

# Estudio del campo magnético producido por diferentes configuraciones de corriente

Bryan Alejandro Berbesi Capacho<sup>1</sup>, Nicolas Mantilla Molina<sup>2</sup>, Santiago  
Andrés Montes Camacho<sup>3</sup>

---

## Abstract

El entendimiento del campo magnético es fundamental para estudiar sistemas físicos en los cuales circule una corriente eléctrica, es por ello que la presente práctica estuvo enfocada en la medición del campo magnético para diferentes magnitudes de corriente en una configuración rectilínea, circular y de solenoide; permitiendo con ello hallar el valor de permeabilidad magnética  $\mu_0$  haciendo uso de la Ley de Ampère.

De esta forma, fueron efectuadas dos maneras de abordar el procedimiento: Mediante la pendiente obtenida en una regresión lineal de los datos, así como el uso del promedio del campo magnético hallado en cada configuración. El primer análisis permitió obtener un adecuado valor experimental de  $\mu = 1.0712 \times 10^{-6} \pm 3.26 \times 10^{-7} \frac{H}{m}$ , correspondiente al alambre rectilíneo, mientras que el segundo enfoque mostró resultados de dispersión y exactitud los cuales no permitieron establecer un valor particular más óptimo.

---

## 1. Introducción

Para comprender cómo funcionan los fenómenos magnéticos es crucial llevar a cabo experimentos que nos permitan unir los conceptos fundamentales relacionados con estos fenómenos. Uno de estos conceptos es el hecho de que toda

---

<sup>1</sup>Email: bryan2210701@correo.uis.edu.co Cod: 2210701

<sup>2</sup>Email: nicolas2210707@correo.uis.edu.co Cod: 2210707

<sup>3</sup>Email: santiago2210718@correo.uis.edu.co Cod: 2210718

carga eléctrica en movimiento o corriente eléctrica genera un campo magnético en el espacio que lo rodea. Además, es importante tener en cuenta que dicho campo magnético ejerce una fuerza sobre cualquier otra carga en movimiento o corriente que se encuentre en las cercanías. A través de la realización de experimentos, podemos obtener una mejor comprensión de cómo funciona esta interacción entre cargas y campos magnéticos. También podemos obtener información valiosa sobre las propiedades magnéticas de los materiales, lo que es de gran utilidad en una amplia variedad de aplicaciones en la industria y la investigación.

## 2. Objetivos

### 2.1. *Objetivo General*

Calcular de forma experimental el valor de la permeabilidad magnética.

### 2.2. *Objetivos específicos*

- Medir la corriente circulante en un alambre rectilíneo, una espira circular y un solenoide.
- Aplicar la ley de Ampère de distribuciones de corriente para calcular la permeabilidad magnética.

## 3. Marco Teórico

Jean-Baptiste Biot y Felix Savart realizaron experimentos cuantitativos en relación con la fuerza ejercida por una corriente eléctrica sobre un imán cercano [3]. De sus resultados experimentales, Biot y Savart llegaron a una expresión matemática que da el valor del campo magnético en un punto en el espacio en función de la corriente que dicho campo produce. La expresión se basa en las observaciones experimentales del campo magnético  $dB$  en un punto  $P$  asociado con un elemento de longitud  $dl$  de un alambre conductor por el que circula una corriente estacionaria  $I$ :

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^2}. \quad (1)$$

En casos en los cuales las configuraciones presentan alta simetría entre los puntos donde se desea calcular el campo, es posible usar la siguiente relación:

$$\oint_s Bdl = \mu_0 I_{enc}, \quad (2)$$

la cual es conocida como la Ley de Ampère y donde  $I_{enc}$  es la corriente existente en la región encerrada por una trayectoria.

#### 4. Metodología

La presente práctica experimental se desarrolla por el método inductivo de dos fases metodológicas basadas en la observación sistemática soportada con el conocimiento de la teoría y el registro de múltiples datos. Para tal fin se emplean los siguientes instrumentos de medición:

- Fuente de corriente variable.
- Sensores de campo tangencial.
- Teslametro.
- Alambre rectilíneo.
- Espiras circulares.
- Solenoides.

En este sentido se mide el campo magnético producido por un alambre finito, por un espira circular así como por un solenoide de 1000 vueltas. Esto con el fin de determinar la permeabilidad magnética obtenida en las mediciones de cada una de tales configuraciones, teniendo en cuenta las relaciones de campo magnético dadas mediante la Ley de Ampère, permitiendo asimismo evaluar la validez de dicha ley con los resultados experimentalmente obtenidos.

## 5. Tratamiento de datos

La toma de los datos durante la práctica abarcó un total de cuatro mediciones para ocho diferentes valores de corriente en cada una de las tres configuraciones mencionadas, calculando a su vez el promedio para cada una de ellas (ver Anexo A). Cabe resaltar que cada medición puntual del campo fue realizada por medio del teslámetro [1], el cual brindaba la incertidumbre de cada dato en cuestión, mientras que el error del campo magnético promedio asociado a cada corriente fue calculado mediante una desviación estándar.

En el caso de la configuración dada por un conductor rectilíneo, es posible, partiendo de 1, obtener una expresión para calcular su campo magnético:

$$B_r = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}, \quad (3)$$

en la cual se encuentra la magnitud de permeabilidad magnética  $\mu_0$ , permitiendo comparar cuantitativamente su valor correspondiente a cada medición efectuada. Cabe resaltar que se utilizó una distancia  $R = 0.0005[m]$  al centro del alambre, siendo por ende insignificante con respecto a la distancia total, por lo que la aproximación a un alambre infinito sugiere ser inicialmente válida.

Similarmente, es factible llevar a cabo un procedimiento similar para la configuración de espira circular, en cuyo caso la expresión del campo magnético  $B_c$  resulta:

$$B_c = \frac{\mu_0 I}{2r}, \quad (4)$$

utilizando para este caso un radio  $r = 0.02172[m]$ . Para las mediciones efectuadas haciendo uso del solenoide, fue empleada la relación de campo magnético  $B_s$  partiendo igualmente de la Ley de Ampère descrita, siendo así:

$$B_s = \mu_0 \rho I, \quad (5)$$

donde  $\rho$  es la densidad de espiras descritas por la razón entre el número de vueltas  $N$  y la longitud  $L$  del solenoide. Cabe resaltar que en la presente

práctica se contó con 1000 vueltas y una longitud de  $0.2[m]$ , obteniendo por ende una densidad  $\rho = 5000[vueltas/m]$ .

Asimismo, será empleado una regresión lineal sobre el comportamiento de las mediciones de campo magnético y de corriente, de manera tal que su pendiente  $m$  pueda ser relacionado con las ecuaciones previamente descritas de la siguiente manera:

$$\mu_r = 2\pi m R, \quad \mu_c = 2mr, \quad \mu_s = \frac{m}{\rho}. \quad (6)$$

De igual forma, será calculado el error en las mediciones de la permeabilidad magnética mediante el método de propagación de errores [2], siendo estos para el alambre rectilíneo, para la espira circular y para la configuración del solenoide respectivamente las expresiones:

$$\delta\mu_r = \left| \frac{2\pi r}{I} \right| \Delta B + \left| \frac{2\pi r B}{I^2} \right| \Delta I, \quad (7)$$

$$\delta\mu_c = \left| \frac{2r}{I} \right| \Delta B + \left| \frac{2r B}{I^2} \right| \Delta I, \quad (8)$$

$$\delta\mu_s = \left| \frac{1}{\rho I} \right| \Delta B + \left| \frac{B}{\rho I^2} \right| \Delta I. \quad (9)$$

Esto permitirá tener en cuenta tanto la incertidumbre generada por la resolución de los instrumentos contados para la toma directa de datos, así como el margen de error en las mediciones indirectas que se empleen en los cálculos.

## 6. Análisis y resultados

Una vez tomados los datos experimentales en cada una de las configuraciones, es posible llevar a cabo su visualización por medio de las gráficas presentadas en la figura 1.

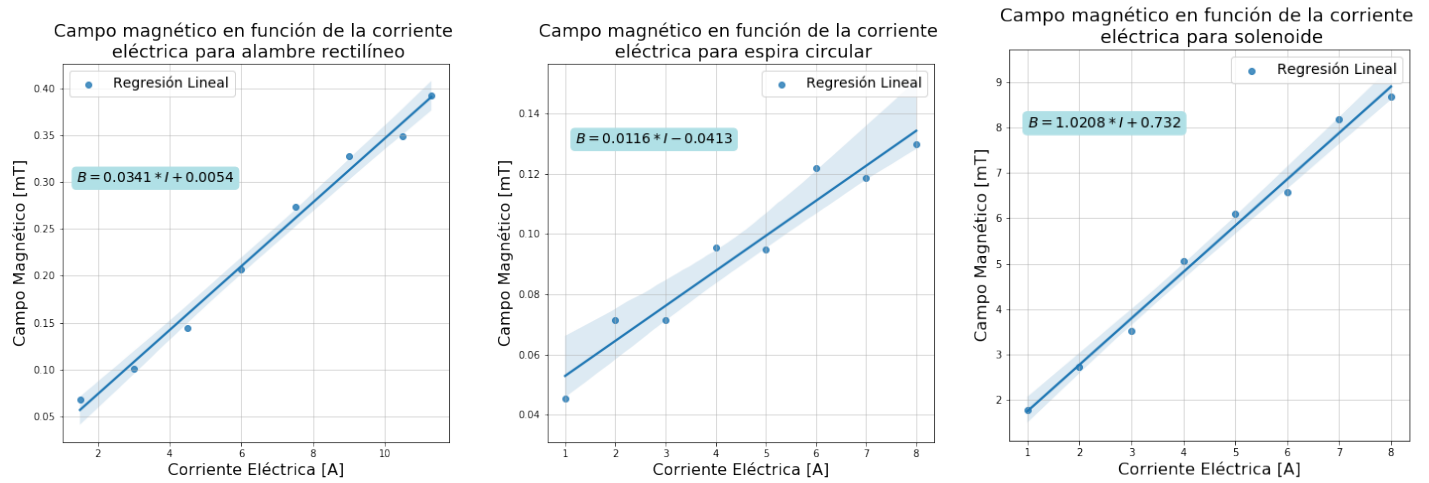


Figure 1: Campo magnético en función de la corriente a través de las diferentes configuraciones de corriente eléctrica.

En ellas, es posible apreciar la tendencia de los puntos medidos experimentalmente durante la práctica por medio de la recta mostrada tras el ajuste de regresión lineal sobre los datos, obteniendo de ello los valores de permeabilidad magnética  $\mu_r = 1.0712 \times 10^{-6} \pm 3.26 \times 10^7 [\frac{H}{m}]$ ,  $\mu_c = 5.0390 \times 10^{-6} \pm 2.52 \times 10^7 [\frac{H}{m}]$  y  $\mu_s = 2.0416 \times 10^{-6} \pm 1.97 \times 10^7 [\frac{H}{m}]$ , presentando factores de exactitud de 1.17, 0.24 y 0.61 respectivamente, correspondiendo al factor requerido para llegar al valor teórico a partir del producto con cada medición:

$$\mu_{0T} = \mu_{0E} \cdot Factor, \quad (10)$$

donde  $\mu_{0T}$  es el valor teórico aceptado, y  $\mu_{0E}$  el valor experimentalmente hallado.

Por otra parte, mediante las relaciones de ley de Ampère para el cálculo de cada  $\mu_0$ , fueron obtenidos los valores correspondientes a cada medida mostrados en la tabla:

	Alambre Rectilíneo	Espira Circular	Solenoides
$\overline{\mu_0}[\frac{H}{m}]$	$1.12 \times 10^{-07}$	$1.092 \times 10^{-06}$	$5.86 \times 10^{-06}$
$S_{\overline{\mu_0}}[\frac{H}{m}]$	$1.20 \times 10^{-08}$	$4.16 \times 10^{-07}$	$4.61 \times 10^{-06}$
$\sigma_{\overline{\mu_0}}[\frac{H}{m}]$	$4 \times 10^{-6}$	$1.51 \times 10^{-4}$	$4.8 \times 10^{-4}$
$CV_{\overline{\mu_0}}$	0.107	0.381	0.786
Factor de Exactitud	11.23	1.15	0.21

Table 1: Valores calculados de  $\mu_0$  para cada una de las configuraciones mostradas, con su correspondiente desviación estándar  $S_{\mu_0}$ , propagación de errores  $\sigma_{\mu_0}$ , coeficiente de varianza  $CV_{\mu_0}$  y factor de exactitud.

En ella es posible apreciar una mejor aproximación al valor teórico definido para las mediciones realizadas en una configuración circular. Asimismo, se presenta una gran dispersión con respecto a las mediciones efectuadas en el solenoide empleado, quien a su vez es la segunda configuración en mostrar una mejor exactitud. El alambre rectilíneo, por otra parte, presenta la peor exactitud a pesar de ser la disposición que presenta una desviación menos significativa con respecto a su valor correspondiente de  $\mu_0$ .

En este sentido, es notoria una diferencia en cuanto los dos análisis por los cuales se empleó el cálculo de  $\mu_0$ , puesto que a través de las pendientes obtenidas en la regresión se tiene una mejor aproximación en la configuración de alambre rectilíneo, siendo la peor aquella dada por la espira circular. Cabe resaltar que en este caso, las exactitudes de cada resultado no fueron tan distantes entre sí, aspecto que si fue notorio en las magnitudes halladas directamente de las expresiones obtenidas mediante la Ley de Ampère, al igual que las dispersiones presentadas, puesto que estas resultaron significativamente mayores en comparación al valor de  $\mu_0$ , aspecto que es principalmente evidenciable en el solenoide y la espira circular.

Cabe destacar que los cálculos pertinentes así como los archivos de datos tomados en la práctica se pueden encontrar en el repositorio en el que se alojan

los proyectos de laboratorio de física 2, en los cuales, los datos fueron analizados en un Notebook de Jupyter, entorno de desarrollo de Python.

## 7. Conclusiones

En primera instancia, es importante destacar la correlación entre los datos experimentales en las configuraciones empleadas, siendo esta razón por la cual se viabilizó el uso de la pendiente obtenida durante la regresión lineal como magnitud pertinente para el cálculo de la permeabilidad magnética. Obteniendo de esta forma un valor  $\mu_r = 1.0712 \times 10^{-6} \pm 3.26 \times 10^7 [\frac{H}{m}]$  correspondiente a las mediciones efectuadas por el alambre rectilíneo, puesto que es aquel que presenta mayor exactitud, así como un error que no resulta ser significativamente influyente.

Asimismo, debe mencionarse que los resultados de  $\mu_0$  obtenidos para cada configuración presentan dispersiones y exactitudes que no indican un candidato óptimo para ser considerado como el mejor o el peor. Por una parte, si bien la configuración de alambre rectilíneo es el que presenta un menor error por propagación y una menor dispersión significativa, el factor de exactitud resulta ser el más deficiente entre las configuraciones. Por otra parte, la espira circular cuenta con el mejor factor de exactitud, a pesar de presentar una alta dispersión, mientras que el solenoide cuenta con el mayor error por propagación, siendo a su vez quien mayor dispersión significativa presenta.

De igual forma, es válido afirmar de manera general que la incertidumbre dada por el error por propagación de errores para todas las configuraciones resulta enormemente alta, lo cual puede deberse esencialmente a las diferentes aproximaciones tomadas durante la práctica, como lo es la suposición de un alambre infinito, una circunferencia completa en la espira; así como directamente errores no controlables en la práctica como el nivel de calibración de los instrumentos, las pérdidas de energía por calor en los conductores, entre otras.



Finalmente, cabe resaltar la importancia de la practica en el laboratorio, con el fin de mejorar las habilidades experimentales en los estudiantes, entendiendo de manera práctica y evidencial cómo las nociones y conceptos usualmente empleados en ciencia se relacionan entre sí.

## 8. Referencias

- [1] Brand, K. G. and Brun, G. (1979). A digital teslameter. Technical report, CERN.
- [2] Miguel, A. H. M. and Jose, M. (2009). *Laboratorio de fisica*. Pearson Prentice Hall.
- [3] Pappas, P. (1983). The original ampere force and biot-savart and lorentz forces. *Il Nuovo Cimento B (1971-1996)*, 76(2):189–197.

## 9. Anexos

### 9.1. Anexo A

$I[A]$	$B_1[mT]$	$B_2[mT]$	$B_3[mT]$	$B_4[mT]$	$\overline{B}[mT]$
1.5	$0.0721 \pm 0.0006$	$0.0655 \pm 0.0007$	$0.0735 \pm 0.0007$	$0.0601 \pm 0.0008$	$0.0678 \pm 0.00620$
3	$0.1028 \pm 0.0007$	$0.1011 \pm 0.0008$	$0.0998 \pm 0.0007$	$0.0982 \pm 0.0014$	$0.1005 \pm 0.00195$
4.5	$0.1326 \pm 0.0008$	$0.1427 \pm 0.0008$	$0.1544 \pm 0.0008$	$0.1482 \pm 0.0008$	$0.1445 \pm 0.00924$
6	$0.2135 \pm 0.0008$	$0.2054 \pm 0.0007$	$0.2013 \pm 0.0007$	$0.2069 \pm 0.0007$	$0.2068 \pm 0.0050$
7.5	$0.2714 \pm 0.0007$	$0.2700 \pm 0.0008$	$0.2732 \pm 0.0006$	$0.2792 \pm 0.0013$	$0.2735 \pm 0.00405$
9	$0.3312 \pm 0.0014$	$0.3150 \pm 0.0012$	$0.3356 \pm 0.0013$	$0.3306 \pm 0.0014$	$0.3281 \pm 0.00901$
10.5	$0.3751 \pm 0.0013$	$0.3950 \pm 0.0011$	$0.4051 \pm 0.0013$	$0.3964 \pm 0.0012$	$0.3929 \pm 0.01268$
11.3	$0.3539 \pm 0.0013$	$0.3505 \pm 0.0013$	$0.3374 \pm 0.0013$	$0.3541 \pm 0.0011$	$0.3490 \pm 0.00789$

Table 2: Campo magnético  $B$  medido a una distancia de  $0.5[mm]$  de un conductor rectilíneo por el cual circula una corriente  $I$ .

$I[A]$	$B_1[mT]$	$B_2[mT]$	$B_3[mT]$	$B_4[mT]$	$\overline{B}[mT]$
1	$0.0355 \pm 0.0011$	$0.0326 \pm 0.0013$	$0.0580 \pm 0.0015$	$0.0556 \pm 0.0014$	$0.0454 \pm 0.01322$
2	$0.0725 \pm 0.0012$	$0.0658 \pm 0.0011$	$0.0634 \pm 0.0011$	$0.0841 \pm 0.0016$	$0.0715 \pm 0.00927$
3	$0.0864 \pm 0.0011$	$0.0680 \pm 0.0012$	$0.0658 \pm 0.0013$	$0.0648 \pm 0.0014$	$0.0713 \pm 0.01018$
4	$0.0851 \pm 0.0009$	$0.0922 \pm 0.0009$	$0.1024 \pm 0.0011$	$0.1020 \pm 0.0011$	$0.0954 \pm 0.00834$
5	$0.0848 \pm 0.0013$	$0.0842 \pm 0.0010$	$0.1019 \pm 0.0014$	$0.1087 \pm 0.0011$	$0.0949 \pm 0.00405$
6	$0.1337 \pm 0.0014$	$0.1088 \pm 0.0014$	$0.1302 \pm 0.0012$	$0.1144 \pm 0.0015$	$0.1218 \pm 0.01205$
7	$0.1205 \pm 0.0013$	$0.1195 \pm 0.0013$	$0.1126 \pm 0.0012$	$0.1210 \pm 0.0014$	$0.1184 \pm 0.00391$
8	$0.1259 \pm 0.0011$	$0.1315 \pm 0.0016$	$0.1401 \pm 0.0012$	$0.1213 \pm 0.0014$	$0.1297 \pm 0.00809$

Table 3: Campo magnético  $B$  medido en el centro de una espira circular de radio  $R = 2.172[cm]$  de un conductor rectilíneo por el cual circula una corriente  $I$ .

$I[A]$	$B_1[mT]$	$B_2[mT]$	$B_3[mT]$	$B_4[mT]$	$\overline{B}[mT]$
0.1	$1.7759 \pm 0.0014$	$1.7829 \pm 0.0012$	$1.7716 \pm 0.0014$	$1.7756 \pm 0.0012$	$1.7765 \pm 0.00469$
0.2	$2.7167 \pm 0.0012$	$2.7217 \pm 0.0013$	$2.7225 \pm 0.0010$	$0.0841 \pm 0.0016$	$2.7243 \pm 0.00844$
0.3	$3.5370 \pm 0.0012$	$3.5287 \pm 0.0013$	$3.5298 \pm 0.0015$	$3.5269 \pm 0.0012$	$3.5306 \pm 0.00443$
0.4	$5.0448 \pm 0.0012$	$5.0549 \pm 0.0010$	$5.0444 \pm 0.0016$	$5.0605 \pm 0.0013$	$5.0512 \pm 0.00790$
0.5	$6.0773 \pm 0.0012$	$6.0894 \pm 0.0013$	$6.0931 \pm 0.0011$	$6.0983 \pm 0.0011$	$6.0895 \pm 0.00893$
0.6	$6.5988 \pm 0.0013$	$6.5749 \pm 0.0014$	$6.5704 \pm 0.0013$	$6.5690 \pm 0.0013$	$6.5783 \pm 0.01391$
0.7	$8.1829 \pm 0.0013$	$8.1810 \pm 0.0014$	$8.1726 \pm 0.0013$	$8.1705 \pm 0.0018$	$8.1768 \pm 0.00611$
0.8	$8.7098 \pm 0.0015$	$8.6831 \pm 0.0014$	$8.6556 \pm 0.0012$	$8.6579 \pm 0.0015$	$8.6766 \pm 0.02539$

Table 4: Campo magnético  $B$  medido en un solenoide de 1000 espiras y una longitud de  $0.20[m]$ .