



CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR CIRCUITOS SENCILLOS

1. Objetivos

El objetivo de esta práctica es la medida de campos magnéticos creados por circuitos de geometría sencilla, como son las espiras circulares de corriente y los solenoides.

2. Fundamentos teóricos

En 1819, el científico danés Hans Christian Oersted descubre que una corriente eléctrica crea un campo magnético. Las corrientes eléctricas son, pues, fuentes de campo magnético, al igual que los imanes. Una corriente eléctrica no es más que portadores de carga moviéndose en el conductor. En definitiva, tenemos que una carga en movimiento crea un campo magnético $\vec{B}^{(*)}$

Para un circuito genérico, la ley de Biot-Savart nos permite calcular el valor del campo magnético creado por dicho circuito en cualquier punto del espacio

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\text{circ}} \frac{d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3} \quad [1]$$

donde I es la corriente que circula por el circuito, la integral de línea se calcula sobre el perfil del circuito y μ_0 es una constante denominada *permeabilidad magnética del vacío*, y cuyo valor es

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2} \quad [2]$$

En el Sistema Internacional, la unidad de medida de B es el Tesla (T)

Campo creado por una espira circular en un punto de su eje

La ecuación [1], que en general es difícil de resolver, presenta soluciones sencillas para determinados circuitos. Por ejemplo, en el caso de una espira circular de corriente, se puede utilizar la ley de Biot-Savart para calcular el campo \vec{B} creado en un punto del eje de la espira. Este campo presenta las siguientes características:

(*) La denominación correcta para el vector \vec{B} es *vector inducción magnética*, aunque por simplicidad nos referiremos a él como el vector campo magnético

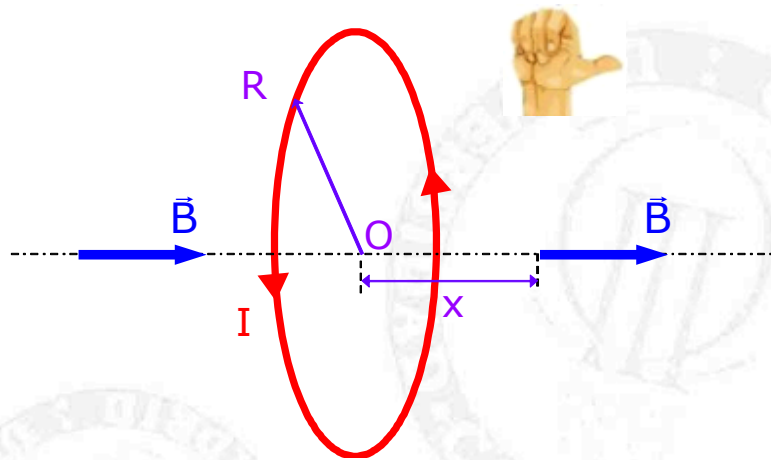


Figura 1

- La dirección de \vec{B} es la dirección del eje de la espira
- El sentido de \vec{B} se obtiene aplicando la regla de la mano derecha, teniendo en cuenta el sentido de circulación de la corriente en la espira
- El módulo de \vec{B} viene dado por la expresión

$$B(x) = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad [3]$$

donde R es el radio de la espira y x es la distancia desde el punto de cálculo al centro de la espira.

Un caso particular de interés es el cálculo de \vec{B} en el centro de la espira ($x = 0$).

$$B(O) = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad [4]$$

Si en vez de una espira tengo N espiras iguales y juntas, tendremos que en el centro de las espiras

$$B(O) = \frac{\mu_0 N I}{2R} \quad [5]$$

Campo creado por un solenoide en un punto de su eje

Otro caso sencillo de resolución de la ecuación [1] corresponde al cálculo del campo magnético creado por un solenoide en un punto de su eje. El solenoide tiene N espiras, longitud ℓ , radio R y por él circula una corriente I . Este campo presenta las siguientes características

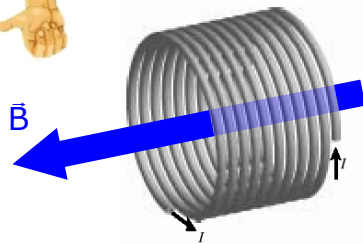


Figura 2

- La dirección de \vec{B} es la dirección del eje del solenoide
- El sentido de \vec{B} se obtiene aplicando la regla de la mano derecha, teniendo en cuenta el sentido de circulación de la corriente en el solenoide

- El módulo de \vec{B} viene dado por la expresión

$$B(x) = \frac{\mu_0 IN}{2\ell} \left(\frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} - \frac{b}{\sqrt{R^2 + b^2}} \right) \quad [6]$$

donde

$$\begin{aligned} a &= x + \frac{\ell}{2} \\ b &= x - \frac{\ell}{2} \end{aligned} \quad [7]$$

y x es la distancia del centro del solenoide al punto de cálculo

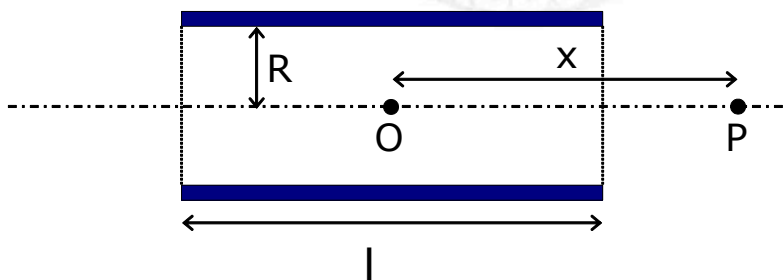


Figura 3

3. Para saber más...

• **SERWAY, RA & JEWETT, JW. "FISICA" Volumen 2. 3ª edición Ed Thomson 2003**

Cap. 22 "Fuerzas magnéticas y campos magnéticos"

- 22.7 Ley de Biot y Savart

• **TIPLER, PA & MOSCA, G. "FISICA" Volumen 2. 5ª edición Ed Reverté 2005**

Cap. 27 "Fuentes del campo magnético"

- 27.2 Campo magnético creado por corrientes eléctricas. Ley de Biot y Savart

En internet

<http://electron9.phys.utk.edu/phys136d/modules/m7/Ampere.htm> (en inglés)

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/elecmagnet/campo_magnetico/espira/espira.html

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/elecmagnet/magnetico/cMagnetico.html>

4. Material

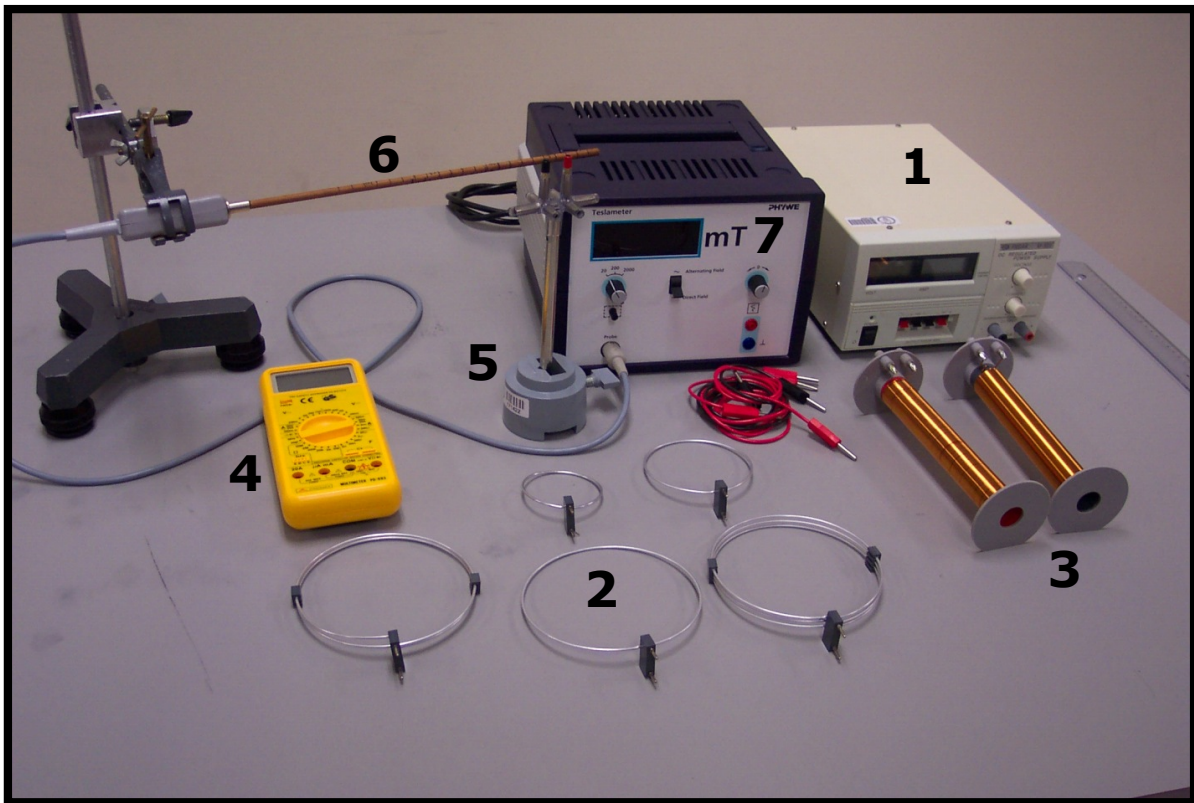


Figura 4

1. Fuente de alimentación.
2. Conjunto de espiras, de diferente número de vueltas y diferentes radios.
3. Solenoides.
4. Amperímetro.
5. Soporte de circuito.
6. Medidor de campo B (teslámetro): Sonda.
7. Medidor de campo B (teslámetro): Equipo de control.

5. Método experimental

5.1 Medida del campo magnético en el centro de una espira

5.1.1 Montaje general.

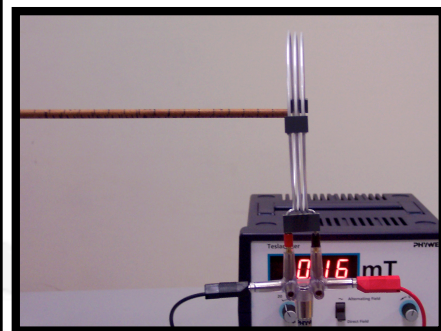
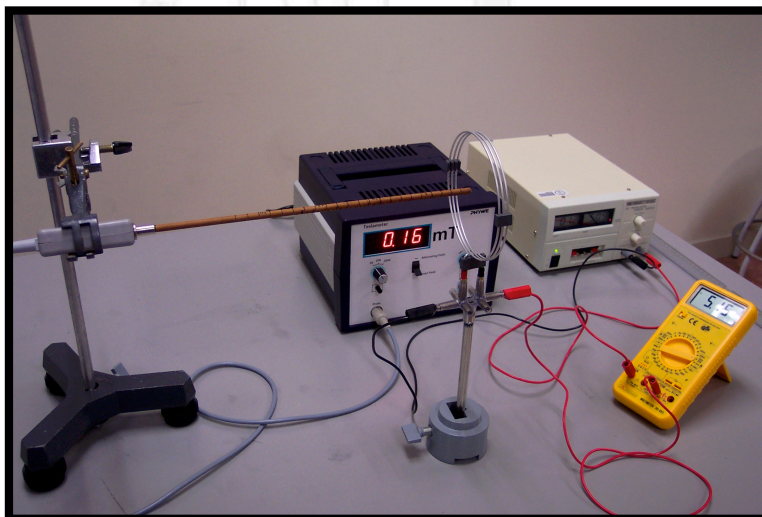
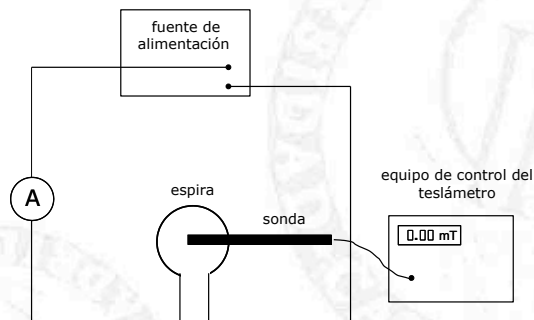


Figura 5: Esquema del montaje experimental

- Tanto la fuente de alimentación como el equipo de control del teslámetro deben de estar inicialmente apagados
- Montar la espira de radio 6 cm y 3 vueltas en el soporte de circuito.
- Conectar la espira a la fuente de alimentación. Conectar en el circuito el amperímetro en serie para medir la corriente que circule por la espira. Utilizar la conexión de 20 A del amperímetro.
- Colocar la sonda del medidor de campo B de tal manera que el extremo de la misma se sitúe en el centro de la espira.

5.1.2 Ajuste del punto cero del teslámetro

Una vez realizado el montaje general, se procederá al ajuste del punto cero del teslámetro. Para ello se encenderá el equipo de control del teslámetro, colocando la escala de medidas en la posición más sensible (20 mT). Comprobar que el mando central está en la posición *Direct Field*. Antes de realizar ningún ajuste es aconsejable esperar diez minutos para conseguir una estabilización de la medida. Con la sonda colocada en la posición de medida (centro de la espira) y con la fuentes de alimentación apagada (corriente que circula

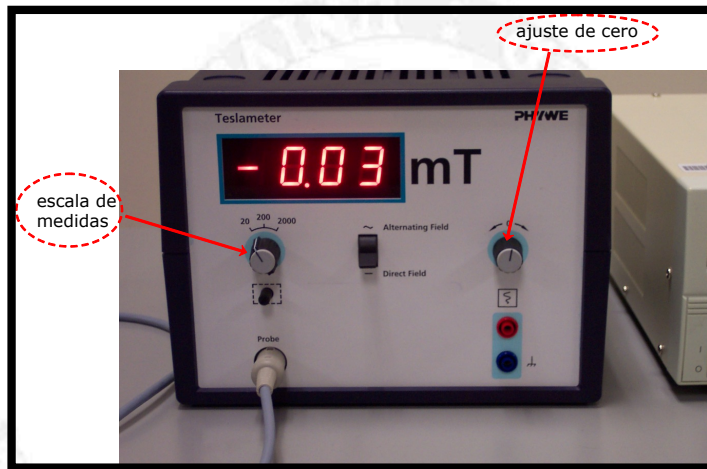


Figura 6

por la espira igual a 0), el teslámetro debería de medir 0 mT. En caso contrario, se deberá de utilizar la rueda de ajuste de cero del equipo de control hasta conseguir que el medidor indique cero. Señalar que el signo negativo que puede aparecer en la lectura del teslámetro sólo está relacionado con el sentido del campo \vec{B} : una medida negativa sólo significa que el vector \vec{B} tiene sentido opuesto al vector asociado con una medida positiva (ver figura 1). En caso de no poder ajustar a cero, tomar el valor más pequeño conseguido como el valor de B_{cero} . Todos los valores de B medidos en los siguientes apartados deberán ser corregidos utilizando este valor de cero.

5.1.3 Medida del campo B en el centro de la espira.

Una vez realizado el ajuste de cero, se procederá a medir el campo B en el centro de la espira.

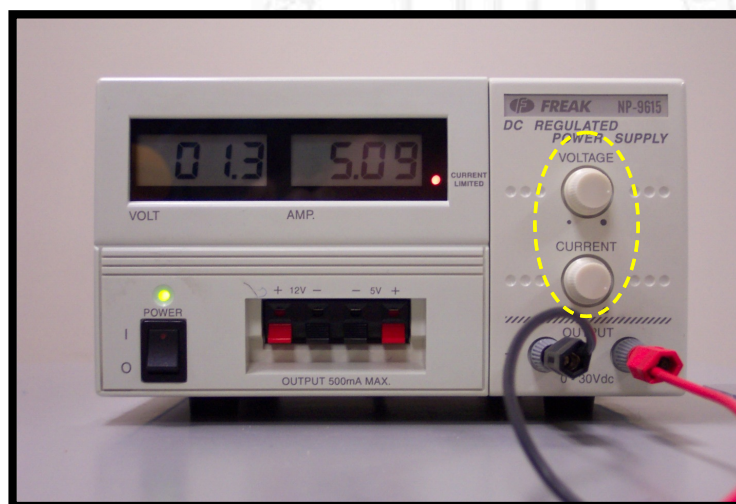


Figura 7

- Comprobar que los mandos de intensidad (*Current*) y voltaje (*Voltage*) de la fuente de alimentación están completamente girados a la izquierda.

- b) Girar el mando *Voltage* completamente a la derecha.
- c) Encender la fuente de alimentación.
- d) Empezar a girar con cuidado el mando *Current* hasta conseguir que la corriente que circula por la espira sea $I = 5 \text{ A}$ (tomar la lectura de esta corriente en el amperímetro, y no en la fuente)
- e) Anotar la lectura del teslámetro para el campo B (recordar que el teslámetro proporciona una lectura de B en mT). Comprobar siempre que el mando de la escala de medidas en el equipo de control del teslámetro está situado en la mejor escala (escala más sensible) en la que podemos tomar nuestra medida. Anotar el correspondiente error de medida. Llamaremos a esta medida B_1 . Si el valor de cero B_0 medido en el apartado 5.1.2 no es cero, la medida se corrige como $B_{c1} = B_1 - B_0$

Para eliminar los efectos de asimetría en el montaje experimental, es conveniente repetir la medida de B cambiando el sentido de circulación de la corriente en la espira. Para ello:

- a) Girar el mando *Current* completamente a la izquierda ($I=0$ en el circuito)
- b) Intercambiar las conexiones en los bornes de la fuente de alimentación
- c) Girar cuidadosamente el mando *Current* hacia la derecha hasta que el amperímetro vuelva a marcar el mismo valor de corriente.
- d) Anotar la lectura del teslámetro para el campo B. Anotar el correspondiente error de medida. Llamaremos a esta medida B_2 . Si el valor de cero B_0 medido en el apartado 5.1.2 no es cero, la medida se corrige como $B_{c2} = B_2 - B_0$

Recordar que el signo de la medida del teslámetro sólo indica el sentido del vector \vec{B}

Por último, el valor final de B será la media de los dos valores medidos según el procedimiento indicado anteriormente.

$$B = \frac{|B_1 - B_0| + |B_2 - B_0|}{2}$$

$$\Delta B = \frac{\Delta B_1 + \Delta B_2 + 2\Delta B_0}{2} \quad [8]$$

5.1.4 Estudio de la dependencia de B con el número de espiras.

Para el estudio propuesto en este apartado, el procedimiento experimental a seguir es

1. Seleccionar las espiras de radio 6 cm, y que tienen 1,2 y 3 vueltas.
2. Medir el campo B en el centro de cada una de estas tres espiras, a partir del método descrito en 5.1.3 y la ecuación [8].

3. Representar gráficamente **B** frente al número de vueltas **N**. Realizar un ajuste por mínimos cuadrados y representar la recta de ajuste.

4. Interpretar el significado de los parámetros de ajuste, de acuerdo a la ecuación [5].

5.1.5 Estudio de la dependencia de B con el radio de las espiras.

Para el estudio propuesto en este apartado, seleccionar las espiras de 1 vuelta y radios 3, 4.2 y 6 cm. Medir el campo B en el centro de cada una de estas tres espiras, a partir de la ecuación [8].

Para el estudio propuesto en este apartado, el procedimiento experimental a seguir es

1. Seleccionar las espiras de 1 vuelta y radios 3, 4.2 y 6 cm.

2. Medir el campo **B** en el centro de cada una de estas tres espiras, a partir del método descrito en 5.1.3 y de la ecuación [8].

3. Representar gráficamente **Ln(B)** frente a **Ln(R)**. Realizar un ajuste por mínimos cuadrados y representar la recta de ajuste.

4. Interpretar el significado de los parámetros de ajuste, de acuerdo a la ecuación [5].

5.1.6 Estudio de la dependencia de B con la intensidad de corriente.

Para el estudio propuesto en este apartado, el procedimiento experimental a seguir es

1. Seleccionar la espira de 3 vueltas y radio 6 cm.

2. Medir el campo **B** en el centro de la espira para diferentes valores de la corriente que circula por la misma. La corriente se variará entre 1 y 5 A en pasos de 1 amperio.

3. Representar gráficamente **B** frente a la corriente **I**. Realizar un ajuste por mínimos cuadrados y representar la recta de ajuste.

4. Interpretar el significado de los parámetros de ajuste, de acuerdo a la ecuación [5].

5. Determinar, a partir de la interpretación realizada en el paso anterior, el valor de la permeabilidad magnética del vacío μ_0 . Comparar el resultado obtenido con el valor teórico dado en la ecuación [2].

5.2 Medida del campo magnético en el eje de un solenoide

5.2.1 Montaje general. Solenoide de 150 espiras

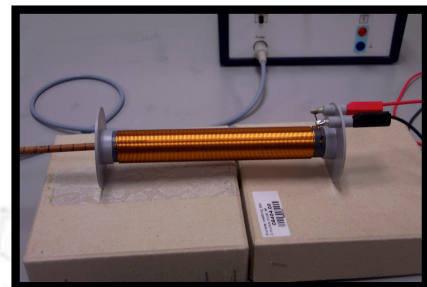
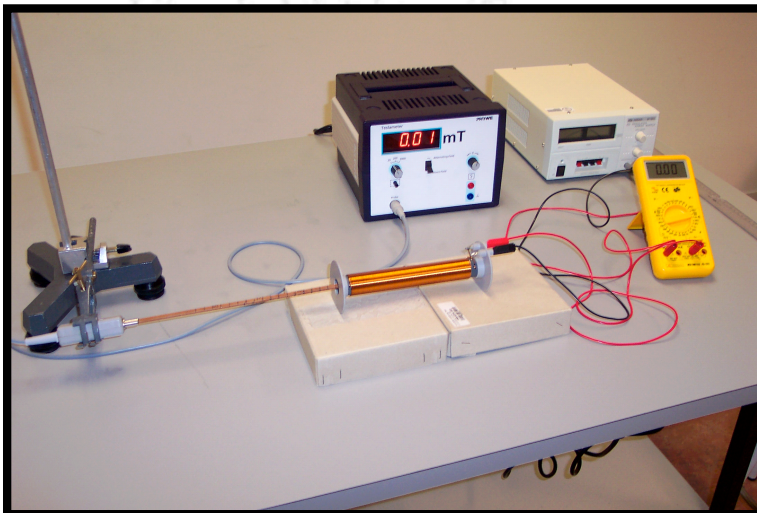
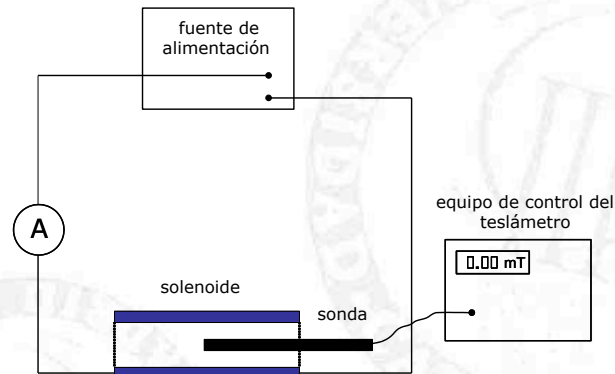


Figura 8: Esquema del montaje experimental

1. Con la fuente de alimentación y el teslámetro apagados, desmontar el soporte de circuito con la espira y colocar en su lugar el solenoide de 150 espiras, 16 cm de longitud y 1.3 cm de radio.
2. Regular la altura de la sonda, e introducirla en el interior del solenoide hasta colocar el extremo de la misma en el centro del solenoide (utilizar una regla para la determinación de la posición del centro del solenoide). De acuerdo a la figura 3, llamaremos $x=0$ a la posición del centro del solenoide.
3. Realizar un ajuste de cero en esta posición, de acuerdo al procedimiento indicado en 5.1.2
4. Regular la corriente que pasa por el solenoide hasta conseguir que circule 1 A por el circuito.

5. Medir el campo B para la posición $x = 0$, a partir del método descrito en 5.1.3. : En este caso, no hará falta realizar la medida de B_2 , y bastará con tomar para cada posición un único valor de B

6. A continuación, y con objeto de medir el campo B a lo largo del eje del solenoide, extraer la sonda variando la posición x del extremo de la misma en pasos de 1 cm, hasta que se alcance la posición $x = 15$ cm. Medir el campo B en cada posición de la sonda.

7. Volver a colocar el extremo de la sonda en el centro del solenoide. Ir introduciendo la sonda variando la posición x del extremo de la misma en pasos de 1 cm, hasta que se alcance la posición $x = -15$ cm. Medir el campo B en cada posición de la sonda.

NOTA: En este caso, no hará falta realizar la medida de B_2 , y bastará con tomar para cada posición el valor de B_1 .

5.2.2 Solenoide de 75 espiras

1. Desmontar el solenoide de 150 espiras y colocar en su lugar el solenoide de 75 espiras, 16 cm de longitud y 1.3 cm de radio. Medir el campo B a lo largo del eje del solenoide, de acuerdo al procedimiento indicado en los puntos 1-7 del apartado anterior.

5.2.3 Cuestiones

1. Representar en una gráfica el B experimental frente a x para los dos solenoides (desde -15cm hasta +15cm).

2. Incluir en la gráfica anterior los valores teóricos obtenidos a partir de la ecuación [6] para ambos solenoides en las posiciones $x = -12, -8, -4, 0, 4, 8$ y 12 cm.