

# Fuerza generada entre dos imanes

Universidad de Guanajuato, División de Ciencias e Ingenierías  
Laboratorio de Electricidad y Magnetismo, Proyecto final

Gabriel Missael Barco | David Pedroza Segoviano | Laura del Carmen Cabal Paramo

**Resumen**—En la práctica de laboratorio descrita en este reporte, se llevó a cabo un análisis, para posteriormente hacer la aproximación a la Fuerza magnética entre dos imanes. Se usaron principalmente dos imanes en forma de dona, un palo, tuercas, entre otras cosas; para observar cuánta distancia baja el imán que estaría en la parte superior con los pesos y así hacer los cálculos necesarios para obtener la fuerza magnética.

**Palabras clave:** Fuerza Magnética, Peso, Imanes.

## I. INTRODUCCIÓN

El magnetismo se hace presente en la humanidad cuando hace más de dos mil años en Turquía se descubrió una roca negra la cuál atraía al hierro, a esta roca la llamaron magnetita o piedra imán.

El primer filósofo que estudió el fenómeno del magnetismo fue Tales de Mileto, filósofo griego que vivió entre 625 a.C. y 545 a.C. Después del descubrimiento del magnetismo se hicieron brújulas, la brújula se empezó a utilizar en Occidente como instrumento de navegación alrededor del año 1300. El científico Shen Kua escribió sobre la brújula de aguja magnética y mejoró la precisión en la navegación empleando el concepto astronómico del norte absoluto. China ya habían desarrollado la técnica lo suficiente como para utilizar la brújula mejorando la navegación alrededor del año 1200. Alexander Neckam fue el primer europeo en desarrollar esta técnica en 1187.

Luego William Gilbert en el siglo XVI estableció la ley de la fuerza magnética que dice “polos magnéticos iguales se repelen y polos magnéticos distintos se atraen”. Posteriormente, en 1750, el geólogo británico John Michell inventó una balanza que utilizó para estudiar las fuerzas magnéticas. Michell demostró que la atracción o repulsión entre dos polos magnéticos disminuye al cuadrado de la distancia entre ellos, después de esto, el físico francés Charles de Coulomb, que había medido las fuerzas entre cargas eléctricas, verificó la observación de Michell con precisión. [1] [2]

## II. OBJETIVOS

Analizar la fuerza magnética.

### II-A. Objetivos particulares

- Lograr una aproximación para la fuerza magnética entre dos imanes.
- Observar como cambia la distancia al cambiar los pesos para calcular la fuerza magnética.

## III. MARCO TEÓRICO

El campo magnético en cualquier punto está especificado por dos valores, la dirección y la magnitud; por lo que es un campo vectorial. Los campos magnéticos se producen por cualquier carga eléctrica producida por una corriente, es decir, electrones en movimiento y por materiales magnetizados. En electromagnetismo, el término “campo magnético” se usa para dos campos distintos pero relacionados denotados por los símbolos  $B$  y  $H$ . [3][4]

La fuerza magnética es una consecuencia de la fuerza electromagnética, la cual es una de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza. Dos objetos con carga que se mueven en la misma dirección tienen una fuerza de atracción magnética entre ellos, son polos opuestos, mientras que los objetos con carga que se mueven en direcciones opuestas tienen una fuerza repulsiva entre ellas, polos iguales.[5]

Los imanes son un material que tiene la capacidad de producir un campo magnético en su exterior. En un imán la capacidad de atracción es mayor en sus extremos o polos. Hay distintos tipos de imanes, como lo son: los imanes naturales como la magnetita, que atrae trozos de hierro; los imanes artificiales permanentes que al frotarlas con la magnetita, se convierten en imanes y conservan durante mucho tiempo su propiedad de atracción y los imanes artificiales temporales que son aquellos que producen un campo magnético sólo cuando circula por ellos una corriente eléctrica. Un ejemplo es el electroimán.[6]

La fuerza magnética entre dos imanes se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_M = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{V_2} \int_{V_1} \frac{j_2(r_2) \times (j_1(r_1) \times \hat{u}_r)}{\|r_2 - r_1\|^2} dV_1 dV_2 \quad (1)$$

Donde:

$j_1, j_2$  son las densidades de corriente en cada uno de los imanes;  $r_1, r_2$  son los vectores directores sobre puntos del interior de cada uno de los dos imanes;  $V_1, V_2$  son los volúmenes ocupados por los dos imanes y  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética. Como podemos observar, esta es una fórmula un poco complicada que tiene que ver con la forma de los imanes y con la alineación de los polos. Para casos con imanes de formas geométricas sencillas que permitan identificar los polos y que se encuentren convenientemente alineados podemos suponer :

$$F_M = K_m \frac{m'm}{r^2} \quad (2)$$

Donde:

$m'm$  son las “masas magnéticas” o “cargas magnéticas” que dependerían del tamaño de los imanes;  $r$  es la distancia

media entre los polos y  $K_m$  es una constante de valor,  $K_m = 10^{-7} N \cdot s^2 \cdot C^{-2}$  [8]

Por otro lado, hablemos de la fuerza gravitatoria. Cualquier objeto con masa ejerce una fuerza gravitacional sobre todos los demás objetos y hay una formula que nos permite calcular la fuerza gravitatoria entre 2 objetos. [8]

$$F_G = \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3)$$

Si queremos conocer la fuerza gravitatoria entre la tierra y un objeto obre ella, lo que se hace es calcular el peso, el cual es:

$$\vec{F}_g = m \cdot \vec{g} \quad (4)$$

Cuando un objeto está en reposo, se dice que está en equilibrio estático, esto es que se cumplen 2 condiciones, que son: El resultado de la suma de fuerzas es nulo y que el resultado de la suma de momentos respecto a un punto es nulo.

Es decir:

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (5)$$

$$\sum \vec{P} = 0 \quad (6)$$

#### IV. MONTAJE EXPERIMENTAL

##### IV-A. Material

1. Dos imanes circulares con una perforación en el centro. (imanes en forma de dona)
2. Base de madera.
3. Palo de madera de radio menor a perforación de los imanes.
4. Cuerpos de distintas masas.

##### IV-B. Procedimiento

Primeramente se construyó la base para el experimento. Para ello, se fijo el palo de madera en la base de tal forma que fuera perpendicular a esta ultima. Esto se hizo buscando construir un soporte universal pero de madera, ya que la interacción electromagnética que este material puede experimentar o ejercer es mínima, y de esta manera se tiene un experimento mas ideal.

En el presente experimento se midió la fuerza de repulsión ejercida entre dos imanes; para ello, se utilizó la fuerza gravitacional sobre cuerpos de distintas masas. En el montaje experimental, se colocaron los dos imanes en el soporte universal de tal manera que el polo superior del imán de abajo y el inferior del imán de arriba fueran opuestos, esto para que la repulsión existiera. Finalmente, se colocaron diversas masas  $m$  sobre el imán superior, y al llegar el sistema al equilibrio, se midió la distancia  $r$  entre los imanes. (Figura 2).

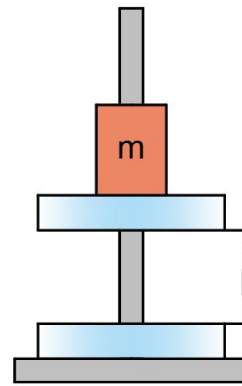


Figura 1: Diagrama del montaje experimental

Se realizaron un total de 10 mediciones, cada una con una masa distinta. Para conocer la fuerza de repulsión entre los imanes, como se dijo anteriormente, se utilizó la ya conocida fuerza gravitacional de la masa del imán superior junto con los cuerpos que se hayan colocado sobre este. Siendo la masa total superior  $M$ , sabemos que:

$$\vec{F}_g = M \cdot \vec{g}$$

Además, dado que el sistema está en equilibrio (ya que una vez colocadas las masas extras con cuidado, el sistema no se mueve) sabemos que necesariamente:

$$\sum \vec{F} = 0$$

Esta es la condición de equilibrio estático. Se sabe que además de la fuerza gravitacional  $\vec{F}_g$ , existe una fuerza magnética de repulsión  $\vec{F}_m$ . Por simplicidad, se consideró que solo estas dos fuerzas actúan en el sistema, por lo que:

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_g + \vec{F}_m = 0 \implies \vec{F}_g = -\vec{F}_m$$

En particular, no se conocen los vectores de fuerza, únicamente sus magnitudes, esto es:

$$|\vec{F}_g| = F_g = F_m = |-\vec{F}_m| \implies F_g = F_m$$

Por lo que se tuvo una medida indirecta de la fuerza magnética de repulsión  $F_m$  (a través de la fuerza gravitacional  $F_g$ ) y una medición directa de la distancia  $r$ . Un ejemplo del montaje experimental realizado se puede ver en la Figura 2.



Figura 2: Montaje experimental realizado para el experimento

## V. RESULTADOS

Los datos obtenidos de las 10 iteraciones se encuentran en la Tabla I. Al realizar una gráfica de los datos (Figura 3) podemos observar que la fuerza magnética decae con la distancia. Esto era de esperarse ya que en general, el campo magnético dado un imán también decae con la distancia.

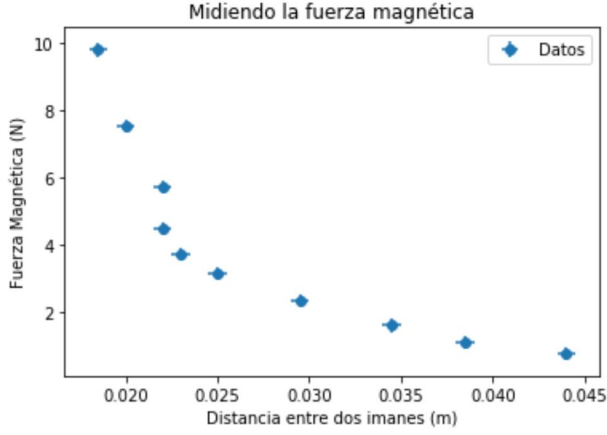


Figura 3: Datos recolectados del experimento

Para contestar esta pregunta, no se analizaron directamente los datos, sino, se utilizó el logaritmo natural de los datos. Para justificar esto, se supone que la fuerza magnética  $F_g$  tiene, en general, la siguiente forma:

$$F_m = \frac{k}{r^n} \quad (7)$$

Se busca encontrar la potencia  $n$ . Aplicando el logaritmo natural a esta expresión:

$$\ln(F_m) = \ln\left(\frac{k}{r^n}\right) = \ln(k) - n \ln(r)$$

Se puede observar que ahora se trata de la expresión de una recta, donde  $\ln(k)$  es la ordenada al origen, y es una constante que depende, en general, de los imanes y se geometría, el medio, y demás factores que no se consideran en este análisis.

Con esto en consideración, se realizó un ajuste de recta por mínimos cuadrados (Figura 4), obteniéndose el modelo siguiente:

$$\ln(F_m) = (8,9 \pm 0,54) - (2,77 \pm 0,15) \ln(r) \quad (8)$$

Para justificar el uso de este modelo lineal, se calculó el coeficiente de correlación lineal  $\gamma$  de los datos, que nos dice que tan bien se ajustan los datos a una recta. Si este valor  $\gamma \rightarrow 1$ , se dice que los datos se representan bien por el modelo lineal. Se obtuvo que  $\gamma = 0,988$ , por lo que se puede justificar que el logaritmo natural de los datos del experimento se ajusta bien al modelo de recta propuesto.

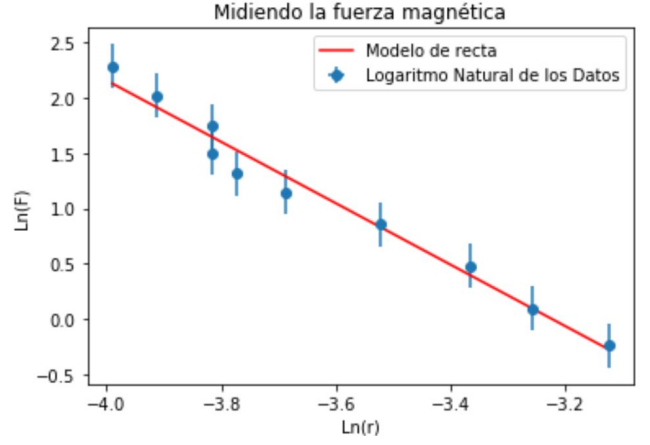


Figura 4: Ajuste de recta por mínimos cuadrados sobre el logaritmo natural de los datos

Se puede observar que (Figura 5), como es esperado, al retirar el logaritmo natural tanto de los datos como del modelo, este ultimo sigue describiendo de manera correcta a los datos.

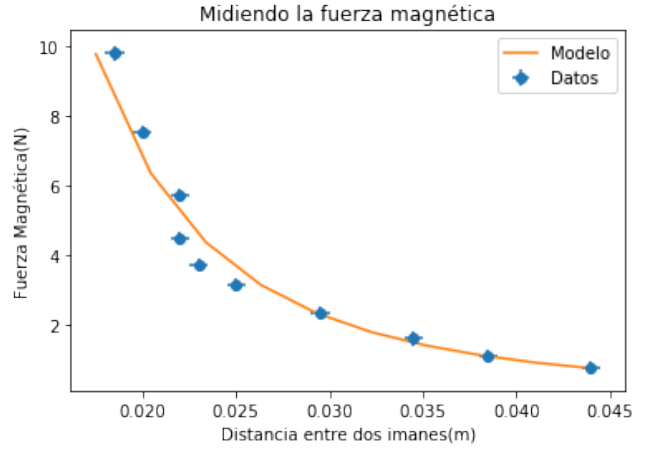


Figura 5: Ajuste resultante de los datos

Este modelo obtenido de los datos es (suponiendo que el lado derecho de la ecuación tiene las magnitudes físicas correctas):

$$F_m = \frac{(8,9 \pm 0,54)}{r^{2,77 \pm 0,15}} \quad (9)$$

## VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como se mencionó anteriormente, se obtuvo que  $n = 2,77 \pm 0,15$ . El primer problema de este resultado es que no se tienen una potencia entera, y esto causa problemas dimensionales en el modelo, esto es porque ¿Qué significado tiene la magnitud de  $\text{metros}^{2,77 \pm 0,15}$ ? Para resolver este problema, podemos aproximar  $n$  a alguno de los dos enteros mas cercanos,  $n = 2$  o  $n = 3$ .

En un inicio, se buscaba aproximar el modelo a la siguiente expresión:

$$F = \frac{\mu q_{m1} q_{m2}}{4\pi r^2} \quad (10)$$

La cual es la fuerza entre dos polos magnéticos lo suficientemente pequeños para ser representados como polos puntuales. En esta expresión,  $q_{m1}, q_{m2}$  son las magnitudes de las cargas magnéticas de los imanes,  $r$  la distancia entre ellos y  $\mu_o$  la permeabilidad magnética del vacío.

Para este modelo, se esperaba obtener  $n = 2$ , sin embargo, se obtuvo que  $n = 2,77 \pm 0,15$ ; esta diferencia pudiera deberse a errores en el experimento mismo, así como en la dispersión de errores debido a la medición y a los cálculos realizados (que fueron mínimos). Sin embargo, el resultado obtenido en este experimento es bastante lejano a este modelo, por lo que podemos concluir que *aproximar los polos de los imanes utilizados a puntos no es una aproximación suficientemente buena*.

Siguiendo por esta línea de pensamiento, lo mas adecuado sería pensar que  $n = 3$  y que la diferencia se debe a errores mencionados anteriormente; sin embargo, también podemos concluir que el modelo planteado:

$$F_m = \frac{k}{r^n} \quad (11)$$

*no es adecuado para describir el sistema*. Esto es de esperarse, ya que la geometría de los imanes corresponde a cilindros anchos y aproximadamente planos, no a puntos o esferas. Si se quisiera realizar un modelo mas completo y suficiente para este sistema habría que tener mas variables y consideraciones respecto a la geometría de los imanes.

## VII. ANEXOS

Los datos recolectados en este experimento se encuentran en la siguiente tabla:

| i  | Masa (kg $\pm 0,02kg$ ) | Distancia r (cm $\pm 0,05cm$ ) |
|----|-------------------------|--------------------------------|
| 1  | 0.0803                  | 4.4                            |
| 2  | 0.1120                  | 3.85                           |
| 3  | 0.1643                  | 3.45                           |
| 4  | 0.2403                  | 2.95                           |
| 5  | 0.3203                  | 2.5                            |
| 6  | 0.3803                  | 2.3                            |
| 7  | 0.4563                  | 2.2                            |
| 8  | 0.5846                  | 2.2                            |
| 9  | 0.7690                  | 2                              |
| 10 | 0.9993                  | 1.85                           |

Tabla I: Datos recolectados en el experimento

El análisis de datos de este experimento se puede encontrar en: <https://github.com/BubuDavid/Fuerza-entre-dos-imaness/blob/master/Proyecto%20Final.ipynb>, o bien, escanear este código QR:



## REFERENCIAS

- [1] YÉSSICA CALATAYUD BORRÁS. (2018). *UNA BREVE HISTORIA DEL ELECTROMAGNETISMO*.
- [2] KIM RUTLEDGE, TARA RAMROOP. (2011). *MAGNETISM*. National Geographic.
- [3] D. HALLIDAY, R. RESNICK, K. S. KRANE. (1999). *Física, Volumen 2. 4a edición*. México, D.F.: Compañía Editorial Continental.
- [4] R. A. SERWAY, J. S. FAUGHN. (2006). *Física Para Bachillerato General, Volumen 2. 6a edición*. México, D.F.: Cengage Learning Latin America.
- [5] KHAN ACADEMY. *¿Qué es la fuerza magnética?* Consultada el 5 de junio del 2020.
- [6] ECURED. *Imán* Consultada el 5 de junio del 2020.
- [7] RICHARD FEYNMAN. (1974). *Feynman lectures on Physics Volume 2* Addison Wesley Longman.
- [8] FISICALAB. *Fuerza Gravitatoria* <https://www.fisicalab.com/apartado/fuerza-gravitatoria> Consultada el 5 de junio del 2020.
- [9] SC.EHU. *Fuerza entre imanes* <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/magnetico/iman/iman.html> Consultada el 5 de junio del 2020.