

# Physica

## Conceptos fundamentales de Física en 2º de Bachillerato

I.E.S. Aguilar y Cano

### Campo magnético

J.M.L.C.

## Introducción

El objetivo del presente capítulo es hacer una introducción a los fenómenos magnéticos básicos y su relación con los eléctricos.

### Primeros contactos magnéticos

El conocimiento más elemental y antiguo de que se tiene noticia es el de la propiedad de la magnetita ( $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) de atraer pedazos de hierro. Es el primer contacto con el magnetismo.

### Imanes

Además de los imanes naturales, existen otros creados por el hombre, pero una característica fundamental de todos ellos es que tienen polos distintos. A diferencia de las cargas eléctricas, que podían ser de un signo u otro, en los imanes siempre coexisten los dos signos distintos, que se denominan, en este caso, *polos: polo norte y polo sur*. El polo norte es precisamente el que se orientará hacia el norte geográfico si se suspende el imán por un hilo, en algún punto de la superficie terrestre. Pues bien, dichos polos N y S siempre están en todo imán, de tal modo que si se parte en dos mitades, reaparecen ambos polos en cada una de las partes, por lo que esta experiencia descartó la idea que antiguamente se tenía de que las "cargas magnéticas" tenían un comportamiento similar al de la masa gravitatoria o al de las cargas eléctricas. Como es bien sabido, los polos iguales se repelen y los contrarios se atraen. Vamos a estudiar el efecto que producen los campos magnéticos y las formas en que la corriente eléctrica contribuye a crearlos.

## Campo magnético

Por definición, alrededor de un imán existirá un campo magnético  $\mathbf{B}$ , de la misma manera que alrededor de una masa hay un campo gravitatorio y alrededor de un cuerpo

cargado existe un campo eléctrico. Este campo magnético se puede poner de manifiesto con limaduras de hierro o agujas magnéticas, las cuales se orientarán siguiendo las direcciones de las líneas del campo magnético, siempre tangentes respecto a la dirección de  $\mathbf{B}$  en este punto.

### Líneas del campo magnético

Las líneas del campo parten del polo norte y llegan al polo sur, de tal modo que las agujas magnéticas se orientarán atraídas por el polo contrario.

### Acción de un campo magnético sobre una carga

Si en presencia de un campo  $\mathbf{B}$  se coloca una carga eléctrica  $q$  en reposo, no ocurre nada, pero si esta carga se mueve con una cierta velocidad  $\mathbf{v}$  cualquiera, se observará que sufre una desviación en su trayectoria porque habrá aparecido una fuerza  $\mathbf{F}$ . Experimentalmente se puede comprobar que si las direcciones de  $\mathbf{v}$  y  $\mathbf{B}$  son perpendiculares la fuerza es máxima, pero que se anula cuando tienen la misma dirección. Del mismo modo en que al colocar una carga eléctrica en un campo eléctrico aparecía sobre ella una fuerza, ahora ocurre algo parecido, pero la carga debe poseer cierta velocidad. Por definición, la relación entre estas magnitudes viene dada por el producto

vectorial:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ , y cuyo módulo

será  $F = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen } \alpha$  siendo  $\alpha$  el ángulo formado por  $\mathbf{v}$  y  $\mathbf{B}$ . Se podrá decir, por tanto,

que si una carga positiva,  $q$ , se mueve a cierta velocidad,  $\mathbf{v}$ , y aparece sobre ella una fuerza,  $\mathbf{F}$ , es que se está en presencia de un campo magnético,  $\mathbf{B}$ . La fuerza  $\mathbf{F}$  siempre será perpendicular al plano que contiene a  $\mathbf{v}$  y  $\mathbf{B}$ . A la expresión vectorial de esta fuerza se la conoce como *fuerza de Lorentz*.

### Trabajo de una fuerza magnética

Como la fuerza magnética es perpendicular a la dirección del movimiento, el trabajo realizado por la misma sobre la partícula es nulo, es decir, un campo magnético no puede aumentar la energía de una carga, sólo puede desviarla.

## Fuerza magnética sobre una corriente

Un conjunto de cargas en movimiento es una corriente eléctrica, por lo que es de esperar que sobre una corriente también aparezca una fuerza que tienda a desplazar el alambre conductor, como así es. Sea  $d\mathbf{l}$  un elemento del circuito que es un vector en dirección del conductor y en sentido de la intensidad de la corriente eléctrica  $I$ . Si en presencia de un campo magnético  $\mathbf{B}$ , que forma un ángulo  $\alpha$  con  $d\mathbf{l}$ , pasa en un tiempo  $dt$  una carga  $dq$ , la velocidad de dicha carga será:

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{l}}{dt} \quad \text{y como} \quad \mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

### Contenido

Introducción.....	1
Campo magnético.....	1
Fuerza magnética sobre una corriente.....	1
Creación de campos magnéticos.....	2
Interpretación de la imanación .....	2
Flujo magnético.....	2

$$d\mathbf{F} = dq \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B} = dq \cdot \frac{d\mathbf{l}}{dt} \times \mathbf{B} =$$

$$\frac{dq}{dt} \cdot d\mathbf{l} \times \mathbf{B} = I \cdot d\mathbf{l} \times \mathbf{B}$$

Integrando para todo el alambre conductor:  $\int d\mathbf{F} = \int I \cdot d\mathbf{l} \times \mathbf{B}$ , que

para un conductor rectilíneo en un campo

magnético uniforme resulta:  $\mathbf{F} = I \cdot \mathbf{l} \times \mathbf{B}$

cuyo módulo será:  $F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha$ .

### Unidad de la intensidad del campo magnético

La última expresión es de gran utilidad para definir la unidad del campo magnético, que se denomina tesla (T). Si  $\alpha = 90^\circ$ ,  $B = F/I \cdot l$ , y se podrá decir que 1 tesla es la intensidad de un campo magnético perpendicular a una corriente de 1 amperio que está sometida a una fuerza de 1 newton por cada metro de conductor:

$$1 \text{ T} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ A} \cdot 1 \text{ m}}$$

unidad que es el gauss, de tal modo que  $1 \text{ T} = 10^4 \text{ gauss}$ .

### Aplicaciones

El efecto de un campo magnético sobre cargas en movimiento es de gran importancia por las aplicaciones actuales que tiene en el ciclotrón, el espectrógrafo de masas, etc.

## Creación de campos magnéticos

Hasta ahora, una vez definido el campo magnético  $\mathbf{B}$  se había estudiado el efecto que producía sobre cargas eléctricas en movimiento, pero ahora se va a analizar de qué forma puede crearse un campo.

Como se recordará, fue Oersted, en

1820, quien descubrió que las corrientes eléctricas también son capaces de producir efectos magnéticos, es decir, que una corriente eléctrica puede ejercer fuerzas sobre los imanes del mismo tipo que las que unos imanes ejercen sobre otros. De esta forma, los efectos magnéticos de los imanes se deben a corrientes eléctricas microscópicas en su interior.

### Ley de Biot y Savart

Así pues, la corriente eléctrica crea un campo magnético a su alrededor determinado por la ley de Biot y Savart:

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu \cdot I}{4 \cdot \pi \cdot r^3} \cdot d\mathbf{l} \times \mathbf{r}$$

que es el valor del campo elemental  $d\mathbf{B}$  creado por un trozo elemental de conductor  $d\mathbf{l}$ , recorrido por una intensidad de corriente constante  $I$  en un punto situado a una distancia  $r$  del conductor. El módulo de este campo elemental sería:

$$dB = \frac{\mu}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot I \cdot dl \cdot \sin \alpha$$

siendo  $\alpha$  el ángulo formado por  $d\mathbf{l}$  y  $\mathbf{r}$ , vector de posición del punto donde queremos calcular el campo respecto del conductor.

### Permeabilidad magnética

La constante  $\mu$  se denomina permeabilidad magnética y sólo depende del medio donde se crea el campo magnético. Si se trata del vacío y en el sistema internacional tiene el valor de:  $\mu_0 = 4\pi/10^7 \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$

### Aplicaciones de la ley de Biot y Savart

Una aplicación de la anterior ley es la del cálculo de campos magnéticos creados por conductores rectilíneos, espiras y solenoides.

## Interpretación de la imanación

Tanto una espira como un solenoide, al

ser recorridos por una corriente eléctrica se convierten en imanes, por lo que si dos espiras o solenoides se acercan entre sí los efectos de atracción y repulsión ocurren como si de imanes se tratara, así como al enfrentar una bobina y un imán cualquiera. Este paralelismo lleva a consideraciones sobre el carácter magnético de la materia, ya que todos sus electrones poseen un momento angular, denominado *espín*, puesto que giran con respecto a cierto eje, y esa carga giratoria puede considerarse como una espira infinitesimal, que al sumar sus efectos con otras se comporta como un solenoide. Esta interpretación clásica no está demasiado de acuerdo con la física cuántica moderna, pero lo cierto es que el magnetismo de las partículas elementales libres está íntimamente ligado a su momento angular o espín.

### Tipos de materiales magnéticos

Todos los cuerpos tienen propiedades magnéticas, pero los que señalan de un modo intenso la presencia de un campo magnético, como el hierro, se denominan *ferromagnéticos*, en ellos  $\mu$  es mucho mayor que  $\mu_0$ . Los *paramagnéticos*, que tienen una  $\mu \geq \mu_0$  y, por tanto, el campo en su interior es ligeramente superior al que existe en el vacío, como el cromo o el manganeso; y los *diamagnéticos*, que tienen una  $\mu \leq \mu_0$ , y en ellos el campo magnético es ligeramente inferior al que existe en el vacío, como el oro o la plata.

## Flujo magnético

Al ser el campo proporcional a la densidad de líneas de fuerza, el producto del campo por la superficie es un buen índice del número de líneas de fuerza que atraviesan dicha superficie. A ese índice se le denomina flujo del campo magnético  $\mathbf{B}$  a través de la superficie  $S$ :

$$\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S}$$

Si se trata de una superficie cualquiera y de un campo variable, podemos dividir la superficie en elementos infinitesimales y calcular el valor de la suma de todos los flujos elementales:

$$\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$