

## CAMPO MAGNÉTICO DE UNA CORRIENTE RECTILÍNEA

Fecha: 02/10/2013

### 1. Objetivo de la práctica

Estudio del campo magnético creado por una corriente eléctrica rectilínea. Medida de la permeabilidad magnética del aire (igual a la del vacío)  $\mu_0$ .

### 2. Material

- Regla milimetrada con soporte; conjunto de galgas calibradas
- Hilo conductor grueso (máxima corriente  $\sim 80$  A)
- Amperímetro de pinza ( $\Delta I/I \approx \pm 5\%$ )
- Fuente de alimentación y transformador
- Teslámetro con sonda ( $\Delta B/B \approx \pm 5\%$ )

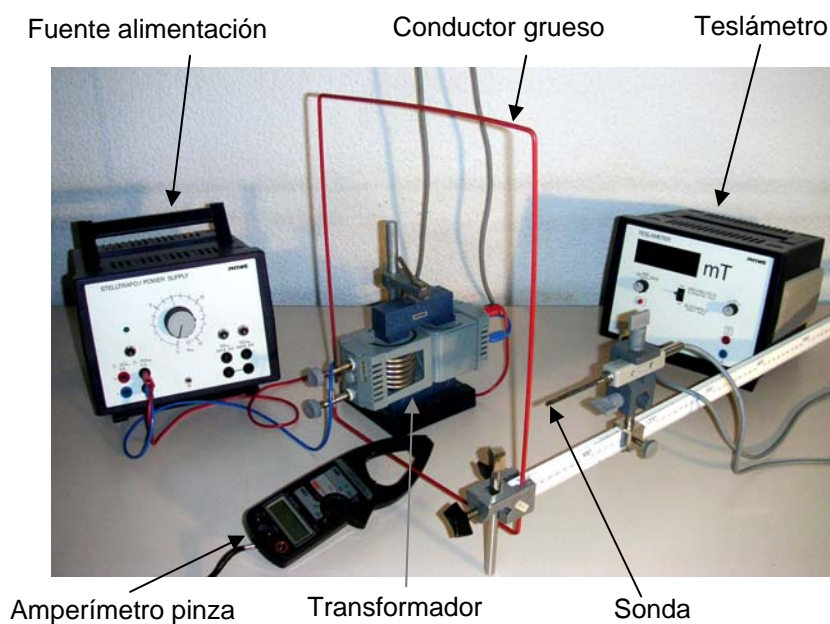


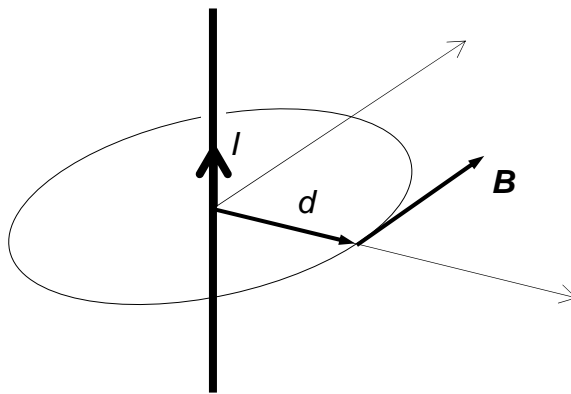
Fig. 1. Instrumentos y montaje de los mismos

### 3. Teoría

En 1813 el físico y químico danés Hans Christian Oesterd observó la desviación de una aguja imantada cuando se colocaba cerca de un hilo conductor por el que pasaba una corriente continua. Este descubrimiento permitió inferir que las corrientes eléctricas son el origen de los campos magnéticos. En el caso de una corriente que circula por un cable conductor rectilíneo e "infinitamente" largo (Fig. 2), el módulo del campo magnético viene dado por la expresión:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \quad (1)$$

donde  $I$  es la intensidad de corriente,  $d$  la distancia entre el punto donde se mide el campo magnético y el centro del hilo y  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética del aire que es prácticamente igual a la del vacío.



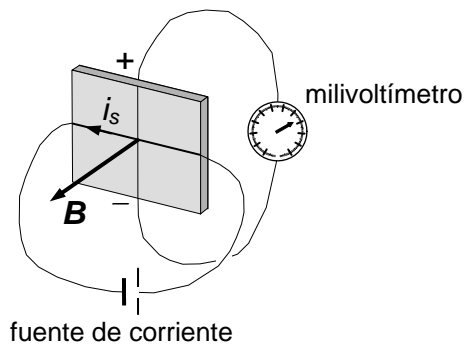
**Fig. 2**  
Corriente rectilínea vertical  $I$  y campo magnético  $B$  que origina a una distancia  $d$

En esta práctica se va a realizar el experimento de Oesterd utilizando una corriente alterna en lugar de una corriente continua. Esto permite utilizar instrumentos de corriente alterna (inexistentes en aquella época), tanto para medir el campo magnético  $B$  como la corriente  $I$  que pasa por el conductor.

### 4. Montaje experimental

Para que el campo  $B$  no sea demasiado débil (y por tanto difícil de medir), necesitamos que la corriente que circule por el hilo conductor sea de intensidad elevada. Para ello disponemos de una fuente de corriente alterna (figura 1) que suministra una intensidad relativamente baja (hasta  $\sim 5$  A como máximo), y un transformador consistente en dos bobinas y un núcleo de hierro dulce. La bobina primaria (o de entrada) tiene 140 espiras de hilo relativamente delgado y la bobina secundaria (o de salida) tiene 6 espiras de hilo muy grueso. La variación del flujo del campo mag-

nético creado por el primario dentro del núcleo de hierro induce un voltaje muy inferior en el secundario (baja tensión). Este voltaje y el grosor de los hilos permite que la corriente que circula por el conductor exterior, de color rojo en la práctica, sea muy elevada sin daño para el transformador. (Por tanto no hay peligro de electrocución si se toca el hilo grueso, aunque **PRECAUCION: puede estar muy caliente** por la elevada intensidad, en especial cerca de los contactos deficientes donde la resistencia es mayor).



**Fig. 3**  
Esquema de operación de la sonda Hall de medida del campo magnético.

La corriente que circula por el alambre rojo, crea un campo magnético  $B$  a su alrededor cuyas líneas de campo son circunferencias concéntricas con el conductor y en un plano perpendicular al mismo. Para medir  $B$  utilizaremos un teslámetro (nombre derivado de la unidad de campo magnético en el S.I. de unidades, el Tesla), el cual consta de una sonda Hall y la correspondiente electrónica de amplificación y medida. La sonda Hall (Fig. 3) consiste en una laminita de un semiconductor por la que pasa una pequeña corriente  $i_s$ . Cuando se encuentra en un campo magnético  $B$  perpendicular a la corriente  $i_s$ , la lámina genera un pequeño voltaje ( $\sim$ milivoltios) en la dirección perpendicular a  $i_s$  y a  $B$ , que es proporcional a  $B$ . Este es el llamado "efecto Hall". La lámina de semiconductor se encuentra situada en la punta de la sonda de medida que está protegida por un tubo de aluminio (no magnético) anodizado en negro que no se debe quitar para evitar dañar la sonda. La distancia desde el extremo del tubo al centro de la sonda,  $d_0$ , está indicada en cada sonda. Si situamos la sonda con su plano perpendicular al campo  $B$  creado por el alambre (la etiqueta del "Equipo" debe quedar frente al alumno), el flujo variable  $\phi(t) = B(t) \cdot A$  que la atraviesa (siendo  $A$  el área efectiva del semiconductor) genera un pequeño potencial  $V(t)$  en sus extremos ( $\sim$ mV). Con una calibración previa este potencial permite determinar el campo magnético  $B$  en ese punto; la escala del aparato viene en militeslas, mT. A su vez la corriente  $I$  que pasa por el conductor se mide con un *ampe-*

*rímetro de pinza*. Este instrumento mide la intensidad sin más que hacer que el alambre conductor atraviese el hueco que deja la pinza del amperímetro una vez cerrada; es decir aprovecha el campo magnético del alambre para medir la intensidad que pasa por él. Estos amperímetros son adecuados sobre todo a corrientes elevadas, como es el caso de esta práctica, aunque menos precisos que los ordinarios (error relativo de  $\pm 5\%$ ); resultan muy cómodos puesto que no es necesario hacer conexiones al circuito, lo cual es muy costoso en el caso de corrientes elevadas.

## 5. Medidas a realizar

**Medida de  $d$ :** la distancia  $d$  que aparece en la fórmula (1) es la que hay entre el eje del conductor (de 4 mm de diámetro) y el centro de la sonda Hall (situado alrededor de diez milímetros del extremo, según se indica con precisión en cada sonda). Es conveniente medir  $d_{medida}$  con las galgas que existen en la práctica haciendo contacto con el conductor (a 2 mm del eje) y con el extremo del tubo de Al de la sonda. Por tanto la distancia que se aplica a la fórmula (1) es  $d = 2 \text{ mm} + d_{medida} + d_0$ .

**Parte A:** Se sitúa el extremo del tubo de Al de la sonda en contacto con el borde del hilo de Cu conductor, por tanto  $d = 2 \text{ mm} + d_0$ , y perpendicular al mismo de modo que las líneas del campo  $B$  atravesasen perpendicularmente la superficie del semiconductor. Para ello, la etiqueta identificadora del "Equipo" debe estar de cara al alumno. Manteniendo la intensidad fija en  $\sim 60 \text{ A}$ , se anotan en la Tabla 1 las medidas del campo magnético haciendo variar la distancia  $d_{medida}$  entre 0 y 20 mm, según se sugiere en la Tabla 1. Distancias claramente mayores que las indicadas implican errores en la medida de  $B$  que hacen poco fiables las medidas. Las condiciones de perpendicularidad son importantes para minimizar el error de medida de  $B$ , porque la calibración del instrumento está realizada para dichas condiciones. El alumno puede comprobar por sí mismo, cómo si coloca la laminita semiconductor paralela al campo (tanto si está horizontal como vertical) el valor medido es prácticamente nulo. Para las medidas a distancias más pequeñas del conductor,  $B$  es mayor y el teslámetro ofrece mayor precisión pero a su vez el error de orientación y de medida de  $d$  es mayor. Una medida no muy cuidadosa de esta distancia implica errores considerables en el valor final que se obtiene para  $\mu_0$ . Por esta razón, se proporciona un conjunto de galgas (láminas de grosor calibrado) con las que se deben medir las distancias por contacto entre el hilo conductor y el final del tubo de Al.

**Parte B:** Se sitúa el extremo de la sonda en contacto con el borde del hilo conductor, manteniendo las mismas condiciones de perpendicularidad mencionadas antes. Se varía la intensidad entre 70 A y 10 A a intervalos de 10 A y se anota el valor del campo magnético a cada intensidad en la Tabla 2.

**Nota:** El campo magnético terrestre  $B_{Terr} < 5 \cdot 10^{-5}$  T es pequeño y constante, por lo que su efecto en las medidas se puede despreciar en comparación con el campo que produce el alambre, que es alterno y mayor que  $10^{-3}$  T. Pero cualquier otro campo alterno (como el producido por una bobina próxima) puede afectar a la medida.

## 6. Resultados

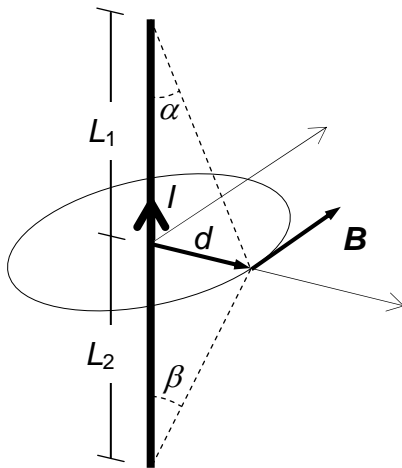
- a) Representétese  $B$  frente a  $1/d$ , según la ecuación (1), y ajústense los puntos a una recta, primero visualmente y después por mínimos cuadrados. De acuerdo con la ecuación (1), la recta debe pasar por el origen de coordenadas y la pendiente de la recta que se ajusta a los datos experimentales permite obtener  $\mu_0$  (con el valor fijo de  $I$ ). Sin embargo, como el "cero" del teslámetro puede estar descalibrado, es mejor ajustar los datos a una recta que no pase necesariamente por el origen de coordenadas. Utilizando la pendiente de esa recta se obvia en buena medida el error del "cero".
- b) Representétese  $B$  frente a  $I$  del conductor y ajústense los puntos a una recta. De la pendiente de la recta ajustada obténgase de nuevo  $\mu_0$  (con el valor fijo de  $d$ ) y estímesese el error obtenido. Aquí se aplica el mismo comentario del párrafo anterior sobre el "cero" del teslámetro.
- c) Compárense los valores obtenidos de  $\mu_0$  con el valor esperado (véase la bibliografía).

## 7. Consideraciones adicionales (opcional)

Para distancias del alambre conductor  $\sim 100$  mm, la suposición de que éste es infinitamente largo deja de ser una buena aproximación. Aparecen los llamados "efectos de borde" debidos a la longitud finita del alambre que en nuestro caso tiene unos 40 cm. En cambio, la contribución al campo magnético debida a las partes del alambre que son horizontales (perpendiculares al trozo vertical que hemos estudiado) es despreciable, porque su orientación es tangencial a la sonda y ésta sólo detecta los campos  $B$  perpendiculares a sí misma. Por otra parte, la contribución de la

otra parte vertical del alambre, que se encuentra a más de 40 cm, está por debajo del valor mínimo de  $B$  ( $\sim 0,01$  T) que puede medir el teslámetro. Cuando se calcula el campo  $B$  producido por un conductor finito (véase cualquiera de los textos de Física General), la fórmula (1) se convierte en:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi d} (\cos \alpha + \cos \beta) \quad (2)$$



**Fig. 4**  
Geometría para el cálculo de  $B$  cuando se considera un conductor de longitud finita  $L_1 + L_2$

siendo  $\alpha$  y  $\beta$  los ángulos que forman con el conductor las líneas que unen el punto de medida con los extremos del mismo (Fig. 4). Compárese el valor numérico de  $B$  calculado mediante la expresión correcta (2) con el dado por (1) para la distancia máxima usada en las medidas,  $d_{max} \sim 30$  mm.

## Bibliografía

Cualquier libro de Física General, por ejemplo:

1. P. A. Tipler y G. Mosca, *Física para la ciencia y la tecnología*, Volumen 2A, Ed. Reverté (2010).
2. F. W. Sears, M. W. Zemansky, H. D. Young y R. A. Freedman, *Física Universitaria*, Volumen 2, Ed. Addison Wesley (2009).

**Tabla 1.**  $B$  en función de la distancia para  $I = (60 \pm 3)$  A  
(Precisión galgas  $\pm 0,2$  mm; precisión amperímetro,  $\pm 5\%$ ; precisión teslámetro,  $\pm 5\%$ ;

$d_{medida}$ , (m)	$d = 2 \cdot 10^{-3} + d_{medida} + d_0$ , (m)	$1/d \pm \Delta d/d^2$ ( $m^{-1}$ )	$B \pm \Delta B$ , (T)
$0 \times 10^{-3}$			
$3 \times 10^{-3}$			
$6 \times 10^{-3}$			
$10 \times 10^{-3}$			
$15 \times 10^{-3}$			
$20 \times 10^{-3}$			

**Tabla 2.**  $B$  en función de la intensidad para  $d = 2 \times 10^{-3} + d_0$ , (m)

$I \pm \Delta I$ , (A)	$B \pm \Delta B$ , (T)
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	