

PROPUESTA PEDAGÓGICA

La parte central del trabajo gira alrededor de dos objetivos, por un lado presentar los conceptos físicos asociados con el magnetismo a través de un conjunto de experimentos que **NO REQUIEREN CONOCIMIENTOS PREVIOS** en el tema, y por otro introducir el **método científico** a partir de la construcción del conocimiento por medio de esos mismos experimentos y los modelos que se van construyendo a partir de ellos.

Para comenzar con los experimentos de magnetismo es necesario que los alumnos hayan visto cinemática y dinámica, de modo de haber visto enunciadas leyes, y manejen vectores y su suma. Es conveniente que tengan nociones básicas de trigonometría (las necesarias para suma y descomposición de vectores).

EXPERIMENTO 1: el campo magnético como vector

Se utiliza como punto de partida el conocimiento intuitivo que se tiene de imanes y brújulas.

Material a usar:

- brújula con graduación en grados.
- imán de tierras raras de campo intenso
- hoja doble oficio cuadriculada
- cinta engomada (lo mejor es cinta de papel)

Actividad:

Se divide a los alumnos en grupos, cada uno a cargo de un equipo. Idealmente conviene trabajar en grupos pequeños con a lo sumo tres alumnos por equipo, pero esto queda sujeto a disponibilidad de equipos, tiempo y espacio.

Se comienza con una breve discusión sobre las brújulas y los imanes de modo de poner en juego los conocimientos intuitivos que los alumnos traen sobre el tema. Se los deja jugar con los imanes y se vuelcan las primeras observaciones.

Advertencia: no toquen las brújulas con los imanes. Esta advertencia debe ser hecha antes de entregarles el material, ya que es inmediato este error, que conduce a la remagnetización de la brújula que la lleva a apuntar en dirección distinta. Independientemente de esta advertencia, siempre habrá grupos de alumnos que distraídamente o por curiosidad cometan el error previsto. Es una buena oportunidad para una breve discusión sobre el cuidado del equipo. En este caso el daño se subsana fácilmente acercando nuevamente el imán a la brújula y procediendo a remagnetizarlo correctamente (hecho que se pone de manifiesto por volver a indicar el norte correctamente).

En esta etapa introductoria se espera llegar a los siguientes acuerdos básicos:

- La dirección del norte geográfico.
- Que todas las brújulas apuntan al norte (si están alejadas de los imanes). Se puede observar los siguientes hechos interesantes:
 - Si se acercan las brújulas, marcan en forma aparentemente erráticas.

- o Si la mesa tiene patas o estructuras de acero, la dirección en que apuntan las brújulas dependen del punto de la mesa en que se ubica. Es importante identificar las zonas en que la brújula apunta “correctamente”, y limitarse a esa zona para trabajar.
- Que los imanes ejercen fuerzas entre ellos.
- La fuerza entre imanes depende de la distancia.
- Al acercar el imán la brújula se desvía (aún a distancias de decenas de centímetros).
- Los imanes se atraen o se repelen según la orientación relativa.
- Los imanes al interactuar, también tienden a alinearse.
- Si acerco dos imanes a la brújula, esta se orienta según una dirección intermedia a la que tiende a orientarlo cada imán en ausencia del otro.
-

Tiempo mediante también se pueden hacer experimentos sobre la interacción de los imanes con otros materiales y ver que atraen a los materiales que contienen hierro. Además algunos materiales ferrosos quedan magnetizados después del contacto (por ejemplo agujas o clavos). Se puede intentar construir un brújula con una aguja imantada flotando en un recipiente con agua (por ejemplo clavada en un pedacito de telgopor).

Se resalta que la lista anterior, que puede escribirse en el pizarrón en conjunto, constituye el primer grupo de OBSERVACIONES. A partir de ellas se pueden extraer CONCLUSIONES como:

- La brújula es un imán, por ello se orienta en presencia de otro imán.
- La Tierra debe ser un imán, pues tiende a orientar la brújula.

Se discute el carácter especulativo de dichas conclusiones. Se las distingue de las observaciones. Uno no ve que la Tierra es un imán, uno lo propone como hipótesis por originar un comportamiento sobre las brújulas similar al que producen los imanes. Más adelante se puede discutir el origen del magnetismo terrestre cuando se vean campos magnéticos producidos por corrientes eléctricas.

Se propone ahora la siguiente pregunta: **¿Cómo podemos describir de manera más precisa este fenómeno? ¿Cómo podemos formular leyes con estructura matemática que nos permita hacer predicciones/**

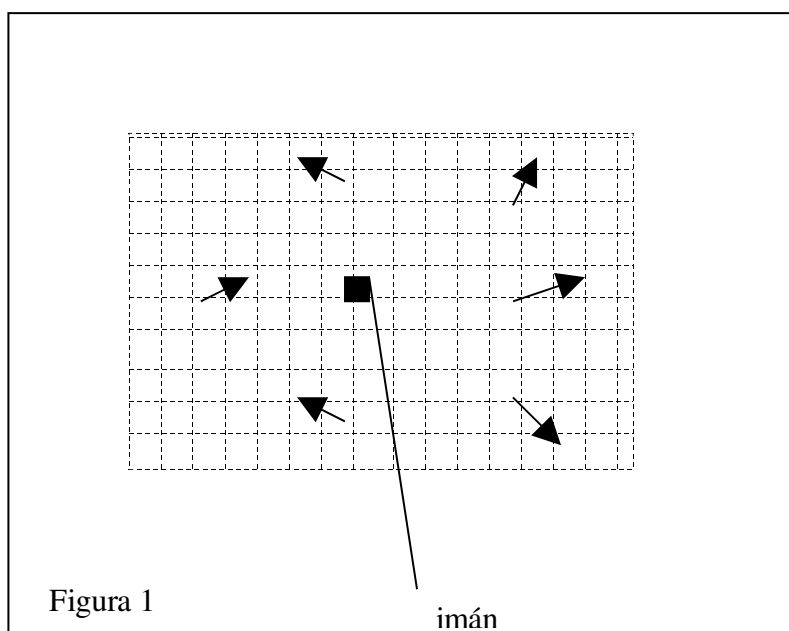
Se aclara el significado de esta última pregunta remitiéndose a las leyes que vieron de dinámica o cinemática y como les permite predecir un movimiento, el tiempo de un viaje, un punto de encuentro, etc.

Discusión: los imanes tienden a orientarse, las brújulas se orientan ante la presencia de los imanes. La dirección en que se orientan depende de la posición respecto del imán. La fuerza depende de la distancia. Si acerco dos imanes, la orientación es resultado de la combinación de la acción de cada uno por separado. Se trata de inducir que el efecto del imán sobre la brújula debe describirse con una magnitud matemática que además de su intensidad (si es mas fuerte o débil) debe indicarme la dirección del efecto y el sentido. **Conclusión: es razonable usar un vector para describir este fenómeno.** Decimos razonable, pues sabemos que un escalar (números) no es suficiente, pero eso no nos asegura que un vector sirva. Le damos un nombre a este vector: puede ser campo magnético, o cualquier otro nombre

que nos guste, por ejemplo el nombre de la escuela. Sabemos hacia donde apunta el campo magnético (o lo que sea) debido a la Tierra (discutir).

Nuestras conclusiones nos llevan a nuevas preguntas: **¿Cómo sé la dirección y sentido del campo del imán en cada punto del espacio?** Esta pregunta incluye el concepto de que el campo significa asignar un valor al vector para cada punto medido respecto de la posición del imán. Para aclarar esta pregunta conviene hacer los siguientes experimentos cualitativos:

1- Se ubica el imán en el centro de la hoja cuadriculada (se pega con cinta para que no se mueva a lo largo del experimento) y se marca la dirección en que apunta la brújula en varios puntos a la misma distancia del imán (por ejemplo como en la figura 1)



2- Se observa que si se acerca otro imán, la dirección cambia como si el efecto es la suma de los efectos independientes de cada imán.

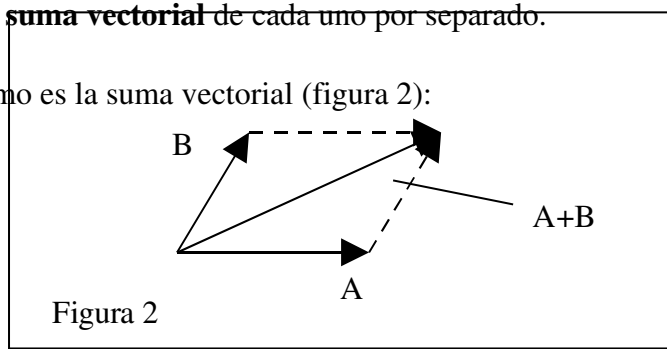
3- Este efecto de suma hace que en realidad no sepamos con este dibujo en que dirección apunta el efecto (campo magnético) del imán, ya que está superpuesto con el de la Tierra.

Se hace pues necesario poder discriminar el campo del imán del de la tierra. **¡Pero no podemos apagar o alejar la Tierra!** Por lo tanto es necesario ser ingenioso con el diseño del experimento.

Proponemos:

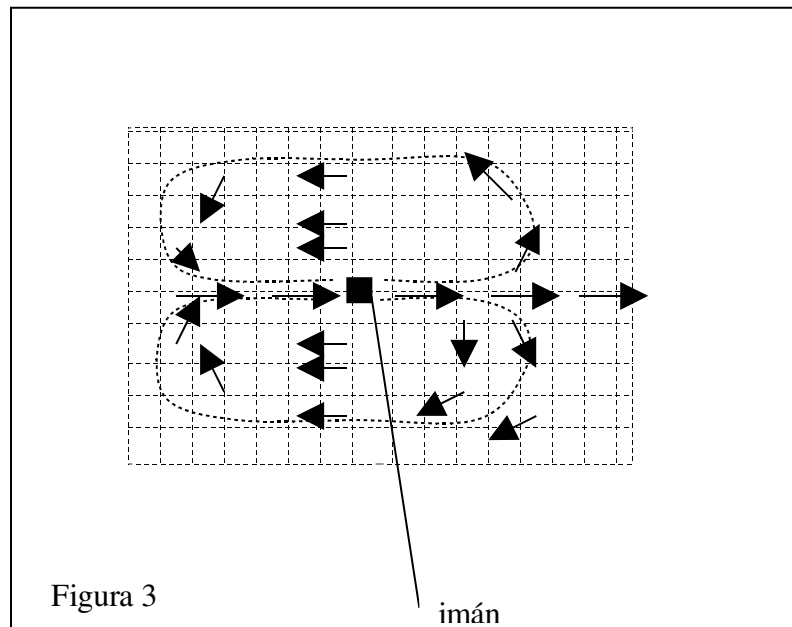
- que el efecto (campo magnético) va a ser representado por un vector
- que cuando se superponen los efectos de distintos imanes, el efecto resultante se obtiene como la **suma vectorial** de cada uno por separado.

Recordamos como es la suma vectorial (figura 2):



Se observa que la suma apunta en alguna dirección intermedia entre los dos vectores. Por lo tanto, si ambos apuntan en la misma dirección, la suma apunta en esa misma dirección. Conclusión: si el campo del imán apunta en una dirección distinta a la de la Tierra, la brújula apuntará en alguna dirección intermedia, que no será el; norte, y si el campo del imán apunta en la misma dirección que el de la Tierra (al norte), la suma (o sea la dirección de la brújula) apuntará hacia el norte. Por lo tanto, si la brújula apunta al norte, significa que en ese punto el campo del imán apunta al norte. Por lo tanto, si giro la hoja hasta que la brújula apunte al norte, habré encontrado la dirección del campo del imán en ese punto. Repitiendo este experimento en cada punto de la hoja puedo ir cubriendo la hoja de flechas que indican la dirección en que apunta el campo del imán. Se les sugiere a los alumnos hacer este experimento por ejemplo cada 4 cm cubriendo toda la hoja. En la realización de este experimento el docente se acerca y discute hasta que comprenden lo que están haciendo, ya que es poco probable que lo entiendan mayoritariamente antes de realizar el experimento.

El resultado de dicho experimento es similar al indicado en la figura 3:



Donde solo se han dibujado algunos vectores. La línea cortada indica mas o menos la dirección del campo (líneas de campo). Se discute a esta altura el valor de lo hallado, ya podemos decir hacia donde apunta pero no sabemos su valor. No tenemos aun una ley matemática que nos permita hacer predicciones. Ejemplo de predicción sencilla que uno desearía: si pongo dos imanes con una determinada orientación y a una determinada

distancia, hacia donde apuntaría la brújula. Por ejemplo, si pongo el imán y la Tierra, **¿cuál será el resultado?**

Esta pregunta queda pendiente para el siguiente experimento.

EXPERIMENTO 2: valor del campo magnético en determinadas direcciones.

Material a usar:

- brújula con graduación en grados.
- imán de tierras raras de campo intenso
- hoja doble oficio cuadriculada o regla de 50cm
- cinta engomada (lo mejor es cinta de papel)

Actividad:

Contestar esta pregunta es decir cuanto mide. Para ello es necesario discutir el concepto de medida. A esta altura es bueno discutir con los alumnos a partir de preguntas simples como que significa que algo tiene 50cm de longitud, o dura 3 horas. Es importante recalcar que uno determina cuantas veces mayor es la magnitud que una tomada como referencia (en los casos anteriores el cm o la hora). Por lo tanto algo tiene 50cm si el cociente entre su longitud y la de referencia (el cm) es 50. Por lo tanto para poder medir el campo magnético necesitamos elegir alguno como referencia, un patrón.

¿Cómo elegimos el patrón?

Formulada esta pregunta es bueno que el docente tenga presente que cambiaremos de patrón al ver campos magnéticos producidos por corrientes eléctricas. Se elige un patrón provisorio a partir de la siguiente situación: debe ser algún imán disponible. Se podría elegir alguno de los disponibles, y comparar los otros con ese, pero no sabemos cuan estable es, si no se puede desmagnetizar como ocurre con las brújulas. La otra posibilidad es elegir a la Tierra. Como siempre está, veremos si lo podemos tomar como referencia. Al menos este patrón es común a todos los alumnos del aula, y podrán comparar sus mediciones.

¿Cómo determino la intensidad del campo?

Ahora que tenemos el patrón (aunque sea transitorio) debemos ver como medir el campo. Para eso nos planteamos el problema al revés;

Si pongo la brújula en una cierta posición respecto del imán, donde ya sé hacia donde apunta el campo, veo hacia donde apunta la brújula y esa será la dirección de la suma (como en la figura 2). En la figura 4 se muestran distintos casos posibles:

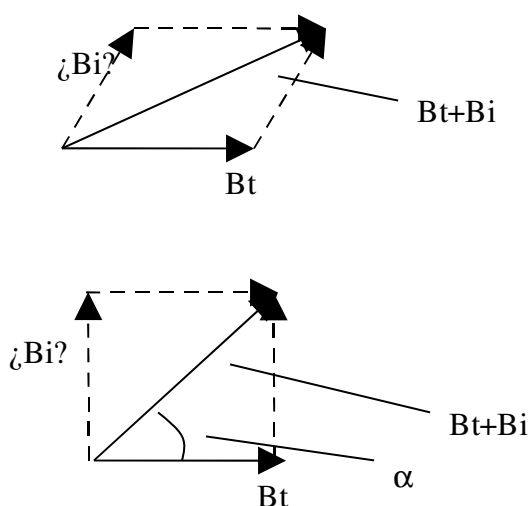


Figura 4

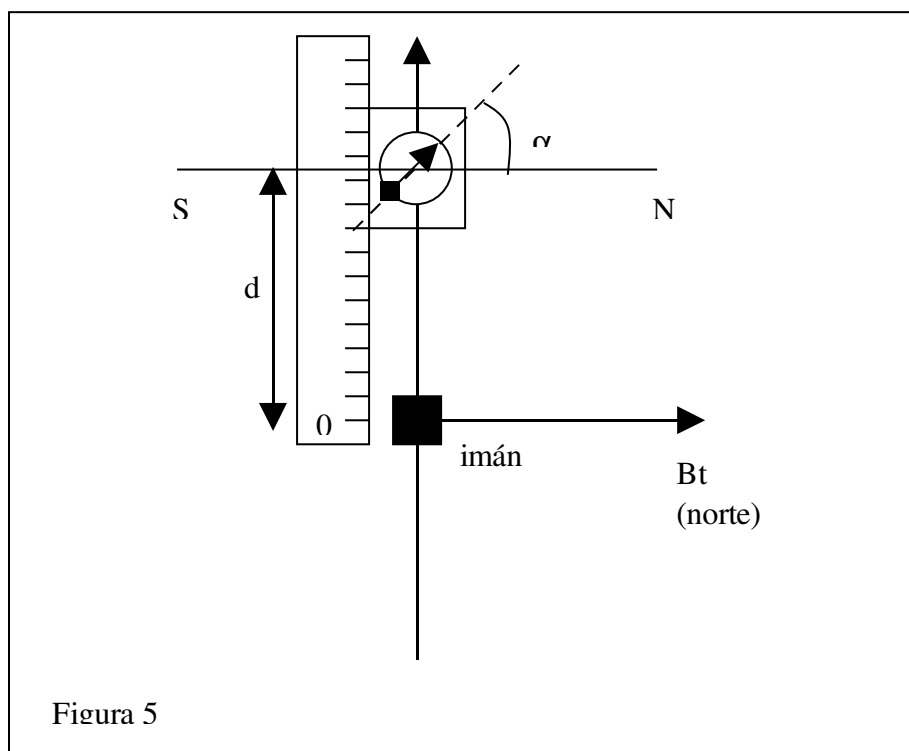
Se discute con los alumnos que en el segundo caso de la figura 4, en que los dos campos son perpendiculares surgen relaciones sencillas entre los lados dados por la trigonometría. Se recuerda que lo que buscamos es cuantas veces más grande es el campo que queremos medir (B_i) respecto del de referencia (B_t). O sea queremos el cociente B_i/B_t . Los mismos alumnos proponen entonces:

$$\frac{B_i}{B_t} = \tan(\alpha) \quad 2.1$$

Como ya sabemos las direcciones de B_i y B_t podemos colocar el imán de modo que queden perpendiculares en el punto que queremos medir. La propuesta ahora es medir:

El campo del imán a lo largo del eje en función de la distancia.

En el experimento 1 se determinó que el campo magnético del imán a lo largo del eje del mismo está dirigido en esa misma dirección. Por lo tanto podemos ubicar el imán en forma perpendicular al campo de la Tierra y a lo largo del eje estaremos en la situación del segundo caso de la figura 4. En la figura 5 se indica como orientar el imán para lograr esta situación.



Para cada distancia de la brújula al imán (medida de centro a centro) se determina el ángulo. Es importante cuidar que ángulo miden los alumnos, pues fácilmente y según como quede orientado el compás de la brújula, pueden medir el complementario o cualquier otra cosa. Si ocurre es una oportunidad para discutir el concepto de error sistemático: a partir de conocer el error pueden corregir los datos. La medición de la

distancia puede realizarse con una regla o con el mismo papel cuadriculado. Se obtiene una tabla como la que sigue (que es real y obtenida con los mismos elementos):

d	α	Tan(α)
3	90	∞
5	90	∞
10	88	28,63625
12,5	82	7,11537
15	78	4,70463
17,5	70	2,74748
20	58	1,60033
22,5	45	1
25	38	0,78129
27,5	30	0,57735
30	24	0,44523
32,5	20	0,36397
35	16	0,28675
37,5	12	0,21256
40	10	0,17633
42,5	10	0,17633
45	10	0,17633
47,5	8	0,14054
50	6	0,1051

En la última columna se calcularon los valores de las tangentes de los ángulos. Para el caso de 90° la calculadora puede indicar error. NOTA: según el cuidado que hayan tomado los alumnos en poner ambos campos perpendiculares entre sí, pueden medir ángulos mayores a 90° , es bueno cuidar este detalle pues sino tendrán que repetir las mediciones. Debe notarse que la apreciación de 2 grados de la brújula hace que cuando el ángulo se acerca a 90 grados ese error de apreciación hace muy grande el error en la tangente. Para ilustrar este punto se puede pedir que calculen la tangente de 89° y de $89,5^\circ$, los resultados respectivos son 57 y 114. Se ve entonces que el resultado es muy sensible a un pequeño error en el ángulo. En cambio por ejemplo para 45° y $44,5^\circ$ las tangentes son respectivamente 1 y 0,98, que son muy parecidas (o sea a estos ángulos no es tan sensible).

Lo que se ha obtenido hasta ahora es una tabla con un conjunto de valores, es bueno graficarlos para darse una idea del comportamiento. En la figura 6 se muestra el gráfico correspondiente de la tangente del ángulo en función de la distancia. Se utilizan los puntos correspondientes a ángulos menores a 80° por los motivos señalados anteriormente respecto del error.

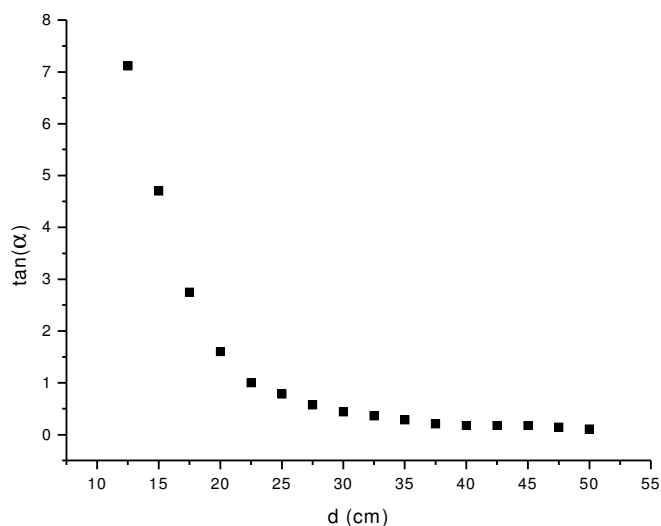


Figura 6

De la ecuación 2.1 resulta que hemos graficado el valor del campo magnético del imán en unidades de campo magnético terrestre en función de la distancia al imán a lo largo del eje del mismo. Se ve que el campo tiende a 0 cuando me alejo mucho y se hace muy grande (tiende a infinito) cuando me acerco.

Encontrar una expresión matemática

Lo que se ha obtenido hasta ahora es un gráfico de una serie de puntos, sería deseable ver como es en puntos intermedios e incluso poder predecir para otro imán toda la curva con solo medir un valor (un punto). Para ello tendríamos que encontrar una expresión matemática (función) que nos de el valor del campo dado el valor de la distancia. Cuanto más sencilla sea esa expresión, mejor para nosotros. Buscamos pues expresiones sencillas que reproduzcan el mismo comportamiento.

Es probable que los alumnos conozcan las hipérbolas, en particular $y=1/x$. Se puede pedir que grafiquen $f=1/d^n$ para distintos valores de n entero (o se les puede traer el gráfico ya listo). En la figura 7 se muestra este caso, donde se ha multiplicado a cada función por un número tal que coincidan en el punto $d=10\text{cm}$. Se puede discutir con los alumnos como se podría encontrar si alguna de estas curvas se parece (ajusta) a los resultados experimentales. Este trabajo de ajuste puede ser compartido con el curso de

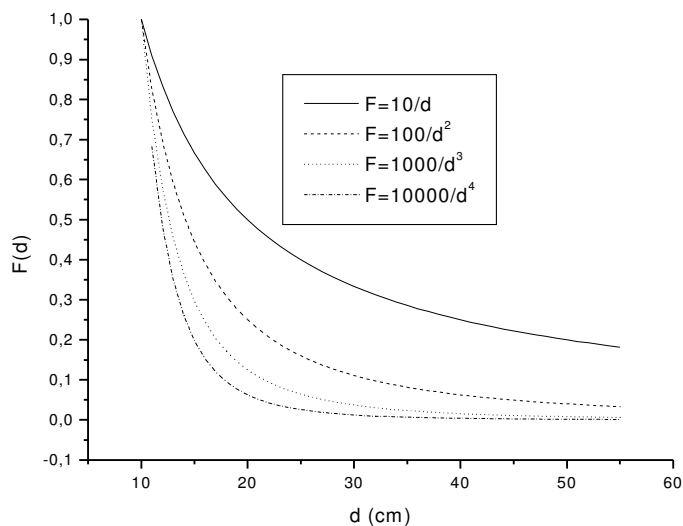


Figura 7

matemáticas. Una manera es hacer pasar todas estas curvas por un punto experimental (multiplicando cada una por un número adecuado) y ver como acompañan a los otros. Otra manera de resolver es graficar en escala logarítmica aprovechando la propiedad de los logaritmos que:

$$\log(a.b)=\log(a)+\log(b)$$

$$\log(x^n)=n \log(x)$$

por lo que

$$\log\left(\frac{a}{d^n}\right) = a - n\log(d)$$

Si uno grafica entonces $\log(F)$ en función de $\log(d)$ se obtienen rectas de pendiente $-n$ (figura 8).

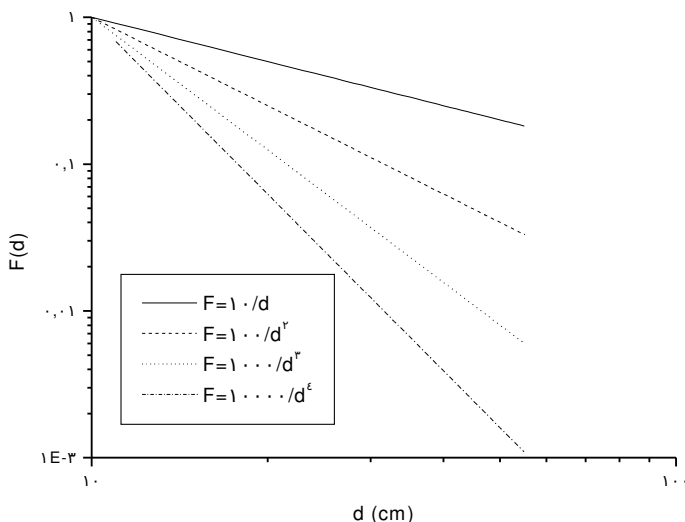


Figura 8

Esta es pues una manera mas clara de ver a cual de las curvas se ajusta mas, ya que ahora son cualitativamente muy fáciles de distinguir. Nuevamente estamos frente a un tratamiento matemático mas completo que se podrá trabajar según el curso y la integración con el curso de matemáticas. El paso siguiente sería hacer dicho gráfico en escala logarítmica y trazar la recta que mejor aproxime para luego determinar su pendiente. En la figura 9 se ilustra este caso para los datos anteriores. La recta fue trazada por el método de cuadrados mínimos disponible en programas tales como el Excel o cualquier otro que permita graficar. El ajuste arroja una pendiente de

$$n=-3,04\pm 0,07$$

Es decir que el valor determinado es igual a -3 dentro del error estimado en dicha determinación.

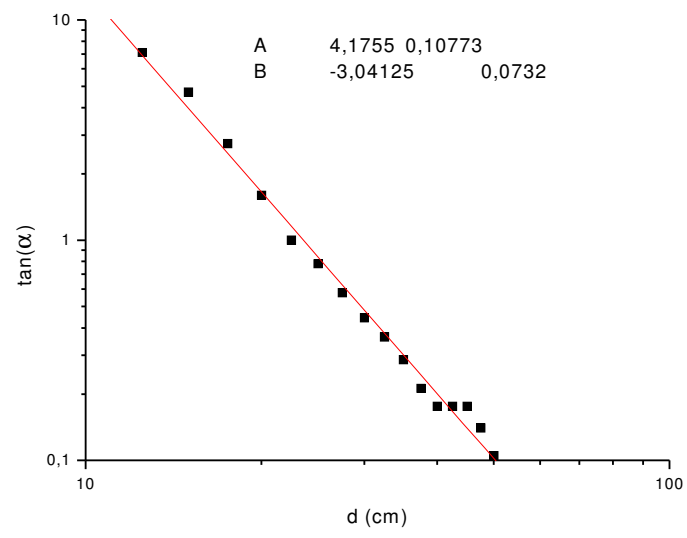


Figura 9

LA RELACION ENTRE LOS FENOMENOS ELECTRICOS Y MAGNETICOS

EXPERIMENTO 5: campo magnético creado por corrientes eléctricas.

Material a usar:

- brújula con graduación en grados.
- hoja doble oficio cuadriculada o regla de 50cm
- cinta engomada (lo mejor es cinta de papel)
- fuente de corriente
- cable de más de 1m de longitud
- bobina (800 vueltas de alambre)
- multímetro

Actividad:

Se propone responder a la pregunta: ¿hay relación entre magnetismo y electricidad?

El primer experimento será entonces cualitativo para explorar las posibles vinculaciones. Se puede discutir con los estudiantes en este momento cuales son sus expectativas, conocimientos previos (por ejemplo electroimanes). El primer experimento cualitativo que se puede realizar es acercar un cable por el que circula una corriente eléctrica a una brújula. Inmediatamente se notará que la brújula cambia de dirección. Interpretación posible: **la corriente eléctrica produce campos magnéticos en su vecindad, que desvían la brújula.**

Si esta interpretación es correcta, debe ser posible medir la magnitud de ese campo y su dirección y sentido, de manera similar a la realizada con el imán permanente.

Campo debido a un hilo rectilíneo:

Medición de la dirección y sentido:

Acercamos un conductor estirado lo más rectilíneo posible a un imán y observamos cómo se desvía.

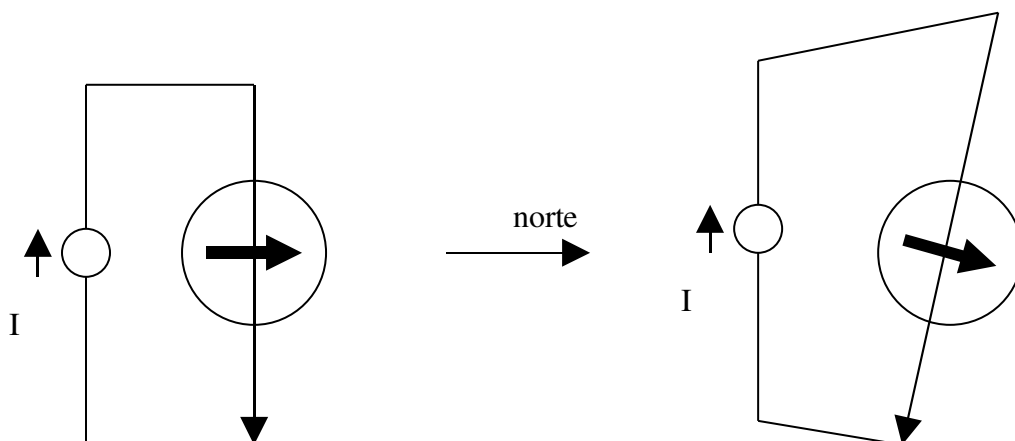


Figura 1

En la figura 1 se ilustra el experimento. Cuando el conductor está perpendicular a la dirección sur-norte (conduce de oeste a este), la brújula no se desvía. Discutir como se interpreta esto en relación a la dirección y sentido del campo magnético creado por la

corriente. La conclusión es que la interpretación compatible con la observación es que el campo debe ser perpendicular al cable.

Si esto es así, la predicción que hacemos es que al girar el cable la aguja de la brújula debería girar en el mismo sentido, pero ¿cuánto? Un ángulo menor ya que no estamos girando el campo de la Tierra, y el resultante debe ser en una dirección intermedia, más cerca del que tenga magnitud mayor. Se puede verificar esta predicción y además observar que la desviación de la aguja depende además de la distancia entre el cable y la brújula y de la corriente que circula por el cable.

Conclusiones:

- la corriente eléctrica produce un campo magnético
- la dirección del campo es perpendicular al conductor.
- la magnitud depende de la distancia y la corriente.

Mediciones posibles:

Campo debido a un hilo conductor en función de la distancia. Para ello hay que colocar el campo del conductor perpendicular al de la Tierra y medir la tangente del ángulo de desviación, como se hizo con el imán (el conductor debe ir en la dirección sur-norte. Hay que medir la desviación poniendo el cable a distintas alturas sobre la brújula. Para esta medición es conveniente utilizar corrientes eléctricas mayores de las que provee la fuente (del orden de 3A), de otro modo decae muy rápidamente y es difícil hacer esta medición con precisión. Puede ser un trabajo interesante si se dividen las tareas entre distintos grupos, pues da lugar a un decaimiento inversamente proporcional a la distancia y no a la distancia al cubo como en el imán. Para corrientes de 2A como la que provee la fuente del kit, el decaimiento es tan rápido que es necesario medir la distancia con mucha precisión. Además el hilo debe ser muy largo para que lo que se mide sea parecido a un hilo rectilíneo e infinito (notar que siempre debe dar la vuelta para volver a la fuente). Un hilo de 4m de longitud es adecuado. Nosotros hemos realizado este experimento pegando el cable en el borde de una mesa de madera, orientado sur-norte y apoyabámos la brújula sobre pilas de cajas de CD para lograr las distintas alturas de manera estable.

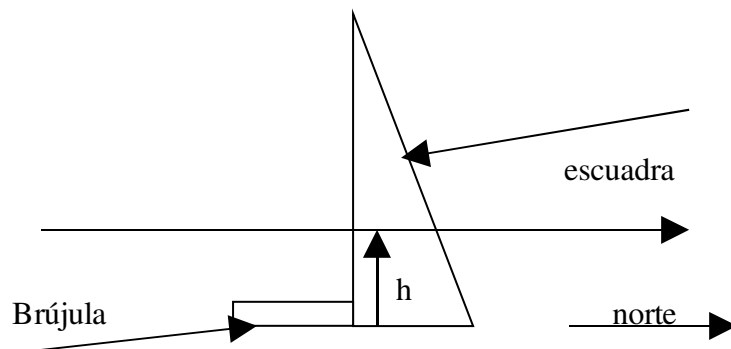


Figura 2

Tabla para conductor rectilíneo con $I=2A$

d	α	$\text{Tan}(\alpha)$
18	40	0,8385
28	34	0,67407
48	22	0,4038
58	18	0,32474
68	15	0,26781
78	12	0,21245
38	28	0,53139

Con los resultados de la tabla se realizó el gráfico siguiente (figura 3)

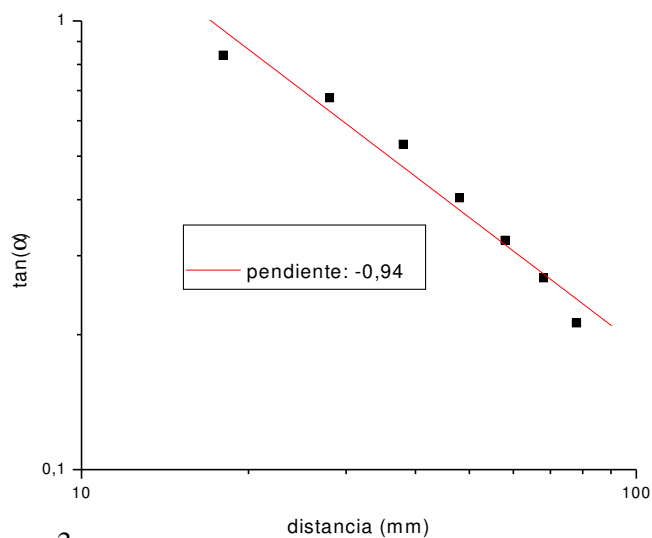


Figura 3

Campo debido a un hilo conductor en función de la corriente: A una distancia fija se puede medir como depende la desviación de la brújula de la corriente que circula. Para ello se agrega al esquema de la figura 2 un amperímetro en el circuito del conductor y se

mide el ángulo en función de la corriente. Se obtendrá que la tangente del ángulo (el campo magnético) es proporcional a la corriente. Nuevamente esta medición será mejor si se logra una desviación máxima del orden de 80° , para lo cual es necesario corrientes mayores a 2A.

Truco para aumentar la corriente: Si se juntan varios cables por los que circulan 2A en la misma dirección, se comportará como un solo cable de mayor corriente (suma de todas las que circulan). Una manera de lograr este efecto es utilizar un cable muy largo y dar varias vueltas para que pase mas de una vez por el mismo lugar. Con 4 vueltas se logrará el equivalente a una corriente de 8A con que se puede medir muy bien, para ello es necesario por lo menos 10m de cable.

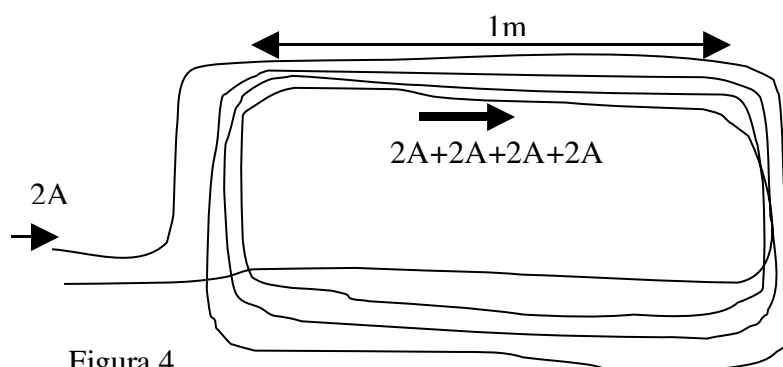


Figura 4

Conclusión: el campo magnético debido a un hilo rectilíneo es proporcional a la corriente que circula e inversamente proporcional a la distancia y tiene la dirección perpendicular al conductor. (Ley de Biot-Savart).

Campo debido a una bobina:

Basado en los experimentos anteriores es evidente que el campo magnético producido por una corriente puede incrementarse aumentando el número de vueltas que se da al alambre. Por lo tanto las mediciones serán mas sencillas trabajando con un arrollamiento de muchas vueltas en lugar de un único conductor. Se puede hacer en primer lugar una discusión cualitativa de que se espera:

Si observamos la espira de la figura 5, y usamos lo visto anteriormente respecto del campo magnético producido por conductores, vemos que cada brazo de la espira

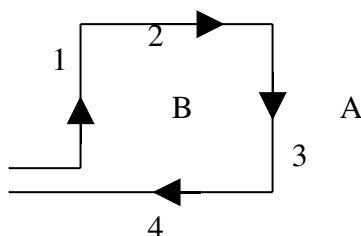


Figura 5

(numerados de 1 a 4) produce campos magnéticos perpendiculares a su dirección y cuyo sentido depende de que lado del cable estemos midiendo. Así en el punto A el lado 3 da campos opuestos al lado 1 (notar que la corriente va en sentidos opuestos). En cambio en el punto B (interior a la espira) todos los lados contribuyen al campo magnético en el mismo sentido (entrando al papel). Por lo tanto es de esperar que el campo sea mayor en el centro.

Se propone medir el campo magnético en función de la corriente en algún punto a lo largo del eje de la bobina:

El esquema experimental es el indicado en la figura 6. La brújula se ubica a una distancia d de la bobina a lo largo del eje, de modo de lograr una deflexión de aproximadamente 75 grados a la máxima corriente que entregue la fuente.

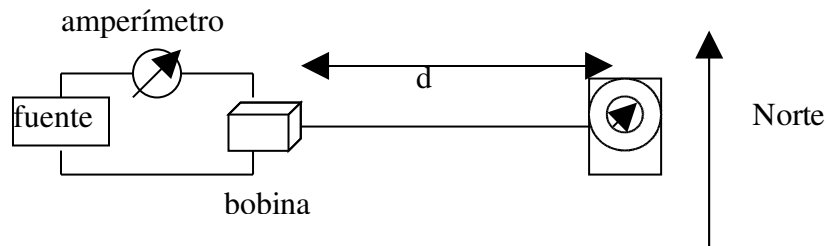


Figura 6

En nuestro experimento se ubicó la brújula a 10cm de la bobina. En la tabla se presentan los resultados obtenidos y en la figura 7 se grafica el resultado.

Corriente (A)	α	$\tan(\alpha)$
0	0	0
1,07	72	3,07103
0,46	55	1,42667
0,4	50	1,19068
0,22	32	0,62448
0,06	8	0,14047
0,3	40	0,8385
0,55	60	1,72993
0,65	63	1,95991
0,83	70	2,74219
0,99	72	3,07103
0,09	10	0,17624
0,12	18	0,32474

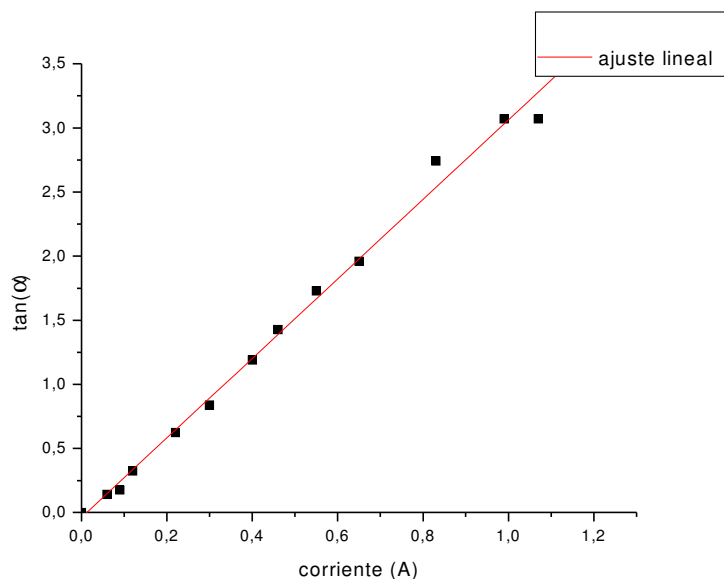


Figura 7

Se ve claramente el comportamiento lineal de La magnitud del campo magnético en ese punto con la corriente. Posibles discusiones con los alumnos:

-¿Valdrá la linealidad en todo punto del espacio? Acá vale discutir que uno no mide TODAS las situaciones para poder decir algo, sino que uno valida hipótesis con experimentos, construye modelos y luego hace predicciones. Por ejemplo con algo más de matemáticas y la ley de Biot y Savart (que dice como es el campo en todo punto del espacio sin haberlo medido) uno calcula el campo de la bobina y luego si mide debe coincidir con la predicción. Si no coincide indica que el modelo es erróneo o al menos incompleto.

-¿Cómo es el campo a lo largo del eje? Este es un experimento realizable de manera análoga al del imán? Vale la pena al menos hacer una medición cualitativa y ver que está dirigido a lo largo del eje y decae con la distancia. Si el grupo tiene un manejo adecuado de la matemática se puede aumentar la distancia al doble y ver cuánto decae. De aquí se puede inferir aproximadamente cual sería la ley de potencias. Al menos se ve rápidamente que no decae como $1/d$ ya que al duplicar la distancia no decrece un factor 2. Este es un ejemplo de como se refuta una hipótesis si alguien postulase que debe ir de esa manera.

-¿Cómo depende del número de vueltas del alambre en la bobina?

Se puede discutir como hacer analogías para predecir. Si el arrollamiento es muy compacto puedo pensar a dos cables que llevan una corriente de 1A como un solo cable más grueso que lleva 2A. Es razonable predecir con esta analogía que el campo magnético será proporcional al número de vueltas. Si se desea hacer el experimento se toma un cilindro de varios centímetros de diámetro y se va enrollando el cable vuelta tras vuelta mientras se mide la desviación de la brújula. Para obtener un buen resultado se debe ser muy cuidadoso, pero un resultado cualitativo es inmediato. Nosotros hicimos el experimento con un cilindro de 8,5cm de diámetro, midiendo a 5 cm de distancia y obtuvimos el siguiente resultado:

Nro. de vueltas	α	$\tan(\alpha)$
1	12	0,21245
2	18	0,32474
3	24	0,44497
4	34	0,67407
5	40	0,8385
6	48	1,10966
7	56	1,48098
8	58	1,59851
9	62	1,87824
10	64	2,04736

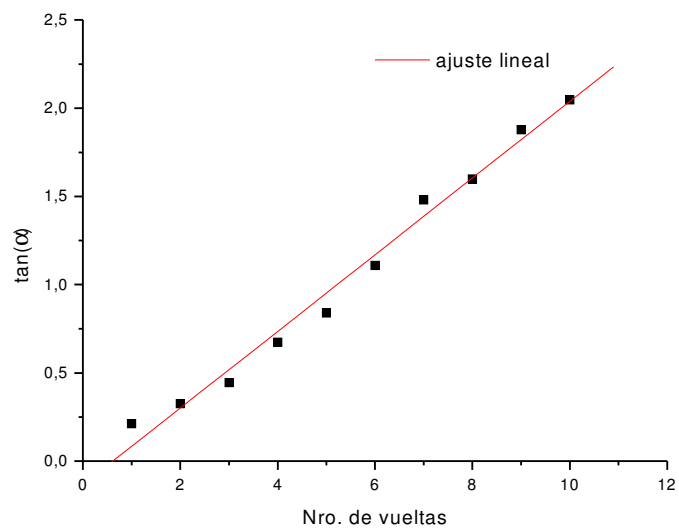


Figura 8

EXPERIMENTO 6: motores, generadores y patrones

Material a usar:

- fuente de corriente
- alambre o cable semirígido
- bobina (800 vueltas de alambre)
- multímetro

A esta altura surgen naturalmente preguntas y especulaciones y lo que se buscará es hacer experimentos cualitativos para contestar al menos en parte esas preguntas. Es bueno en este momento hacer un resumen con los alumnos de lo ya encontrado:

- Los imanes ejercen fuerzas entre ellos a distancia.
- Un imán en presencia de otro tiende a rotar para alinearse de determinado modo. Una vez alineado la fuerza entre imanes los tiende a acercar.
- Se puede caracterizar esta interacción a distancia a partir de definir una magnitud que llamamos campo magnético.
- El campo magnético depende del punto del espacio donde lo mido y tiene módulo, dirección y sentido, por lo que utilizo un vector para describirlo.
- Para medirlo necesito compararlo con otro, por lo cual por ahora hemos elegido el campo magnético de la Tierra.
- Corrientes eléctricas producen campos similares a los imanes (efectos análogos).
- A partir de medir el campo producido por corrientes eléctricas es posible enunciar leyes que predicen el valor del campo en función de la distancia.
- El campo producido por una corriente eléctrica es proporcional al valor de la corriente que circula.
- El campo magnético producido por un conductor rectilíneo es perpendicular al mismo y decae de manera inversa a la distancia al conductor.
- Un arrollamiento de un conductor (bobina) produce un campo similar a de un imán.

Surgen ahora una serie de preguntas encadenadas:

Pregunta 1

Si los imanes ejercen fuerzas entre sí y las corrientes sobre los imanes (la bobina es parecida a un imán)

¿El imán ejerce fuerzas sobre un cable que conduce corriente?

Para contestar esta pregunta se pueden proponer experimentos. Por ejemplo acercar el imán a la bobina y ver si se mueve. El problema es quizás que la bobina es demasiado pesada para la fuerza que aparece, de modo que si no se mueve no es concluyente. Debemos construir una bobina lo más liviana posible y sujetarla de modo de minimizar el rozamiento (algo similar a lo hecho al construir la brújula). Se propone realizar el experimento con una pequeña bobina hecha con unas pocas vueltas de un alambre rígido, de modo que se la pueda apoyar en contactos con muy poco rozamiento. Para ello la fuente tiene contruidos dos contactos superiores en que se puede apoyar dicha espira. En la figura 1 se muestra la bobina y como se la apoya en los contactos para que circule corriente por ella. Esta bobina actuará como el imán de la brújula e intentará rotar a; acercarle el otro imán (predicción a partir de nuestros experimentos anteriores).

Efectivamente al acercarle el imán se observará que rota para alinearse con el campo del imán.

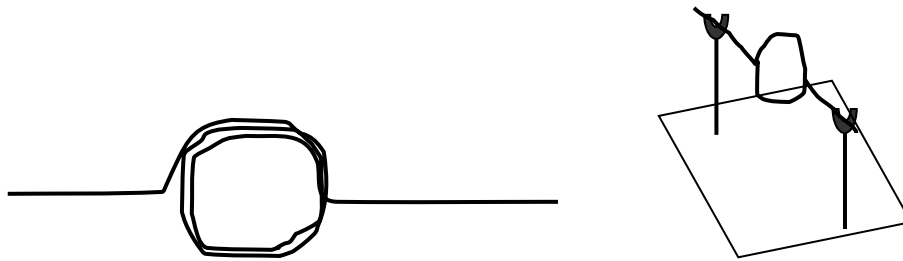


Figura 1

Motor: si tenemos “suerte” por las deformaciones propias de la espira, al girar puede perder contacto con los soportes y entonces por inercia continuar el giro en vez de detenerse alineado. Si esto ocurre es probable que al completar la vuelta vuelva a hacer contacto y reciba un nuevo impulso. En este caso es posible lograr que rote indefinidamente como un motor. Es posible forzar esta situación aislando parte del alambre con esmalte o barniz (con mucho cuidado) de modo que solamente haga contacto en media vuelta como indica la figura 2.

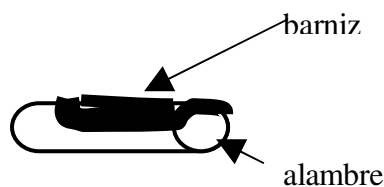


Figura 2

Hemos encontrado el principio básico de funcionamiento del motor eléctrico.

Pregunta 2

Si las bobinas se comportan como imanes, ¿habrá fuerzas entre corrientes eléctricas?

El experimento a realizar surge con bastante naturalidad, ver si la bobina mueve el motor. Si conectamos la bobina y el motor a la misma fuente, la corriente irá por el motor (ya que la resistencia del motor es muy chica) y la bobina generará un amperio muy débil. Por ello para este experimento es necesario usar fuentes distintas para la bobina y el motor. Al acercar la bobina al motor se verá que tiende a moverlo, con mayor fuerza cuanto mayor sea la corriente que circula por la bobina. Es difícil lograr que gire, quizás se tenga éxito si se elige el mejor motor entre todos los de la clase.

Pregunta 3

Hasta ahora hemos elegido como patrón para medir el campo magnético, el campo creado por la Tierra.

¿Es un buen patrón, o se puede buscar uno mejor?

Para esto debemos hacernos preguntas básicas sobre que requisito le pedimos a un patrón. Esto se puede discutir con los alumnos:

- que sea estable en el tiempo
- que sea el mismo para todos (acá, en China y en Marte)
- es deseable que sea trasladable para contrastar con el de otros

Es claro que la Tierra como imán patrón es al menos dudoso. No sabemos si es igual en todo punto de la Tierra y es razonable suponer que no. Si es un gran imán, su campo debe depender del punto del espacio en que lo mido.

¿qué otros imanes tenemos? El imán permanente, las bobinas u otras formas de cables. El imán no es confiable pues puede demagnetizarse como probablemente a esta altura han visto con las brújulas. No sabemos si no va cambiando con el tiempo. Es razonable entonces usar el campo generado por un conductor como patrón:

fijando la forma y la corriente que circula, así como el punto en el cual medimos el campo, tenemos un dispositivo trasladable, repetitivo y estable (o reconstruible si se daña). Podemos usar una ley universal como la ley de Biot y Savart para definir que: un conductor rectilíneo por el que circula una corriente de 1A genera un campo de 1 unidad a 1m de distancia.

Se puede discutir ahora que cuanto más fundamental sea el fenómeno que se utiliza para definir una magnitud, más confiable es. Por eso en realidad se utiliza para definir la unidad de campo magnético se usa la fuerza que ejerce el mismo sobre una carga que se mueve a una cierta velocidad. Es una oportunidad para definir el Tesla si se desea.

Pregunta 4

Hasta ahora hemos estudiado los efectos con imanes en reposo y corrientes continuas.

¿Qué pasa si los imanes se mueven o las corrientes varían?

Para responder esta pregunta hay que diseñar nuevos experimentos, ya que las leyes hasta ahora descubiertas no fueron hechas a partir de experimentos que tengan estas nuevas condiciones.

Experimento a:

Acercó y alejó el imán de la bobina mientras mido en sus extremos la corriente que circula. Para esto no conectamos la fuente a la bobina, sino el multímetro. Al acercar el imán vemos que el multímetro mide una caída de tensión o una corriente, según en que escala lo conectamos. Si ponemos el multímetro en escalas menos sensibles, es necesario mover el imán más rápido para ver el efecto.

Discusión del resultado cualitativo: esto es importante para motivar la capacidad de observación, descripción y análisis.

Los alumnos pueden llegar a concluir que:

- cuanto más rápido se mueve el imán, más importante es el efecto.
- el imán produce un campo magnético en el interior de la bobina.
- dicho campo varía en el tiempo, y más rápido cuanto mayor es la velocidad del imán.
- un campo magnético variable en el tiempo genera corrientes eléctricas en la bobina (Ley de inducción)
- pueden además sacar conclusiones sobre si importa como oriento el imán para el signo de la corriente inducida.

Inferencia adicional: dado que hemos visto la equivalencia entre el campo de un imán y el de una corriente eléctrica, es razonable inferir que si pongo otra bobina cerca y varío la corriente, variará el campo magnético e inducirá una corriente en la primera bobina (transformador). Es un buen momento para discutir que en este fenómeno se basa el transformador.

Otras observaciones:

Conectar la bobina a la fuente y poner el imán en su interior.

Dejar caer el imán por el interior de un tubo de aluminio o cobre, o rodando por un perfil en U de aluminio.

Poner un clavo u otro objeto de acero dentro de la bobina y encenderla. Ver si queda magnetizado.

Medir el campo con la bobina con relleno de hierro o acero (núcleo).