

BALANZA DE COTTON

Guzmán Trinidad¹

guzman.trinidad@gmail.com

Daniel Baccino²

dbaccisi@gmail.com

RESUMEN

Se propone una actividad experimental pasible de realizarse en cursos de física de nivel medio, especialmente en el curso de tercer año de bachillerato. La actividad permite verificar relaciones entre cuantías vinculadas a *la fuerza de origen magnético que experimenta una corriente eléctrica*³. Si bien existen diseños relativamente sofisticados⁴ del dispositivo, se propone una disposición que se pueda implementar en cualquier instituto del subsistema educativo medio.

INTRODUCCIÓN

Es usual que se realicen, en los cursos de bachillerato, al menos dos actividades experimentales “clásicas” referidas a la temática planteada.

En una de ellas, de corte cualitativo, se muestra el “efecto mecánico” de una corriente eléctrica al atravesar una “hamaca” que se encuentra en la zona de influencia de un imán.

Otra, que se ha reeditado en algunos institutos a partir de la reformulación 2006, es aquella en que una balanza adecuada se coloca en el interior de un solenoide o bobina y se intenta equilibrar una fuerza sobre uno de los extremos de la balanza con otra de origen magnético que se produce sobre el extremo opuesto ubicado en el interior del solenoide⁵.

La actividad que se presenta aquí involucra la interacción entre un imán y un conductor por el que circula corriente, en la que se pretende medir fuerzas, longitudes, ángulos, intensidades de corriente, y, de forma indirecta, módulo del vector inducción de campo magnético \vec{B} ⁶. El dispositivo lleva el nombre *balanza de Cotton*⁷.

NOTA BIOGRÁFICA



Aimé COTTON
1869 – 1951

En la referencia 8 se puede encontrar una breve biografía, en idioma francés.

¹ Profesor de Física en el Liceo de Solymar 1 y de Física Experimental I en el Instituto de Profesores Artigas.

² Profesor de Física en los Liceos N° 4 y N° 10 de Montevideo y de Física Experimental I en el Instituto de Profesores Artigas.

³ En algunos textos se llama ley de Laplace.

⁴ Ver las referencias 4, 5, 6, y 7.

⁵ Ver referencias 9 a 14.

⁶ En adelante lo llamaremos “campo magnético”, por sencillez y porque, en el nivel secundario, generalmente es el único vector utilizado para describir a la entidad campo magnético.

⁷ Ver referencia 1. Las referencias 2 y 3 constituyen las fuentes escritas más antiguas a las que accedimos.

UN BREVE PUNTEO TEÓRICO

Como se muestra mediante la actividad de corte cualitativo mencionada en la introducción, cuando se ubica un conductor entre los polos de un imán en U, y se hace circular una corriente eléctrica por él, se observa la existencia de una fuerza.

La bibliografía sostiene que la fuerza magnética sobre un segmento de alambre portador de corriente de intensidad I , inmerso en un campo magnético uniforme \vec{B} , puede expresarse así:

$$\vec{F} = I \vec{l} \wedge \vec{B} \quad (1)$$

Donde \vec{l} es un vector cuyo módulo está definido por la longitud del conductor y su sentido coincide con “el sentido convencional de la corriente”.

Para nuestros fines, es útil explicitar todas las eventuales variables que pueden aparecer en la expresión anterior, para lo que escribimos el módulo de la fuerza de modo que aparezca el ángulo θ :

$$F = I \cdot l \cdot B \cdot \text{sen} \theta \quad (2)$$

Con los instrumentos de medida que realizamos el experimento, se pueden medir con relativa sencillez las magnitudes: fuerza (F), intensidad de corriente (I), longitud (l), ángulo (θ).

El módulo del vector \vec{B} lo determinaremos de forma indirecta. Es probable que originalmente la balanza de Cotton haya sido pensada para realizar esa determinación, cuando no existían otras herramientas al efecto.⁸

EL EXPERIMENTO

En qué consiste

Cuando se ubica al conductor en la zona donde hay campo apreciable, orientado adecuadamente, y se hace pasar corriente por el mismo, la balanza -que está “pesando” al imán- acusa una lectura diferente a la que se observaba cuando no circulaba esa corriente. Este es el fenómeno de partida que permite asociar una fuerza adicional sobre el conductor cuando circula una corriente por él.

La utilización de una balanza electrónica implica que casi no se modifica la posición relativa del conductor respecto del imán. Esto optimiza la tarea ya que no se necesita usar tiempo en restablecer la ubicación relativa original, cada vez que se realiza una medida.

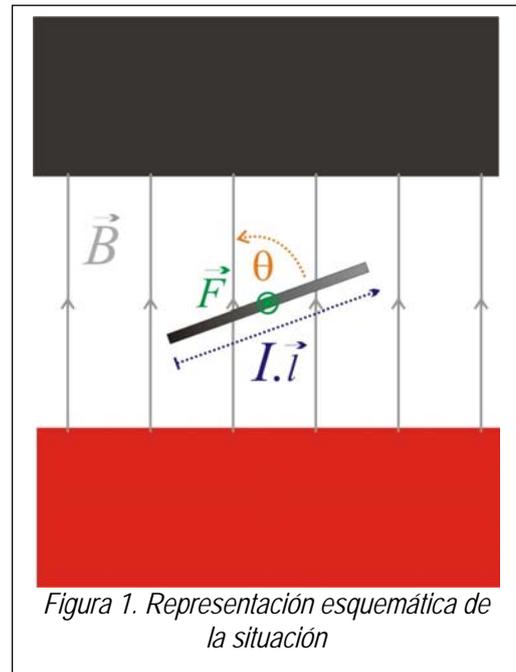


Figura 1. Representación esquemática de la situación

⁸Existen, en la actualidad, sensores que pueden determinar, mediante el efecto Hall, campos magnéticos.

Asumiremos que la fuerza, de origen magnético, tiene dirección vertical siempre que ubiquemos horizontalmente al trozo efectivo de conductor (la parte corta de la “L” en la figura 2); y que los trozos verticales de conductor que se fijan al soporte, reciben fuerzas magnéticas horizontales de sentidos opuestos, de modo que en una primera aproximación no las consideraremos.

Si bien la propuesta de este trabajo es realizar un análisis cuantitativo de la situación, es posible observar cualitativamente lo indicado por la balanza cuando se cambia el sentido de la corriente, o la ubicación relativa del imán y el conductor.

Una cuestión previa

En la práctica, lo que necesitamos es definir un “rango aceptable” (acotado por las incertidumbres que se defina admitir) donde ubicar al conductor, especialmente cuando el trabajo experimental requiere moverlo respecto al imán (al variar la longitud, o el ángulo). Parece importante, como tarea previa, “mapear” la zona de trabajo, porque permite acotar una región donde el campo magnético es aceptablemente uniforme⁹. En el apéndice I se muestran los resultados de un mapeo parcial de la zona entre los polos del imán que utilizamos.

El dispositivo experimental

El dispositivo que utilizamos está constituido por los siguientes elementos, algunos de los cuales se muestran en la figura 2:

- Conductor no flexible, solidario a un soporte fijo al piso, con forma “L” en la figura 2.
- Generador de voltaje ajustable CC, capaz de soportar intensidades de corriente relativamente altas, no visible.¹⁰
- Balanza electrónica, con una resolución del orden de la centésima de gramo.
- Imán permanente en forma de U, apoyado sobre el plato de la balanza.
- Amperímetro, no visible.
- Conectores eléctricos.

Por datos adicionales sobre los componentes del dispositivo ver el cuadro [Ficha Técnica](#).



Figura 2.. Foto del prototipo experimental

⁹Lamentablemente no disponemos de un sensor de campo magnético de dimensiones adecuadas para realizar el “mapeo” referido. Lo realizamos moviendo un conductor en la región relevante, con corriente fija, procurando no cambiar su orientación respecto a las hipotéticas líneas de campo magnético y observando la lectura de la balanza.

¹⁰ Cuando realizamos medidas con intensidad de corriente fija, el valor de la misma ronda los 4 A. Observamos que para tener una lectura estable en el amperímetro se requería esperar un tiempo prudencial. Esto, posiblemente, debido a que la fuente estaba trabajando en la cercanía de la intensidad máxima para la que fue diseñada.

La base del análisis

Una técnica conocida¹¹ para analizar relaciones entre magnitudes, guiados por la ecuación (2), requiere que tomemos dos cuantías por vez para verificar su vinculación, cuidando que las otras queden fijas.

De esta forma planteamos la tarea. Tomamos como variables independientes a la intensidad, la longitud y el ángulo en sendos experimentos, y a la fuerza como variable dependiente.

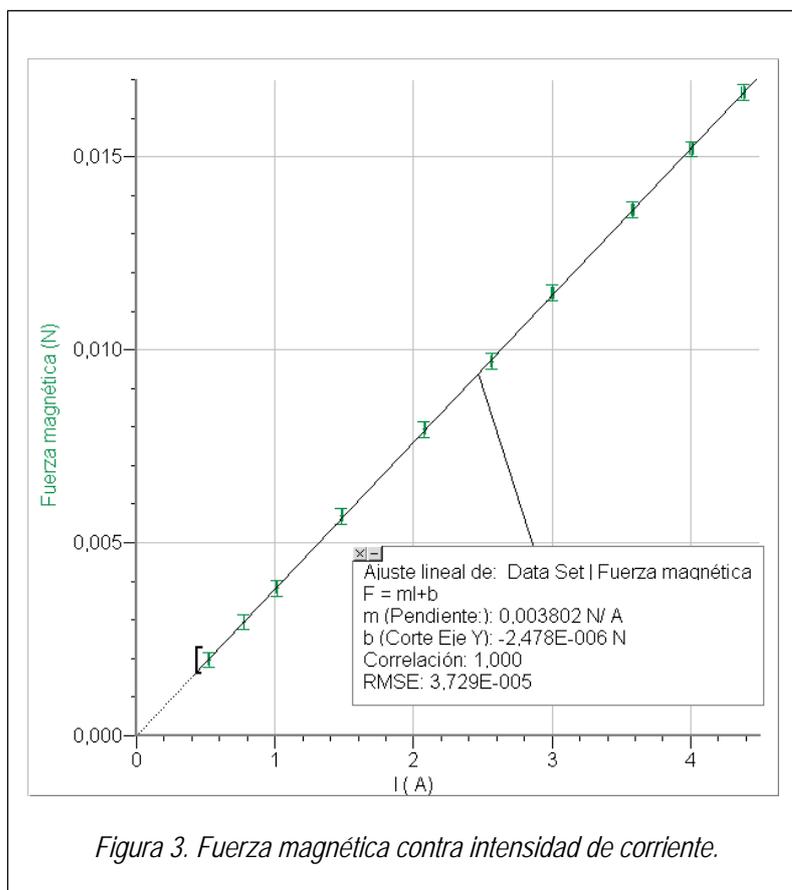
El planteo que realizamos asume que es posible, lograr mediante un imán permanente, una zona donde el campo magnético sea uniforme.

Fuerza contra intensidad de corriente

Los datos que se muestran en el gráfico¹² de la figura 3 fueron tomados con un conductor de "longitud efectiva" $L = (2,70 \pm 0,05)$ cm, ubicándolo en la zona en donde previamente observamos el campo más intenso, de forma que quedara orientado perpendicularmente a las líneas de campo.

Se ha trazado un ajuste lineal al conjunto de datos experimentales. Viendo los valores del coeficiente de correlación y del error cuadrático medio (RMSE), la decisión parece acertada.

El coeficiente b se puede considerar nulo.



Las dos afirmaciones anteriores permiten decir que existe una proporcionalidad directa entre el módulo de la fuerza magnética y la intensidad de corriente.

El valor del coeficiente m de la recta permitirá calcular el módulo de \vec{B} .

Fuerza para diversas longitudes del conductor

Estos datos fueron obtenidos ajustando la intensidad de corriente al valor $I = (4,00 \pm 0,01)$ A, ubicando al conductor en un lugar cercano al del experimento anterior, y con orientación similar.

Un cuidado a tener presente es ubicar al conductor en la misma zona, luego de cambiar su longitud. Recordamos que hay pequeñas variaciones del módulo del campo en la misma.

¹¹La llamamos usualmente "control de variables".

¹² Todos los gráficos que se presentan fueron elaborados utilizando el software: Logger Pro 3.4.2. ISBN 1-929075-24-3, 2006, Vernier Software & Technology.

Definimos un ajuste lineal para estos datos. Nos encontramos con que los indicadores de “buena linealidad” (los últimos dos del recuadro de la figura 4) son aceptables. Una observación más detallada quizás amerite buscar y justificar un ajuste más fino. Dado que la ordenada en el origen puede considerarse nula, podemos afirmar que también existe una proporcionalidad directa entre F y l .

La pendiente “ m ” nos permitiría también determinar el módulo de \vec{B} .

Cambiando la orientación del conductor respecto al campo

En esta parte del trabajo hemos utilizado un conductor de longitud efectiva $L = (1,40 \pm 0,05)$ cm, por el que circula una intensidad de corriente $I = (4,24 \pm 0,01)$ A.

Definimos trabajar en una zona donde el centro del conductor se ubicara cerca del valor mínimo del campo. Ver el Apéndice I.

El ángulo cero lo definimos a partir de encontrar la fuerza nula, de modo que el valor de la ordenada “ b ” parte de una definición operacional.

La decisión del ajuste lineal entre F y $\text{sen}(\theta)$ parece aceptable según los indicadores mencionados, como muestran los resultados del cuadro interior en la figura 5. Los parámetros pasibles de compararse con los gráficos anteriores indican una calidad similar en la proporcionalidad encontrada, en oposición

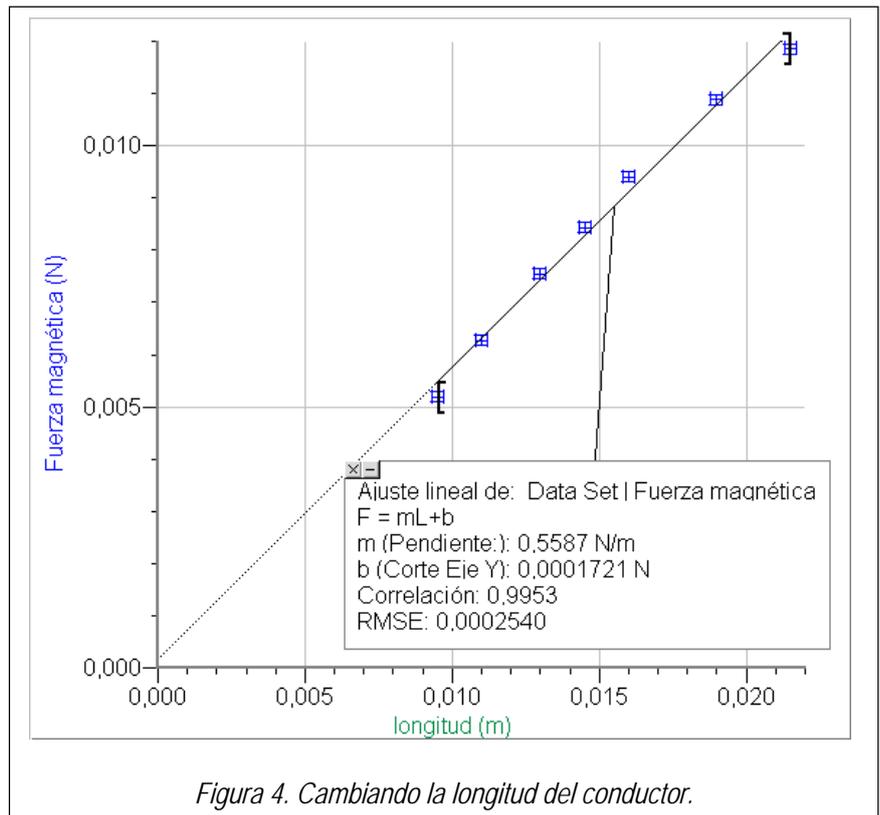


Figura 4. Cambiando la longitud del conductor.

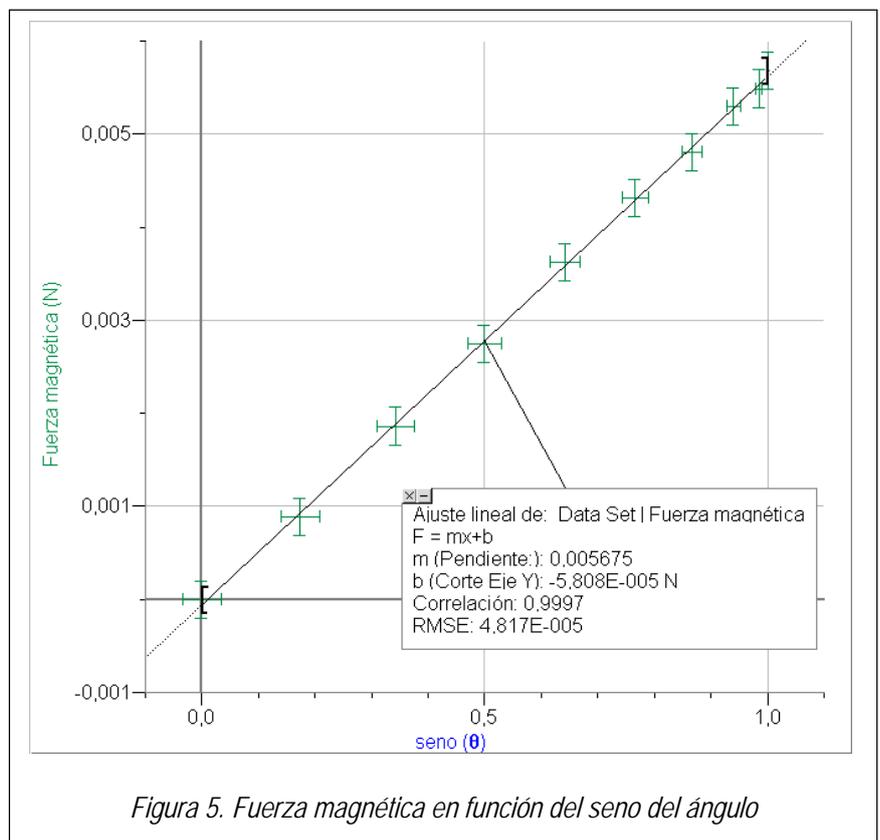


Figura 5. Fuerza magnética en función del seno del ángulo

con una posible postura previa sobre la mayor dificultad en verificar esta relación.

COMENTARIOS FINALES

Los resultados indican que esta actividad experimental se puede realizar en un curso de nivel secundario donde se trate la temática, ya que las relaciones de proporcionalidad directa que se planteen verificar, pueden concretarse con suficiente precisión para ese nivel.

Si se determinan los módulos de los vectores \vec{B} para los dos primeros casos estudiados, observamos que los resultados son similares, ya que se ha trabajado en la misma zona.

No es imprescindible disponer de los componentes descritos en la ficha técnica, aunque sí es importante que algunos tengan las características técnicas referidas (balanza electrónica y fuente CC)

FICHA TÉCNICA

Los datos técnicos de los componentes del dispositivo utilizado son los siguientes.

Fuente alimentación

PROMAX. DC POWER SUPPLY FAC-364 C. 220 V & 125 W

Balanza

BLAUSCAL AH-600 (600g, 0,01g). Esta balanza la suministraba el departamento de proveeduría del CES, hasta hace unos meses.

Amperímetro

Multímetro FLUKE 87, TRUE RMS MULTIMETER, para la función mA/A DC

Imán

Se ha construido con una U de hierro dulce y dos imanes para utilizar en peceras. En el Apéndice II se muestran imágenes y recomendaciones para su construcción.

Conductor

Alambre de cobre de $\phi = 1 \text{ mm}$.

REFERENCIAS

1- Halliday, D., Resnick, R., **“Física” Tomo 2**, fig. 33-7, pág. 178, Ed. CECSA, México, 1984.

Balanza de Cotton

2- Simon, G. & Dognon, A., **PHYSIQUE**, pág. 587, Ed. Masson et Cie, Paris, 1947.

3- Peruca, Eligio, **FÍSICA GENERAL Y EXPERIMENTAL, TOMO II ÓPTICA ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO**, Ed. Labor, Barcelona, 1944.

4- Leybold Didactic GMBH, **General Catalogue PHYSICS**, 516 32 Current Balance, pág. 268, Germany, 1992.

5- JEULIN, **Física Química, Material Didáctico, Catálogo 1995/96**, pág. 40, Francia.

6- PASCO, **2001 PHYSICS and e-measure Catalog**, pág. 214, USA, 2000.

7- PHYWE, **Laboratory Experiments, Physics**, 4.1.06-01/15, pág. 156, Göttingen, 2005.

8- Del siguiente sitio tomamos la fotografía de Cotton. En él se pueden encontrar algunos datos biográficos: http://www.ipnl.in2p3.fr/delphi/laktineh/monitorat/public_html/cotton/cotton.html

Balanza de corriente

Se resumen aquí las fuentes más antiguas a las que pudimos tener acceso que presentan un experimento usualmente conocido bajo la denominación “Balanza de corriente”, vinculado al que presentamos en el artículo:

9- **The Use of a Current Balance**. Warburton, F. E., American Journal of Physics, vol 4, pág. 125, 1936.

10- **Experimento 51 Medida de un campo magnético en unidades fundamentales**, pág. 86 y 87, **“Física. Guía del laboratorio.”** Edición Internacional, Physical Science Study Committee (PSSC), Ed. Reverté, Barcelona, 1968.

11- **MSC N° 501 Current Balance Kit, 501-1, Illustrated Assembly Guide**, MACALASTER SCIENTIFIC CORPORATION, Educational Division, Watertown, Mass.

12- **MSC N° 102 AIR CORE SOLENOID, 102-2, Illustrated Assembly Guide**, MACALASTER SCIENTIFIC CORPORATION, Educational Division, Watertown, Mass.

13- **Sección 7-3: Campo en el interior de un solenoide**, pág. 140, **Prácticas de Física para preparatorios**, J. Díaz, R. Pecard, Tomo II, Ed. Monteverde, Montevideo, 1971.

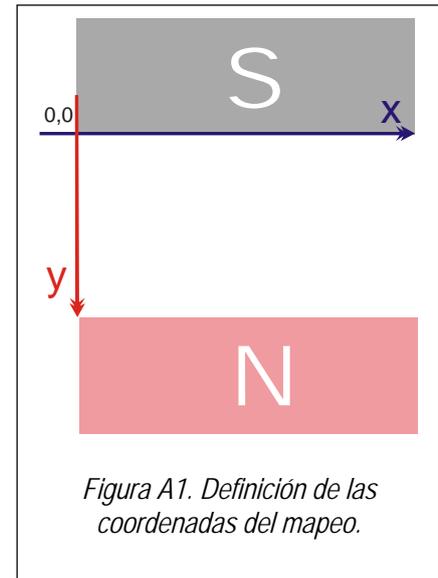
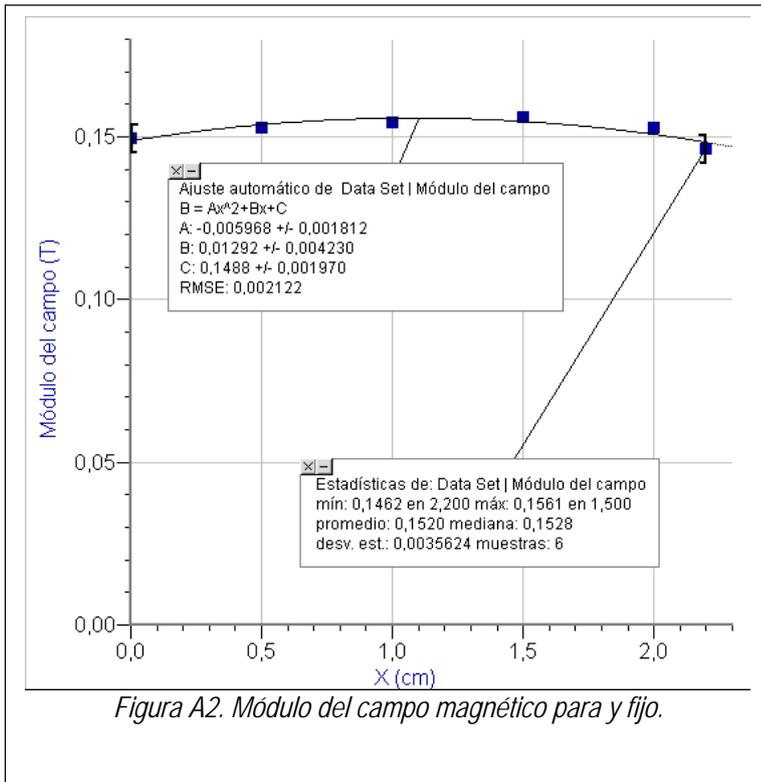
14- **“Balanza de Campo Guía práctica N° 23”**, pág. 65, **Física en el Laboratorio**, 2° año de Bachillerato Diversificado, parte 2, E. Tornaría, R. Mariezcurrena, IUDEP, Montevideo, Julio de 1979.

AGRADECIMIENTOS

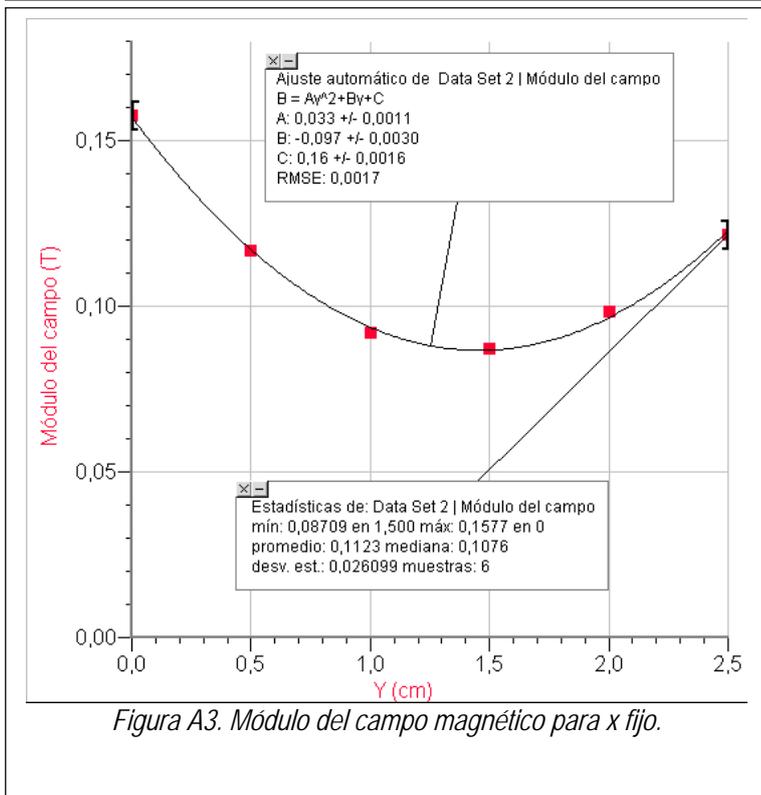
A la Sra. Amelia Ferrari, funcionaria del Instituto de Física de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, por permitirnos acceder a materiales como el mencionado en la referencia 9 y otros no anotados.

A los institutos Liceo de Solymar 1 y Liceo N° 10, Dr. Carlos Vaz Ferreira, por permitirnos realizar parte de la tarea que concluyó con este artículo.

APÉNDICE I: MAPEO DE CIERTA ZONA DEL IMÁN



La figura A1 muestra como se han definido las coordenadas para el mapeo entre los polos del imán. Se ha procurado trabajar a la mitad de las pastillas que conforman el imán, en todos los casos.



Los gráficos adjuntos muestran la determinación de la componente del campo magnético en la dirección "y", entre los polos de imán. El relevamiento se realizó mediante un conductor de longitud 1,40 cm, sometido a una intensidad fija de 4,24 A, orientado horizontalmente en la dirección "x".

La zona está limitada entre los valores 0,0 cm y 2,2 cm para la coordenada x, y entre 0,0 cm y 2,5 cm para la coordenada y.

El gráfico de la figura A2 muestra el campo para un valor "y" fijo cercano a cero, es decir, en una ubicación tan próxima a la pastilla como lo permitieron las condiciones experimentales. Se ve allí un valor casi constante, lo largo del eje x.

El gráfico de la figura A3 muestra los valores determinados para un valor de x = 1,1 cm, es decir, en la zona central. Dos cuestiones parecen destacables en el

gráfico: una variación apreciable de B_y en esa línea y la "asimetría" que se observa en las cercanías de los polos. Para el caso en que variamos el ángulo θ , definimos trabajar con el conductor centrado en el punto (1,1cm ; 1,5cm).

Se han definido dos polinomios de segundo grado y las "estadísticas", en cada uno de los gráficos.

APÉNDICE II: CONSTRUCCIÓN DEL IMÁN

En nuestros laboratorios de Física contamos comúnmente con imanes en barra pero no con imanes en herradura, y en caso de hacerlo, éstos por lo general no se encuentran con buena magnetización. Es por esta razón que sugerimos aquí un método barato y fácil de construir el equivalente a un buen imán en herradura.

Se trata de una planchuela de hierro dulce doblada en forma de "U" (ver C en la figura) a la cual se le pegan dos piezas polares de imanes cerámicos mediante cualquier adhesivo de contacto.

Los imanes cerámicos pueden obtenerse en veterinarias o casas dedicadas al "acuarismo", a partir de "limpia peceras magnéticos" ("magnetic brush") como el que muestra A en la figura. Se trata de dos imanes cerámicos en forma de prisma rectangular que tienen sus polos en las caras (cuidado: existen versiones en las cuales los polos se encuentran ambos en la misma cara, lo cual no sirve).

Si se remueve el plástico y la tela que los cubre se obtienen los imanes (ver B en la figura) que harán de piezas polares para nuestro imán, adheridos a los lados paralelos de la "U" de hierro con sus polos opuestos enfrentados. Debe tenerse especial cuidado con los imanes ya que si caen en la maniobra de desmontaje se quiebran con facilidad.



A-Imanes en su pack



B- Pastillas magnéticas ya desmontadas



C-U de hierro dulce