

## TEMA 4. FUENTES DE CAMPO MAGNÉTICO.

Física

# Índice

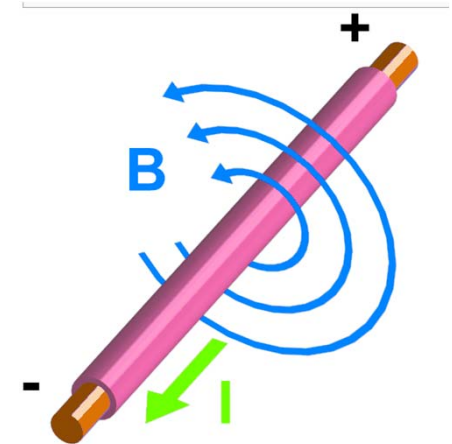
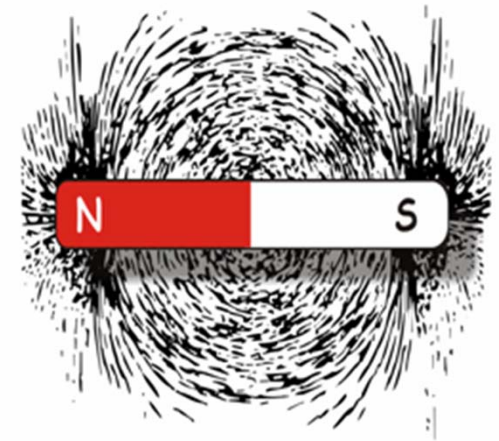
1. Introducción.
2. Campo magnético creado por una carga en movimiento.
3. Campo creado por un elemento de corriente: Ley de Biot-Savart.
4. Fuerza entre dos hilos de corriente.
5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.
6. Campo magnético en la materia.
  1. Vector Imanación  $\mathbf{M}$ .
  2. Tipos de materiales por su comportamiento magnético.

# Índice

1. **Introducción.**
2. Campo magnético creado por una carga en movimiento.
3. Campo creado por un elemento de corriente: Ley de Biot-Savart.
4. Fuerza entre dos hilos de corriente.
5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.
6. Campo magnético en la materia.
  1. Vector Imanación  $\mathbf{M}$ .
  2. Tipos de materiales por su comportamiento magnético.

# 1. Introducción al magnetismo.

- Las primeras evidencias del campo magnético se tuvieron con campos creados por imanes.
- En el siglo XIX se comprueba que el origen del campo magnético es cualquier carga eléctrica en movimiento:
  - ▣ Cualquier conductor recorrido por una corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético.



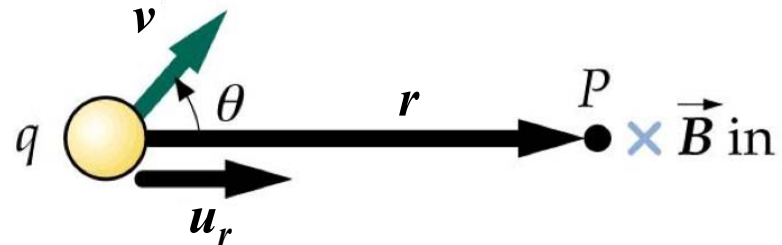
# Índice

1. Introducción.
2. Campo magnético creado por una carga en movimiento.
3. Campo creado por un elemento de corriente: Ley de Biot-Savart.
4. Fuerza entre dos hilos de corriente.
5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.
6. Campo magnético en la materia.
  1. Vector Imanación  $\mathbf{M}$ .
  2. Tipos de materiales por su comportamiento magnético.

## 2. Campo magnético creado por una carga en movimiento.

- Una carga eléctrica que se mueve con vector de velocidad  $\mathbf{v}$ , crea en todos los puntos a su alrededor un campo magnético.
- En un punto concreto P, el vector campo magnético será:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{u}_r}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{r}}{r^3}$$



- Siendo:
  - $\mathbf{u}_r$  : vector unitario del punto donde está la carga al punto P.
  - $r$  : distancia de la carga al punto donde se calcula el campo.
  - $\mu_0$ : permeabilidad magnética del vacío.
- La dirección y el sentido de  $\mathbf{B}$  en el punto P nos lo da el resultado del producto vectorial:
  - Dirección perpendicular al plano formado por  $\mathbf{v}$  y P.
  - Sentido según la regla de la mano derecha, girando de  $\mathbf{v}$  a P.

## 2. Campo magnético creado por una carga en movimiento.

### Ejemplo (problema n°1 enunciados campo magnético. Fuentes del campo magnético)

- Un protón que se mueve con una velocidad  $\mathbf{v} = (1 \cdot 10^{-4} \mathbf{i} + 2 \cdot 10^{-4} \mathbf{j})$  m/s está localizado en  $x = 3$  m, e  $y = 4$  m en un cierto instante. Determinar el campo magnético en las siguientes posiciones:

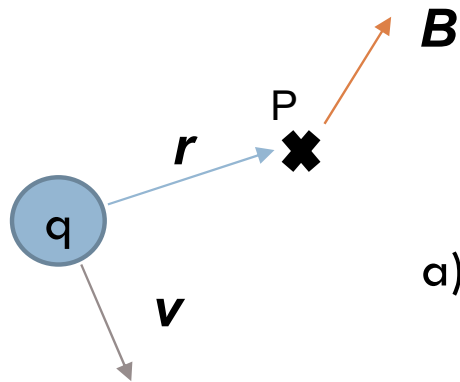
- a.  $x = 2$  m,  $y = 2$  m
- b.  $x = 6$  m,  $y = 4$  m
- c.  $x = 3$  m,  $y = 6$  m

Datos:

$$q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$$

## 2. Campo magnético creado por una carga en movimiento.



$$\mathbf{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{u}_r}{r^2} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{r}}{r^3}$$

$$\text{a) } \mathbf{B} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4\pi} \cdot \frac{1.6 \cdot 10^{-19}}{(\sqrt{5})^3} \cdot (\mathbf{i} + 2\mathbf{j}) \cdot 10^{-4} \times (-\mathbf{i} - 2\mathbf{j})$$

$$\mathbf{r} = -\mathbf{i} - 2\mathbf{j}$$

$$r = \sqrt{1 + 4} = \sqrt{5} \text{ m}$$

$$\boxed{\mathbf{r} \parallel \mathbf{v} \rightarrow \mathbf{B} = 0}$$

$$\text{b) } \mathbf{r} = 3\mathbf{i}$$

$$r = 3 \text{ m}$$

$$\mathbf{B} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4\pi} \cdot \frac{1.6 \cdot 10^{-19}}{3^3} \cdot (\mathbf{i} + 2\mathbf{j}) \cdot 10^{-4} \times 3\mathbf{i}$$

$$\boxed{\mathbf{B} = -0.356 \cdot 10^{-30} \mathbf{k} \text{ T}}$$

$$\text{c) } \mathbf{r} = 2\mathbf{j}$$

$$r = 2 \text{ m}$$

$$\mathbf{B} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4\pi} \cdot \frac{1.6 \cdot 10^{-19}}{2^3} \cdot (\mathbf{i} + 2\mathbf{j}) \cdot 10^{-4} \times 2\mathbf{j}$$

$$\boxed{\mathbf{B} = 4 \cdot 10^{-31} \mathbf{k} \text{ T}}$$



# Índice

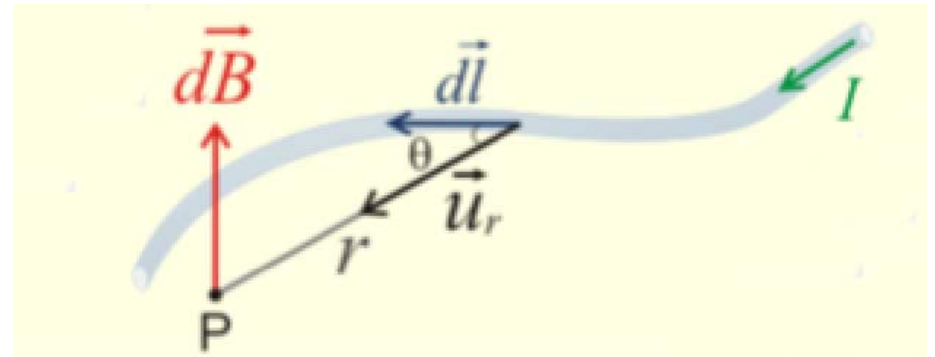
1. Introducción.
2. Campo magnético creado por una carga en movimiento.
3. Campo creado por un elemento de corriente: Ley de Biot-Savart.
4. Fuerza entre dos hilos de corriente.
5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.
6. Campo magnético en la materia.
  1. Vector Imanación  $\mathbf{M}$ .
  2. Tipos de materiales por su comportamiento magnético.

### 3. Campo magnético creado por un elemento de corriente: Ley de Biot-Savart.

- Sea un hilo conductor, de sección  $S$ , por el que circula una intensidad de corriente  $I$ .
- Por el hilo circulan  $n \cdot q$  cargas por unidad de volumen, a velocidad  $v$ :

$$I = n \cdot q \cdot S \cdot v$$

- Las cargas contenidas en un elemento diferencial de conductor  $d\mathbf{l}$  crean un campo  $d\mathbf{B}$  en el punto  $P$ :



$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{u}_r}{r^2} n \cdot S \cdot d\mathbf{l} \quad \Rightarrow \quad d\mathbf{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{q \cdot n \cdot S \cdot v \cdot d\mathbf{l} \times \mathbf{u}_r}{r^2}$$

$$\Rightarrow \quad d\mathbf{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I \cdot d\mathbf{l} \times \mathbf{u}_r}{r^2}$$

Ley de Biot-Savart

$$\Rightarrow \quad \mathbf{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \int \frac{I \cdot d\mathbf{l} \times \mathbf{u}_r}{r^2}$$

Campo creado por todo el conductor en el punto P

# ANALOGÍAS Y DIFERENCIAS ENTRE CAMPO ELÉCTRICO Y CAMPO MAGNÉTICO

## Analogías

- ▣ Ambos decrecen con el cuadrado de la distancia.
- ▣ Tienen una constante de proporcionalidad definida.

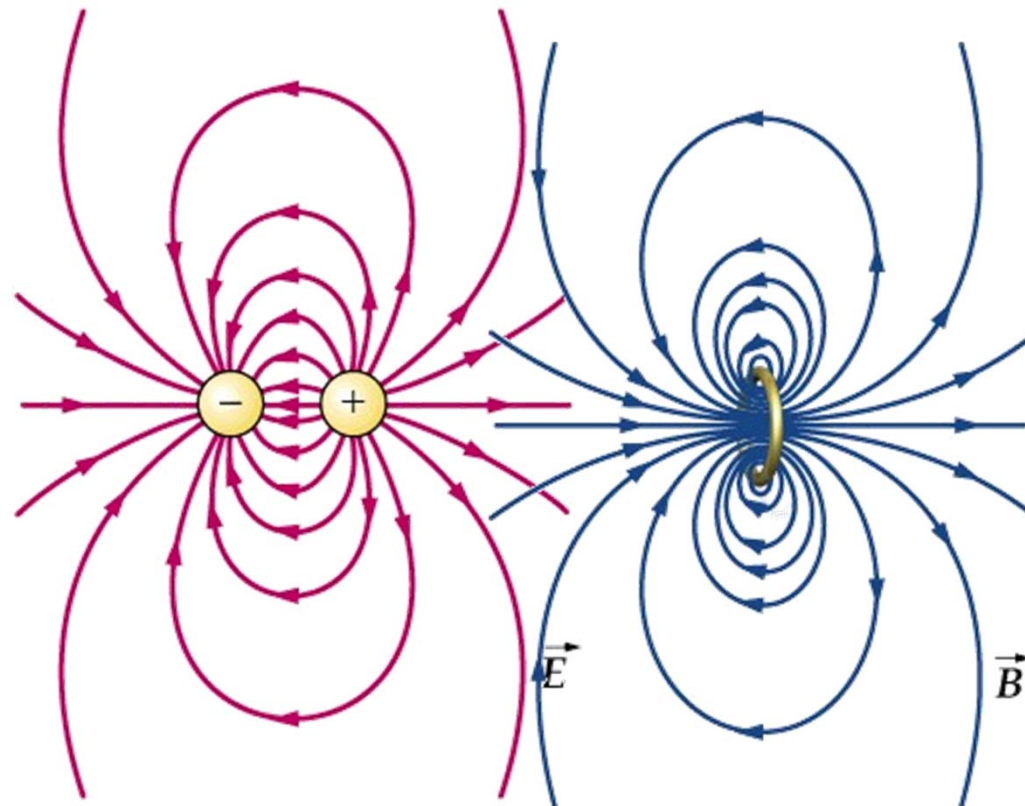
## Diferencias

- ▣ El campo electrostático es conservativo mientras que el campo magnético **no es conservativo**.
- ▣ La dirección de  $\mathbf{E}$  es radial, mientras que la de  $\mathbf{B}$  es perpendicular al plano que contiene a  $\mathbf{l}$  y  $d\mathbf{l}$ .
- ▣ La fuente de campo eléctrico es la carga puntual ( $q$ ), mientras que, para el campo magnético, es la carga móvil ( $q.v$ ) o un elemento de corriente ( $\mathbf{l}$  y  $d\mathbf{l}$ ).
- ▣ Las líneas de campo eléctrico tienen la misma dirección que la fuerza eléctrica sobre una carga positiva, mientras que las del campo magnético son perpendiculares a la fuerza magnética sobre una carga móvil.
- ▣ Las líneas de campo eléctrico empiezan en las cargas positivas y acaban en las negativas, mientras que las del campo magnético son líneas cerradas.

# ANALOGÍAS Y DIFERENCIAS ENTRE CAMPO ELÉCTRICO Y CAMPO MAGNÉTICO

## Diferencias

- No existen puntos a partir de los cuales líneas de campo magnético convergen o divergen  **No existen monopolos magnéticos**



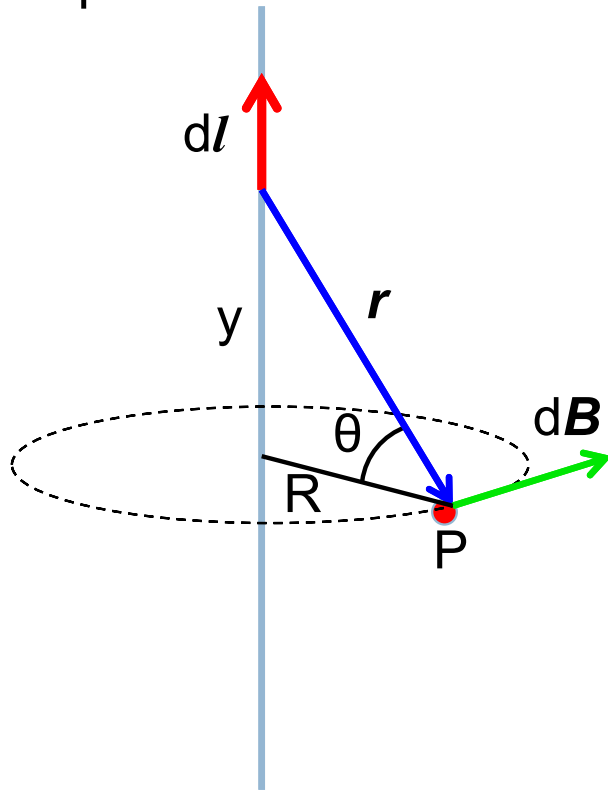
# ANALOGÍAS Y DIFERENCIAS ENTRE CAMPO ELÉCTRICO Y CAMPO MAGNÉTICO

- Dirección:
  - ▣ Fuerza eléctrica:  $\mathbf{F}_e // \mathbf{E}$
  - ▣ Fuerza magnética:  $\mathbf{F}_m \perp \mathbf{B}$
- Trabajo:
  - ▣ Fuerza eléctrica:  $W_e \neq 0$
  - ▣ Fuerza magnética:  $W_m = 0$
- La fuerza magnética no origina cambios en la energía cinética de la partícula cargada en movimiento.

### 3. Campo magnético creado por un elemento de corriente: Ley de Biot-Savart.

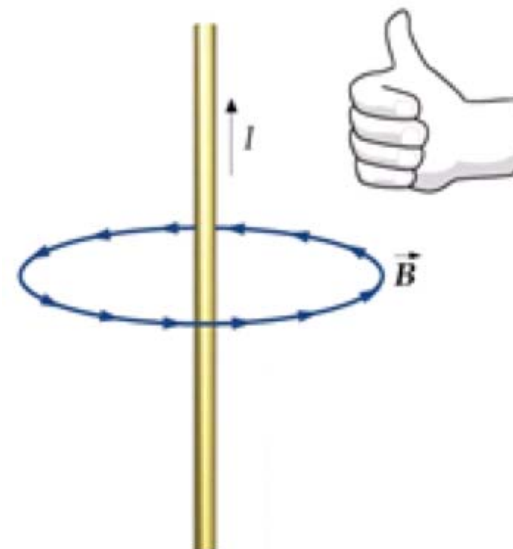
#### Ejemplo.

- Determinar el campo magnético creado por un hilo conductor indefinido por el que circula una intensidad  $I$ .



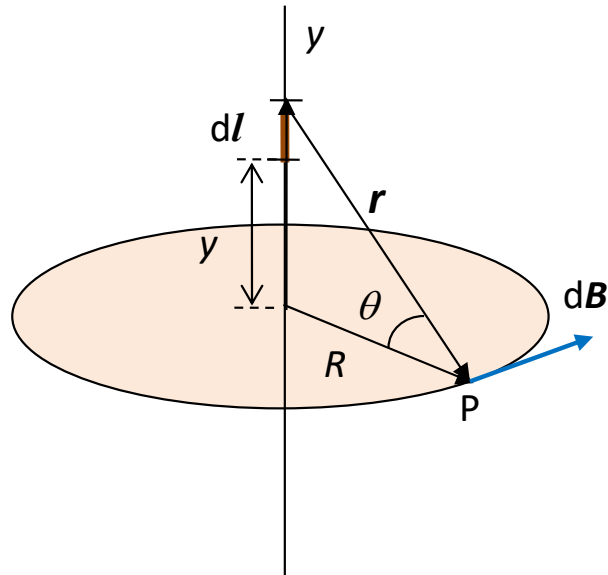
$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot R} \mathbf{u}_t$$

$\mathbf{u}_t$ : vector unitario  
tangente a la  
circunferencia en  
cada punto



Líneas de fuerza de  $\mathbf{B}$ : circunferencias centradas en el hilo.

### 3. Campo magnético creado por un elemento de corriente: Ley de Biot-Savart.



Partiendo de la ley de Biot-Savart

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot d\mathbf{l} \times \mathbf{u}_r}{r^2}$$

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{r^3}$$

$$\sin \alpha = \cos \theta$$

$$dl = dy$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot dl \cdot r'}{r^3} \cos \theta$$

$$B = \int dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{dy \cos \theta}{r^2}$$

$$\cos \theta = \frac{R}{r} \Rightarrow r = \frac{R}{\cos \theta}$$

$$\tan \theta = \frac{y}{R} \Rightarrow dy = R \cdot \frac{1}{\cos^2 \theta} \cdot d\theta$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{R \frac{1}{\cos^2 \theta} \cdot d\theta \cos \theta}{\frac{R^2}{\cos^2 \theta}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos \theta}{R} d\theta$$

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 I}{2\pi \cdot R} \mathbf{u}_t}$$

# Índice

1. Introducción.
2. Campo magnético creado por una carga en movimiento.
3. Campo creado por un elemento de corriente: Ley de Biot-Savart.
4. Fuerza entre dos hilos de corriente.
5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.
6. Campo magnético en la materia.
  1. Vector Imanación  $\mathbf{M}$ .
  2. Tipos de materiales por su comportamiento magnético.



## 4. Fuerza entre dos hilos de corriente.

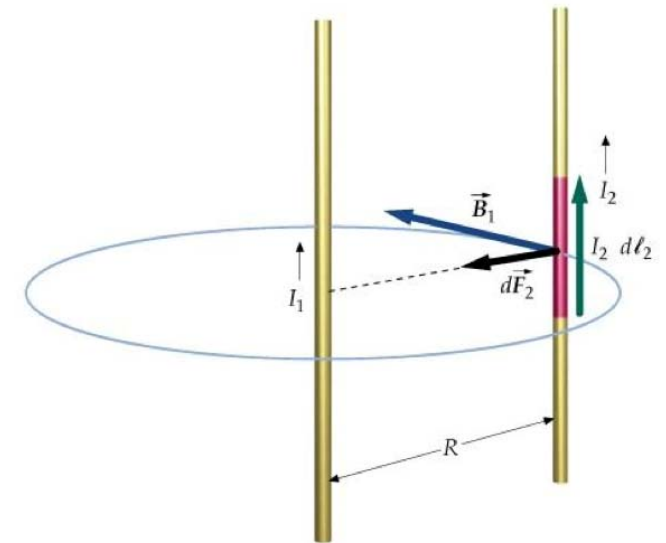
- Dados dos conductores paralelos por los que circulan sendas intensidades  $I_1$  e  $I_2$ , un  $d\mathbf{l}$  de  $I_2$  se encuentran sometido a una fuerza debida al campo magnético que crea el conductor  $I_1$ :  $d\mathbf{F} = I_2(d\mathbf{l} \times \mathbf{B}_1)$

siendo  $B_1 = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot R}$

- Como  $d\mathbf{l} \perp \mathbf{B} \rightarrow \frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi R}$

- Esta fuerza por unidad de longitud de conductor es atractiva si las intensidades circulan en el mismo sentido y repulsivas si circula en sentido contrario.

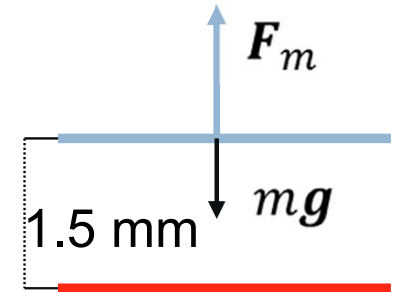
□  $\mu_0$  (permeabilidad magnética del vacío) =  $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$



## 4. Fuerza entre dos hilos de corriente.

### Ejemplo.

- Dos barras rectilíneas, horizontales y paralelas, de 50 cm de longitud y separadas 1.5 mm situadas en un plano vertical, transportan corrientes de 15 A de intensidad de sentidos opuestos. ¿Qué masa debe situarse en la barra superior para equilibrar la fuerza magnética de repulsión?



La fuerza magnética sobre 50 cm de la barra superior es:

$$F_m = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi R} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 15 \cdot 15 \cdot 0.50}{2\pi \cdot 1.5 \cdot 10^{-3}} = 1.5 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

El peso (hacia abajo) debe equilibrar la fuerza magnética (hacia arriba).  
Despejando, se tiene:

$$F_m = mg \rightarrow 1.5 \cdot 10^{-2} = m \cdot 9.8 \rightarrow m = 1.53 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

# Índice

1. Introducción.
2. Campo magnético creado por una carga en movimiento.
3. Campo creado por un elemento de corriente: Ley de Biot-Savart.
4. Fuerza entre dos hilos de corriente.
5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.
6. Campo magnético en la materia.
  1. Vector Imanación  $\mathbf{M}$ .
  2. Tipos de materiales por su comportamiento magnético.

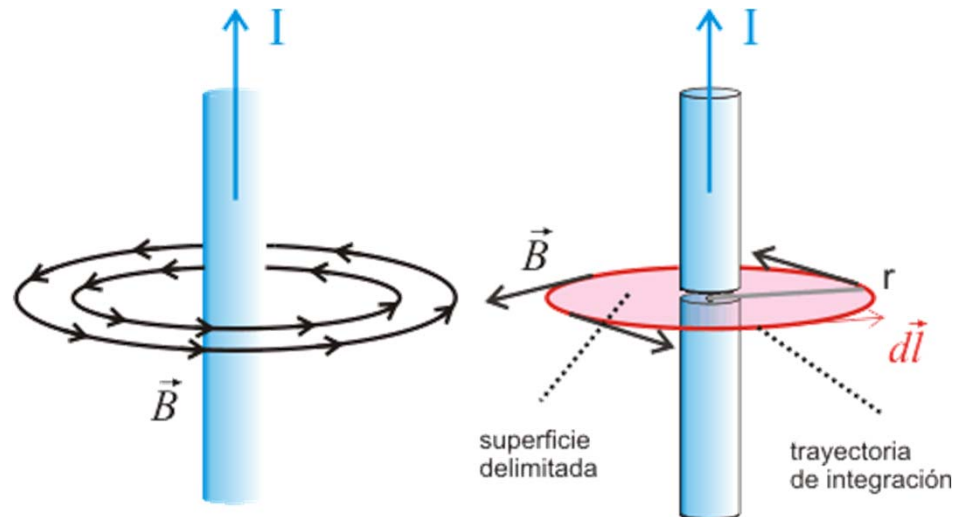
## 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.

Circulación del campo magnético a lo largo de cualquier trayectoria cerrada:

$$C = \int_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$$

**El campo magnético no es conservativo**

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{B} // d\mathbf{l} \rightarrow \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = B \cdot dl \\ B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \end{array} \right\} C = \int_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \int_C \frac{\mu_0 I}{2\pi r} dl = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \cdot 2\pi r = \mu_0 I$$



## 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.

“La integral curvilínea de  $\mathbf{B}$  a lo largo de una línea cerrada  $C$  es igual a  $\mu_0$  veces la intensidad de corriente que atraviesa una superficie cualquiera limitada por la línea cerrada”

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \cdot \sum I$$

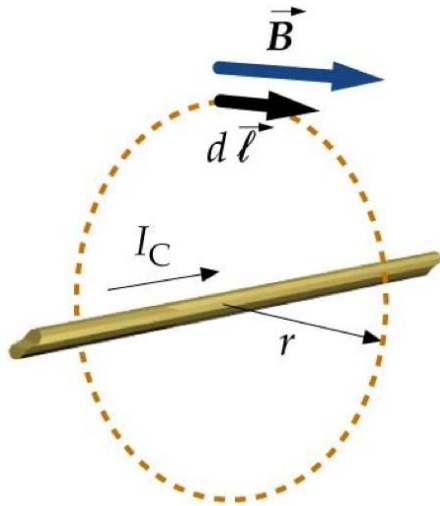
- El teorema enunciado de esta manera sólo es válido para el vacío y con corrientes permanentes o estacionarias.
- El teorema nos permite calcular el campo magnético que crean corrientes de cierta simetría de una manera fácil, a igual que permitía el Teorema de Gauss para el cálculo del campo eléctrico.

## 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.

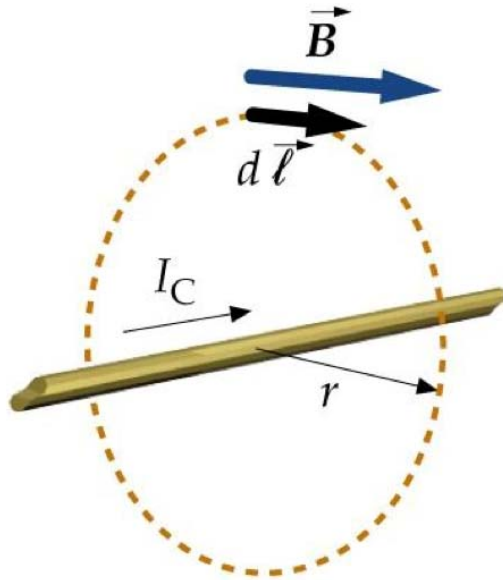
### Ejemplo.

- Determinar el campo magnético creado por un hilo conductor indefinido por el que circula una intensidad  $I$ .

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r} \mathbf{u}_t$$



## 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.



$I_c$ : Intensidad que atraviesa la curva

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \cdot I_c$$

$$\mathbf{B} \parallel d\mathbf{l}$$

$B = \text{cte}$  en todo el camino cerrado representado

$$\Rightarrow B \cdot \int dl = B \cdot 2\pi r = \mu_0 \cdot I_c$$

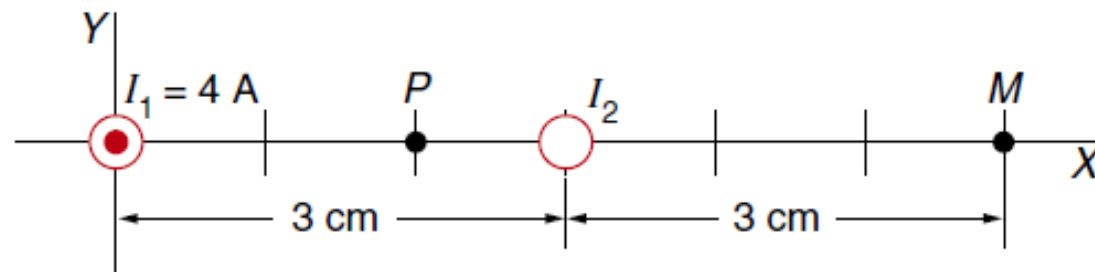
La ley de Ampère, relaciona la componente tangencial del campo magnético, alrededor de la curva cerrada  $C$ , con la corriente  $I_c$  que atraviesa dicha curva:

$$B = \frac{\mu_0 I_c}{2\pi r}$$

## 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.

### Ejemplo.

- Las corrientes rectilíneas  $I_1$  e  $I_2$  de la figura son perpendiculares al plano del papel:



Calcula el valor y el sentido de la corriente  $I_2$  para que el campo magnético en el punto  $P$  sea nulo. ¿Cuál es el valor del campo en el punto  $M$ ?



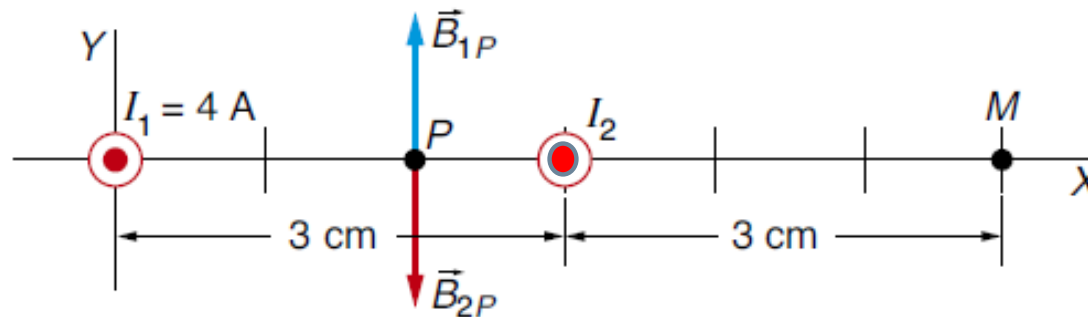
## 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.

El campo producido por  $I_1$  en P está dirigido hacia arriba, y su valor es:

$$B_{1P} = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi d_{1P}} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ T}.$$

Para que el campo se anule en el punto P, se debe cumplir que:

$$\mathbf{B}_P = \mathbf{B}_{1P} + \mathbf{B}_{2P} = 0 \quad \mathbf{B}_{2P} = -\mathbf{B}_{1P}$$



Por tanto, ambos vectores deben tener el mismo módulo:

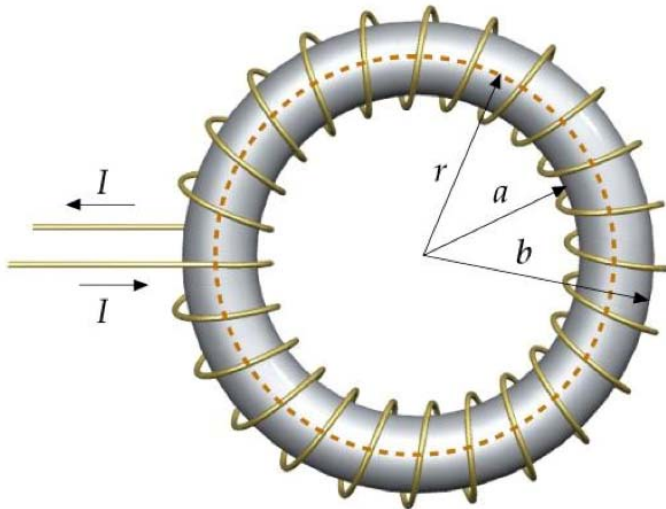
$$B_{2P} = B_{1P} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ T}; \quad I_2 = \frac{B_{2P} \cdot 2\pi d_{2P}}{\mu_0} = \frac{4 \cdot 10^{-5} \cdot 2\pi \cdot 0.01}{4\pi \cdot 10^{-7}} = \underline{2 \text{ A}}$$

$I_2$  debe de salir del plano del papel

## 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.

### Ejemplo.

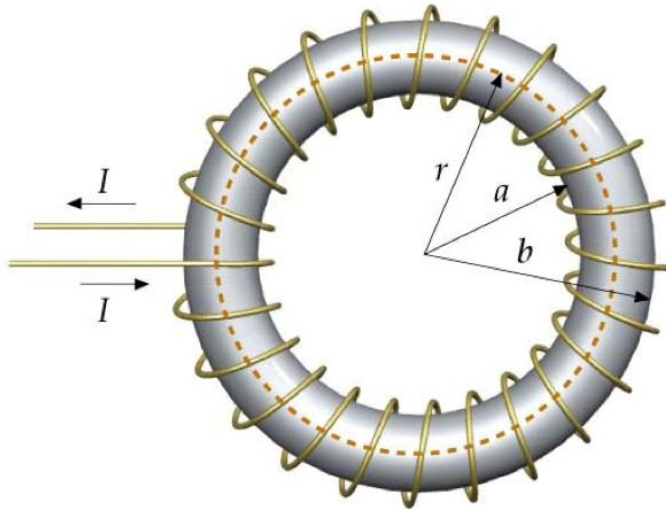
- Determinar el campo magnético creado por un hilo conductor indefinido por el que circula una intensidad  $I$ , enrollado en forma de toroide, con  $N$  espiras, de radio interior  $a$  y radio exterior  $b$ .



$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r} \mathbf{u}_t$$

$r$ : radio de la circunferencia media del toroide.

## 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.



Según la ley de Ampère

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \cdot \sum I_c \quad \mathbf{B} \parallel d\mathbf{l}$$

$$\oint_c \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = B \oint_c d\mathbf{l}$$

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 NI$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

Como curva de integración tomamos una circunferencia de radio  $r$  centrada en el toroide.  $B$  es constante en todo el círculo.

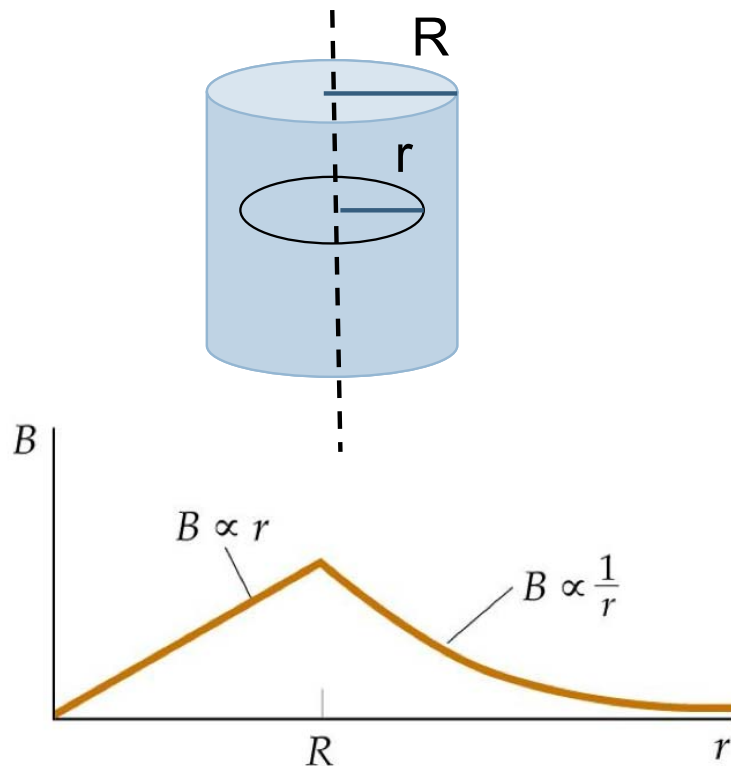
Casos particulares  $\begin{cases} r < a \\ r > b \end{cases} \Rightarrow B = 0 \Rightarrow$  No existe corriente a través del círculo de radio  $r$   
 $\Rightarrow$  La corriente que entra es igual a la que sale

Si  $(b - a) \ll \text{radio medio} \Rightarrow B$  es uniforme en el interior.

## 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.

### Ejemplo.

- Determinar el campo magnético creado por un cable conductor macizo largo de radio  $R$  recorrido por una corriente  $I$  distribuida uniformemente en toda su área transversal.



- En un punto interior al conductor ( $r < R$ )

$$B = \frac{\mu_o \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot R^2} r$$

- En un punto de la superficie del conductor

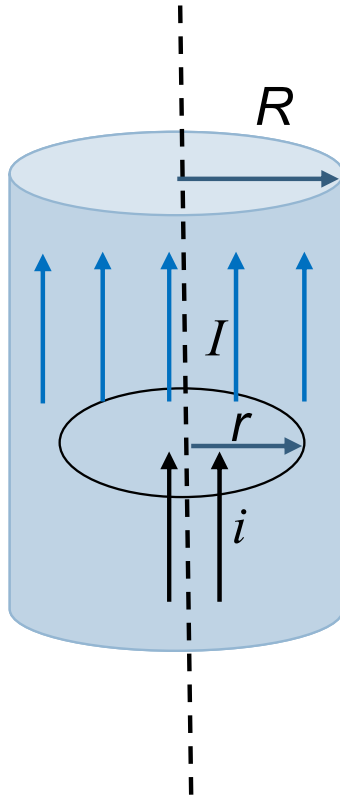
$$B = \frac{\mu_o \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

- En un punto exterior al conductor ( $r > R$ )

$$B = \frac{\mu_o \cdot I}{2 \cdot \pi r}$$

# 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.

*Esto es*



La intensidad que pasa por una sección de conductor es proporcional a la sección

$$\pi R^2 \rightarrow I$$

$$\pi r^2 \rightarrow i$$

$$i = \frac{\pi r^2 I}{\pi R^2} = \frac{r^2 I}{R^2}$$

En un punto interior  $r < R$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \cdot i$$

$$\left. \begin{array}{l} B = \text{cte} \\ \mathbf{B} \parallel d\mathbf{l} \end{array} \right\} B \cdot 2\pi r = \mu_0 \frac{r^2 I}{R^2}$$

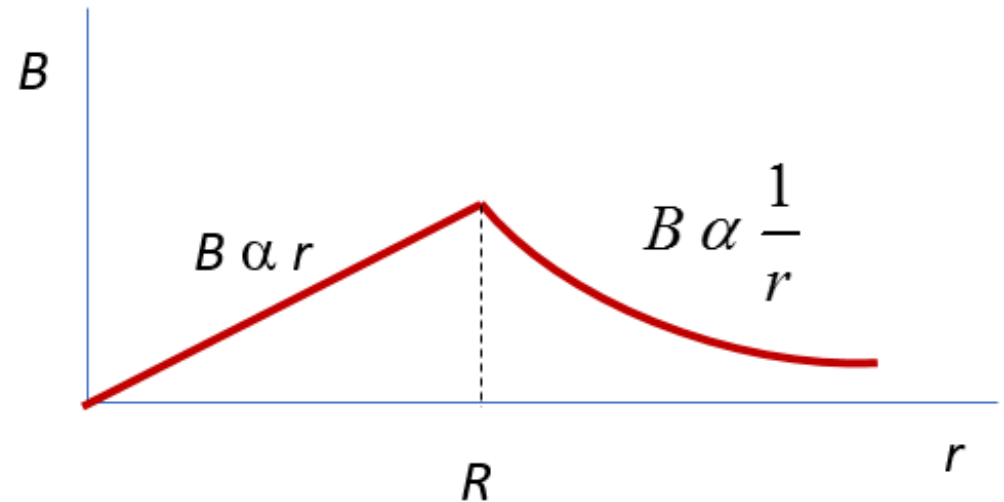
$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{R^2} r$$

$$\begin{aligned} \oint \vec{B} \cdot \vec{dl} &= \mu_0 \sum I \\ \vec{B} \parallel \vec{dl} \\ \oint B dl &= \mu_0 i \\ B = \text{cte} \\ B \cdot 2\pi r &= \mu_0 \frac{r^2 I}{R^2} \\ B &= \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{R^2} r \end{aligned}$$

# 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.

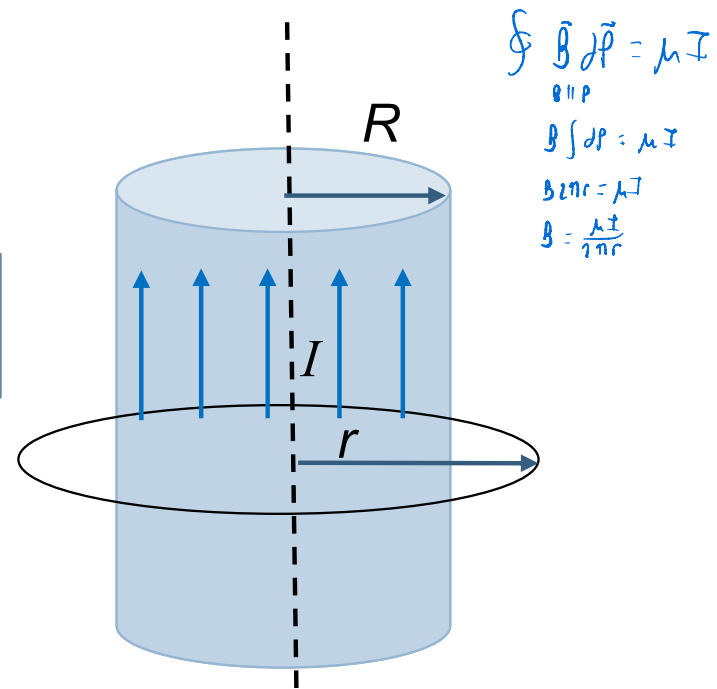
En la superficie  $r = R$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$



En un punto exterior  $r > R$

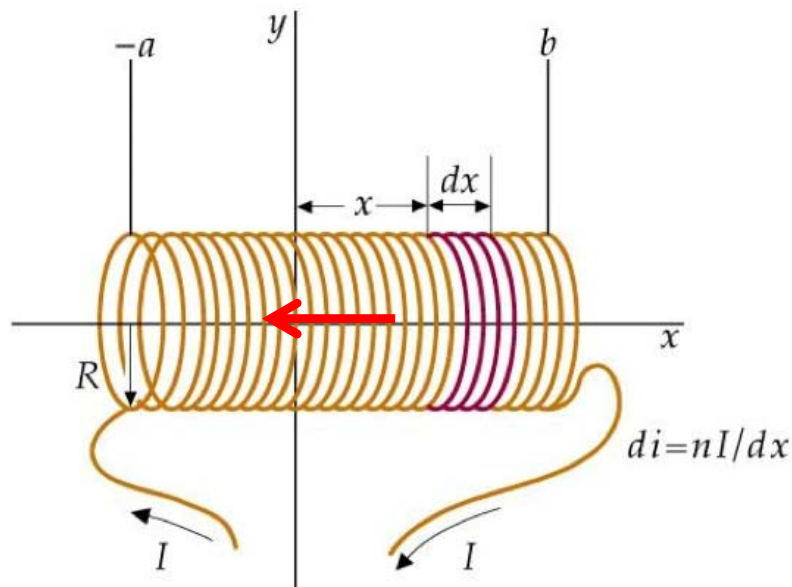
$$\left. \begin{array}{l} B = cte \\ \mathbf{B} \parallel d\mathbf{l} \end{array} \right\} \rightarrow B \cdot 2\pi r = \mu_0 \cdot I \rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$



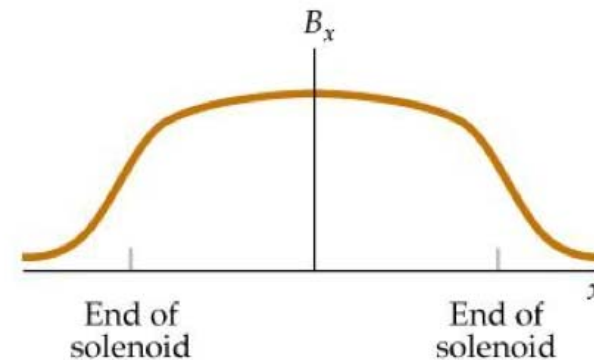
## 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.

### Ejemplo.

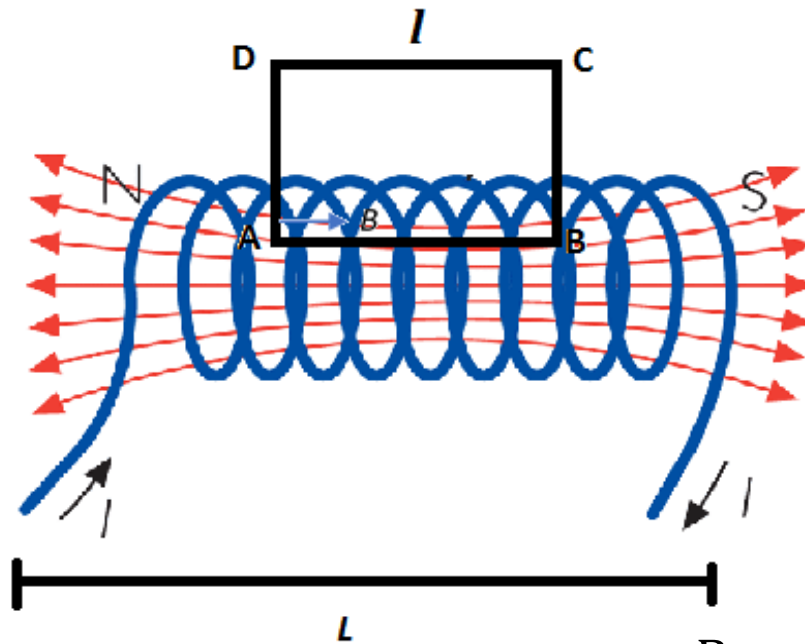
- Determinar el campo magnético en el interior de un solenoide de  $N$  espiras, longitud  $L$ , por el que circula una intensidad de corriente  $I$ .



$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{L}$$



## 5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.



Según la ley de Ampère

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \cdot \sum I$$

$$\int_A^B \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} + \int_B^C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}^0 + \int_C^D \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}^0 + \int_D^A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}^0 = \mu_0 \sum I$$

$\mathbf{B} \perp d\mathbf{l}$        $\mathbf{B} \approx 0$

$$B \cdot l = \mu_0 \cdot x \cdot I \rightarrow B \cdot l = \mu_0 \frac{N \cdot l}{L} I$$

$$N \rightarrow L$$

$$x \rightarrow l$$

$$B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{L}$$



# Índice

1. Introducción.
2. Campo magnético creado por una carga en movimiento.
3. Campo creado por un elemento de corriente: Ley de Biot-Savart.
4. Fuerza entre dos hilos de corriente.
5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.
6. Campo magnético en la materia.
  1. **Vector Imanación  $M$ .**
  2. Tipos de materiales por su comportamiento magnético.

## 6.1. Vector Imanación $M$ .

- Las propiedades magnéticas de la materia se explican por el comportamiento de los distintos materiales a un campo magnético exterior.
- Para ver que distintos materiales tienen comportamiento diferente ante un campo magnético, tenemos que estudiar el comportamiento de los átomos ante el campo magnético.
- EL campo magnético creado por una intensidad va a ser diferente en función del material.

MATERIA → ÁTOMOS → MOMENTOS MAGNÉTICOS

- Cada átomo puede tener un momento magnético por el giro de los electrones alrededor del núcleo y por la rotación respecto a sí mismo:  $m_i$
- Así, la materia se puede considerar formada por dipolos magnéticos de momento magnético  $m_i$

## 6.1. Vector Imanación $\mathbf{M}$ .

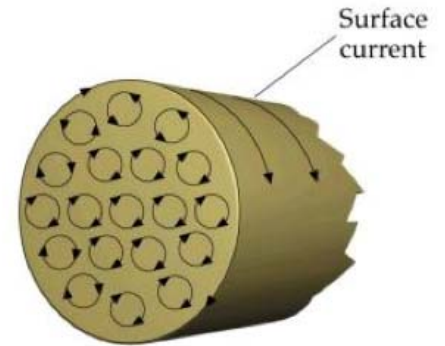
- El estado magnético de un material se caracteriza por la imanación o magnetización, representada por el vector  $\mathbf{M}$ .
- **Imanación:** Momento magnético por unidad de volumen.

$$\mathbf{M} = \frac{d\mathbf{m}}{dV} \quad [\mathbf{M}] = \frac{\text{A} \cdot \text{m}^2}{\text{m}^3} = \text{A} \cdot \text{m}^{-1}$$

- Si para todos los puntos de un material  $\sum \mathbf{m}_i = 0$

➡  $\mathbf{M} = 0$  La materia esta desimanada

- Cuando un cuerpo se coloca en presencia de un campo magnético  $\mathbf{B}_{\text{ext}}$ , el cuerpo se imana en mayor o menor medida; se induce un vector  $\mathbf{M}$ , paralelo a  $\mathbf{B}_{\text{ext}}$ ; se convierte en un imán. Este efecto puede ser temporal o permanente.



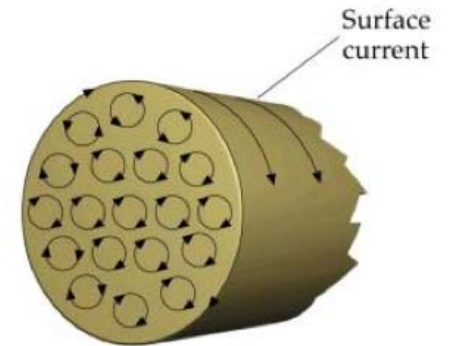
## 6.1. Vector Imanación $\mathbf{M}$ .

$\chi_m$  : susceptibilidad magnética del material

$$\mu_r = 1 + \chi_m$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$\chi_m$  Constante de proporcionalidad que indica el grado de sensibilidad a la magnetización de un material influenciado por un campo magnético.



# Índice

1. Introducción.
2. Campo magnético creado por una carga en movimiento.
3. Campo creado por un elemento de corriente: Ley de Biot-Savart.
4. Fuerza entre dos hilos de corriente.
5. Circulación magnética. Teorema de Ampère.
6. Campo magnético en la materia.
  1. Vector Imanación  $\mathbf{M}$ .
  2. Tipos de materiales por su comportamiento magnético.

## 6.2. Tipos de materiales por su comportamiento magnético.

### Tipos de materiales:

#### □ Paramagnéticos:

- Sus átomos poseen momento magnético débil, orientados de manera aleatoria.
- Si se aplica un campo magnético exterior, estos momentos magnéticos se orientan en la dirección y sentido del campo.
- El material adquiere así una magnetización débil  $M$  en el sentido del campo.
- Por tanto, refuerzan el campo.
- $\chi_m > 0$  Ej: Aire, aluminio, platino...

#### □ Diamagnéticos:

- El momento magnético de sus átomos es 0.
- Cuando se someten a un campo magnético exterior, se inducen momentos magnéticos en sus átomos, que tienen sentido contrario al campo exterior.
- Por tanto, debilitan el campo magnético.
- $\chi_m < 0$  Ej: plata, cobre...

## 6.2. Tipos de materiales por su comportamiento magnético.

### Tipos de materiales:

#### □ **Ferromagnéticos.**

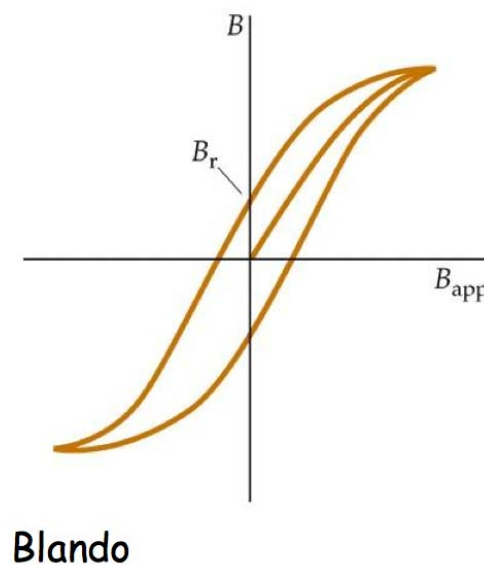
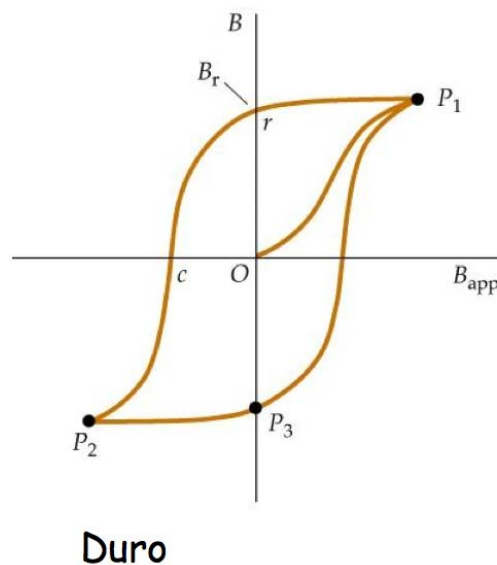
- Los momentos magnéticos de los átomos tienen cierta orientación.
- Estos momentos magnéticos se orientan ante la presencia de un campo exterior, reforzando la magnetización  $\mathbf{M}$  (magnetización intensa).
- Al desaparecer el campo exterior, la magnetización no desaparece.
- La persistencia con la que una sustancia ferromagnética retiene la magnetización se describe clasificándola como:
  - Magnéticamente blanda: se magnetizan con facilidad, pero también pierden rápidamente su magnetismo; la magnetización es destruida por la agitación térmica. Aplicación eléctrica: núcleo de transformadores.
  - Magnéticamente dura: difíciles de magnetizar, pero la magnetismo persiste: imanes permanentes. Aplicación eléctrica: altavoces, motor de arranque de un motor...
- Ej: Hierro dulce, Acero-Silicio

## 6.2. Tipos de materiales por su comportamiento magnético.

### Tipos de materiales:

#### □ Ferromagnéticos.

- La susceptibilidad magnética ( $\chi_m \gg 0$ ) no tiene un valor constante, sino que depende del campo magnético al que se haya expuesto previamente el material.
- La imanación del material aumenta conforme aumenta el campo exterior, hasta alcanzar un valor constante: saturación magnética.
- La imanación depende del ciclo de imanación previo: **histéresis**.





**No dejes de consultar...**

**Accede a la documentación complementaria del tema a través de  
la siguiente dirección web:**

[http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/magnet/magnet\\_portada.html](http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/magnet/magnet_portada.html)

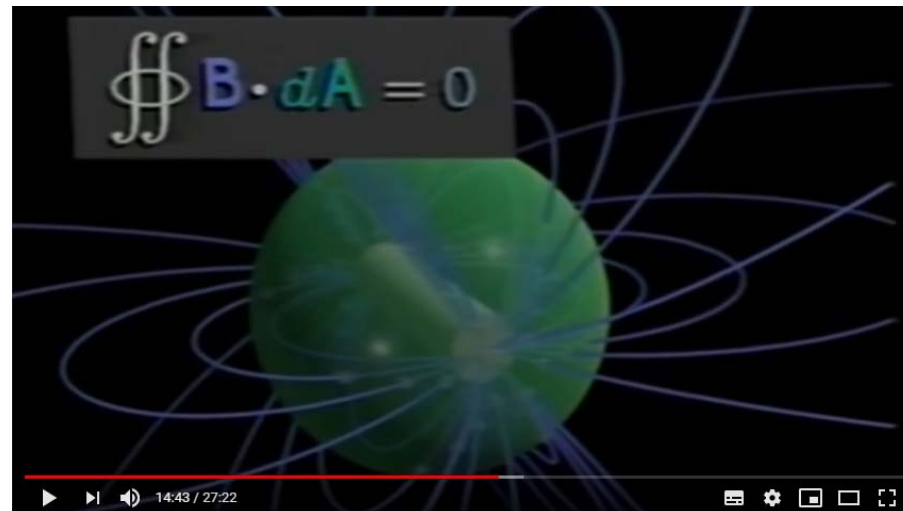


No dejes de ver...

## El Universo Mecánico. Magnetismo

Accede al vídeo a través de la siguiente dirección web:

<https://www.youtube.com/watch?v=3t3SNi3IYEo>



## Bibliografía

- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2005). Física para la ciencia y la tecnología (Vol. 2). Reverté.
- Serway, R. A., Jewett, J. W. (2008). Física para ciencias e ingeniería. Vol. 2 . CENGAGE Learning.
- Alonso, M., E. J. Finn (1989). Física, vol. II, Campos y ondas. Addison-Wesley Iberoamericana.
- Burbano de Ercilla, S., Burbano García, E., Gracia Muñoz, C. (2003). Física General. Tebar.
- Fidalgo, J.A. y Fernández, M. (2006). Física General. Everest.
- Cromer, A.H. (1999). Física en la Ciencia y en la Industria. Reverté.

### **Problemas resueltos**

- Burbano de Ercilla, Burbano García y Gracia Muñoz. Problemas de Física. Tomos I y II. Tebar.
- Gistas, J.A. , A. Laguna y R. López. Problemas de Física. (3 Tomos). Servicio Publicaciones de Universidad de Córdoba.
- Posadillo, C. Campos Electromagnéticos y Teoría de Circuitos. Servicio Publicaciones de Universidad de Córdoba.