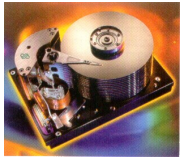
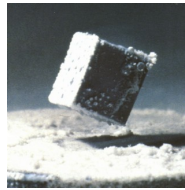
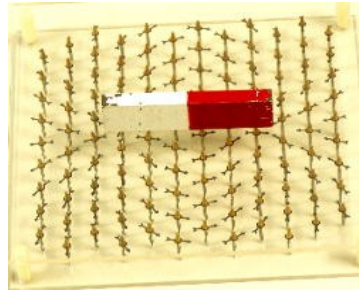


Tema 8. Magnetismo



Disco magnético de 47 Gb



8. Magnetismo

1. Fuerza magnética sobre cargas en movimiento. Campo magnético.
2. Fuerza sobre un elemento de corriente.
3. Acción de un c. magnético uniforme sobre una espira plana.
4. Efecto Hall.
5. Ley de Biot y Savart (corriente rectilínea, espira en su centro).
6. Teorema de Ampère.
7. Materiales. Ferromagnetismo.

Introducción

- Imanes: Se **atraen** o **repelen** entre sí, de manera similar a las cargas
- Polos de un imán: polo **norte** y polo **sur**. (análogos a las cargas + y -)

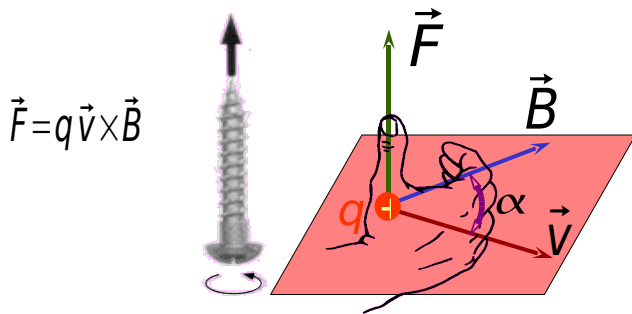


Fuerza magnética sobre cargas en movimiento

- Cuando una **carga** eléctrica q se **mueve**, con velocidad \vec{v} , dentro de un **campo magnético** \vec{B} , sobre ella aparece una **fuerza** \vec{F} que:
 - Es proporcional a q y a \vec{v} .
 - Se anula cuando \vec{v} va en la **dirección de** \vec{B} .
 - Es perpendicular a \vec{B} y a \vec{v} .
 - El sentido de \vec{F} viene definido por la regla de la mano derecha, respecto de \vec{B} y \vec{v} .
 - Es proporcional al **seno** del ángulo que forman \vec{B} y \vec{v} .

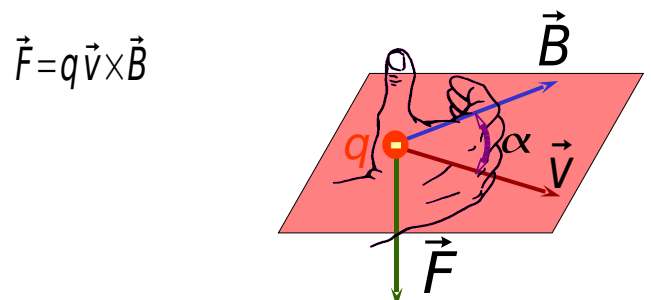
Fuerza magnética sobre cargas en movimiento

- Todas las propiedades anteriores se pueden resumir como:



Fuerza magnética sobre cargas en movimiento

- Evidentemente, la carga debe llevar su signo, por lo que si ésta es negativa, la fuerza cambia de sentido:



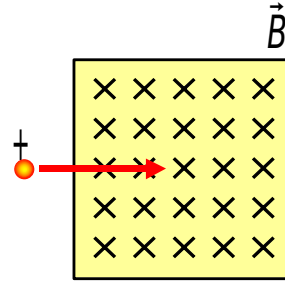
Campo magnético. Unidades

- De la ecuación anterior se derivan las **dimensiones** de \vec{B} :

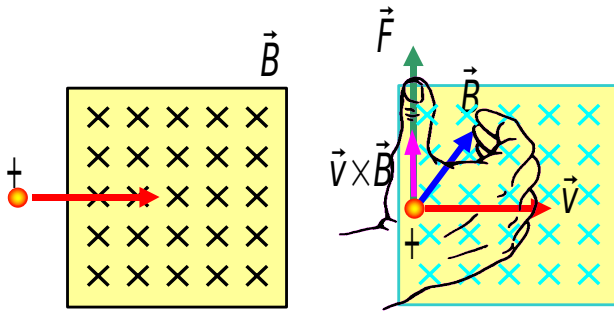
$$[\vec{B}] = \frac{[\vec{F}]}{[q][\vec{v}]} = MT^{-2}I^{-1}$$

- Unidad S.I.: Tesla.
- Otra unidad utilizada: Gauss $1G=10^{-4}T$.
- Campo terrestre: $0,5 \times 10^{-4} T$.
- Campos en laboratorio: *decenas de Teslas*.

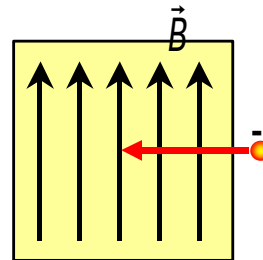
Ejercicio 2a



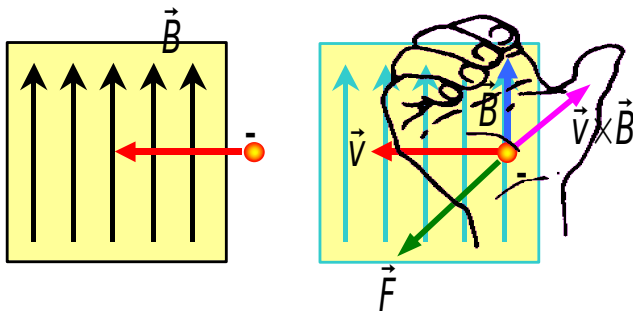
Ejercicio 2a



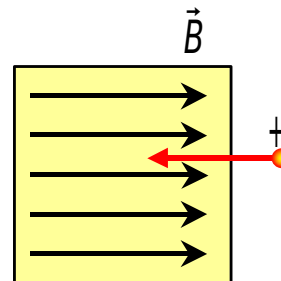
Ejercicio 2b



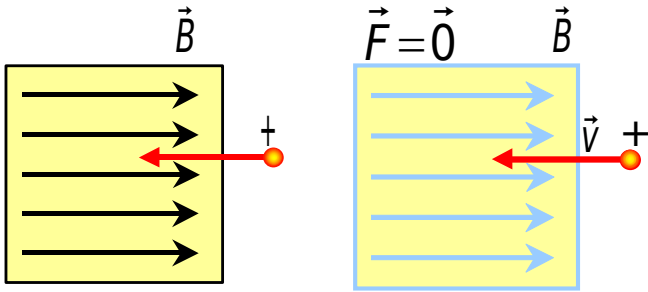
Ejercicio 2b



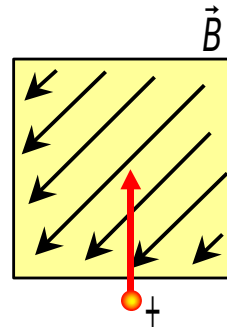
Ejercicio 2c



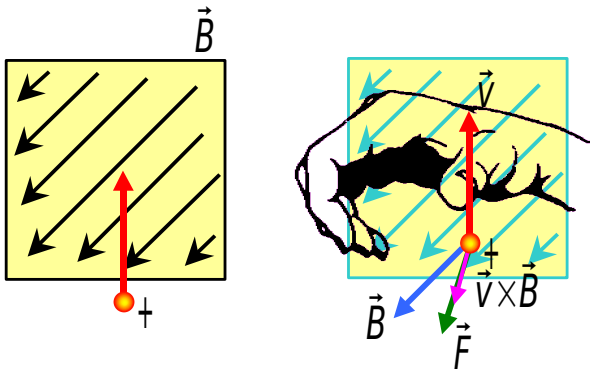
Ejercicio 2c



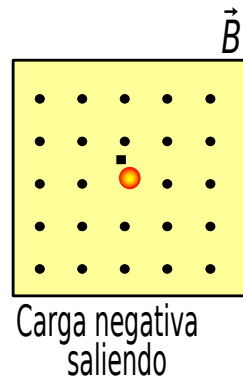
Ejercicio 2d



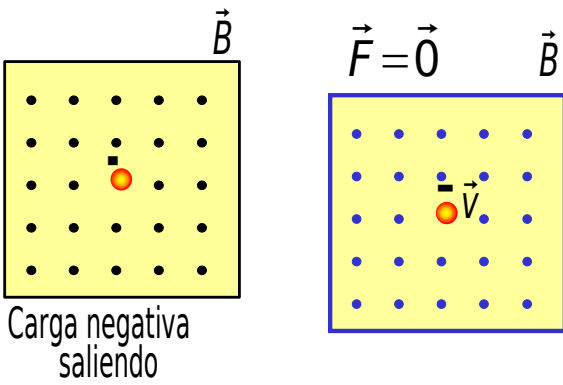
Ejercicio 2d



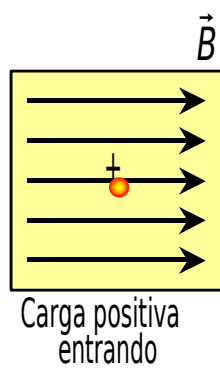
Ejercicio 2e



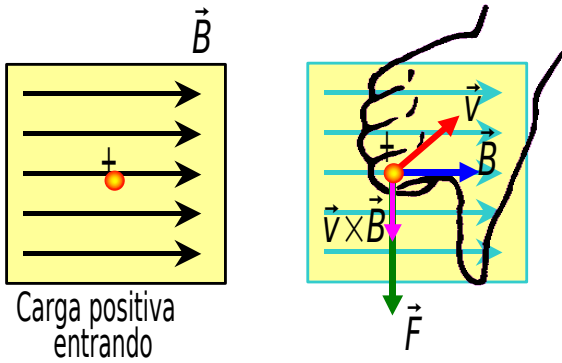
Ejercicio 2e



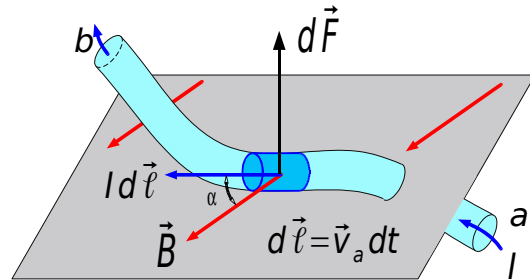
Ejercicio 2f



Ejercicio 2f



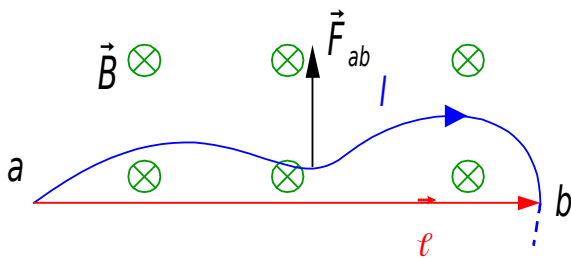
Fuerza sobre un elemento de corriente



$$d\vec{F} = Idt(\vec{v}_a \times \vec{B}) = I(d\vec{\ell} \times \vec{B})$$

$$\vec{F} = \int_a^b (Id\vec{\ell} \times \vec{B}) = I \int_a^b d\vec{\ell} \times \vec{B}$$

Corriente en un campo magnético uniforme

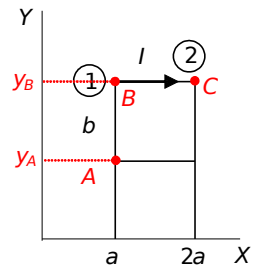


$$\vec{F}_{ab} = \int_a^b d\vec{F} = I \left(\int_a^b d\vec{\ell} \right) \times \vec{B} = I\vec{\ell} \times \vec{B}$$

Problema 15

15. Sea la espira rectangular de la figura de lados a y b , recorrida por una corriente de intensidad I en el sentido indicado, situada en el interior de un campo magnético no uniforme de valor $\vec{B} = B_0 \frac{a}{X} \vec{k}$

Calcula la fuerza que aparece sobre los lados 1 y 2.

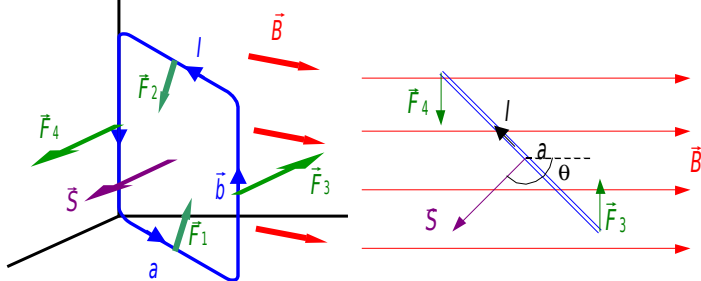


$$\vec{F}_1 = I \int_A^B d\vec{\ell} \times \vec{B} = I \int_{y_A}^{y_B} dy B_0 \frac{a}{X} \vec{j} \times \vec{k} = I \int_{y_A}^{y_B} dy B_0 \frac{a}{a} \vec{i} = IB_0(y_B - y_A) \vec{i} = IB_0 b \vec{i}$$

$$\vec{F}_2 = I \int_B^C d\vec{\ell} \times \vec{B} = I \int_a^{2a} dx B_0 \frac{a}{X} \vec{i} \times \vec{k} = IB_0 a (-\vec{j}) \int_a^{2a} \frac{dx}{X} = IB_0 a (-\vec{j}) \ln x \Big|_a^{2a} = IB_0 a \ln 2 (-\vec{j})$$

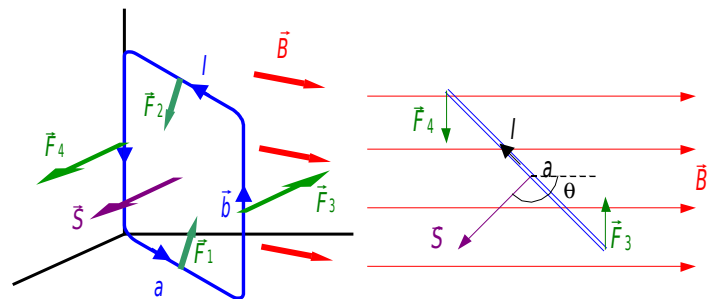
Espira plana

Acción de un campo magnético uniforme sobre una espira plana



$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad \vec{F}_3 = -\vec{F}_4 \quad \sum \vec{F} = 0$$

Espira plana



$$\vec{M}_{34} = \vec{a} \times \vec{F}_3 = I(\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{B}))$$

$$\vec{M}_{12} = \vec{b} \times \vec{F}_2 = I(\vec{b} \times (-\vec{a} \times \vec{B}))$$

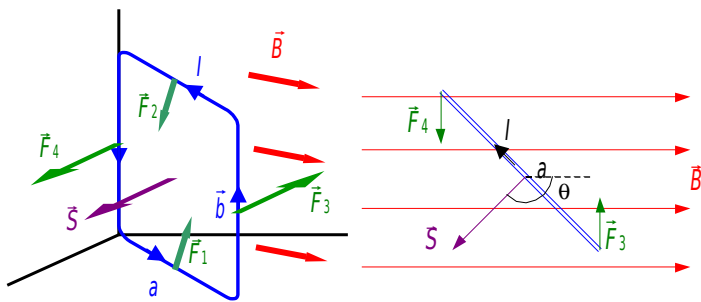
$$\vec{M} = \vec{M}_{34} + \vec{M}_{12}$$

Espira plana

$$\vec{p} = \vec{q} \times (\vec{r} \times \vec{s}) = \begin{vmatrix} \vec{r} & \vec{s} \\ \vec{q} \cdot \vec{r} & \vec{q} \cdot \vec{s} \end{vmatrix} = (\vec{q} \cdot \vec{s}) \vec{r} - (\vec{q} \cdot \vec{r}) \vec{s}$$

$$\begin{aligned} \vec{M}_{34} &= \vec{a} \times \vec{F}_3 = I(\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{B})) \\ \vec{M}_{12} &= \vec{b} \times \vec{F}_2 = I(\vec{b} \times (-\vec{a} \times \vec{B})) \\ \vec{M} &= \vec{M}_{34} + \vec{M}_{12} \end{aligned}$$

Espira plana



$$\vec{m} = I \vec{S} \quad \text{Momento magnético}$$

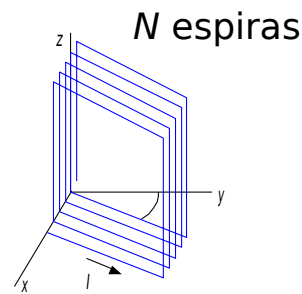
$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B} \quad \text{Momento del par o momento de las fuerzas}$$

Espira plana

$$\begin{aligned} \vec{M}_{34} &= \vec{a} \times \vec{F}_3 = I(\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{B})) \\ \vec{M}_{12} &= \vec{b} \times \vec{F}_2 = I(\vec{b} \times (-\vec{a} \times \vec{B})) \\ \vec{M} &= \vec{M}_{34} + \vec{M}_{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \vec{M} &= \vec{M}_{34} + \vec{M}_{12} = I(\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{B}) - \vec{b} \times (\vec{a} \times \vec{B})) = \\ &= I((\vec{a} \cdot \vec{B}) \vec{b} - (\vec{a} \cdot \vec{b}) \vec{B} - (\vec{b} \cdot \vec{B}) \vec{a} + (\vec{b} \cdot \vec{a}) \vec{B}) = \\ &= I((\vec{a} \cdot \vec{B}) \vec{b} - (\vec{b} \cdot \vec{B}) \vec{a}) = I \vec{B} \times (\vec{b} \times \vec{a}) = I(\vec{a} \times \vec{b}) \times \vec{B} \end{aligned}$$

Espira plana

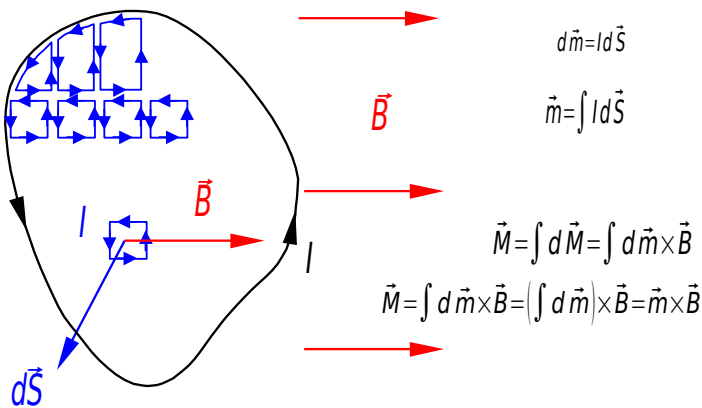


$$\vec{m} = NI \vec{S}$$

$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$$

Espira plana

Acción de un campo magnético uniforme sobre una espira plana de forma arbitraria



$$d\vec{m} = Id\vec{S}$$

$$\vec{m} = \int Id\vec{S}$$

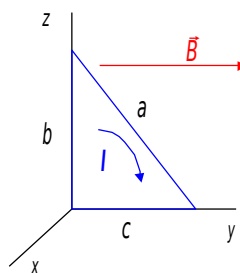
$$\vec{M} = \int d\vec{M} = \int d\vec{m} \times \vec{B}$$

$$\vec{M} = \int d\vec{m} \times \vec{B} = \left(\int d\vec{m} \right) \times \vec{B} = \vec{m} \times \vec{B}$$

Ejemplo 11-3 Problema 14

Sea la espira de la figura de lados a , b y c , por la que circula una intensidad I en el sentido indicado, situada en el interior de un campo magnético \vec{B} .

- Halla:
- Fuerzas magnéticas sobre los lados de la espira.
 - Momento magnético de la espira.
 - Momento resultante de las fuerzas sobre la espira.



Ejemplo 11-3 Problema 14

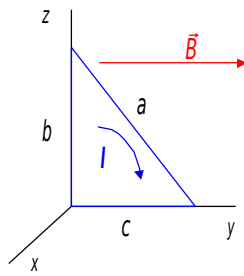
a)

$$\vec{F} = I \int_A d\vec{l} \times \vec{B} = I(\vec{l} \times \vec{B})$$

$$\vec{F}_a = I(\vec{a} \times \vec{B}) = I((-b\vec{k} + c\vec{j}) \times B\vec{j}) = IbB\vec{i}$$

$$\vec{F}_b = IbB(\vec{k} \times \vec{j}) = -IbB\vec{i}$$

$$\vec{F}_c = IbB(\vec{j} \times \vec{j}) = 0$$



b)

$$\vec{m} = I\vec{S} = I \frac{1}{2} cb(-\vec{i}) = -\frac{1}{2} Icb\vec{i}$$

c)

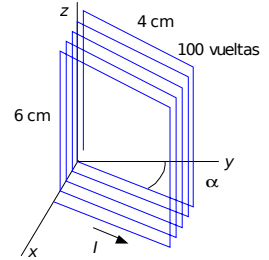
$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B} = -\frac{1}{2} Icb\vec{i} \times B\vec{j} = -\frac{1}{2} IcbB\vec{k}$$

la espira gira alrededor del eje OZ (en sentido horario visto desde arriba)

Ejemplo 11-4

Una bobina consta de 100 espiras rectangulares de 6x4 cm de lado, y la recorre una corriente de 2,5 A. Se encuentra orientada como muestra la figura, formando el plano de las espiras 37° con el eje y.

a) ¿Cuál es el momento magnético de la bobina?
b) ¿Cuál es el momento del par que actúa sobre la bobina si se aplica un campo magnético de 2 T en la dirección del eje y en sentido positivo?

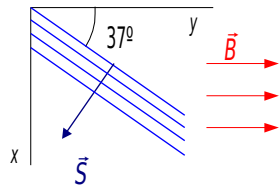


Ejemplo 11-4

a)

$$\vec{S} = S \begin{pmatrix} \cos 37^\circ \\ -\sin 37^\circ \\ 0 \end{pmatrix} = 24 \begin{pmatrix} 0,8 \\ -0,6 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ cm}^2$$

$$\vec{m} = NI\vec{S} = 250 \cdot 24 \cdot 10^{-4} \begin{pmatrix} 0,8 \\ -0,6 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,48 \\ -0,36 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ Am}^2$$



b)

$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0,48 & -0,36 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \end{vmatrix} = 0,96\vec{k} \text{ Nm}$$

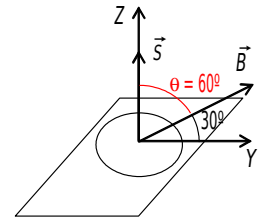
Ejercicio 13

13. Para medir un campo magnético se coloca una bobina de 200 espiras de 14 cm² de sección formando éstas un ángulo de 30° con el campo. Al circular una intensidad de 0,7 A se mide un momento de 980·10⁻⁶ Nm. Calcula B.

$$\vec{M} = NI\vec{S} \times \vec{B}$$

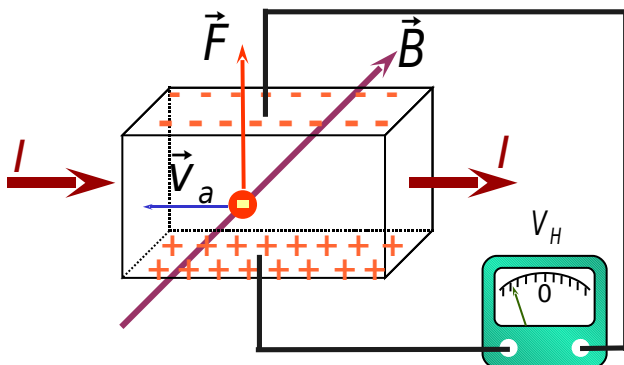
$$M = NISB \sin \theta$$

$$B = \frac{M}{NIS \sin \theta} = \frac{980 \cdot 10^{-6}}{0,7 \cdot 200 \cdot 14 \cdot 10^{-4} \sin 60} = 5,77 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$



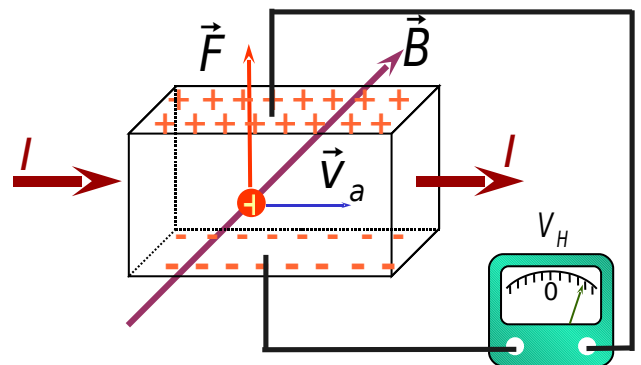
Efecto Hall

- Si las cargas que se desplazan por el conductor son **cargas negativas**:

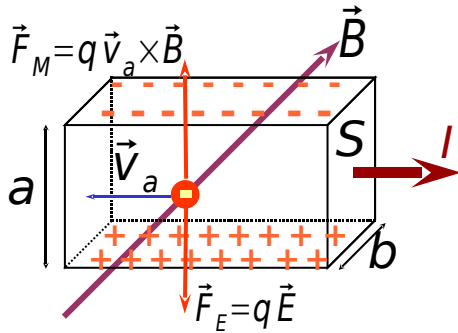


Efecto Hall

- Si las cargas que se desplazan por el conductor son **cargas positivas**:



Efecto Hall



$$qv_a B = qE$$

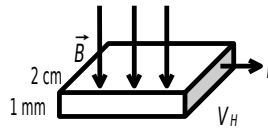
$$V_H = E a = v_a B a = \frac{I}{nqS} B a = \frac{IB}{nqb}$$

Ejercicio 8

8. Una tira de cobre de 2 cm de ancho y 1 mm de espesor se coloca en un campo magnético $B = 1,5 \text{ T}$ como se representa en la figura.

¿Cuál es la diferencia de potencial Hall si se hace circular una corriente de 200 A por ella, suponiendo que hay un electrón libre por átomo?

(La densidad del Cu es $\rho_{\text{Cu}} = 8,71 \text{ g/cm}^3$ y su masa atómica relativa 63,54 g/mol)
Dato: Constante de Avogadro: $6,02 \cdot 10^{23} \text{ at/mol}$.



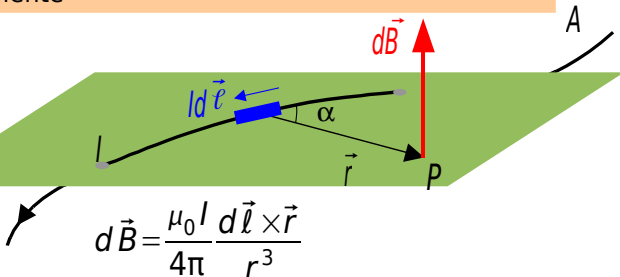
$$V_H = \frac{IB}{nqe}$$

$$n = 8,71 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \frac{1}{63,54 \text{ g/mol}} 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 8,25 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3} = 8,25 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

$$V_H = \frac{IB}{nqe} = \frac{200 \cdot 1,5}{8,25 \cdot 10^{28} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 2,27 \cdot 10^{-5} = 22,7 \mu\text{V}$$

Ley de Bio y Savart

Campo magnético creado por un elemento de corriente



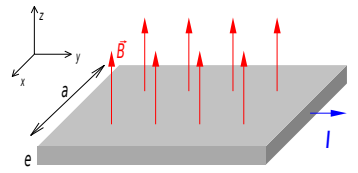
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

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

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

Ejemplo 11-5

Una tira de plata de 5 cm de anchura y 0,5 mm de espesor se coloca en un campo magnético de 2 T tal como se indica en la figura. ¿Cuál es la diferencia de potencial Hall si se hace circular una intensidad de 200 A por ella, suponiendo que hay un promedio de 0,65 electrones libres por átomo?



Datos: Densidad de la plata 10,5 g/cm³; masa molar de la plata 107,9 g/mol.

$$V_H = v_a B a$$

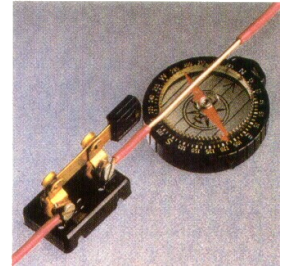
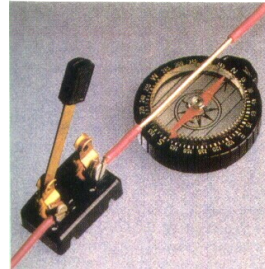
$$V_H = E a = v_a B a = \frac{I}{nqS} B a = \frac{IB}{nqb}$$

$$n_e = 0,65 \frac{10500 \text{ Kg/m}^3}{107,9 \text{ Kg/mol}} 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 3,81 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

$$V_H = \frac{IB}{n_e q e} = \frac{200 \cdot 2}{3,81 \cdot 10^{28} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 131 \mu\text{V}$$

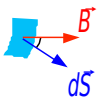
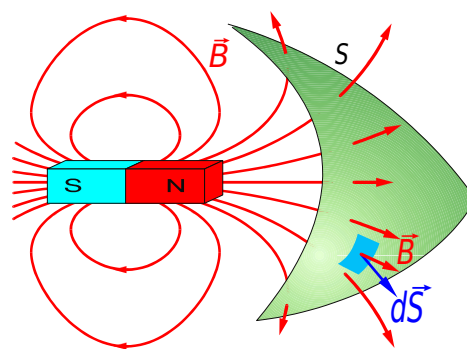
Experiencia de Oersted (1820)

- En 1820, **Oersted** descubre que una corriente eléctrica **desvía** la posición de una **brújula**.



- Consecuencia: Evidente **relación** entre corriente eléctrica y **magnetismo**

Flujo magnético

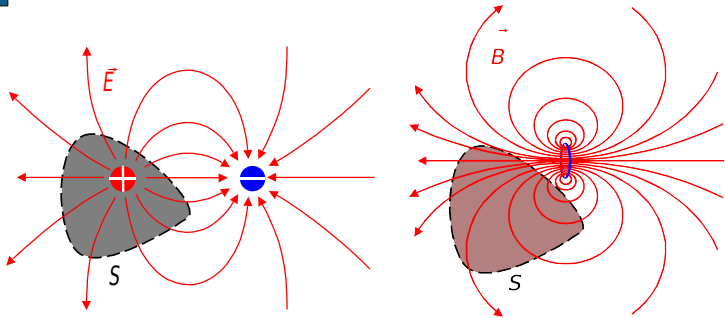


$$\phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Unidad: Weber
 $\text{Wb} = \text{T m}^2$

Flujo magnético

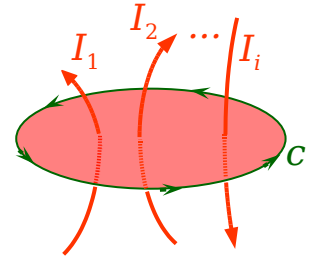
- El flujo magnético a través de una superficie cerrada cualquiera es CERO: el flujo entrante es siempre igual al saliente.
 - ⇒ las líneas del campo magnético son cerradas.



Teorema de Ampère

- La circulación del vector campo magnético a lo largo de una curva cerrada es igual a $\mu_0 I$, donde I es la corriente total que pasa a través de cualquier superficie limitada por la curva cerrada:

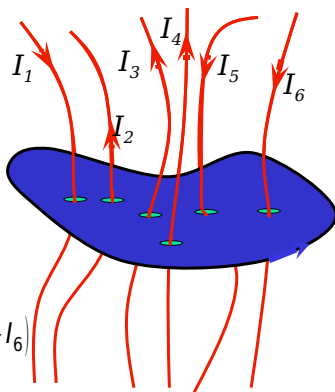
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_i I_i$$



- El teorema de Ampère es el "equivalente", en Electro-magnetismo, del teorema de Gauss de la Electro-stática.

Teorema de Ampère

- Cada intensidad debe llevar su signo, según la regla de la mano derecha



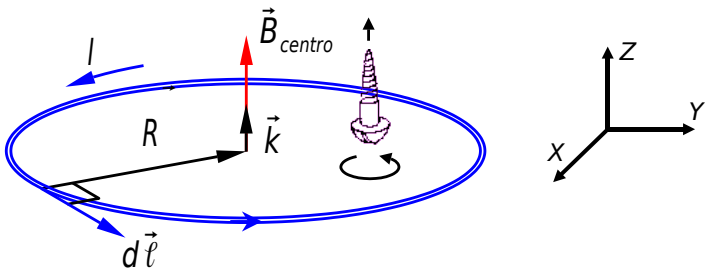
$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (-I_1 + I_2 + I_3 + I_4 - I_5 - I_6)$$

Teorema de Ampère

- Se utiliza para calcular campos magnéticos creados por corrientes cuando existe simetría.
- Para que el cálculo de la circulación de B sea sencillo, es conveniente que la línea elegida para calcular la circulación cumpla dos condiciones:
 - a) El módulo del campo magnético tenga el mismo valor en todos sus puntos
 - b) El vector campo magnético sea paralelo al vector línea en cualquiera de sus puntos.
- De este modo:

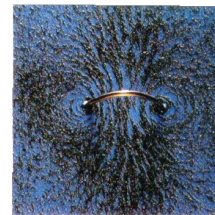
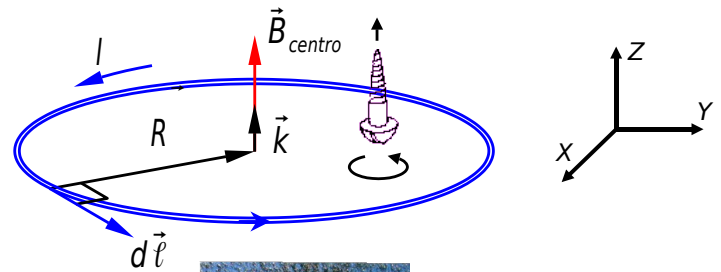
$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_C B dl = B \oint_C dl = BL$$

Espira de corriente en su centro

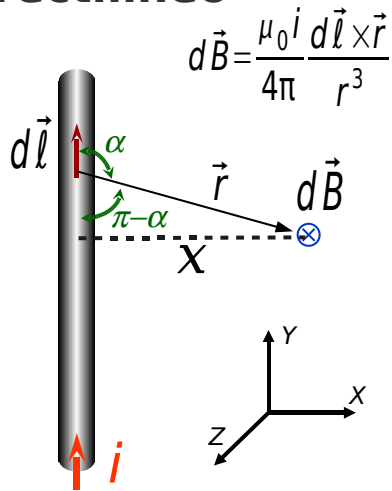
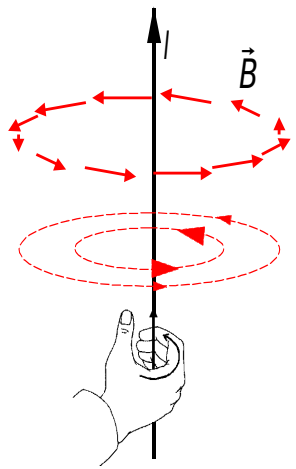


$$\begin{aligned} \vec{B}_{centro} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{2\pi R} \frac{d\vec{\ell} \times \vec{R}}{R^3} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{2\pi R} \frac{d\ell R \vec{k}}{R^3} = \\ &= \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} 2\pi R \vec{k} = \frac{\mu_0 I}{2R} \vec{k} \end{aligned}$$

Espira de corriente en su centro



Conductor rectilíneo

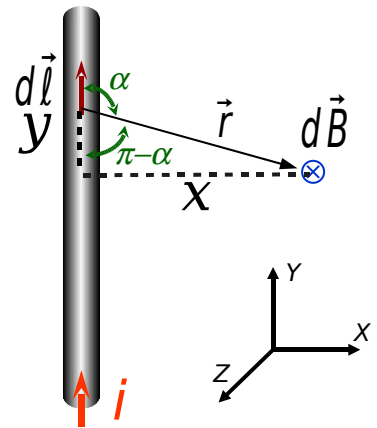


$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

Conductor rectilíneo

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$|d\vec{l} \times \vec{r}| = dy r \sin \alpha$$



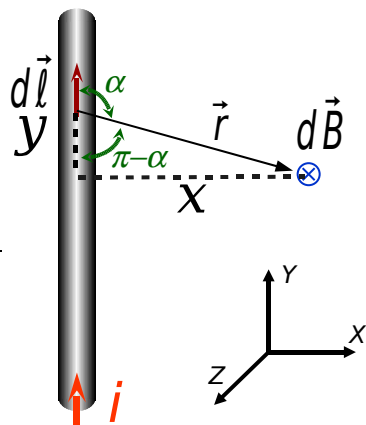
Conductor rectilíneo

$$dB = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{dy r \sin \alpha}{r^3} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{dy \sin \alpha}{r^2}$$

$$x = r \sin(\pi - \alpha) = r \sin \alpha \rightarrow r = \frac{x}{\sin \alpha}$$

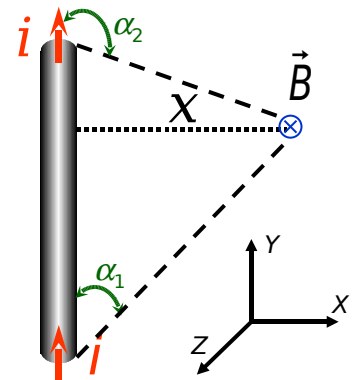
$$y = r \cos(\pi - \alpha) = -r \cos \alpha = \frac{-x \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$dy = -x \frac{-d\alpha}{\sin^2 \alpha} = \frac{x d\alpha}{\sin^2 \alpha}$$



Conductor rectilíneo

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi x} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \vec{k}$$



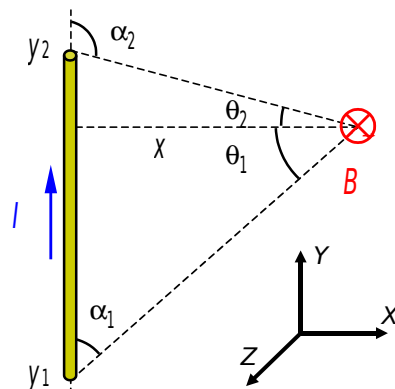
Conductor rectilíneo

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi x} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \vec{k}$$

$$\cos \alpha_2 = -\sin \theta_2$$

$$\cos \alpha_1 = \sin \theta_1$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi x} (\sin \theta_2 + \sin \theta_1)$$

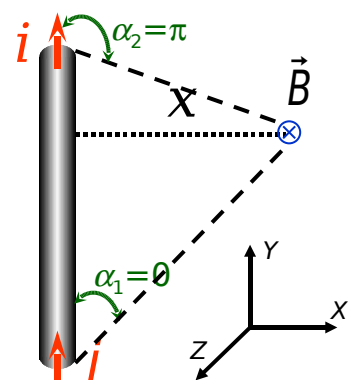


Conductor rectilíneo infinito

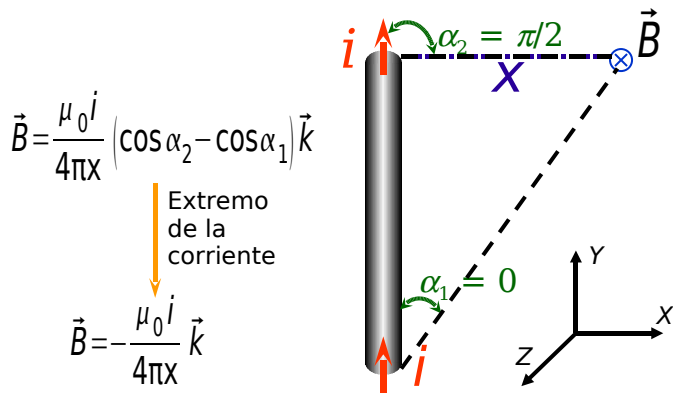
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi x} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \vec{k}$$

Conductor Infinito

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0 i}{2\pi x} \vec{k}$$

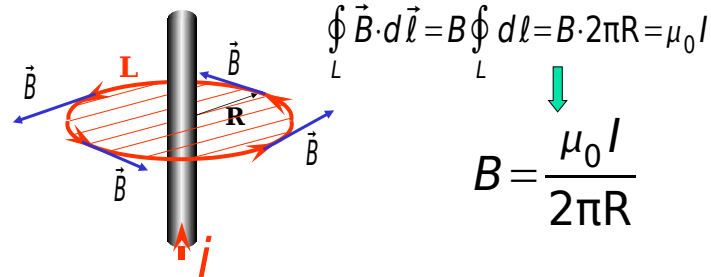


Conductor rectilíneo muy largo en su extremo



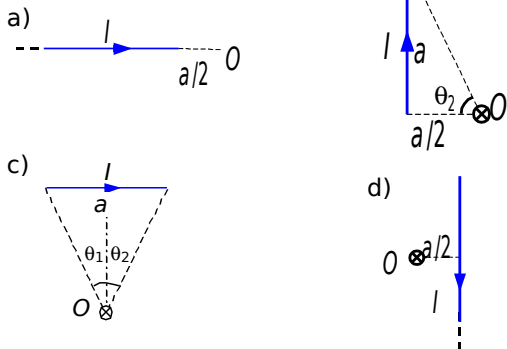
Conductor rectilíneo indefinido

- Las líneas de campo son circunferencias, por lo que tomando una de ellas de radio R, la superficie del círculo por ella definido, y aplicando el teorema de Ampère:



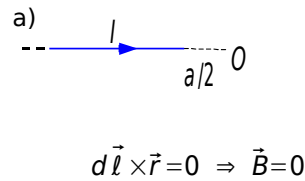
Ejemplo 12-3

Calcula el campo magnético producido por la corriente indefinida de la figura, en el punto O.



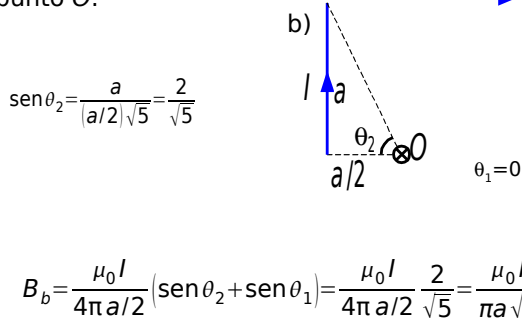
Ejemplo 12-3

Calcula el campo magnético producido por la corriente indefinida de la figura, en el punto O.



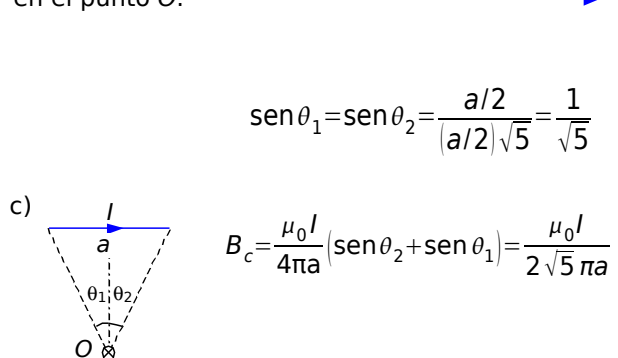
Ejemplo 12-3

Calcula el campo magnético producido por la corriente indefinida de la figura, en el punto O.



Ejemplo 12-3

Calcula el campo magnético producido por la corriente indefinida de la figura, en el punto O.

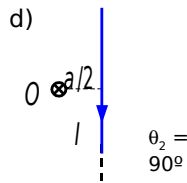


Ejemplo 12-3

Calcula el campo magnético producido por la corriente indefinida de la figura, en el punto O.

$$\text{sen } \theta_1 = \frac{2}{\sqrt{5}}$$

$$B_d = \frac{\mu_0 I}{4\pi a/2} (\text{sen } \theta_2 + \text{sen } \theta_1) = \frac{\mu_0 I}{\pi a} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{5}} \right)$$



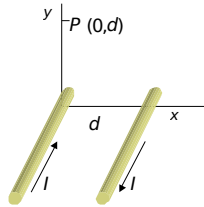
Ejemplo 12-3

Calcula el campo magnético producido por la corriente indefinida de la figura, en el punto O.

$$B = \frac{\mu_0 I}{\pi a} \left(\frac{1}{\sqrt{5}} + \frac{1}{2\sqrt{5}} + \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{5}} \right) = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} (\sqrt{5} + 1)$$

Ejemplo 12-4

Calcula el campo magnético producido por dos corrientes indefinidas de sentido contrario de intensidad I, separadas una distancia d en el punto P(0,d), tal como muestra la figura.



$$\vec{u}_{B1} = \vec{u}_{I1} \times \vec{u}_{r1} = -\vec{k} \times \vec{j} = \vec{i}$$

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \quad B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi d \sqrt{2}}$$

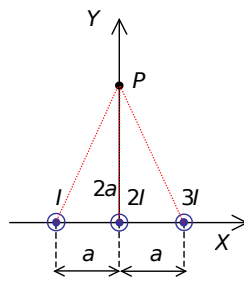
$$\vec{u}_{B2} = \vec{u}_{I2} \times \vec{u}_{r2} = \vec{k} \times \left(\frac{-d\vec{i} + d\vec{j}}{d\sqrt{2}} \right) = \vec{k} \times \frac{-\vec{i} + \vec{j}}{\sqrt{2}} = \frac{-1}{\sqrt{2}} \vec{i} + \frac{1}{\sqrt{2}} \vec{j}$$

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \vec{i} + \frac{\mu_0 I}{2\pi d \sqrt{2}} \frac{-1}{\sqrt{2}} (\vec{i} + \vec{j}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi d} (\vec{i} - \vec{j})$$

Problema 18

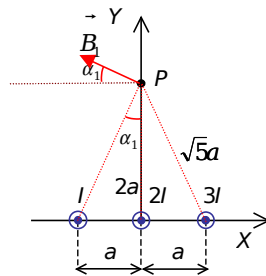
La figura representa tres hilos conductores rectilíneos y paralelos, de longitud indefinida, recorridos por intensidades I, 2I y 3I, todas ellas en el mismo sentido. Calcula el campo magnético creado por dichas corrientes en el punto P.

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



Problema 18

La figura representa tres hilos conductores rectilíneos y paralelos, de longitud indefinida, recorridos por intensidades I, 2I y 3I, todas ellas en el mismo sentido. Calcula el campo magnético creado por dichas corrientes en el punto P.

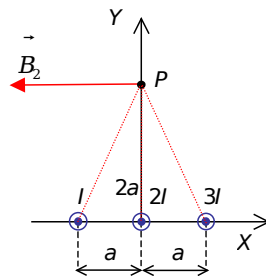


$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

$$\vec{B}_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi \sqrt{5} a} (-\cos \alpha_1 \vec{i} + \text{sen } \alpha_1 \vec{j}) = \frac{\mu_0 I}{2\pi \sqrt{5} a} \left(-\frac{2a}{\sqrt{5} a} \vec{i} + \frac{a}{\sqrt{5} a} \vec{j} \right) = \frac{\mu_0 I}{10\pi a} (-2\vec{i} + \vec{j})$$

Problema 18

La figura representa tres hilos conductores rectilíneos y paralelos, de longitud indefinida, recorridos por intensidades I, 2I y 3I, todas ellas en el mismo sentido. Calcula el campo magnético creado por dichas corrientes en el punto P.



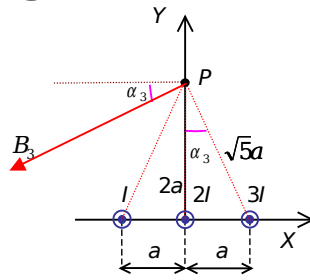
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

$$\vec{B}_2 = \frac{\mu_0 2I}{2\pi 2a} (-\vec{i}) = -\frac{\mu_0 I}{2\pi a} \vec{i}$$

Problema 18

La figura representa tres hilos conductores rectilíneos y paralelos, de longitud indefinida, recorridos por intensidades I , $2I$ y $3I$, todas ellas en el mismo sentido. Calcula el campo magnético creado por dichas corrientes en el punto P .

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

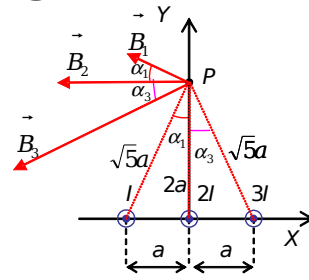


$$\vec{B}_3 = \frac{\mu_0 3I}{2\pi\sqrt{5}a} (-\cos\alpha_3 \vec{i} - \sin\alpha_3 \vec{j}) = \frac{\mu_0 3I}{2\pi\sqrt{5}a} \left(-\frac{2a}{\sqrt{5}a} \vec{i} - \frac{a}{\sqrt{5}a} \vec{j} \right) = \frac{\mu_0 3I}{10\pi a} (-2\vec{i} - \vec{j})$$

Problema 18

La figura representa tres hilos conductores rectilíneos y paralelos, de longitud indefinida, recorridos por intensidades I , $2I$ y $3I$, todas ellas en el mismo sentido. Calcula el campo magnético creado por dichas corrientes en el punto P .

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



$$\vec{B}_1 = \frac{\mu_0 I}{10\pi a} (-2\vec{i} + \vec{j})$$

$$\vec{B}_2 = -\frac{\mu_0 I}{2\pi a} \vec{i}$$

$$\vec{B}_3 = \frac{\mu_0 3I}{10\pi a} (-2\vec{i} - \vec{j})$$

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \left(\frac{-2}{5} \vec{i} + \frac{1}{5} \vec{j} - \vec{i} - \frac{6}{5} \vec{i} - \frac{3}{5} \vec{j} \right) = \frac{\mu_0 I}{10\pi a} (-13\vec{i} - 2\vec{j})$$

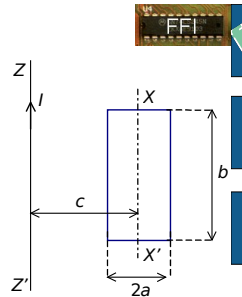
Problema 24

Un conductor rectilíneo, indefinido, $z'z'$ está recorrido por una corriente de intensidad I . La superficie rectangular de la figura de lados $2a$ y b , puede girar en torno a su eje $x'x'$ paralelo al $z'z'$, del que dista una distancia c . Inicialmente el plano de la superficie contiene al conductor $z'z'$. Calcula la variación de flujo magnético creado por I a través de la superficie cuando ésta gira un ángulo de $\pi/2$ en torno a $x'x'$.

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

$$\phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\pi/2 \rightarrow \phi_2 = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

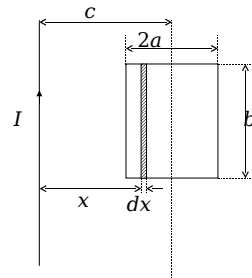


$$\phi_1 = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_S B dS$$

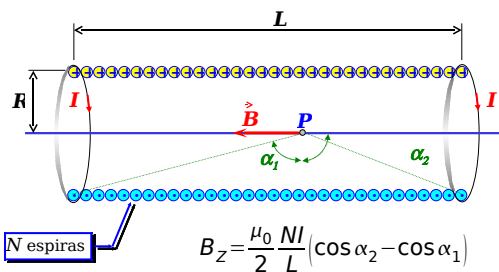
$$\phi_1 = \int_{c-a}^{c+a} \frac{\mu_0 I}{2\pi x} b dx = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln \frac{c+a}{c-a}$$

$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = -\frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln \frac{c+a}{c-a} \text{ (Wb)}$$

Problema 24



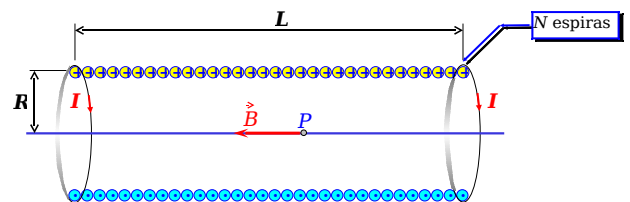
Solenoides rectos



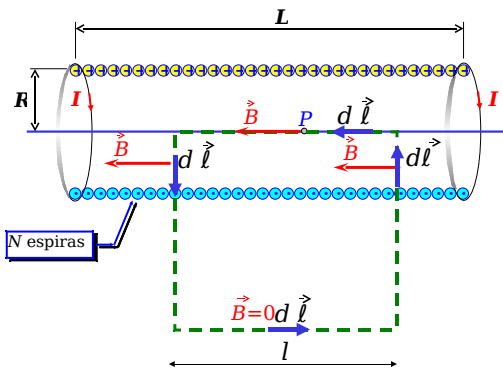
$$B_z = \frac{\mu_0 NI}{2L} (\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1)$$

$$L \gg R \rightarrow B_z = \frac{\mu_0 NI}{2L} (\cos 0^\circ - \cos 180^\circ) = \frac{\mu_0 NI}{L}$$

Solenoides rectos



Solenoides recto



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

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \int_1 d\vec{l} = Bl$$

$$\mu_0 \sum I = \mu_0 \frac{l}{L} NI$$

$$B_z = \frac{\mu_0 NI}{L}$$

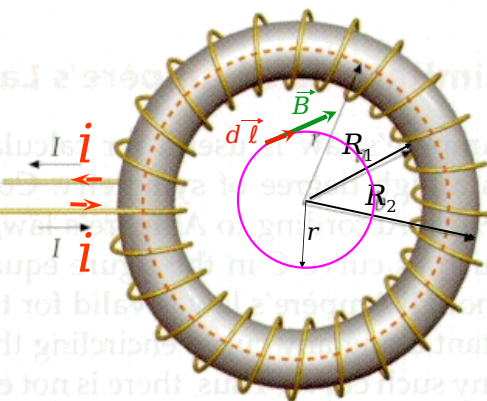
Ejemplo 12-6

Determina el flujo magnético a través de un solenoide de 25 cm de longitud, 1 cm de radio y 4000 vueltas por el que circulan 4 A.

$$B = \frac{\mu_0 NI}{L}$$

$$\phi = \frac{\mu_0 N^2 I S}{L} = \frac{\mu_0 N^2 I \pi r^2}{L} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4000^2 \cdot 4\pi \cdot 0,01^2}{0,25} = 0,101 \text{ Wb}$$

Solenoides toroidales



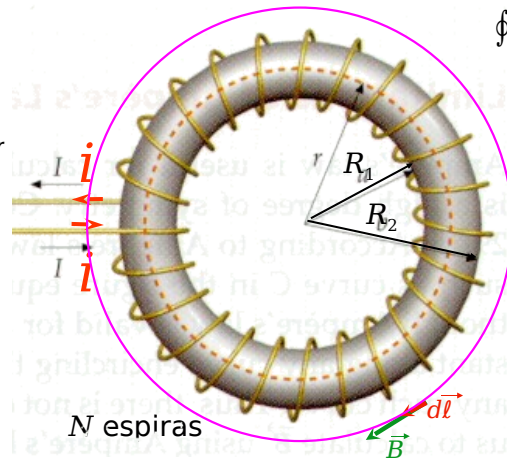
$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I_i$$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_C B dl = B 2\pi r$$

$$r < R_1 \rightarrow \mu_0 \sum I_i = 0$$

$$B = 0$$

Solenoides toroidales



$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I_i$$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_C B dl = B 2\pi r$$

$$r < R_1 \rightarrow \mu_0 \sum I_i = 0$$

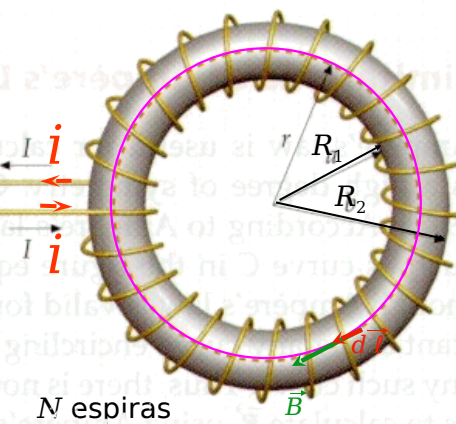
$$B = 0$$

$$r > R_2$$

$$\mu_0 \sum I_i = \mu_0 (N \cdot I - N \cdot I) = 0$$

$$B = 0$$

Solenoides toroidales



$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I_i$$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_C B dl = B 2\pi r$$

$$r < R_1$$

$$B = 0$$

$$R_1 < r < R_2$$

$$\mu_0 \sum I_i = \mu_0 NI$$

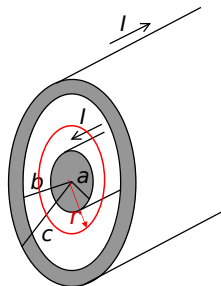
$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

$$r > R_2$$

$$B = 0$$

Problema 26

Un cable largo coaxial está formado por dos conductores concéntricos de radios a al interior, y el exterior (conductor hueco) b de radio interno y c de radio externo. Por los conductores circula la misma intensidad de corriente I pero en sentido opuesto. Calcula el campo magnético en: a) a una distancia $r < a$, b) a una distancia $a < r < b$ entre los dos conductores, c) a una distancia $b < r < c$ interior al conductor exterior, y d) fuera del cable a $r > c$.



$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_C B dl = B \oint_C dl = B 2\pi r = \mu_0 \sum I$$

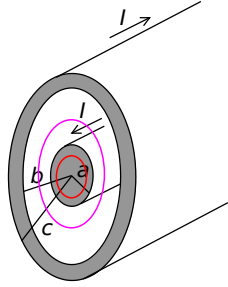
Problema 26

a) $r < a$

$$\sum I = \int_{S_1} \vec{j}_1 \cdot d\vec{S} = \int_{S_1} \frac{I}{\pi a^2} dS = \frac{I}{\pi a^2} \pi r^2 = \frac{I r^2}{a^2}$$

$$B 2\pi r = \mu_0 \sum I$$

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



b) $a < r < b$

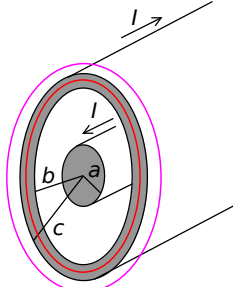
$$\sum I = I \quad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Problema 26

c) $b < r < c$

$$\sum I = I - \int_{S_2} \vec{j}_2 \cdot d\vec{S} = I - \int_{S_2} \frac{I}{\pi(c^2 - b^2)} dS = I - I \left[\frac{\pi(r^2 - b^2)}{\pi(c^2 - b^2)} \right] = I \left[\frac{c^2 - r^2}{c^2 - b^2} \right]$$

$$B = \frac{\mu_0 I (c^2 - r^2)}{2\pi r (c^2 - b^2)}$$



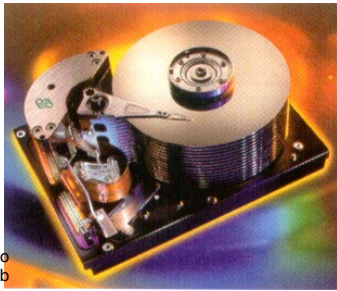
d) $r > c$

$$\sum I = I - I = 0 \Rightarrow B = 0$$

Materiales ferromagnéticos

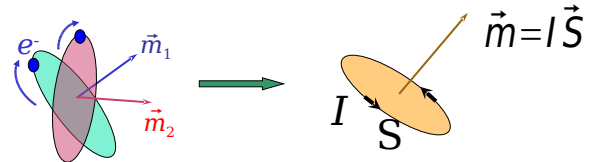


Disco magnético de 47 Gb



Imantación

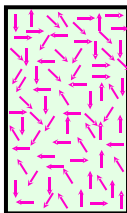
- Cada uno de los electrones de un **átomo** es comparable a una corriente eléctrica que recorriera una espira como la órbita del e⁻, definiendo un **momento magnético para cada e⁻**. Los momentos magnéticos de todos los e⁻ de un átomo pueden anularse entre sí, dando lugar a materiales cuyos átomos presenten **momento magnético nulo**. Pero también puede ocurrir que los átomos tengan un **momento magnético neto no nulo**:



Imantación

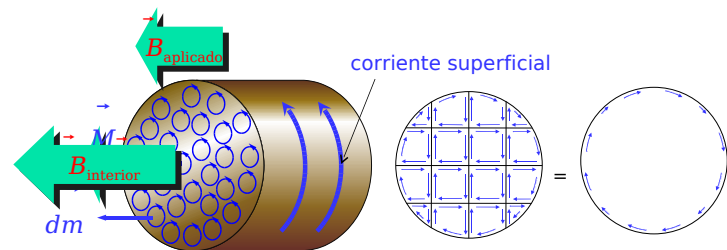
- En los materiales cuyos átomos presentan momentos magnéticos no nulos, al **momento magnético total por unidad de volumen** se le llama **imantación**, y es una magnitud vectorial, \vec{M} .

Momento magnético de uno de los átomos



$$\frac{d\vec{m}}{dV} = \vec{M} \quad [\text{IL}^{-1}]$$

Imantación



$$\vec{M} = \chi_m \frac{\vec{B}_{ap}}{\mu_0} \quad \chi_m \text{ susceptibilidad magnética}$$

$$\text{Permeabilidad magnética relativa } \mu_r = 1 + \chi_m = \frac{B_{interior}}{B_{aplicado}} \quad \begin{cases} > 1 \\ = 1 \\ < 1 \end{cases}$$

Permeabilidad magnética relativa

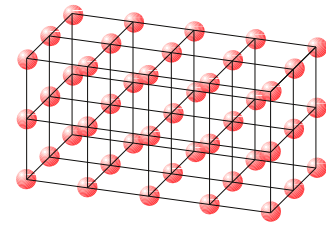
Sustancia	μ_r	Sustancia	μ_r
Bismuto	0.99983	Vacío	1
Mercurio	0.99968	Aire	1.0000036
Oro	0.99964	Aluminio	1.000021
Plata	0.99998	Volfranio	1.000068
Plomo	0.99983	Paladio	1.00082
Cobre	0.99991	Cobalto	250
Agua	0.99991	Níquel	600
		Hierro comercial	6000
		Hierro alta pureza	$2 \cdot 10^6$
		Superalloy (79%Ni, 5%Mo)	10^6

Diamagnéticos

Paramagnéticos

Ferromagnéticos

Ferromagnetismo

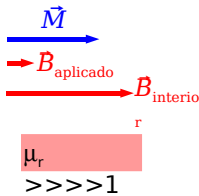
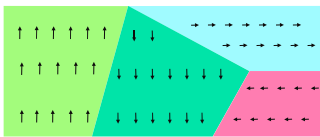


\swarrow
 Direcciones "faciles"
 Imantación preferente

\searrow
 direcciones "dificiles"

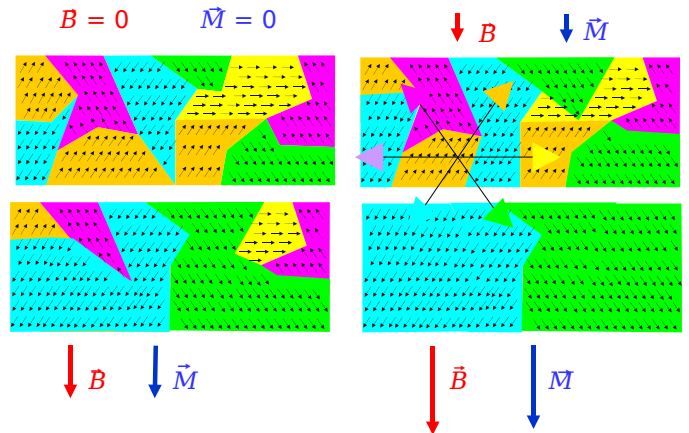
Ferromagnetismo

Dominios magnéticos

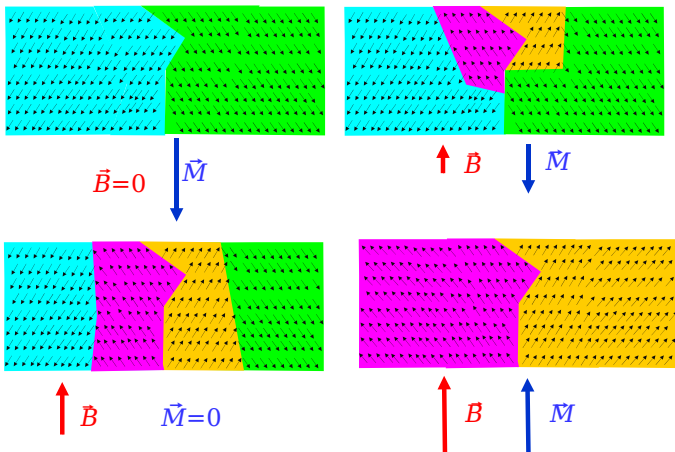


Ferromagnetismo

Crecimiento de los dominios magnéticos

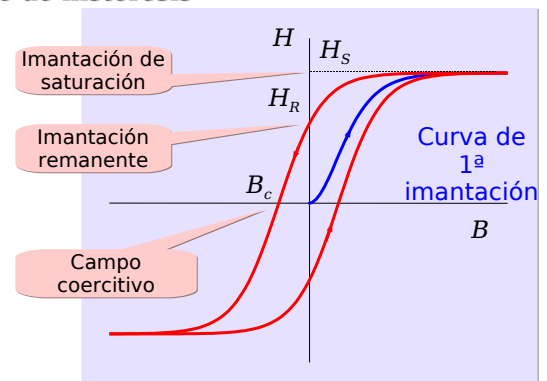


Ferromagnetismo

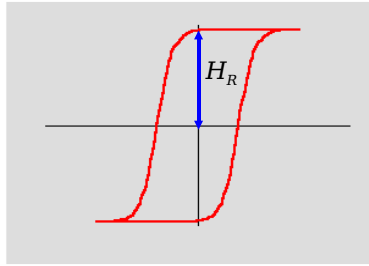


Ferromagnetismo

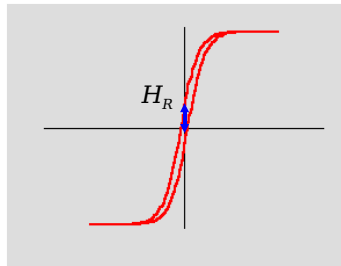
Ciclo de histéresis



Materiales duros y blandos



Material "duro"
 $M_r \gg$
Acero



Material "blando"
 $M_r \ll$
Hierro

Grabación y reproducción

