubicarla en cualquier punto sobre el eje de simetría. Un esquema del montaje experimental se ilustra en la figura 4.

3.3 Precauciones:

- * Verifique que tanto la lámina conductora como la sonda Hall efectivamente cumplan la condición de que su plano sea perpendicular a las líneas de campo magnético.
- * La corriente suministrada al circuito que crea los campos en las bobinas de Helmholtz ó solenoide debe ser inferior a 4 Amperios, ya que una corriente mayor podría dañar las bobinas.
- * Verifique que la sonda quede bien ajustada a los soportes, para que al desplazarla a través de las bobinas no haya variación alguna en la dirección vertical.
- * Verifique que para corriente cero, el valor de campo magnético que la sonda lee sea también cero. Ajústelo con el botón cero sobre el teslámetro.
- * Verifique que la sonda mide sobre el eje de simetría, y defina que la posición $y=0$.

1. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:

A. Constante Hall en láminas conductoras:

12. MEDIDA DE CAMPO MAGNETICO: SONDA HALL

B. Sonda Hall para medir campos B:

Conecte en serie la fuente de poder el multímetro en función de amperímetro y las bobinas de Helmholtz para crear un campo magnético uniforme. Identifique la dirección en que circula la corriente para conocer el sentido del vector campo magnético. Conectar la lámina conductora en serie con su fuente de poder y amperímetro. Identificar igualmente la dirección de circulación de la corriente. Conectar el micro voltímetro. Colocar la lámina conductora en el centro de las bobinas de Helmholtz con su plano perpendicular al eje de las bobinas.

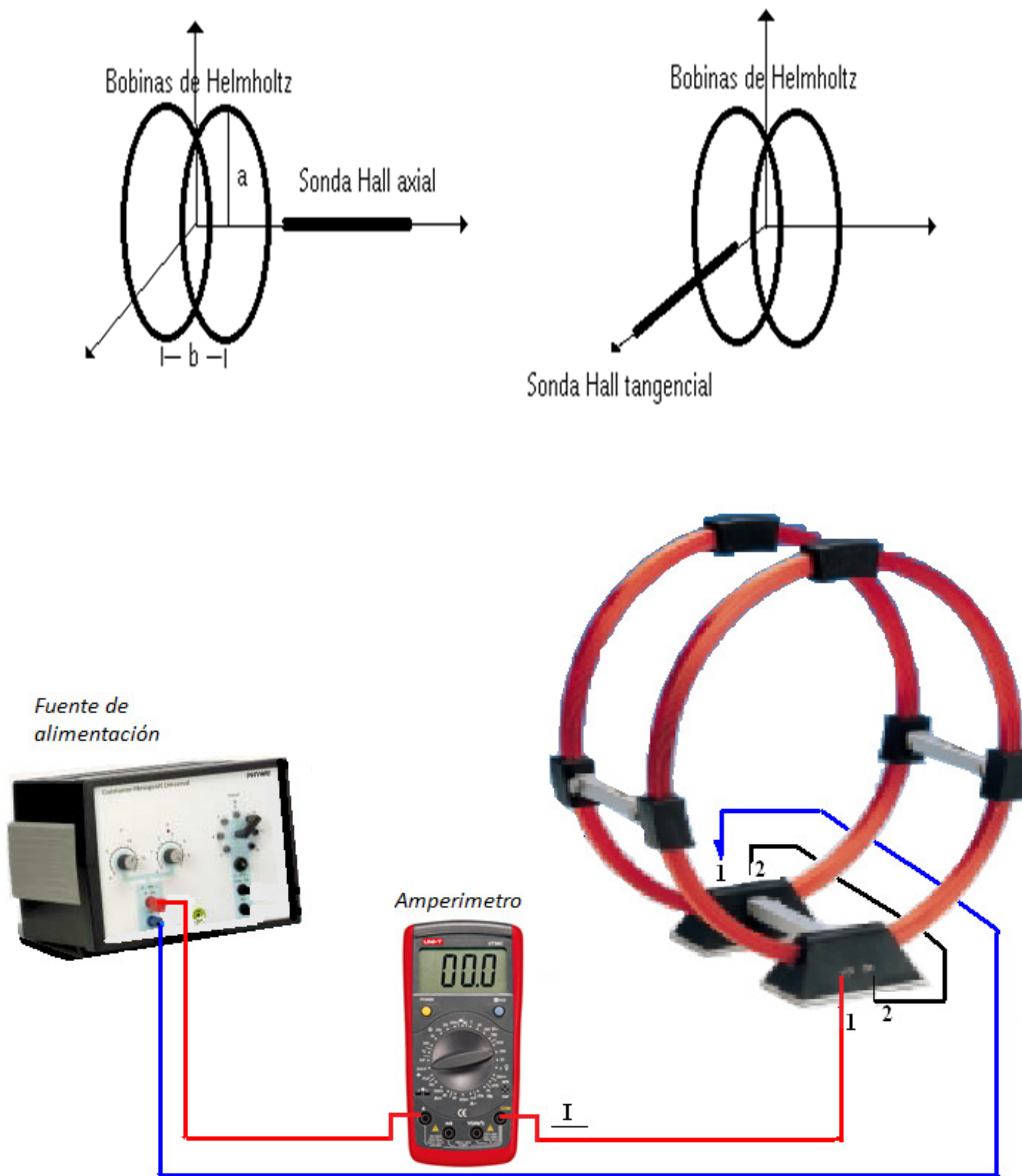


Figura 4. Montaje experimental para las sondas.

A. Constante Hall en láminas conductoras

1. Después de ubicar cuidadosamente la lámina conductora en la región central del campo magnético creado por el electroimán, fije un valor para la corriente I que circula por las bobinas.
2. Conecte el sensible dispositivo de medición del voltaje Hall, el microvoltímetro, de acuerdo con las instrucciones de manejo del mismo, y ponga en cero el visualizador con el botón *reset*.
3. Antes de iniciar medidas con campo, realice la calibración del punto cero de la siguiente manera: Aplique una corriente I_{SH} (10 A por ejemplo) y gire el reóstato (marcado con 4) hasta obtener el valor cero en el visualizador; en caso de que el valor cambie después de desconectar la corriente repita el proceso de calibración del punto cero. Por tensiones termoeléctricas pueden aparecer fluctuaciones del valor de calibración cero, por ejemplo, por corrientes de aire.
4. Aumente en forma gradual la corriente I_{SH} que circula por la lámina. Para cada valor de corriente I_{SH} , leído en el amperímetro, tome el valor del Voltaje Hall V_H leído sobre el nano voltímetro. Lleve sus datos a la tabla 1. Se recomienda promediar el voltaje Hall en cinco mediciones.
5. Recuerde que debe hacer una medición de calibración del campo magnético del electroimán con la sonda Hall mida el campo magnético creado por la corriente en las bobinas del electroimán.

B. Medida de campos magnéticos con una sonda Hall

2. **Campo en el centro** de la configuración: Después de ubicar cuidadosamente la sonda Hall en el centro de las bobinas (ó el solenoide), aumente en forma gradual la corriente que circula por ellas. Para cada valor de corriente, leído en el amperímetro, tome el valor del campo magnético correspondiente leído sobre el teslámetro. Lleve sus datos a la tabla 2.
3. **Perfil de campo:** Dejando el valor de la corriente constante, mida con la sonda Hall la intensidad del campo magnético en diferentes puntos. Para ello desplace la sonda a lo largo del eje común a los centros de las bobinas. Tome un punto de referencia y en la tabla de datos 3 lleve los valores de posición y el campo magnético correspondiente

5. ANÁLISIS

A. Efecto Hall: cálculo densidad de portadores y signo:

1. De acuerdo con las direcciones de campo magnético y de circulación de corriente por la lámina (I_{SH}) determine el signo de portadores en su lámina. Explique y haga los esquemas respectivos.
2. Grafique el voltaje Hall V_H en función de la corriente I (ó B). Calcule la pendiente y explique su valor.
3. Conociendo el espesor w de la lámina, calcule la densidad de portadores de carga con su incertidumbre en el material en estudio y compárelo con los valores conocidos. Analice las discrepancias, ó certezas en su medición.

B. Sonda Hall y medidas de campos magnéticos

12. MEDIDA DE CAMPO MAGNETICO: SONDA HALL

4. Grafique los valores leídos de B en función de la corriente en las bobinas (ó el solenoide) I . Calcule la pendiente. Explique su valor y si coincide con el valor esperado de acuerdo con la teoría. Si el margen de error es grande, verifique su montaje.
5. Haga una gráfica del campo magnético \mathbf{B} leído como función de la posición a lo largo del eje. Esto nos da el perfil de campo. Determine la región de campo magnético uniforme. Analice sus resultados
6. Ud. Puede comparar los valores experimentales obtenidos en el paso anterior con los teóricos esperados de acuerdo con las ecuaciones respectivas. Calcule estos valores esperados para cada posición y de acuerdo con la configuración de bobinas con las que trabajó en el laboratorio. Lleve sus cálculos a la tabla de datos. Compare los valores esperados con los experimentales.

TABLAS DE DATOS

Grupo de Practica: _____ Fecha: _____
 Profesor: _____ Asistente: _____
 Nombres: _____ Código _____ Programa _____
 1. _____
 2. _____
 3. _____

Tabla 12.1: Efecto Hall en lámina conductora de Ag

$I =$	\pm	$w =$	$B =$	\pm				
I_{SH}								
V_H								
	$m =$		\pm					
	$R_H =$		\pm					
	$n =$		\pm					

Efecto Hall en lámina conductora de W

$I =$	\pm	$w =$	$B =$	\pm				
I_{SH}								
V_H								
	$m =$		\pm					
	$R_H =$		\pm					
	$n =$		\pm					

Tabla 12. 2: Medida de campo magnético y perfil de campo

Nota: Anote los parámetros de Bobinas de Helmholtz ó solenoide

$N =$	\pm	$a =$	\pm	$d =$	\pm
$b =$	\pm	$c =$	\pm	$L =$	\pm
<i>Campo en $y=0$</i>			<i>Perfil de campo</i>		
I	B		y	$B_{experimental}$	$B_{esperado}$
\pm	\pm		\pm	\pm	\pm

