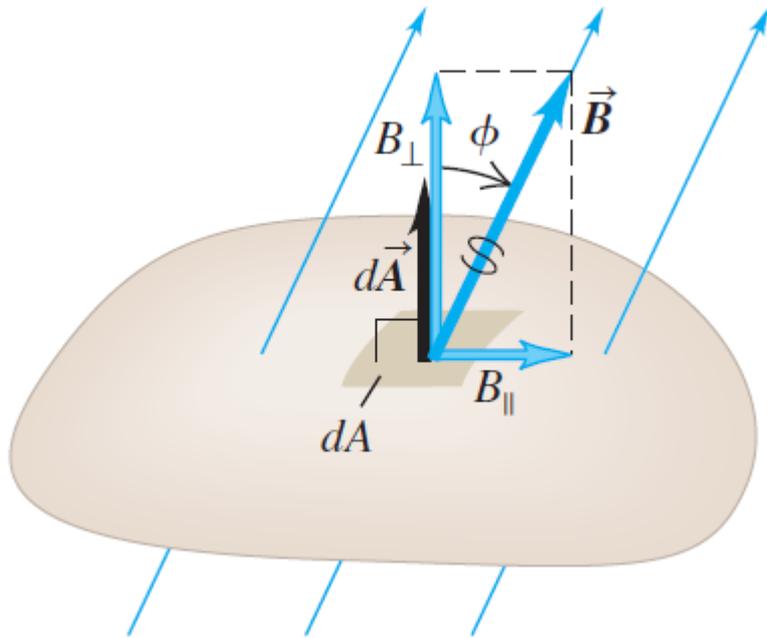


Clase 9

Fuentes de Campo magnético

Cátedra: Diego Arbó

Flujo de campo magnético



El flujo magnético a través de un elemento de área dA se define como $d\Phi_B = B_{\text{per}} dA$

$$d\Phi_B = B_{\perp} dA = B \cos \phi dA = \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\Phi_B = \int B_{\perp} dA = \int B \cos \phi dA = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (\text{flujo magnético a través de una superficie})$$

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2 = 1 \text{ N} \cdot \text{m/A}$$

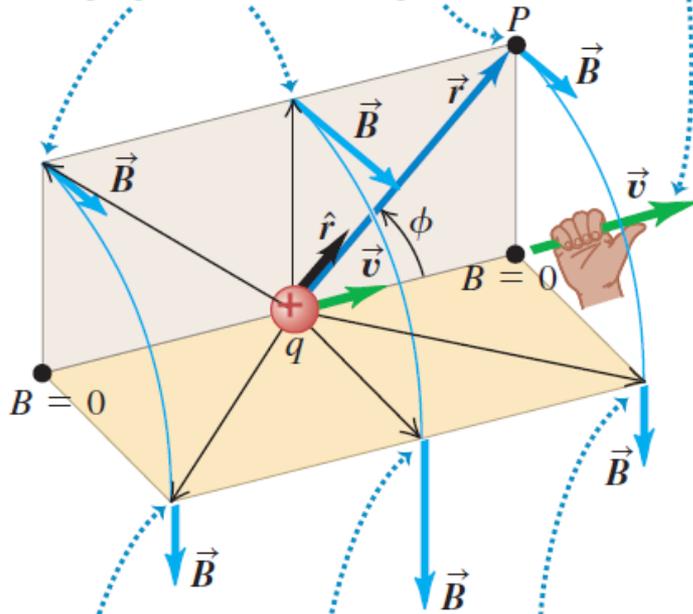
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (\text{flujo magnético a través de cualquier superficie cerrada})$$

El flujo magnético total a través de una superficie cerrada siempre es igual a cero.

Generación de campo magnético

Regla de la mano derecha para el campo magnético debido a una carga positiva que se mueve a velocidad constante: Apunte el pulgar de su mano derecha en dirección de la velocidad. Ahora sus dedos se cierran alrededor de la carga en dirección de las líneas del campo magnético. (Si la carga es negativa, las líneas del campo van en sentido opuesto.)

Para estos puntos de campo, \vec{r} y \vec{v} quedan en el plano color beige, y \vec{B} es perpendicular a este plano.



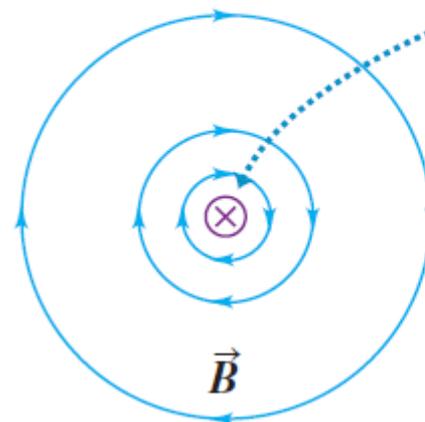
Para estas líneas de campo, \vec{r} y \vec{v} quedan en el plano color dorado, y \vec{B} es perpendicular a este plano.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2} \quad \hat{r} = \vec{r}/r$$

(campo magnético de una carga puntual con velocidad constante)

$$\begin{aligned} \mu_0 &= 4\pi \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{C}^2 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb}/\text{A} \cdot \text{m} \\ &= 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m}/\text{A} \end{aligned}$$

b) Vista desde atrás de la carga



El símbolo \otimes indica que la carga se mueve hacia el plano de la página (se aleja del lector).

Campo magnético de una corriente: Ley de Biot y Savart

Principio de superposición:

El campo magnético total generado por varias cargas en movimiento es la suma vectorial de los campos generados por las cargas individuales.

$$dQ = nqA dl$$
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{|dQ|v_d \text{sen } \phi}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{n|q|v_d A dl \text{sen } \phi}{r^2}$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad (\text{campo magnético de un elemento de corriente})$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

Corriente recta:

Campo magnético producido por un conductor recto portador de corriente de longitud $2a$.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

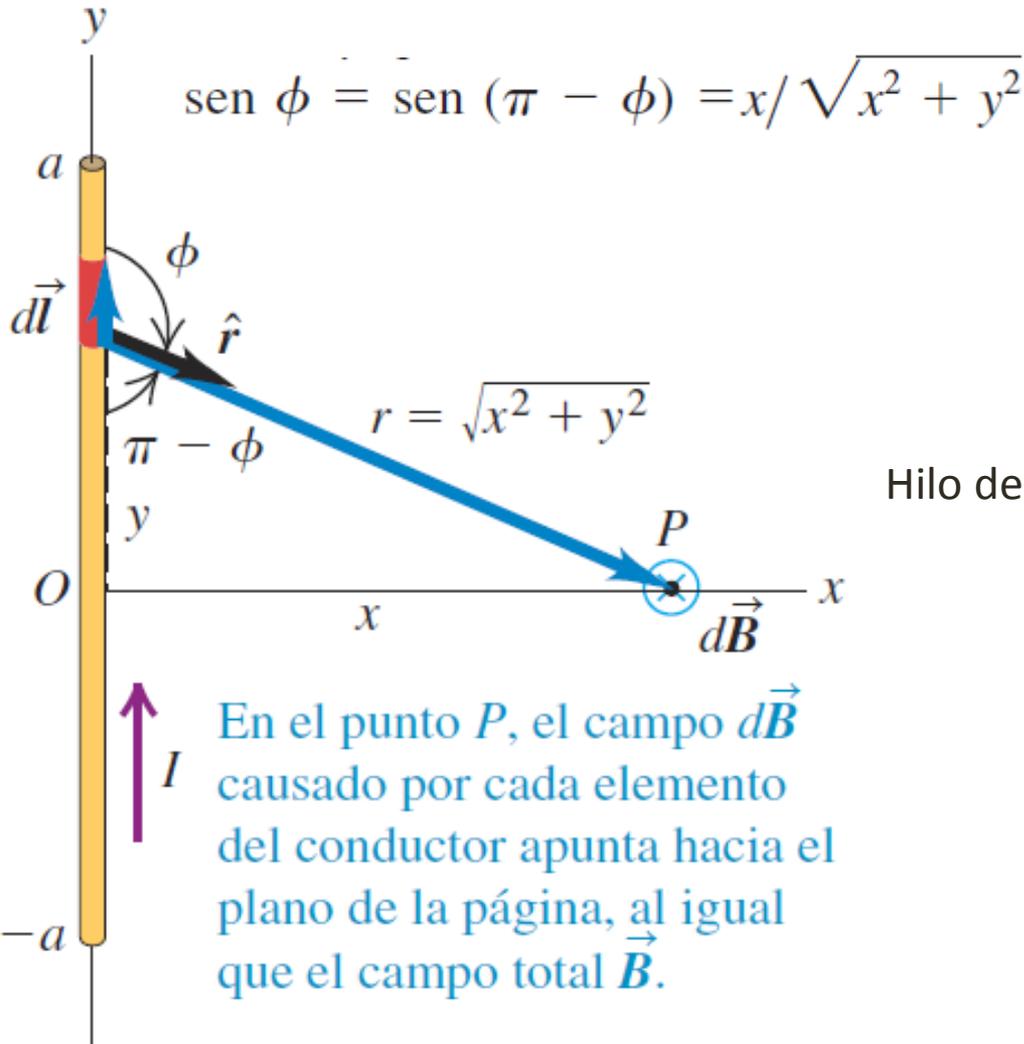
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-a}^a \frac{x dy}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{2a}{x\sqrt{x^2 + a^2}}$$

Hilo de corriente infinitamente largo: $a \rightarrow \infty$

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

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

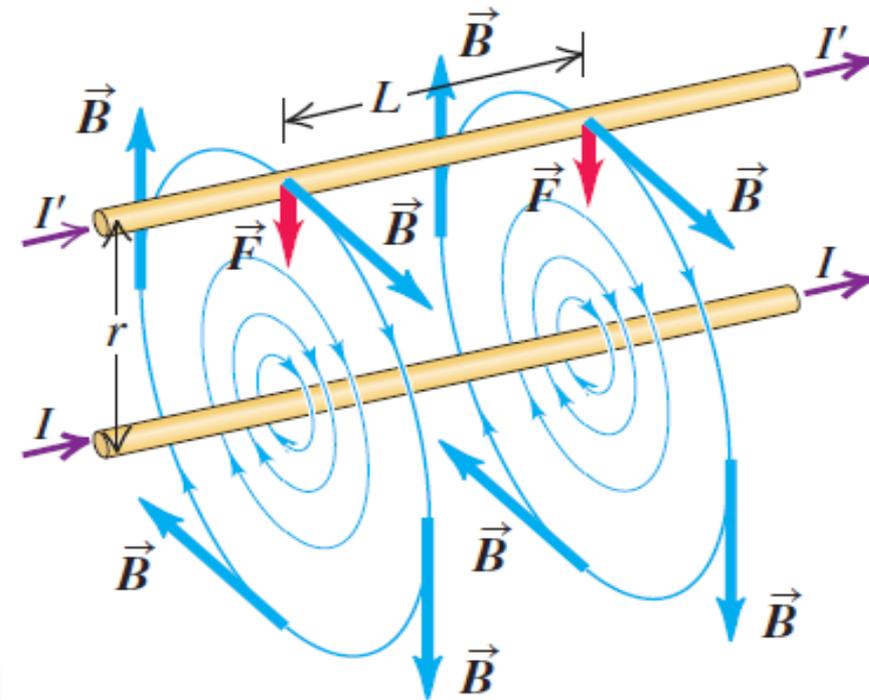


Fuerza entre cables paralelos

Los diagramas muestran cómo el campo magnético \vec{B} causado por la corriente del conductor inferior ejerce una fuerza \vec{F} sobre el conductor superior

Dos conductores paralelos de corriente en la misma dirección se atraen.

Dos conductores de corriente en dirección opuesta se repelen.



$$\vec{F} = I' \vec{L} \times \vec{B}$$

$$F = I' L B = \frac{\mu_0 I I' L}{2\pi r}$$

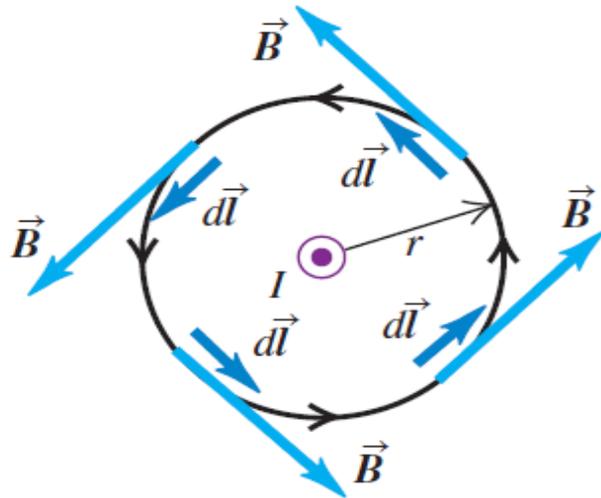
$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I I'}{2\pi r}$$

Un ampere es la corriente invariable que, si está presente en dos conductores paralelos de longitud infinita y separados por una distancia de un metro de espacio vacío, provoca que cada conductor experimente una fuerza de exactamente 2×10^{-7} newtons por metro de longitud.

Ley de Ampère

a) La trayectoria de integración es un círculo centrado en el conductor; la integración recorre el círculo en sentido antihorario.

Resultado: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$



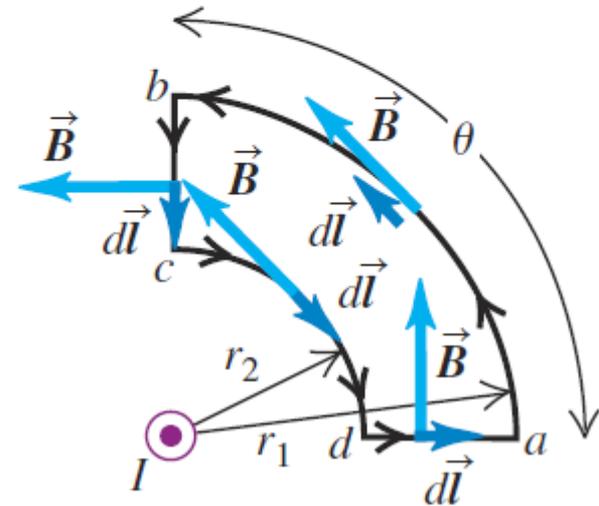
Campo de una corriente I :

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

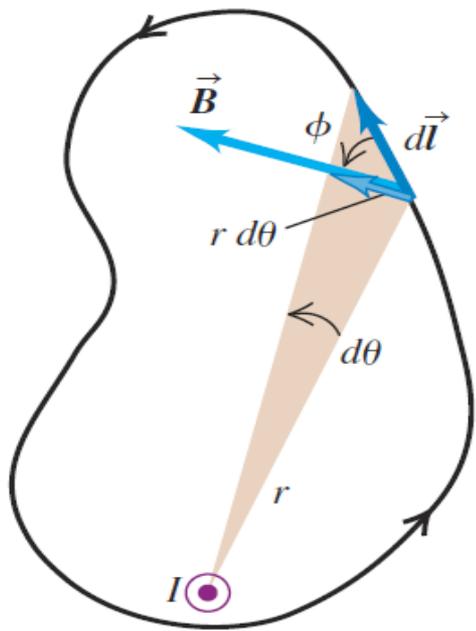
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B_{\parallel} dl = B(2\pi r) = \mu_0 I$$

c) Trayectoria de integración que no encierra el conductor.

Resultado: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$



$$\begin{aligned} \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} &= \oint B_{\parallel} dl = B_1 \int_a^b dl + (0) \int_b^c dl + (-B_2) \int_c^d dl + (0) \int_d^a dl \\ &= \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1} (r_1 \theta) + 0 - \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2} (r_2 \theta) + 0 = 0 \end{aligned}$$

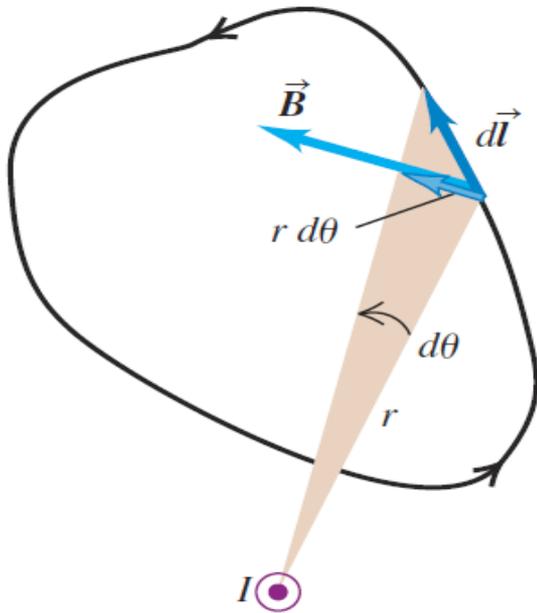


$$\vec{B} \cdot d\vec{l} = B dl \cos \phi$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint \frac{\mu_0 I}{2\pi r} (r d\theta) = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \oint d\theta$$

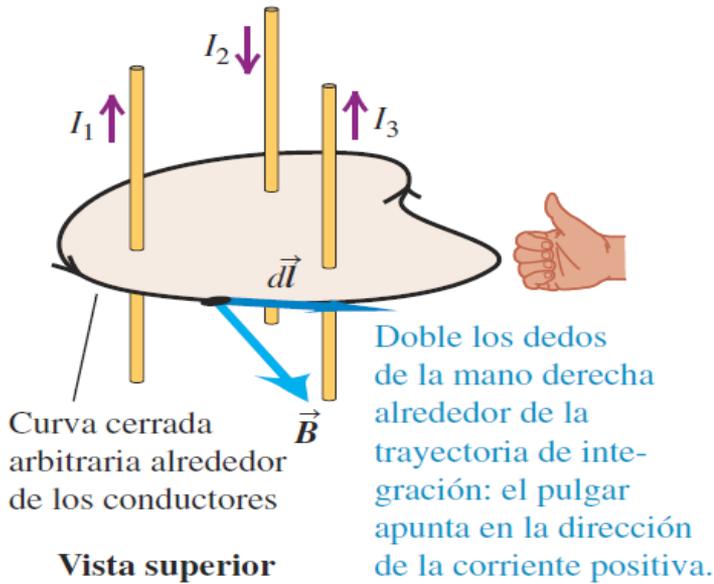
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

b)

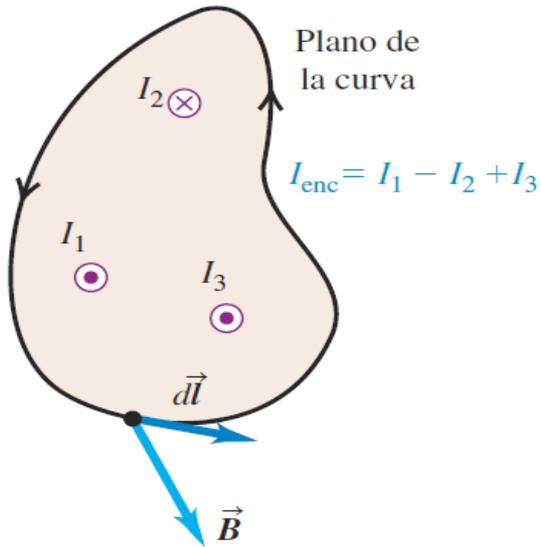


Si la trayectoria no encierra el alambre, entonces el cambio neto de θ durante el recorrido alrededor de la trayectoria de integración es igual a cero en vez de 2π y la integral de línea es cero.

Vista en perspectiva



Vista superior



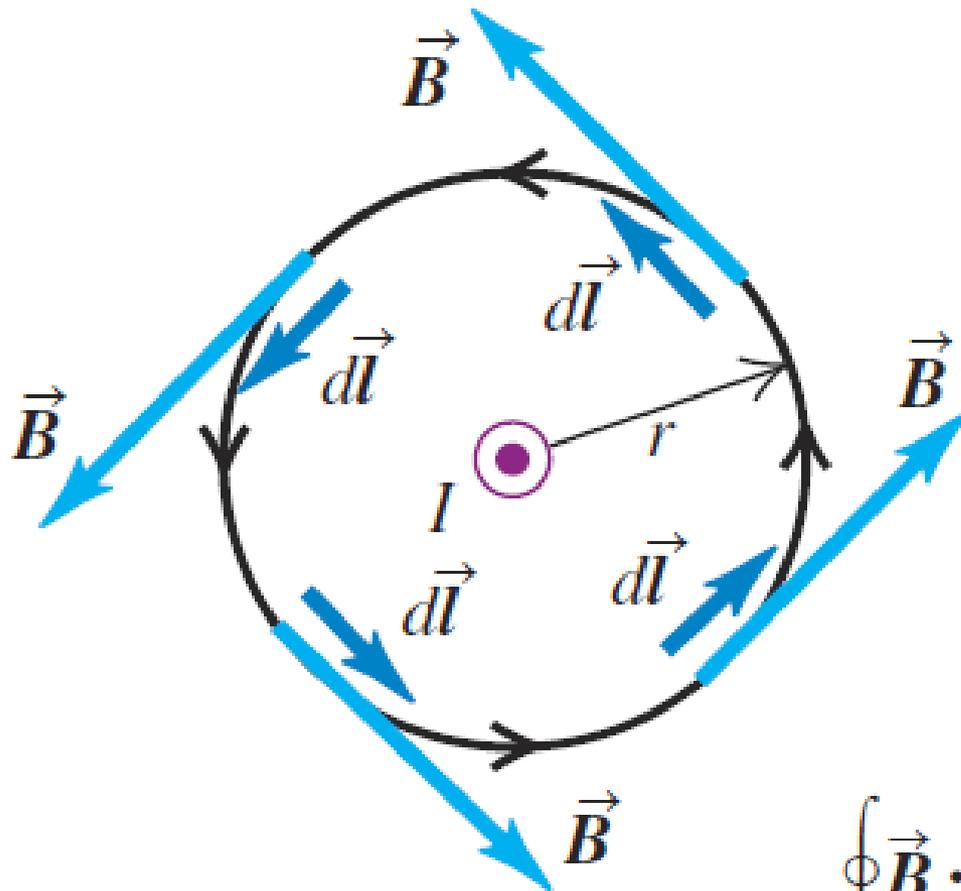
El campo magnético total \mathbf{B} en cualquier punto de la trayectoria es la suma vectorial de los campos generados por los conductores individuales.

Así, la integral de línea de total es igual a μ_0 multiplicado por la *suma algebraica* de las corrientes.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc} \quad (\text{ley de Ampère})$$

Ley de Ampère: Si se calcula la integral de línea del campo magnético alrededor de una curva cerrada, el resultado es igual a μ_0 multiplicado por la corriente total encerrada: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc}$

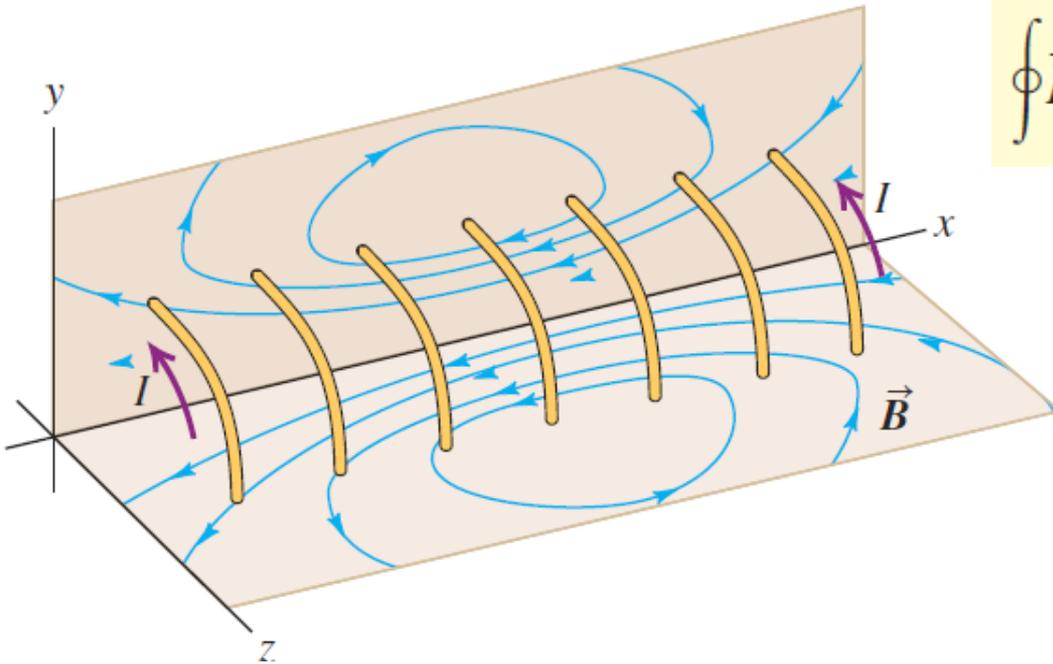
Campo de un conductor largo, recto y portador de corriente



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B_{\parallel} dl = B(2\pi r) = \mu_0 I$$

$$B = \mu_0 I / 2\pi r.$$

Campo de un solenoide



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{enc}} \quad (\text{ley de Ampère})$$

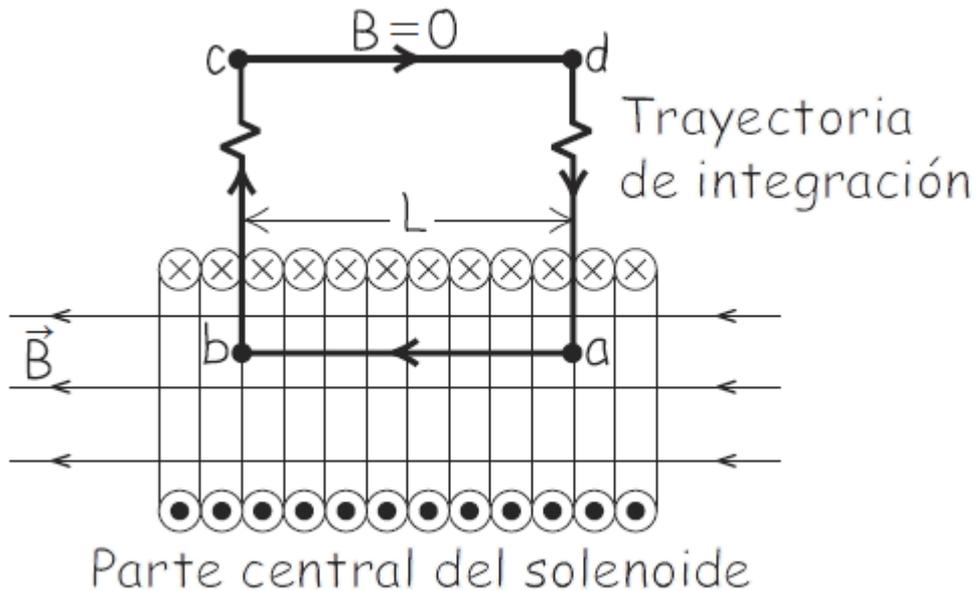
$$\int_a^b \vec{B} \cdot d\vec{l} = BL$$

El solenoide tiene n espiras de alambre por unidad de longitud y conduce una corriente I .

$$I_{\text{enc}} = nLI$$

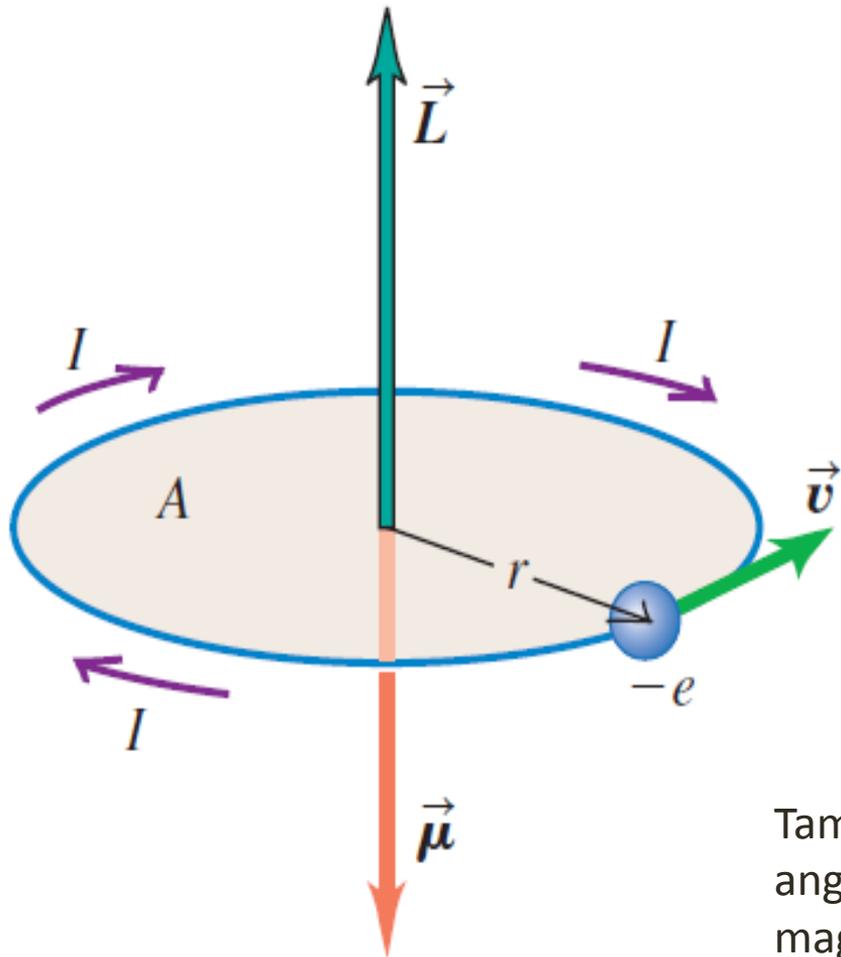
$$BL = \mu_0 nLI$$

$$B = \mu_0 nI$$



Materiales magnéticos

Un electrón que se desplaza con rapidez v en una órbita circular de radio r tiene un momento angular L y un momento dipolar magnético orbital dirigido en sentido opuesto μ .



$$\mu = IA$$

$$I = \frac{e}{T} = \frac{ev}{2\pi r} \quad A = \pi r^2$$

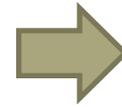
$$\mu = \frac{ev}{2\pi r} (\pi r^2) = \frac{evr}{2}$$

$$\mu = \frac{e}{2m} L$$

También tiene cantidad de movimiento angular de espín y un momento dipolar magnético de espín en sentido opuesto.

Paramagnetismo

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{enc}} \quad (\text{ley de Ampère})$$



$$B \propto I$$

$$B \propto IA = \mu$$

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M}$$

$$\vec{M} = \frac{\vec{\mu}_{\text{total}}}{V}$$

magnetización

$$\vec{M} \propto \vec{B}$$

$$\vec{B} \propto \vec{B}_0 = K_m \vec{B}_0$$

$$\mu = K_m \mu_0$$

permeabilidad

$$\chi_m = K_m - 1$$

Suceptibilidad
magnética

Los materiales paramagnéticos (oxígeno, sodio, aluminio, platino, etc) tienen susceptibilidad magnética $\sim 10^{-5}$

Diamagnetismo

En ciertos materiales, el momento magnético total de todas las espiras atómicas de corriente es igual a cero cuando no hay un campo magnético.

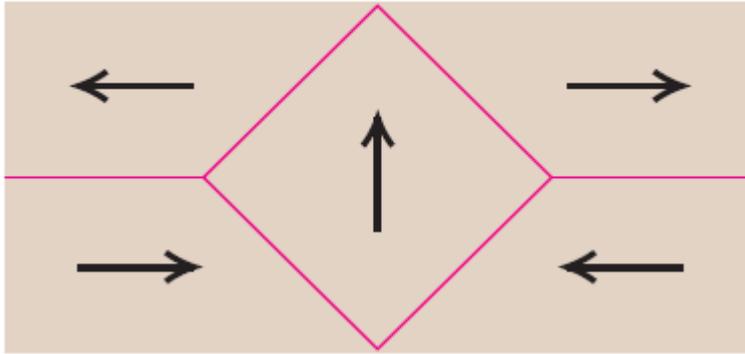
Estos materiales tienen efectos magnéticos porque un campo externo altera los movimientos de los electrones dentro de los átomos, lo que genera espiras de corriente adicionales y dipolos magnéticos inducidos.

La dirección del campo adicional causado por estas espiras de corriente siempre es *opuesta* a la dirección del campo externo por lo que la susceptibilidad magnética es negativa.

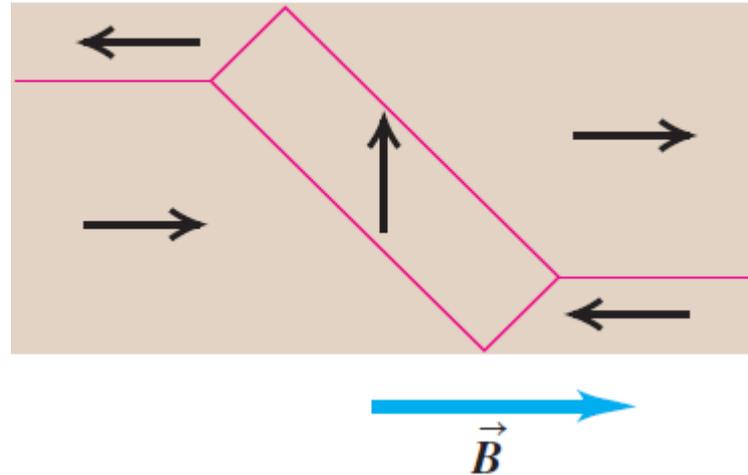
Los materiales paramagnéticos (cobre, plomo, plata, etc) tienen susceptibilidad magnética $\sim -10^{-5}$

Ferromagnetismo

a) No hay campo



c) Campo fuerte



Las interacciones fuertes entre los momentos magnéticos atómicos los incitan a alinearse paralelamente entre sí en regiones llamadas **dominios magnéticos**, aun cuando no esté presente un campo externo.

Dentro de cada dominio, casi todos los momentos magnéticos atómicos son paralelos.

La permeabilidad relativa K_m es *mucho* mayor que la unidad, comúnmente del orden de 1,000 a 100,000. Como resultado, un objeto de material ferromagnético (hierro, níquel, cobalto, etc.) es magnetizado fuertemente por el campo de un imán permanente y es atraído por éste.