

Física Experimental 2

Práctica 1- Campo Magnético

Docente: Lucía Germán

Grupo A5

Nocetti Escudero, Gulnara 5553836-3

Escudero Cha, Pedro 5149408-0

Agosto 2023



Índice:

1. **Introducción**
 - 1.1. **Objetivos**
 - 1.2. **Conceptos importantes**
 - 1.2.1. **Efecto Hall**
 - 1.2.2. **Campo magnético en un solenoide**
 - 1.2.3. **Bobina de Helmholtz**
2. **Metodología implementada**
 - 2.1. **Materiales utilizados**
 - 2.2. **Primera parte (solenoides)**
 - 2.3. **Segunda parte (bobina de Helmholtz)**
3. **Análisis de datos**
 - 3.1 **Campo en el eje del solenoide**
 - 3.2 **Solenoides, cálculo de μ_0**
 - 3.3 **Bobinas de Helmholtz**
4. **Conclusiones**
5. **Anexo**
6. **Referencias**

1. Introducción

1.1. Objetivos:

Para la próxima, escribir un párrafo explicando los objetivos, no hacer una lista

- Analizar el campo magnético inducido generado por una corriente eléctrica que circula por un solenoide.
- Determinar experimentalmente el valor de la permeabilidad magnética del vacío μ_0 .
- Estudiar el campo magnético que crean un par de bobinas de helmholtz, a lo largo de su eje central.

1.2. Conceptos importantes:

1.2.1. Efecto Hall

El sensor que utilizaremos en el transcurso de la práctica funciona en base al Efecto Hall.

Se le llama de ésta manera a la ~~creación~~^{aparición} de una diferencia de voltaje en un conductor cuando una corriente eléctrica fluye a través de él en presencia de un campo magnético ~~perpendicular~~.

No tiene por qué ser perpendicular el campo, en la clase lo vimos de esa manera para simplificar los cálculos

1.2.2. Campo magnético en un solenoide

Un solenoide es un dispositivo conformado por un conductor enrollado en forma de bobina, capaz de generar un campo magnético al circular corriente eléctrica por su interior (como se observa en la fig.1), se caracteriza por la cantidad de vueltas N del mismo sobre su longitud l (definimos $n = N/l$ como la densidad lineal de espiras).

Aclarar que las espiras tienen que ser paralelas

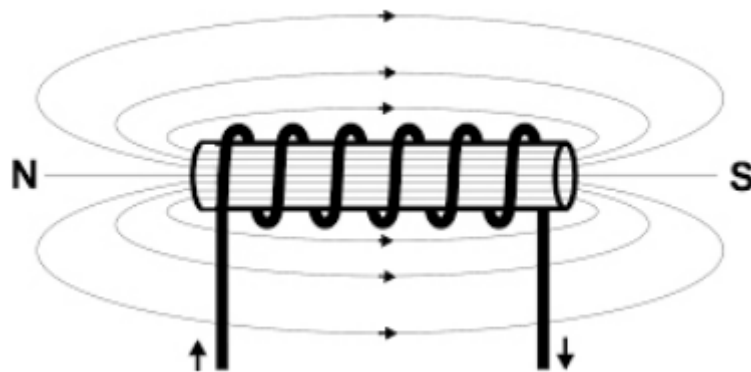


Figura 1: Líneas del campo magnético generado por un solenoide

Cuando circula una corriente I por el conductor, se genera un campo magnético que asumiendo que el solenoide es suficientemente largo y trabajamos sobre su eje, se puede considerar que el campo inducido es constante y paralelo al eje. Bajo estas hipótesis y basándonos en la ley de Ampère, descrita por la ecuación (1)

$$\oint_C \vec{B} d\vec{r} = \mu_o I \quad (1)$$

podemos expresar el campo magnético como:

$$|\vec{B}| = \mu_o n I \quad (2)$$

Donde \vec{B} es el vector campo magnético, μ_o la permeabilidad magnética en el vacío e I la intensidad de corriente que circula por él.

1.2.3. Bobina de Helmholtz

La bobina de Helmholtz es un dispositivo conformado por dos bobinas iguales separadas por una distancia R igual a su radio. A partir de la Ley de Biot-Savart se puede obtener la siguiente expresión del campo magnético sobre su eje en una de las dos bobinas:

$$B_1(x) = \frac{\mu_o N I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (3)$$

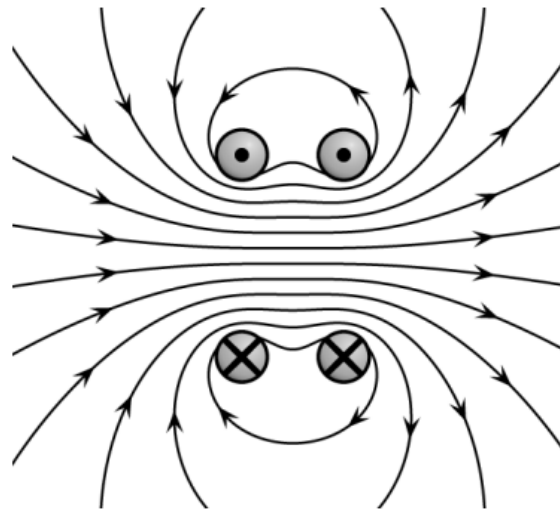


Figura 2: Líneas de campo magnético dentro de la bobina de helmholtz

Citar en el texto todas las figuras que agreguen

2. Metodología implementada

2.1. Materiales

Igual que en los objetivos, queda mejor un párrafo redactado en vez de una lista

Los materiales utilizados en esta práctica son los siguientes:

- Conductor en forma de Hélice con 52 espiras (solenoides)
- Fuente de corriente regulable la fuente que usamos es de voltaje
- Sensor de campo magnético
- Soporte metálico con guía (utilizado para el sensor)
- Cinta métrica
- Cinta adhesiva de papel
- Logger Pro y software para análisis de los datos obtenidos

2.2. Estudio de campo magnético en un Solenoide

Para ésta experiencia se construye un dispositivo que consiste en el solenoide fijo a la mesa y el sensor (configurado hasta un tope de $|0, 3mT|$) colocado sobre el soporte de tal manera que pueda deslizarse a lo largo de su eje central. Se conectan los bornes del solenoide a una fuente de corriente continua y el sensor a la computadora que registra los valores del campo medido en LoggerPro.

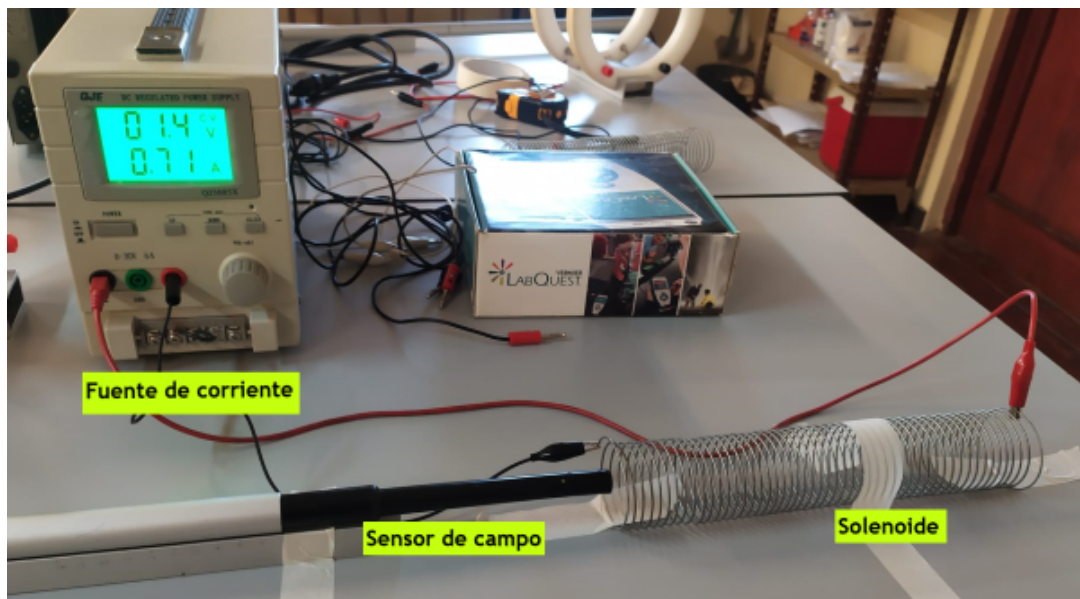


Figura 3: Solenoide - Dispositivo experimental

Fue necesario asegurarse de que la lámina que captura el campo magnético estuviera en posición perpendicular a las líneas de campo, dado que el sensor con el que cuenta el laboratorio es capaz de medir únicamente esa componente. Además asumimos en todas nuestras medidas que el solenoide es infinitamente largo y que sus espiras están lo suficientemente cerca para que el campo magnético sea en una única dirección.

En primera instancia se midió el campo magnético dentro del solenoide a lo largo del eje central, obteniendo valores en función de la posición $B(x)$. Luego se estudió cuantitativamente el campo en el punto central al variar la longitud del solenoide y por otro lado, la corriente que circula por él. Dado que los datos de B obtenidos son afectados por el campo magnético residual ambiental (*offset*), fue prudente medir el mismo previamente a realizar cada conjunto de medidas para luego restarlo a los valores obtenidos.

Para los datos $B(x)$ se midió la longitud del solenoide (fijo a la mesa) con la cinta métrica y se puso a circular una corriente constante. Se obtuvieron 15 medidas deslizando el sensor por la guía a lo largo del eje.

Luego se hizo variar la corriente eléctrica para obtener datos $B(I)$ procurando no pasar de 1A ya que el sensor queda fuera de escala para valores próximos a tal magnitud. Para las medidas $B(I)$ se dejó circular una corriente constante y se fijó un solo extremo del solenoide para poder estirarlo o comprimirlo.

Bien, comentar cómo tomaron las medidas del campo (haciendo un promedio durante varios segundos), y cuál es su incertidumbre

2.3. Estimación de la permeabilidad magnética en el vacío- μ_0

Para la estimación de la permeabilidad magnética μ_0 se toman las medidas de campo magnético dentro del solenoide en función de la corriente y realizando un ajuste lineal mediante el método de mínimos cuadrados a partir de la ecuación (2) se obtiene:

$$y = ax$$

$$\text{donde } y = B; a = \mu_0 n; x = I$$

El valor de referencia con el que serán comparados los resultados experimentales es

$$\mu_{ref} = 4 \times \pi \times 10^{-7} \frac{mT}{A}$$

Faltó explicación del cálculo de μ_0 usando $B(L)$

2.4. Bobina de Helmholtz

En este experimento se reemplazó al bobinado anterior por la bobina de Helmholtz la cual fue fijada a la mesa (se utilizó una pequeña caja a modo de soporte, con el fin de centrar el sensor respecto a la bobina), se mantuvieron los parámetros del sensor y se conectó la bobina a la fuente con una corriente fija.

Primeramente, se conectan las bobinas de forma que el sentido de la corriente fuera el mismo para ambas, produciendo que los campos magnéticos generados por las mismas fueran en el mismo sentido (en la dirección del eje). Se tomaron 10 mediciones variando la posición del sensor $(1, 0 \pm 0, 1)cm$ (de manera que la medida inicial y final corresponden al centro de cada bobina).

A continuación se repite el proceso pero invirtiendo el sentido de la corriente en una de las bobinas para analizar cualitativamente el comportamiento del campo cuando los sentidos de las corrientes eran opuestos.

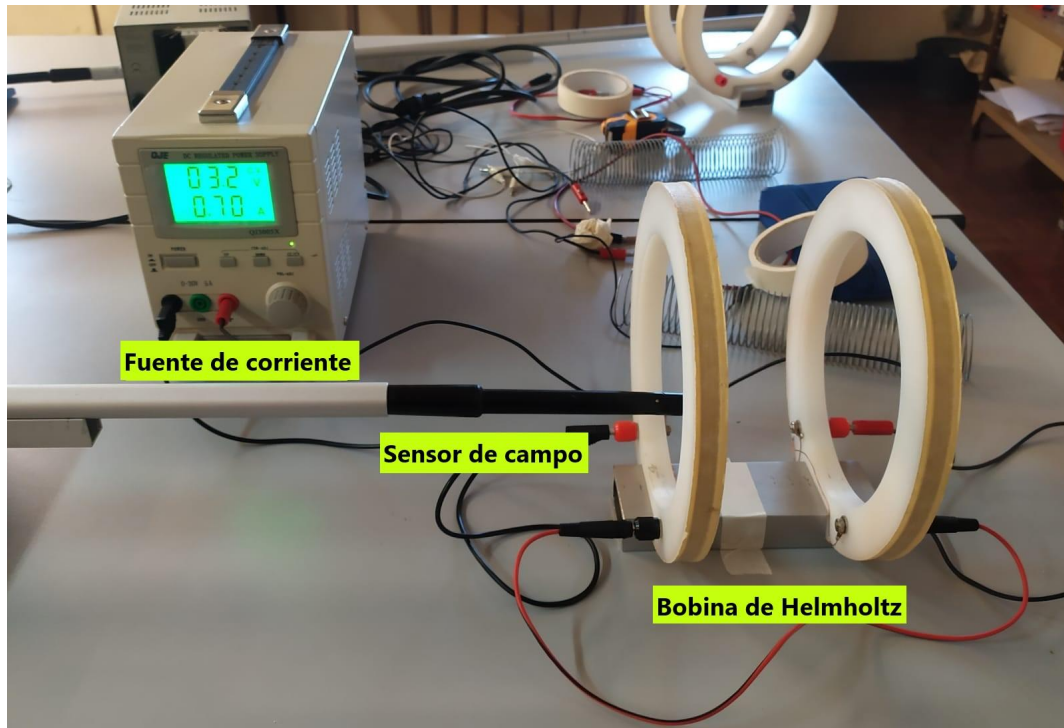


Figura 4: Bobina de Helmholtz - Dispositivo experimental.

3. Análisis de datos

3.1. Campo en el eje del solenoide

3.1.1. Campo magnético en función de la posición

En un solenoide ideal el campo magnético a lo largo de todo su interior debería ser uniforme, pero como se observa en la figura 5 esto no sucedió en el experimento. (Para más detalle se adjuntan las tablas con los datos en el apéndice). **¿Por qué no coincide con el modelo teórico?**

A los valores de campo magnético se les fue restado el valor $B_{offset} = (0,008 \pm 0,001)mT$ asociado al campo magnético terrestre.

¿Qué valores de L, I usaron?

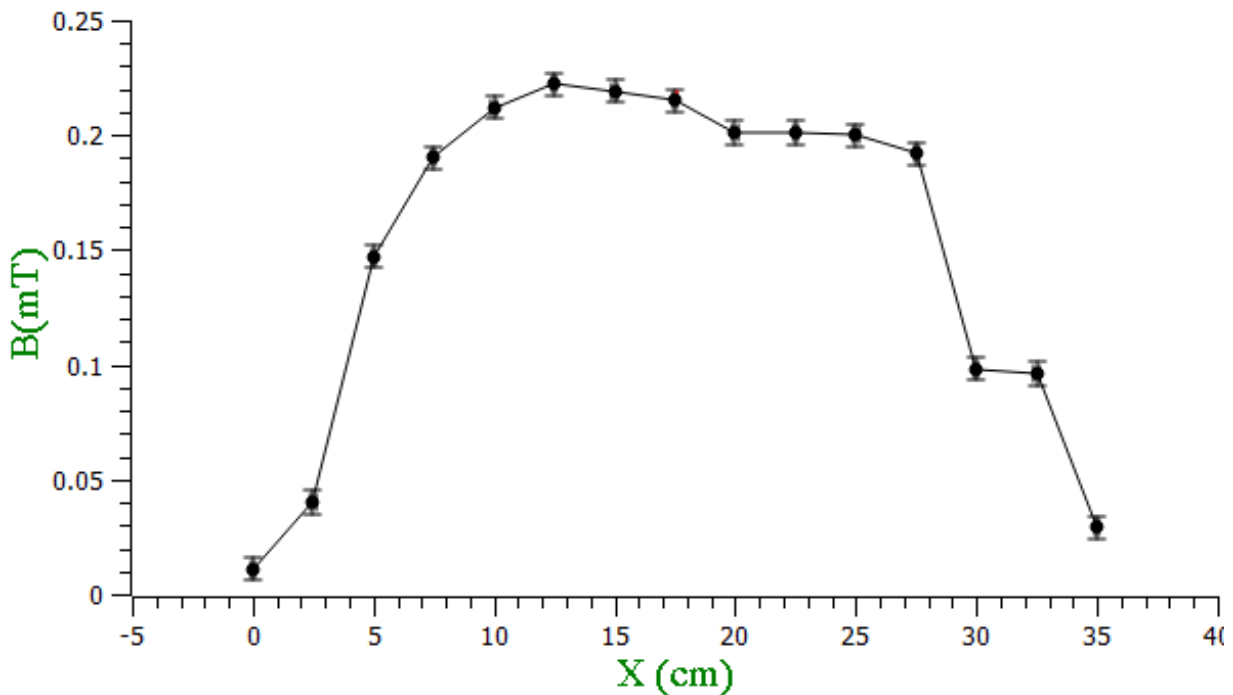


Figura 5: Campo magnético en función de la posición.

3.2 Solenoide, cálculo de μ_0

Para obtener el conjunto de medidas de B en función de la longitud del solenoide se calculó previamente el campo magnético residual como el promedio de las medidas obtenidas con el sensor de campo, resultando $B_{offset} = (0,008 \pm 0,001)mT$. Se tomaron las medidas de B_{med} dentro del solenoide de la misma manera y luego se graficó $B = B_{med} - B_{offset}$ en función de $1/L$ (figura 6). Mediante el método de mínimos cuadrados se obtiene que la pendiente de la gráfica vale $a = (55 \pm 3) \times 10^{-6} Tm$. De la ecuación (2) se deduce que $\mu_0 = (15,1 \pm 0,8) \times 10^{-7} \frac{mT}{A}$.

¿Cómo se compara con el valor de referencia? Se podría calcular el error relativo
¿Cómo calcularon la incertidumbre de μ_0 ?

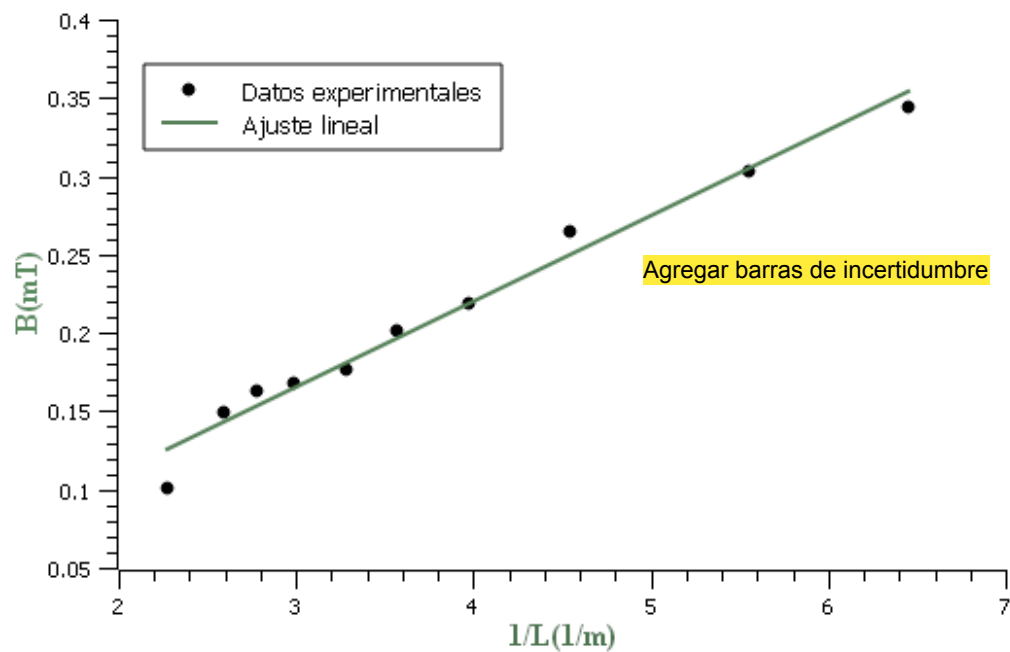


Figura 6: Campo magnético en función de longitud
del inverso de la longitud

En el caso de las medidas de B en función de I ocurre de la misma manera que $B = B_{med} - B_{offset}$. Siguiendo un procedimiento similar se tiene en este caso que el valor experimental de la permeabilidad magnética en el vacío corresponde a $\mu_0 = (13,4 \pm 0,7) \times 10^{-7} \frac{\text{mT}}{\text{A}}$.

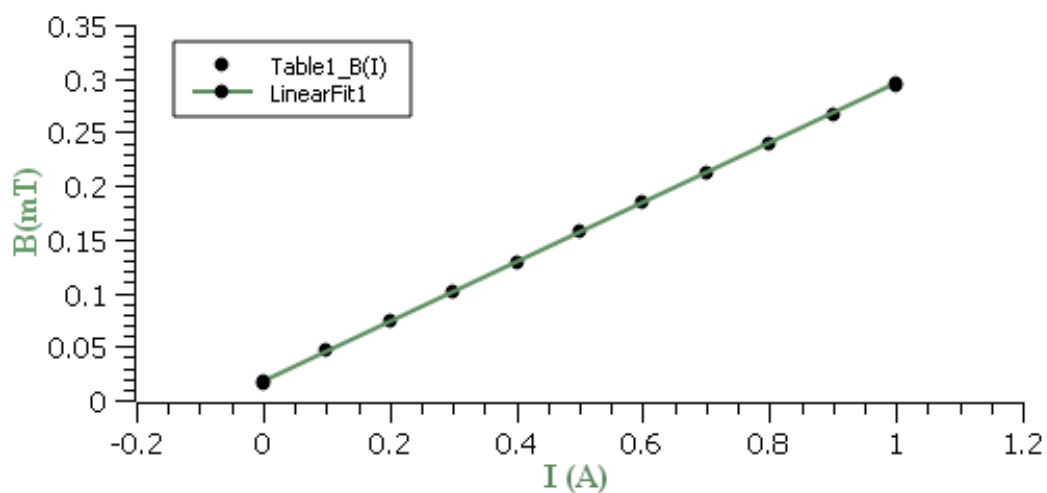


Figura 7: Campo magnético en función de corriente eléctrica

Se observa que el valor más cercano al valor de referencia es el calculado a partir de los datos de B en función de la corriente eléctrica, lo cual es concordante con que el coeficiente de correlación sea mayor para el ajuste de esa gráfica (figura 7).

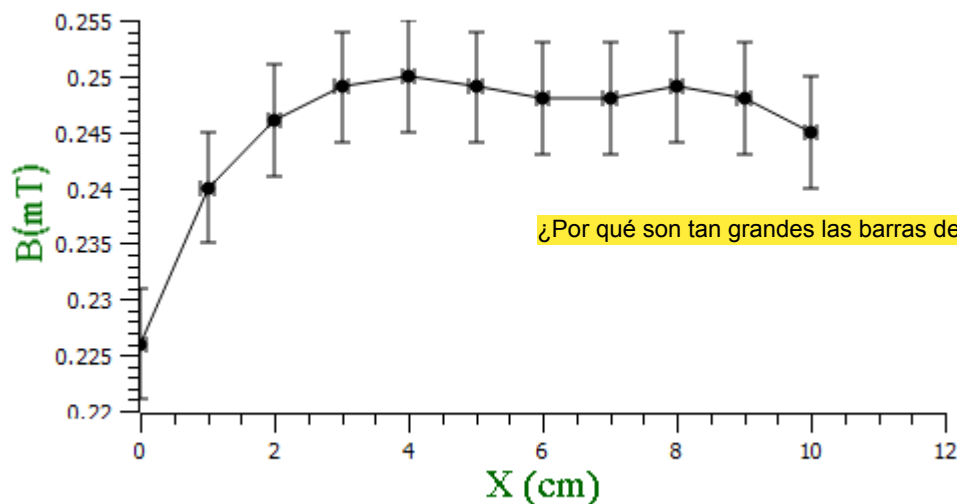
¿Cuáles son los coeficientes de correlación?

¿Qué factores pueden haber influido en el hecho de que un método sea más preciso que el otro?

3.3 Bobinas de Helmholtz

En la figura 8 podemos observar el campo magnético a lo largo del eje de la bobina de Helmholtz, se nota que acorde a con lo teórico el campo magnético mantiene un comportamiento uniforme.

no mencionaron esto en el fundamento teórico



¿Por qué son tan grandes las barras de error?

Figura 8: Campo magnético en función de la posición, en la bobina de Helmholtz

¿En qué posiciones están las bobinas?

¿Las intensidades están en el mismo sentido?

Al invertir la circulación de la corriente en un bobinado se pudo observar como en el centro de ambos se anula el campo magnético, verificando lo que se suponía teóricamente.

Faltó graficar esto

4. Conclusiones No hacer un listado

- Se analizó el comportamiento del campo magnético a lo largo del eje central y se observó que el mismo no era uniforme como sería en el caso ideal. Esto se debe a que las hipótesis ¿Qué hipótesis? del modelo teórico no se cumplen estrictamente en el modelo utilizado en el laboratorio. Además se tienen las incertidumbres asociadas a los instrumentos de medida utilizados y los posibles errores por fluctuaciones que modifican las condiciones iniciales en cada medida.
- A partir del estudio de campo magnético dentro del solenoide se pudo calcular con los datos experimentales un valor para la permeabilidad magnética en el vacío. Tanto en el caso de el conjunto de medidas de B en función de la corriente como en función de la longitud se tienen valores para μ_0 con errores No aparecen estos cálculos en el análisis de datos relativos del orden de 1×10^{-2} . Observamos que el error es menor en el caso de las medidas de B en función de la corriente. En ambas experiencias se puede asociar el error tanto a los instrumentos utilizados como a movimientos imprevistos del sensor dentro de la bobina. Además influyen las condiciones reales del solenoide que difieren con el modelo ideal necesario para validar la ecuación (2) utilizada en los cálculos. Aparte de las hipótesis sobre la longitud del solenoide y la distancia entre sus espiras, el mismo tiene una resistencia asociada que no se toma en cuenta en el modelo ideal. El hecho de que el error al variar la longitud sea mayor puede ser por mover el dispositivo en cada medida, por lo que se estarían obteniendo datos en diferentes condiciones.
- Pudimos observar en la bobina de Helmholtz que al invertir las corrientes el campo magnético registrado por el sensor se anula en el medio de ambas bobinas (a una distancia R de cada bobina) y es máximo cuando el sensor se encuentra centrado en ellas (en el centro de cada “aro”), también se verificó el comportamiento uniforme del campo cuando las corrientes circulan en el mismo sentido.

Atribuimos parte del error de este experimento a que al momento de relevar los datos el sensor no estaba totalmente alineado con el eje.

5. Anexo

Tabla 1: Campo magnético en función de la posición del sensor, primer experimento (Estudio de campo magnético en un Solenoide). A los datos experimentales de campo magnético obtenidos B_{med} se les restó el campo magnético residual B_{offset} , tenemos que $B = B_{med} - B_{offset}$. La corriente que circula por el solenoide en este caso de $(70 \pm 1)mA$.

x(cm)	B(mT)
0.0 ± 0.1	0.011 ± 0.001
2.5 ± 0.1	0.040 ± 0.001
5.0 ± 0.1	0.147 ± 0.001
7.5 ± 0.1	0.190 ± 0.001
10.0 ± 0.1	0.212 ± 0.001
12.5 ± 0.1	0.222 ± 0.001
15.0 ± 0.1	0.219 ± 0.001
17.5 ± 0.1	0.215 ± 0.001
20.0 ± 0.1	0.201 ± 0.001
22.5 ± 0.1	0.201 ± 0.001
25.0 ± 0.1	0.200 ± 0.001
27.5 ± 0.1	0.192 ± 0.001
30.0 ± 0.1	0.098 ± 0.001
32.5 ± 0.1	0.096 ± 0.001
35.0 ± 0.1	0.029 ± 0.001

Tabla 2: Campo magnético en función de la corriente, primer experimento (Estudio de campo magnético en un Solenoide). La longitud que se fijó para el solenoide en este caso, corresponde a $L = (25, 2 \pm 0, 1)cm$.

I(A)	B(mT)
------	-------

$0 \pm 0,01$	$0.016 \pm 0,001$
$0.1 \pm 0,01$	$0.046 \pm 0,001$
$0.2 \pm 0,01$	$0.073 \pm 0,001$
$0.3 \pm 0,01$	$0.101 \pm 0,001$
$0.4 \pm 0,01$	$0.128 \pm 0,001$
$0.5 \pm 0,01$	$0.158 \pm 0,001$
$0.6 \pm 0,01$	$0.185 \pm 0,001$
$0.7 \pm 0,01$	$0.211 \pm 0,001$
$0.8 \pm 0,01$	$0.24 \pm 0,001$
$0.9 \pm 0,01$	$0.267 \pm 0,001$
$1 \pm 0,01$	$0.293 \pm 0,001$

Tabla 3: Campo magnético en función del largo del solenoide, primer experimento (Estudio de campo magnético en un Solenoide).

L(cm)	B(mT)
$15.5 \pm 0,1$	$0.344 \pm 0,001$
$18 \pm 0,1$	$0.303 \pm 0,001$
$22 \pm 0,1$	$0.265 \pm 0,001$
$25.2 \pm 0,1$	$0.219 \pm 0,001$
$28 \pm 0,1$	$0.202 \pm 0,001$
$30.5 \pm 0,1$	$0.177 \pm 0,001$
$33.5 \pm 0,1$	$0.168 \pm 0,001$
$36 \pm 0,1$	$0.163 \pm 0,001$
$38.5 \pm 0,1$	$0.149 \pm 0,001$
$44 \pm 0,1$	$0.101 \pm 0,001$

Tabla 4: Campo magnético en función de la posición del sensor, segundo experimento.(Bobina de Helmholtz).La corriente que emite la fuente en este caso es de $(70 \pm 1)mA$.

x (cm)	B(mT)
$0 \pm 0,1$	$0.226 \pm 0,001$
$1 \pm 0,1$	$0.24 \pm 0,001$
$2 \pm 0,1$	$0.246 \pm 0,001$
$3 \pm 0,1$	$0.249 \pm 0,001$
$4 \pm 0,1$	$0.25 \pm 0,001$
$5 \pm 0,1$	$0.249 \pm 0,001$
$6 \pm 0,1$	$0.248 \pm 0,001$
$7 \pm 0,1$	$0.248 \pm 0,001$
$8 \pm 0,1$	$0.249 \pm 0,001$
$9 \pm 0,1$	$0.248 \pm 0,001$
$10 \pm 0,1$	$0.245 \pm 0,001$

Tabla 5: Campo magnético en función de la posición del sensor, con el sentido de circulación de la corriente opuesto en cada bobina, segundo experimento (Bobina de Helmholtz).La corriente que emite la fuente en este caso es de $(70 \pm 1)mA$.

x(cm)	B (mT)
$0 \pm 0,1$	$0,129 \pm 0,001$
$1 \pm 0,1$	$0.113 \pm 0,001$
$2 \pm 0,1$	$0.097 \pm 0,001$
$3 \pm 0,1$	$0.073 \pm 0,001$
$4 \pm 0,1$	$0.040 \pm 0,001$
$5 \pm 0,1$	$0.249 \pm 0,001$
$6 \pm 0,1$	$0.248 \pm 0,001$
$7 \pm 0,1$	$0.248 \pm 0,001$



$8 \pm 0,1$	$0.249 \pm 0,001$
$9 \pm 0,1$	$0.248 \pm 0,001$
$10 \pm 0,1$	$0.245 \pm 0,001$

6. Referencias

- R. Resnick, D. Halliday, K. S. Krane - Física Vol. 2. Tercera edición 1993, cuarta reimpresión 1996. Páginas 211 a 220, 255 a 258.
- Práctica 1 Campo Magnético, Instituto de Física - Facultad de Ingeniería
link: https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/398846/mod_page/content/69/campomagnetico2023.pdf?time=1687463509928
- Wikipedia, Efecto Hall.
link: https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Hall