+Cuaderno de apuntes de Física Experimental

Academia de Física Experimental

Introducción

La asignatura Física Experimental, dentro de los planes de estudio 2015 para las carreras de Ingeniería Geofísica, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica, pretende como un primer intento coadyuvar en la formación científica de los alumnos al introducirlos en el estudio de algunos de los fenómenos físicos que todo estudiante de ingeniería debe conocer, comprender y saber interpretar a través de la experimentación.

En virtud de que el curso de Física Experimental fue adaptado a las necesidades propias de los alumnos de las carreras de ingeniería mencionadas en el párrafo anterior, fue necesario trabajar en este cuaderno de apuntes, que tiene la finalidad de apoyar tanto a los profesores como a los alumnos en el tratado general de los temas que se abordan en el programa de la asignatura. Este cuaderno de apuntes tiene la particularidad de definir los conceptos de forma sencilla y concreta, además de describir algunos fenómenos físicos donde la variables involucradas tienen un comportamiento lineal, y que permiten un modelado matemático sencillo, de tal suerte que esto facilita que los alumnos entiendan su comportamiento y puedan inferir la importancia de las actividades en el laboratorio: desde el diseño de los experimentos, el manejo de los instrumentos de medición para la toma de lecturas, el tratamiento y análisis de los datos experimentales, hasta la obtención de modelos gráficos, modelos matemáticos y la interpretación física que representan en el modelo teórico.

Para la realización de cualquier experimento de laboratorio, es conveniente seguir el método científico, ese que desde la educación básica se aborda en los libros de texto. En este sentido, cabe mencionar que la asignatura de Física Experimental tiene laboratorio integrado, por tanto, el mismo profesor de teoría impartirá las sesiones experimentales apoyándose de un manual de prácticas con el enfoque del método científico.

El manual de prácticas de laboratorio de Física Experimental fue diseñado con base en el contenido del programa de la asignatura y consta de doce prácticas distribuidas como se indica en la tabla de abajo.

Tema	**Prácticas**
Conceptos básicos de metrología.	Caracterización de un voltímetro analógico.
	Caracterización de un dinamómetro.
Mecánica clásica.	Movimiento uniformemente acelerado.
	Movimiento y energía en un plano inclinado.
Mecánica de fluidos.	Propiedades de las sustancias.
	Gradiente de presión.
Termodinámica.	Algunas propiedades térmicas del agua.
	Leyes de la Termodinámica.
Electromagnetismo.	Carga y corriente eléctricas.
	Fuerza magnética sobre un conductor.
Movimiento ondulatorio.	Movimiento ondulatorio.
Óptica geométrica.	Reflexión y refracción (transmisión) de la luz.

Cada una de las prácticas de laboratorio está estructurada de tal forma, que el estudiante pueda aplicar el método científico para reproducir, analizar y comprobar el comportamiento de algunos fenómenos de las diferentes áreas de la Física. El formato de las prácticas contempla, las medidas de seguridad en la ejecución de los experimentos, los objetivos de aprendizaje, la lista de materiales y equipos de medición a utilizar, las instrucciones para realizar los experimentos, los diagramas de conexión y las actividades que el alumno debe registrar y reportar en su informe de práctica, esto incluye, los modelos gráficos y matemáticos correspondientes, así como una serie de preguntas finales a manera de corroborar el aprendizaje por parte del alumno. Al final de cada práctica se incluyen algunas expresiones matemáticas relacionadas con el tema y que servirán de recordatorio durante el trabajo experimental. Por último, se sugieren algunos títulos de libros como bibliografía para que el alumno pueda profundizar en el tema de la práctica.

Debido a que el laboratorio de Física Experimental se encuentra certificado bajo la norma ISO9001:2015, en el proceso de impartición de prácticas, es importante la participación tanto del profesor como de los alumnos en las actividades que repercutan en el buen desempeño del Sistema de Gestión de la Calidad, que busca ante todo, brindar el mejor servicio a los alumnos en cuanto al buen estado de las instalaciones, la suficiencia de material y equipo y la garantía de contar siempre con el apoyo académico necesario para realizar el trabajo experimental. Todo esto en espera de ver reflejada una buena formación científica en los alumnos como parte esencial en su proceso de aprendizaje.

Profesores que apoyaron en la elaboración y revisión de estos apuntes.

Elizabeth Aguirre Maldonado
Luis Javier Acosta Bernal †
Eduardo Bernal Vargas
Juan Carlos Cedeño Vázquez
Alicia María Esponda Cascajares
Rigel Gámez Leal
Beatriz Eugenia Hernández Rodríguez
Gabriel Alejandro Jaramillo Morales
Mayverena Jurado Pineda
Lucía Yazmín Juárez de la Mora
Eduardo López Molina
M. del Carmen Maldonado Susano
María del Carmen Melo Díaz
Carlos Alberto Pineda Figueroa
María Ofelia Rodríguez Durán
Luis Andrés Suárez Hernández
Rafael Guillermo Suárez Nájera
Manuel de Jesús Vacio González
Fernando Vega Calderón
Alfredo Velásquez Márquez
Salvador Enrique Villalobos Pérez

6. Electromagnetismo

Objetivo: El alumno obtendrá experimentalmente el modelo matemático que relaciona la fuerza de origen magnético que experimenta un conductor con corriente eléctrica que se encuentra dentro de un campo magnético.

Contenido:

6.1 Campo de estudio del Electromagnetismo. Conceptos de carga eléctrica y sus tipos, campo eléctrico, diferencia de potencial, corriente eléctrica y campo magnético. Planeación del experimento.

6.1.1 Campo de estudio del Electromagnetismo

Las interacciones del electromagnetismo implican partículas que tienen una propiedad llamada carga eléctrica, es decir, un atributo o propiedad que es tan fundamental como la masa. De la misma forma que los objetos con masa son afectados por las fuerzas gravitatorias, los objetos cargados eléctricamente también se ven afectados por las fuerzas eléctricas. Si bien las ideas clave del electromagnetismo son sencillas en lo conceptual, su aplicación a cuestiones prácticas requiere mucha destreza matemática, en especial el conocimiento de la geometría y del cálculo.

Los griegos de la antigüedad descubrieron que cuando frotaban ámbar contra lana, el ámbar atraía otros objetos. En la actualidad decimos que con ese frotamiento el ámbar se carga o adquiere una carga eléctrica neta. La palabra “eléctrico” se deriva del vocablo griego *elektron*, que significa ámbar.

6.1.2 Carga eléctrica

Una varilla de ebonita (plástico duro) y un trozo de piel, así como una varilla de vidrio y un trozo de seda, son una buena combinación de materiales para demostrar la electrostática, es decir, la interacción entre cargas eléctricas en reposo. Al frotar la varilla de ebonita con la piel, resulta que la ebonita adquiere un exceso de electrones; y al frotar la varilla de vidrio con la seda resulta que el vidrio queda con una deficiencia de electrones. Benjamín Franklin (1706-1790) realizó algunos experimentos que lo llevaron a concluir que “el vidrio electrificado había adquirido un exceso de fluido (carga) eléctrico y le llamó estado positivo. Al estado de la seda con la que frotó el vidrio lo llamó negativo, pues consideraba que había tenido una deficiencia de fluido (carga) eléctrico” (Eliezer Braun).

En conclusión, en la naturaleza existen dos tipos de cargas eléctricas: positivas y negativas. Además, después de varios resultados experimentales se puede determinar que dos cargas del mismo tipo se repelen y dos cargas de diferente tipo de atraen.

En la figura 6.1 se muestran las diferentes interacciones entre cargas eléctricas.

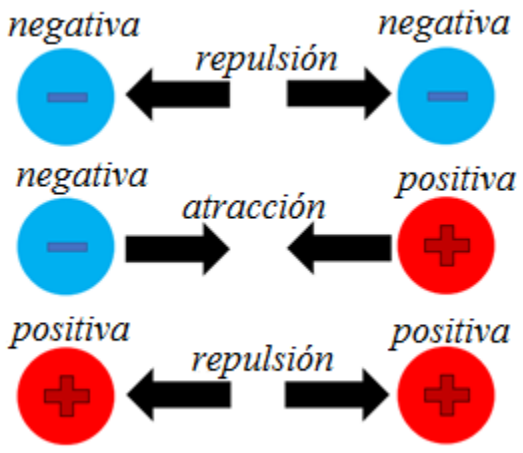


Figura 6.1 Interacciones de cargas eléctricas.

De lo anterior se puede concluir que "cargas del mismo tipo se repelen y cargas de diferente tipo se atraen".

Ahora bien, es sabido que la estructura de los átomos se puede describir en términos de tres partículas: el electrón, con carga negativa; el protón, cuya carga es positiva; y el neutrón, sin carga neta. Los protones y los neutrones en un átomo forman el núcleo. Los electrones rodean al núcleo y se mantienen dentro del átomo gracias a fuerzas eléctricas de atracción que se extienden hasta ellos, desde el núcleo con carga positiva.

La carga negativa del electrón (q_e= -1.6x10^{-19} [C]) tiene exactamente la misma magnitud que la carga positiva del protón (q_p= +1.6x10^{-19} [C]). Cuando el número total de protones en un cuerpo macroscópico es igual al número total de electrones, la carga total es igual a cero y el cuerpo en su totalidad es eléctricamente neutro.

Se puede afirmar que la carga eléctrica es una propiedad de la materia que produce fuerzas a distancia de tipo electromagnético debido a la pérdida o ganancia de los electrones.

6.1.3 Principio de conservación de la carga

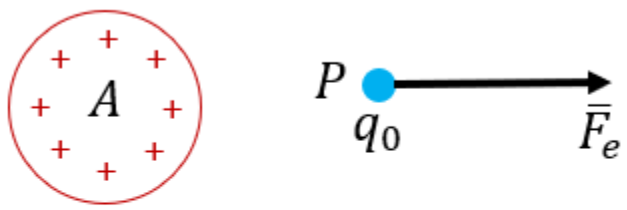
Para cargar un cuerpo de forma negativa es necesario que exista un exceso de electrones. En forma similar, para obtener una carga positiva se requiere una deficiencia de electrones. En el análisis anterior hay implícitos dos principios muy importantes:

- El primero es el principio de conservación de la carga: *En cualquier proceso de carga, ésta no se crea ni se destruye, solo se transfiere de un cuerpo a otro*. La suma algebraica de todas las cargas eléctricas en cualquier sistema eléctrico cerrado es constante. De ahí que no cambie la carga eléctrica total en los dos cuerpos tomados en conjunto.
- El segundo principio importante es*: la magnitud de la carga del electrón o del protón es la unidad natural de carga.* Toda cantidad observable de carga eléctrica siempre es un múltiplo entero de esta unidad básica, por tanto, que la carga eléctrica no se divide en cantidades menores que la carga de un electrón o un protón.

6.1.4 Campo eléctrico

Un campo eléctrico es una región, finita, en el espacio alrededor de un cuerpo con carga donde se manifiestan fuerzas eléctricas de atracción o repulsión sobre una carga que se coloque en dicha región. Una sola carga produce un campo eléctrico en el espacio circundante; sin embargo, este campo eléctrico no ejerce una fuerza neta sobre la carga que lo creó, es decir, que un cuerpo no puede ejercer una fuerza neta sobre sí mismo. La fuerza eléctrica sobre un cuerpo cargado es ejercida por el campo eléctrico que otros cuerpos cargados originan.

Para confirmar experimentalmente la presencia de un campo eléctrico en una región del espacio, colocamos un pequeño cuerpo cargado, al que llamamos carga de prueba, por facilidad se escoge positiva, denotada como q_0 en un punto P, como se muestra en la figura 6.2. Si la carga de prueba experimenta una fuerza eléctrica, entonces en ese punto existe un campo eléctrico. Este campo lo producen cargas distintas de q_0. La fuerza es una cantidad vectorial, por lo que el campo eléctrico también es una cantidad vectorial.



$$\bar{E} = \frac{\bar{F}_e}{q_0}$$

Figura 6.2 Campo eléctrico producido por el cuerpo A en el punto P.

El campo eléctrico se define como la fuerza eléctrica que experimenta una carga de prueba q_0 en dicho punto, dividida entre la carga q_0. En unidades del SI, la unidad de fuerza es el newton [N] y la unidad de carga es el coulomb [C], la unidad para la magnitud del campo eléctrico es newton sobre coulomb [N/C].

Haciendo una analogía entre las expresiones del campo gravitacional ($\bar{g} = \frac{\bar{F}_g}{m_0}$) y del campo eléctrico ($\bar{E} = \frac{\bar{F}_e}{q_0}$), podemos afirmar que la Tierra origina un campo gravitacional en el espacio que la rodea, y éste ejerce una fuerza sobre la masa m_0 (que se puede considerar como una *masa de prueba*). El campo gravitacional es un concepto útil porque no depende de la masa del cuerpo sobre el que se ejerce la fuerza gravitatoria; de la misma forma, el campo eléctrico no depende de la carga del cuerpo sobre el que se ejerce la fuerza eléctrica.

6.1.5 Diferencia de potencial

Cuando una partícula con carga se mueve en un campo eléctrico, el campo ejerce una fuerza que efectúa *trabajo* sobre la partícula, de manera análoga al trabajo que realiza el campo gravitatorio sobre un cuerpo que se encuentra en cierta altura con respecto a un nivel de referencia.

La ecuación de la diferencia de potencial eléctrico se puede expresar en términos de la fuerza eléctrica durante un desplazamiento de un punto inicial a otro final, es decir, trabajo en cada unidad de carga. De esta forma se puede llegar a una ecuación que relaciona al campo eléctrico con la diferencia de potencial eléctrico, esto es:

$$V_{AB} = V_A - V_B = \frac{W}{q_0} = \frac{\int_B^A \bar{F} \cdot d\bar{\ell}}{q_0} = -\int_B^A \bar{E} \cdot d\bar{\ell}$$

Tanto el trabajo como la carga son cantidades escalares, por lo que la diferencia de potencial es una cantidad escalar. Su unidad en el SI es el volt (V), en honor del científico italiano Alejandro Volta (1745-1827), y es equivalente a joule sobre coulomb:

$$\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}}\right] = [\mathrm{V}]$$

El concepto de diferencia de potencial es crucial para entender la manera en que funcionan los circuitos eléctricos, y tiene aplicaciones de gran importancia; ya que la diferencia de potencial es el trabajo en cada unidad de carga.

El ejemplo más sencillo para ejemplificar la diferencia de potencial es la batería eléctrica o acumulador que contiene un electrolito que al reaccionar con los electrodos de plomo generan una diferencia de potencial o voltaje.

6.1.6 Corriente eléctrica

Una corriente eléctrica se refiere a todo movimiento de carga eléctrica en el interior de un conductor entre dos puntos, para lograr este desplazamiento se requiere la presencia de un campo eléctrico o de forma equivalente una diferencia de potencial.

La corriente eléctrica se define como el desplazamiento de carga eléctrica entre la unidad de tiempo, en la sección transversal del material conductor.

$$i = \frac{dq}{dt}$$

La unidad en el SI para la corriente eléctrica es el ampere [A], que es igual a un coulomb sobre segundo:

$$\left[\frac{C}{s}\right] = [A]$$

La gran mayoría de aplicaciones tecnológicas implican corrientes eléctricas.

6.1.7 Relación de Ohm

La relación de Ohm es una de las relaciones fundamentales de la electrodinámica, que relaciona tres variables eléctricas básicas presentes en un circuito resistivo: la diferencia de potencial, la corriente y la resistencia eléctricas.

Una de las formas de enunciar esta relación es: si la corriente eléctrica que circula por un material conductor aumenta, la diferencia de potencial eléctrico o voltaje también aumenta.

$$V_{AB} \propto I$$

Es importante entender que el contenido de la ley de Ohm es la proporcionalidad directa (para ciertos materiales) de la diferencia de potencial (V) con respecto a la corriente eléctrica (I) cuando la resistencia (R) es constante.

$$R = \frac{V_{AB}}{I}$$

La unidad en el SI para la resistencia es el ohm, que se deriva de un volt sobre un ampere. Dicha unidad se representa con la letra Ω del alfabeto griego.

$[R]_u = \frac{1\,V}{1\,A} = 1[\Omega]$

6.1.7 Campo magnético

El campo magnético se define como el espacio que rodea a una carga eléctrica que se mueve con una velocidad dentro de dicho espacio, es decir, al desplazarse la carga, su campo eléctrico que produce, también se desplaza y genera un campo magnético. Como en cada punto del campo mencionado es posible detectar un efecto magnético de cierta magnitud y en determinada dirección, se considera que éste es un campo de tipo vectorial, esto es, a cada punto se le puede asociar una cantidad vectorial; a esta cantidad se le conoce como campo magnético y se representa con la letra $\vec{B}$.

Las interacciones eléctricas y magnéticas están íntimamente relacionadas. La primera evidencia de la relación que hay entre el magnetismo y las cargas en movimiento la descubrió, en 1820, el científico danés Hans Christian Oersted, quien encontró que un alambre conductor con corriente desviaba la aguja de una brújula.

En el experimento de Oersted, se coloca una brújula directamente sobre un conductor. Si por el conductor no circula corriente eléctrica, la aguja de la brújula (imán) se orienta en dirección del campo magnético terrestre; por el contrario, si por el conductor circula una corriente eléctrica, la aguja de la brújula sufre una desviación cuya dirección depende del sentido de la corriente, tal como se muestra en la figura 6.3

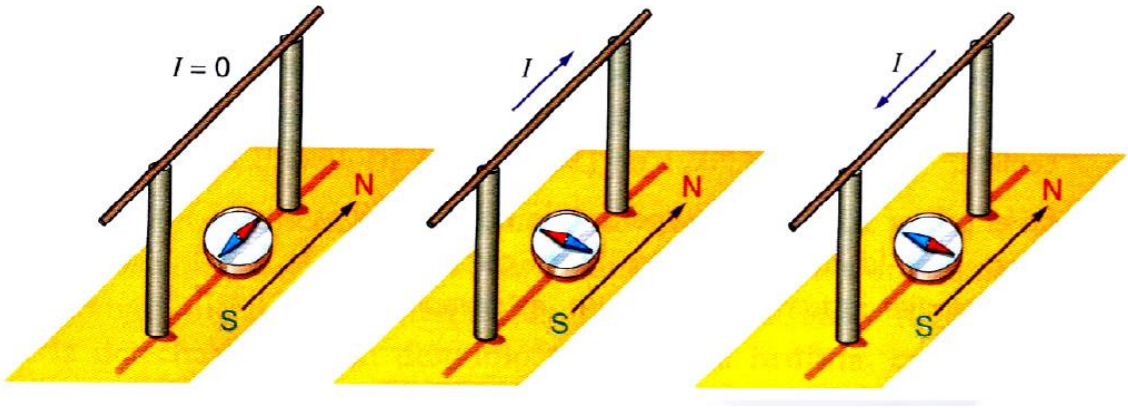


Figura 6.3. Experimento de Oersted.

Si el conductor que transporta corriente se encuentra dentro de un campo magnético intenso, aparecen fuerzas magnéticas sobre las cargas en movimiento en el interior del conductor y por lo tanto se transmiten al material conductor, el cual en conjunto experimenta una fuerza distribuida en toda su longitud.

Una forma de detectar la existencia de campo magnético en una zona es mediante el empleo de cargas eléctricas en movimiento. La fuerza de origen magnético que actuará sobre dichas cargas depende de la magnitud de la velocidad $\bar{v}$ con que se mueven, del valor de la carga q, de la magnitud del campo magnético aplicado $\bar{B}$ y del ángulo θ formado por las direcciones de la velocidad y del campo, esto es:

$$F = |\bar{F}| = q\ |\bar{v}|\ |\bar{B}|\ sen\ \theta$$

Como la fuerza es una cantidad física de tipo vectorial, lo mismo que la velocidad y el campo magnético, la expresión anterior se puede escribir como:

$$\bar{F}_m = q(\bar{v}\ x\ \bar{B}\ )$$

A partir de esta última expresión se puede llegar a otro modelo matemático para determinar específicamente la fuerza magnética sobre un conductor con corriente inmerso en un campo magnético. El segmento de conductor se representa con el vector $\bar{l}$ a lo largo del conductor y en dirección de la corriente, por tanto, la fuerza magnética sobre este segmento de conductor con corriente se define como:

$$\bar{F}_m = I(\bar{l} x \bar{B}\ )$$

donde:

I = corriente eléctrica que circula por el conductor, en amperes [A]

$\bar{l}$ = longitud del conductor inmerso en el campo magnético, como un vector asociado a la dirección de la corriente, en metros [m]

$\bar{B}$ = Campo magnético externo que actúa sobre el conductor, en teslas [T]

Al escribir la expresión anterior en forma escalar se tiene:

$$F_m = I\ l\ B\ sen\ \theta$$

Si ahora los vectores $\overline{l}\ y\ \overline{B}$ forman un ángulo de 90°, la expresión se simplifica de la siguiente manera:

$$F_m = I\ l\ B\ sen\ \theta = BIL$$

Despejando de esta expresión a la magnitud del campo magnético B se pueden obtener las unidades correspondientes, esto es:

$$[B]_u = \frac{F_m\ [N]}{I\ [A]\ L\ [m]} = \mathrm{T}$$

6.2 Registro y tabulación de las variables: fuerza de origen magnético y corriente eléctrica.

Para verificar el comportamiento de la fuerza de origen magnético sobre un conductor por el que circula una corriente eléctrica, se emplea el dispositivo experimental que se muestra en la figura 4.

La intención es hacer circular diferentes valores de corriente eléctrica por el conductor del circuito impreso inmerso en el campo magnético del imán colocado sobre el plato de la balanza. Conforme se incrementa la corriente eléctrica, se observará un cambio "aparente" de la masa del imán como resultado de la fuerza de origen magnético que aumenta en proporción a la corriente. Para determinar dicha fuerza magnética se determina el cambio de masa "aparente" y se multiplica por el valor de la aceleración gravitatoria local (g = 9.78 [m/s^2]). Es importante mencionar que esto se puede hacer basándonos en la tercera ley de Newton; ya que la fuerza magnética que aparecerá en el imán debido al cambio de su masa es la misma (en magnitud) que experimenta el conductor al circular en él una corriente eléctrica.

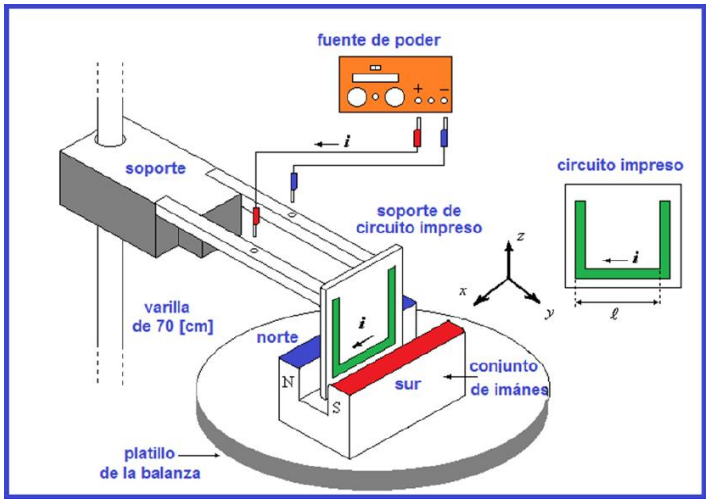


Figura 6.4. Dispositivo experimental para la fuerza magnética sobre un conductor con corriente.

Para llevar a cabo el experimento, se parte de los valores de $V_{ab} = 0[V]$ e $I = 0[\mathrm{A}]$, para obtener con la balanza el valor real de la masa del imán (m_0). Los incrementos de corriente se realizarán en intervalos de 0.5 [A] obteniéndose a partir de estos el llenado de la tabla que se muestra a continuación:

I $[\mathbf{A}]$	**m_i = masa leída** $[\mathbf{kg}]$	$\lvert\Delta\mathbf{m}\rvert = \lvert(\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_0)\rvert[\mathbf{kg}]$	**$F_m = \Delta\mathbf{m} \cdot \mathbf{g}$** $[\mathbf{mN}]$
0	m_0 = 0.1606	0	0
0.5	0.1608	$2x10^{-4}$	*1.956*
1.0	0.1610	$3.5x10^{-4}$	*3.423*
1.5	0.1612	$5.7x10^{-4}$	*5.574*
2.0	0.1614	$7.5x10^{-4}$	*7.335*
2.5	0.1616	$10.2x10^{-4}$	*9.975*

donde:

I es la corriente que circula en el conductor debido a la diferencia de potencial que proporciona la fuente de poder al conductor

m_i es la masa leída en la balanza en respuesta a cada incremento de corriente

m_0 es la masa inicial del imán

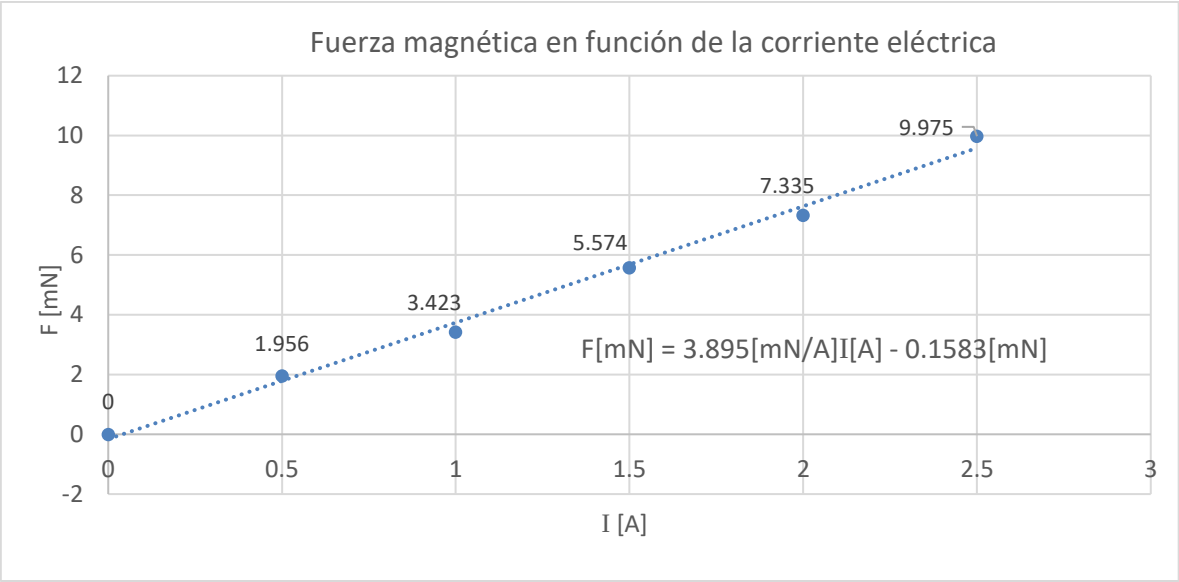
Δm es el cambio aparente de masa en el imán

g es la aceleración gravitatoria local, g=9.78 [m/s^2]

F_m es la magnitud de la fuerza de origen magnético sobre el conductor

6.3 Ecuación de una línea recta que representa los valores experimentales. Significado físico de la pendiente de la recta obtenida.

A partir de los valores de la fuerza de origen magnético en función de la corriente eléctrica proporcionada al conductor, obtenidos en la tabla anterior, se puede observar el comportamiento de dichas variables en la gráfica siguiente:



De acuerdo con esta gráfica, la fuerza de origen magnético es directamente proporcional al valor de la corriente eléctrica que circula por el conductor.

Empleando el método de la suma de los cuadrados mínimos y considerando como variable dependiente a la fuerza magnética Fm[N] y a la corriente I[A] como variable independiente, se obtiene el modelo matemático siguiente:

$$Fm\ [\mathrm{N}] = 3.8952\left[\frac{\mathrm{mN}}{\mathrm{A}}\right] I[A] - 0.158[\mathrm{mN}]$$

6.4 Prueba del modelo y su aplicación en la solución de problemas de electromagnetismo.

Para un valor constante de la longitud del conductor y del ángulo (θ) formado entre los vectores $\vec{l}$ y $\vec{B}$ el valor de la pendiente es igual al producto de la longitud del conductor, la magnitud del campo magnético y la función seno del ángulo, es decir:

$$m = Blsen\theta$$

Como el conductor utilizado es recto cuya longitud es conocida y el ángulo entre el conductor y las líneas de campo magnético es de 90°, la expresión se reduce a $m = Bl$, de donde es factible determinar experimentalmente el valor del campo magnético del imán utilizado en el experimento, esto es $B = \frac{m}{l}[T]$.

Si la longitud del conductor utilizado en el experimento fue de 0.06067 [m], sustituyendo en la expresión anterior, se tiene que:

$$B = \left[\frac{3.8952\ x\ 10^{-3}}{0.06067}\right][\mathrm{T}]$$

$$B = 0.0642[\mathrm{T}]$$

De este experimento se puede concluir que, a partir del modelo matemático obtenido, es factible determinar de una forma muy sencilla el campo magnético del imán utilizado. Además, si se quisiera saber la magnitud de la fuerza de origen magnético para valores de corriente diferentes a los empleados en el experimento, basta con sustituir el valor de corriente deseado en el modelo matemático para determinar dicha fuerza.

Se recomienda al estudiante consultar el cuaderno de ejercicios de Física Experimental para seguir practicando la aplicación de los modelos matemáticos resultantes en diferentes situaciones en que se puede determinar la fuerza de origen magnético o cualquier otra de las variables involucradas en la ecuación.

Bibliografía:

I. YOUNG, Hugh y FREEDMAN, Roger A. *Capítulo 21. Carga eléctrica y campo eléctrico*. Física universitaria con física moderna. Volumen 2. PEARSON.

II. AGUIRRE, Elizabeth, et al. Manual de prácticas de Laboratorio de Física Experimental. Disponible en: <http://dcb.ingenieria.unam.mx/index.php/coordinaciones/fisica-quimica/fisica/fisica-experimental>.

III. BRAUN, Eliezer. Electromagnetismo: de la ciencia a la tecnología. LA CIENCIA DESDE MÉXICO 112. México.