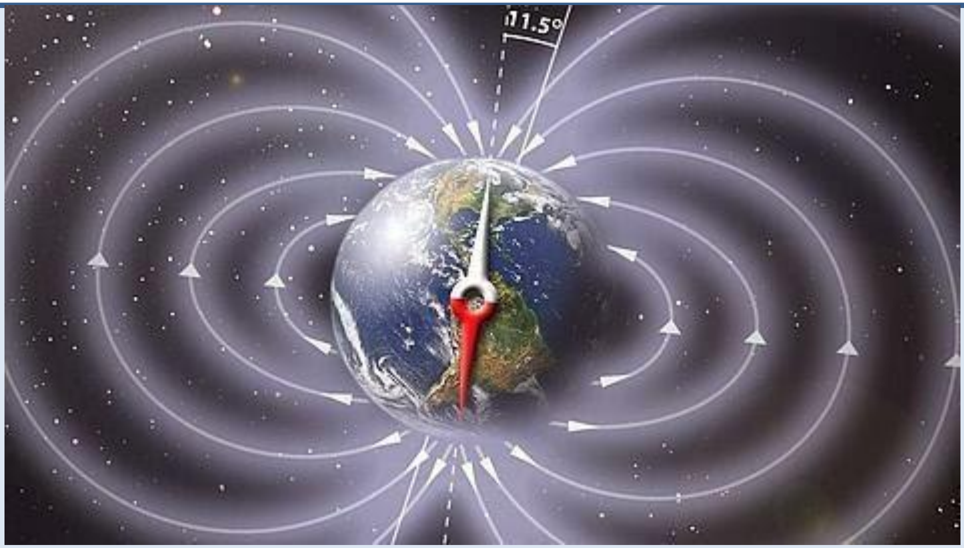
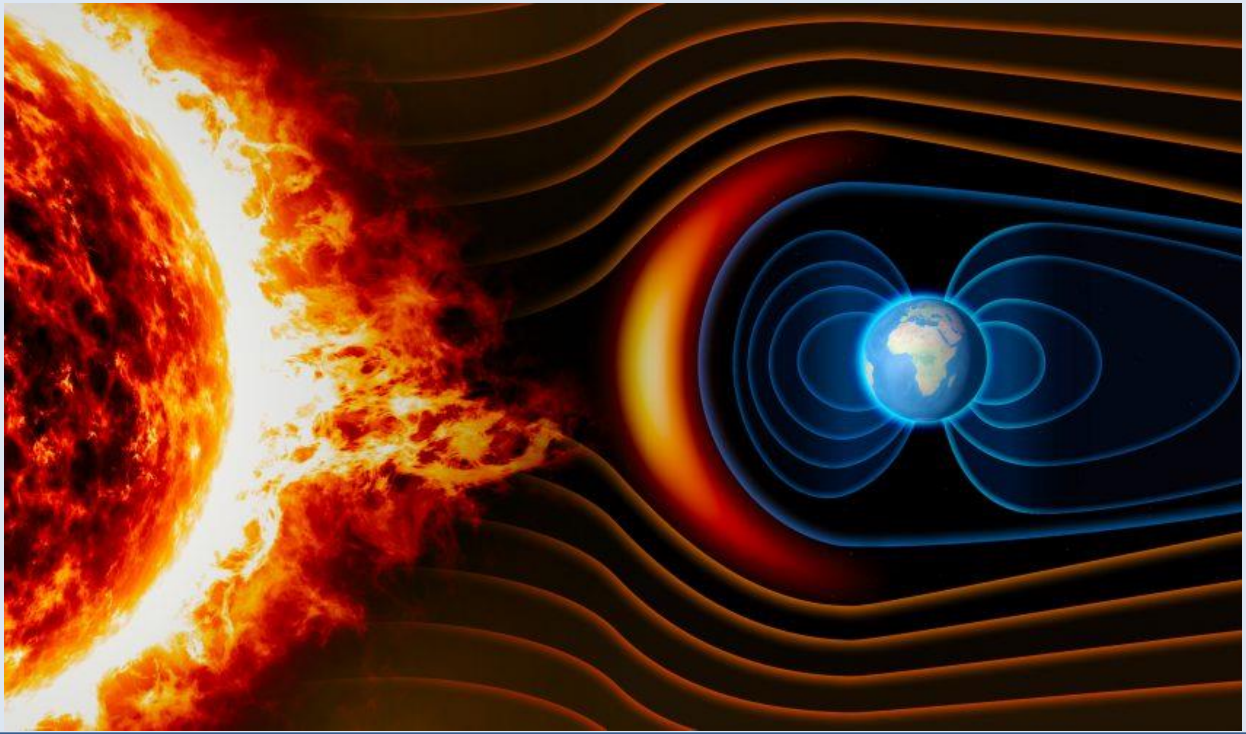
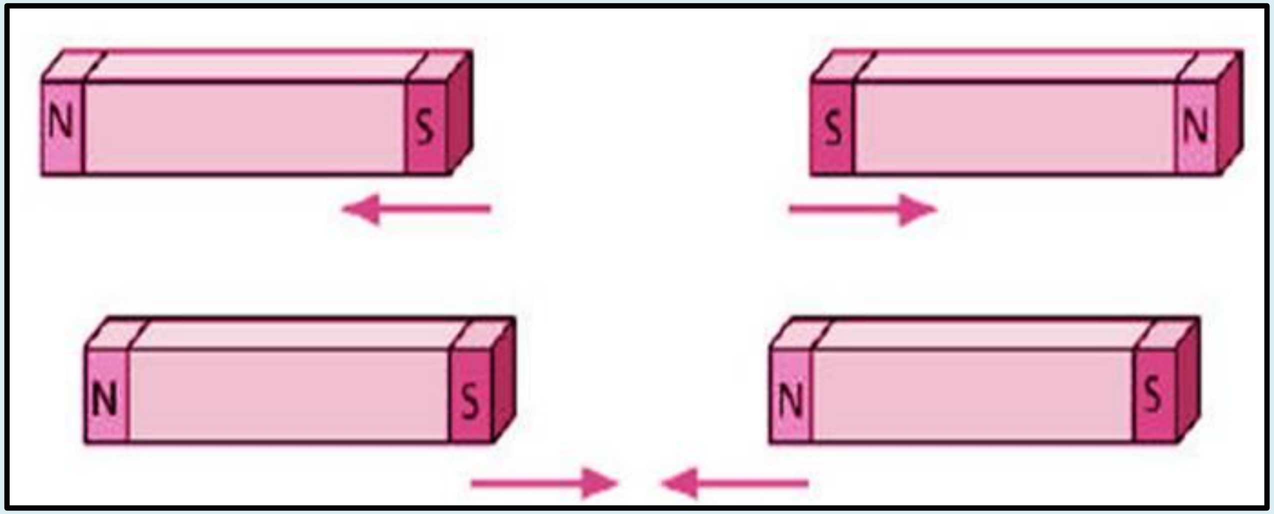
Interacción magnética





Interacción Magnética

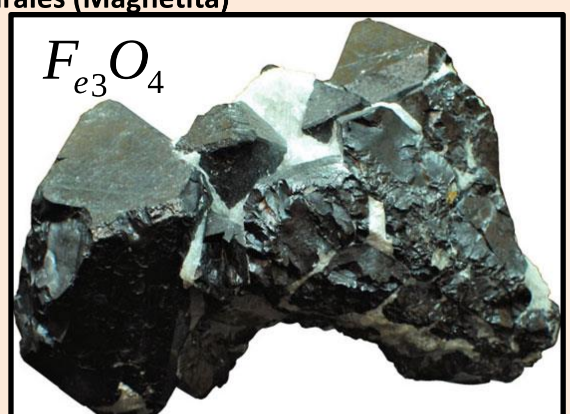
Los campos magnéticos son producidos por cualquier carga eléctrica en movimiento y el momento magnético intrínseco de las partículas elementales asociadas con una propiedad cuántica fundamental, su espín.



Monopolos magnéticos

Naturales (Magnetita)

$F_{e3}O_4$



Artificiales

Imán de neodimio $Nd_2Fe_{14}B$ ⇧ 1,4 Teslas

$$1T = 10^4 Gauss$$

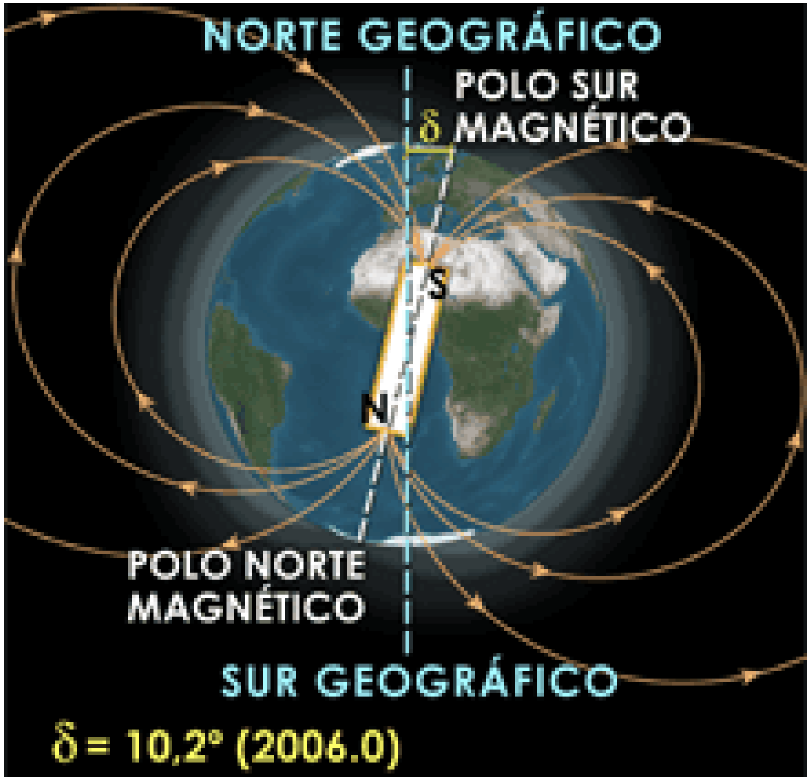
Electroimán

$15.000\, Gauss$

Barra pequeña

$100\, Gauss$

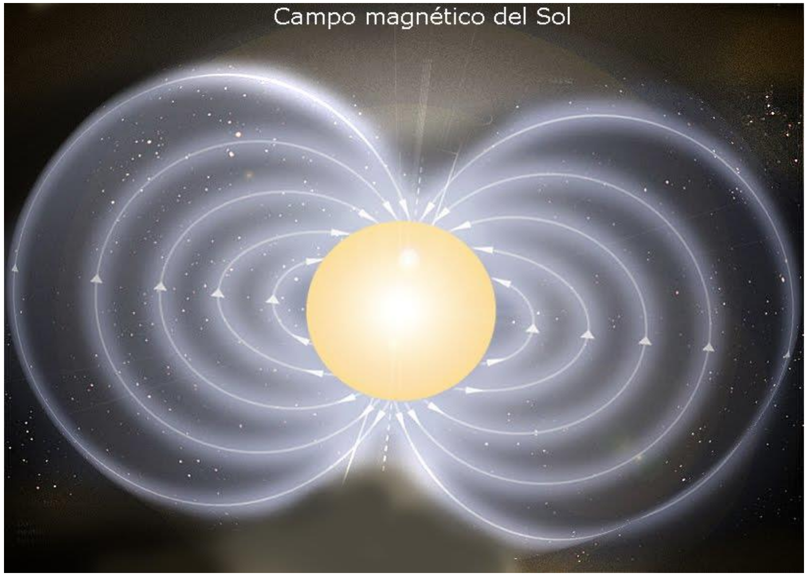
Campo Magnético terrestre



El campo magnético terrestre

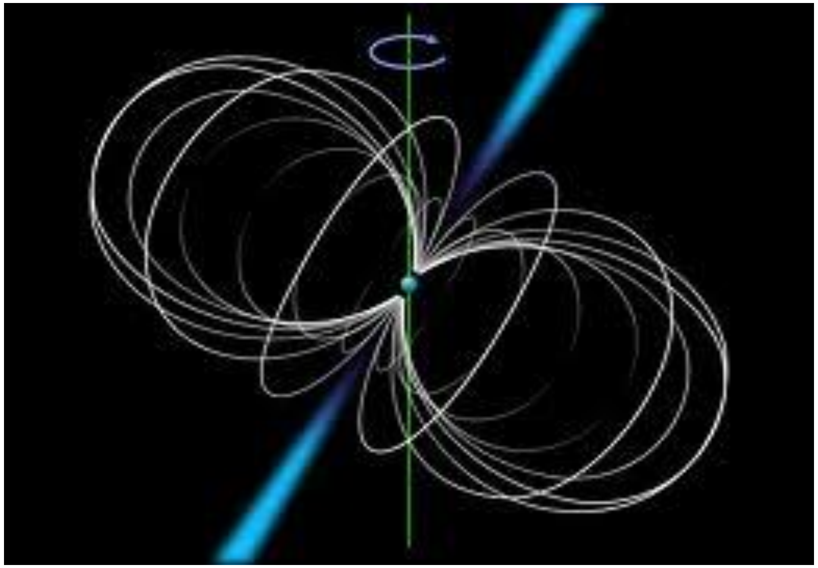
0,5 gauss, o $5\times10^{-5}T$

Sol Campo magnetico:1 Gauss

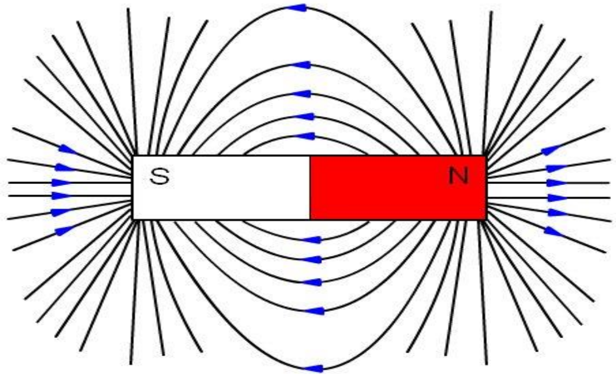


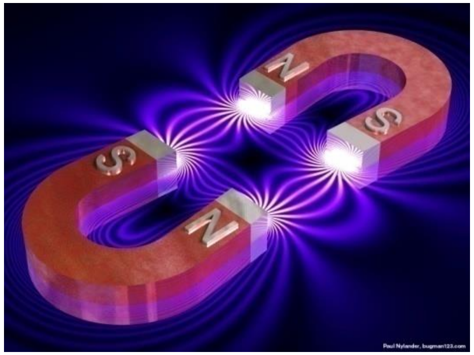
Estrellas de Neutrones

$10^{14} Gauss$



Líneas de flujo magnético





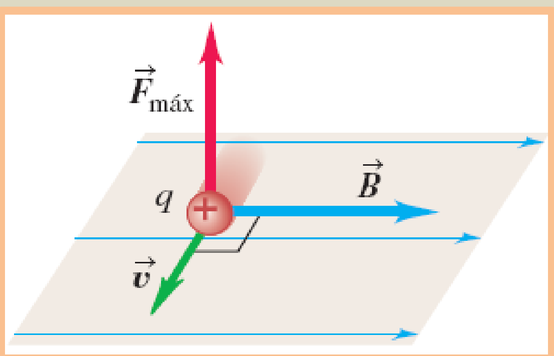
Un **imán** es un cuerpo o dispositivo con un magnetismo significativo, de forma que tiende a juntarse con otros **imanes** o metales ferromagnéticos

Fuerza magnética sobre una carga en movimiento

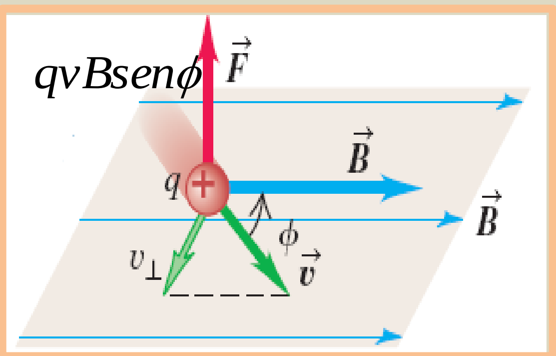
$$\boxed{\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}}$$

$$B = \frac{N}{C\frac{m}{s}} = Tesla\,(T)$$

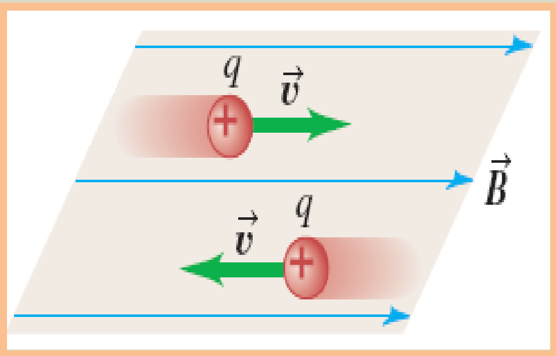
$\vec{F} \rightarrow$ Máximo $\vec{v} \perp \vec{B}$



$\vec{F} \rightarrow$ intermedia

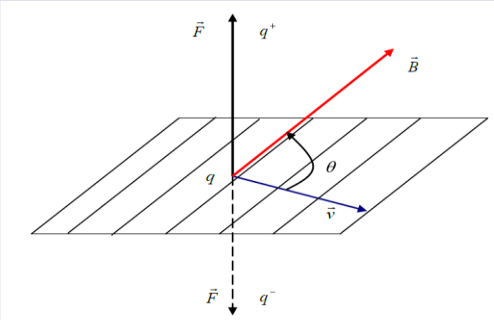


$\vec{F} \rightarrow$ Mínimo $\vec{v} \parallel \vec{B}$



$$\hat{i} \times \hat{j} = -\hat{j} \times \hat{i} = \hat{k} \qquad \hat{j} \times \hat{k} = -\hat{k} \times \hat{j} = \hat{i} \qquad \hat{k} \times \hat{i} = -\hat{i} \times \hat{k} = \hat{j} \qquad \hat{i} \times \hat{i} = \hat{j} \times \hat{j} = \hat{k} \times \hat{k} = 0$$

Fuerza de Lorentz



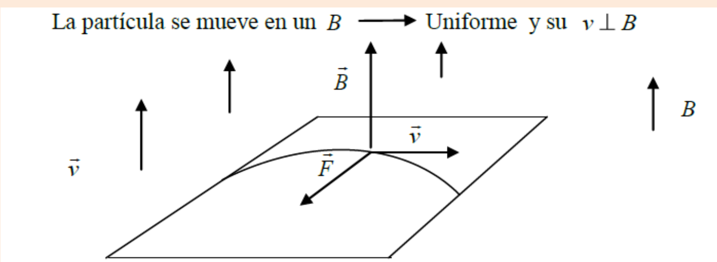
$$\vec{F}_T = \vec{F}_B + \vec{F}_E$$

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

$\vec{F} \rightarrow$ Máximo $\vec{v} \perp \vec{B}$

$\vec{F} \rightarrow$ Mínimo $\vec{v} \parallel \vec{B}$

Movimiento de una carga en un campo magnético uniforme.



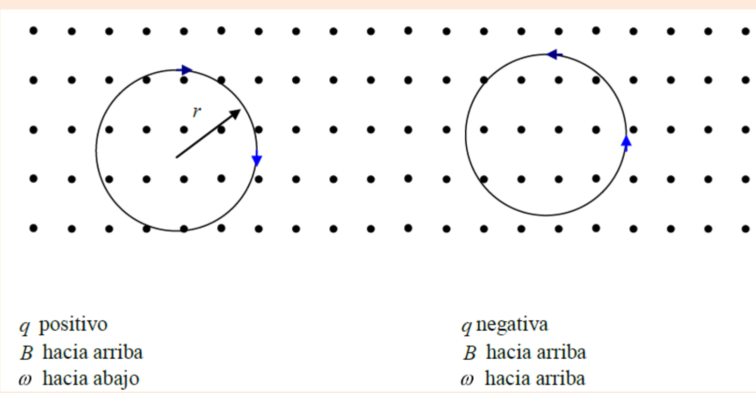
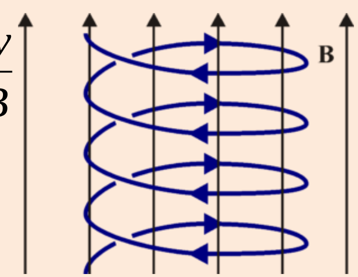


Figura: *Trayectorias circulares positivas y negativas en un campo magnético uniforme.*

$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \qquad F \perp v \quad \Rightarrow F = qvB$

v Cambia solo en dirección **MCU** $\qquad F = m\dfrac{v^2}{r}$

$qvB = m\dfrac{v^2}{r} \qquad \Rightarrow r = \dfrac{mv}{qB}$



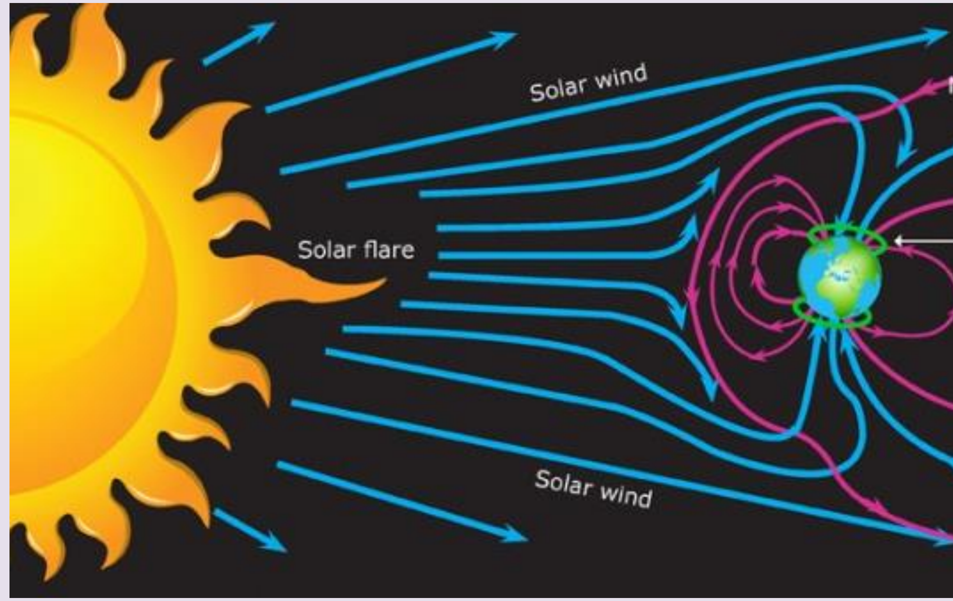
$$\vec{\omega} = -\left(\frac{q}{m}\right)\vec{B}$$

El movimiento de una partícula cargada en un campo magnético no uniforme es más complejo.

Fenómenos ligados a campos magnéticos

Auroras

partículas solares cargadas choca con la magnetósfera de la Tierra



Hemisferio Norte Aurora Boreales

hemisferio sur Aurora austral

Los colores de las auroras dependen de la especie atómica o molecular que las partículas del viento solar

Cinturones de van Allen

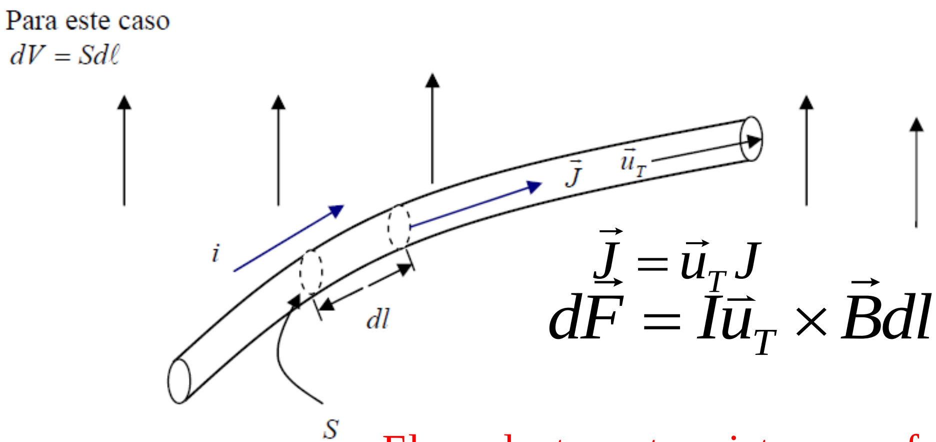
Los **cinturones de Van Allen** son dos zonas de la magnetosfera terrestre donde se concentran grandes cantidades de partículas cargadas de alta energía.

El cinturón interior se extiende desde unos 1000 km por encima de la superficie de la Tierra hasta más allá de los 5000.

El cinturón exterior, que se extiende desde unos 15000 km hasta unos 20000 km.

Fuerza magnética sobre una corriente eléctrica

Consideremos una sección transversal de un conductor por los que se mueven cargas q con velocidad $\boldsymbol{v}$



$$\vec{F} = \int \vec{J} \times \vec{B} S dl$$

$$\vec{J} = \vec{u}_T J$$

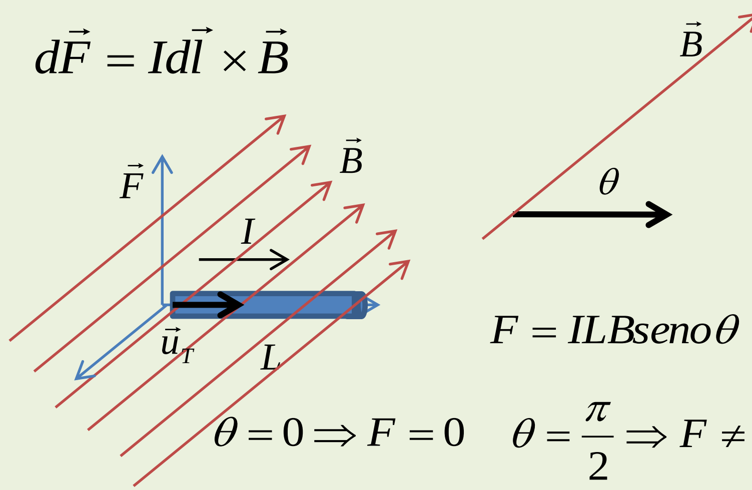
$$d\vec{F} = I\vec{u}_T \times \vec{B} dl = I\vec{u}_T dl \times \vec{B} \Rightarrow \boxed{d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}}$$

El conductor esta sujeto a una fuerza perpendicular a él y al campo magnético

Principio de los motores eléctricos

Conductor rectilíneo

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$$



$$F = ILBseno\theta$$

$$\theta = 0 \Rightarrow F = 0 \qquad \theta = \frac{\pi}{2} \Rightarrow F \neq 0$$

Ley de Ampere-Laplace

Premisa: **Existe un principio de Superposición de campos magnéticos: El campo magnético total generado por varias cargas en movimiento es la suma vectorial de los campos generados por las cargas individuales.**

$$\vec{B} = K_m I \oint \frac{\hat{u}_T \times \hat{u}_r}{r^2} dl \qquad \vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \oint \frac{\hat{u}_T \times \hat{u}_r}{r^2} dl$$

$$K_m = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}\, Tm/A$$

$\mu_0 \rightarrow$ Permeabilidad magnética

$$\mu_0 = 1.3566 \times 10^{-6}\, mkgC^{-2}$$

$$\hat{u}_T dl = d\vec{l}$$

$$\vec{u}_r = |r| \hat{r} = \hat{r}$$

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

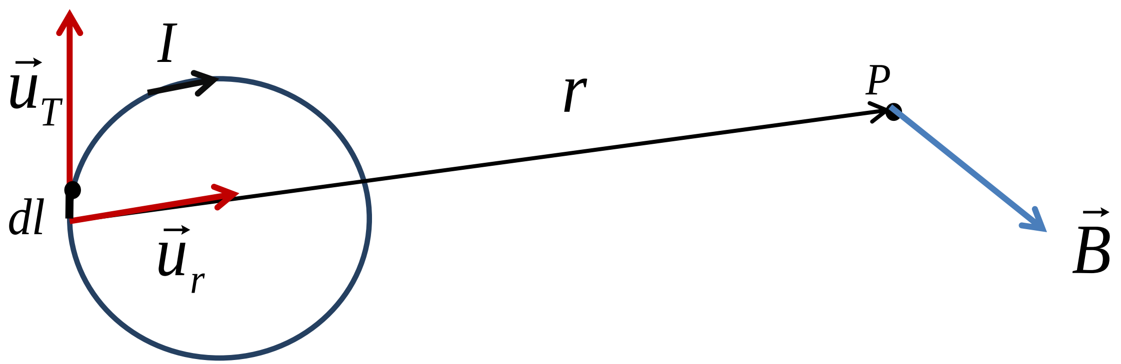
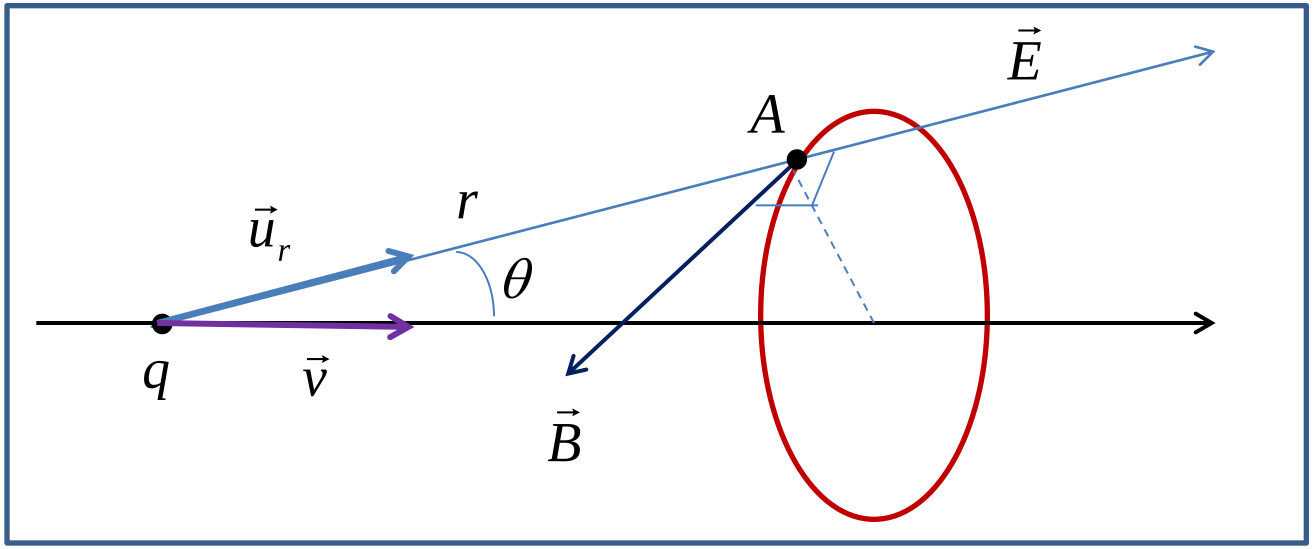


Fig. Campo magnético producido en un punto P por una corriente eléctrica

El campo magnético, y por lo tanto la interacción magnética, es producida por cargas eléctricas en movimiento

Campo Magnético de una carga en movimiento



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

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q\vec{u}_r}{r^2}$$

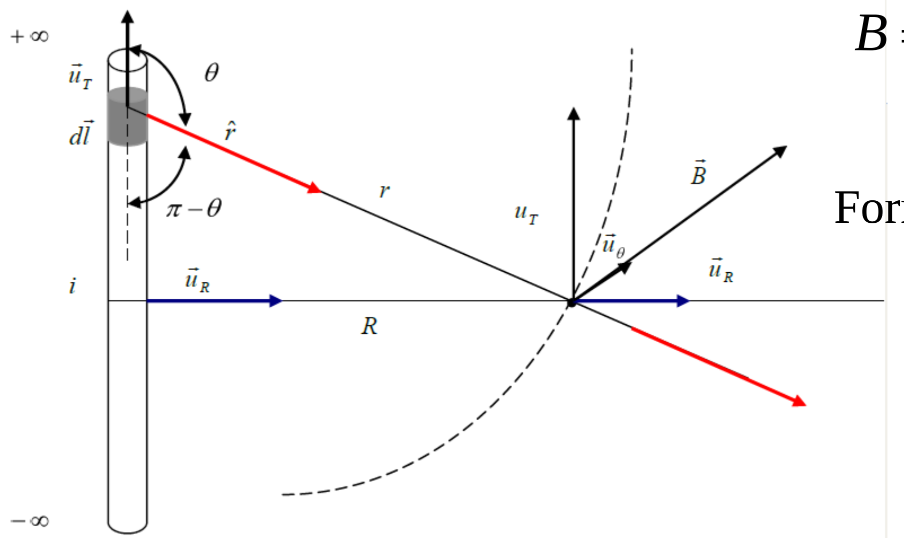
Fig. Campo eléctrico y magnético producidos por una carga en movimiento

Magnitud $$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{qv_r sen\theta}{r^2}$$

$$\vec{B} = \mu_0\varepsilon_0\vec{v}\times\vec{E} \qquad c^2 = \frac{1}{\mu_0\varepsilon_0} \qquad \vec{B} = \frac{1}{c^2}\vec{v}\times\vec{E}$$

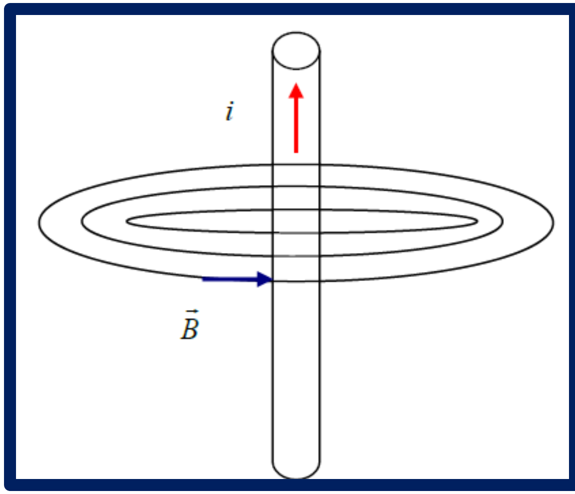
Campo Magnético de una corriente rectilínea

Sea un conductor muy largo por la que circula una corriente

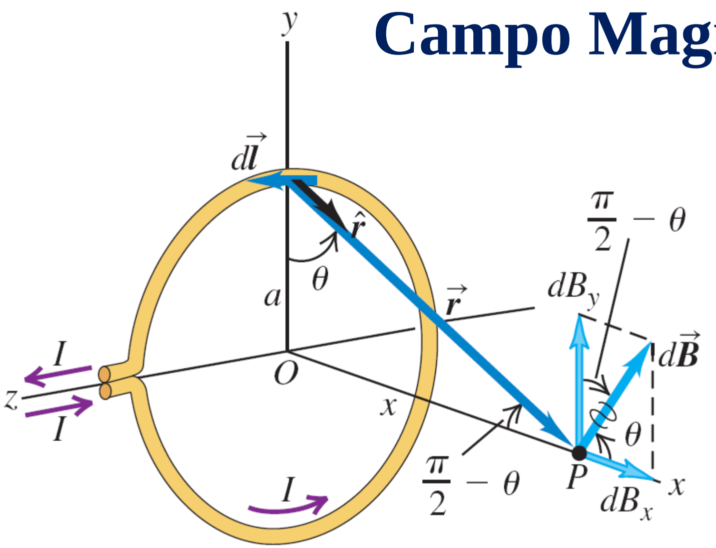


$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}\vec{u}_\theta$$

Formula de Biot-Savart



Campo Magnético de una corriente cerrada



$$B_x = \frac{\mu_o i}{2}\frac{a^2}{\left(a^2 + x^2\right)^{3/2}}$$

Fuerzas entre corrientes

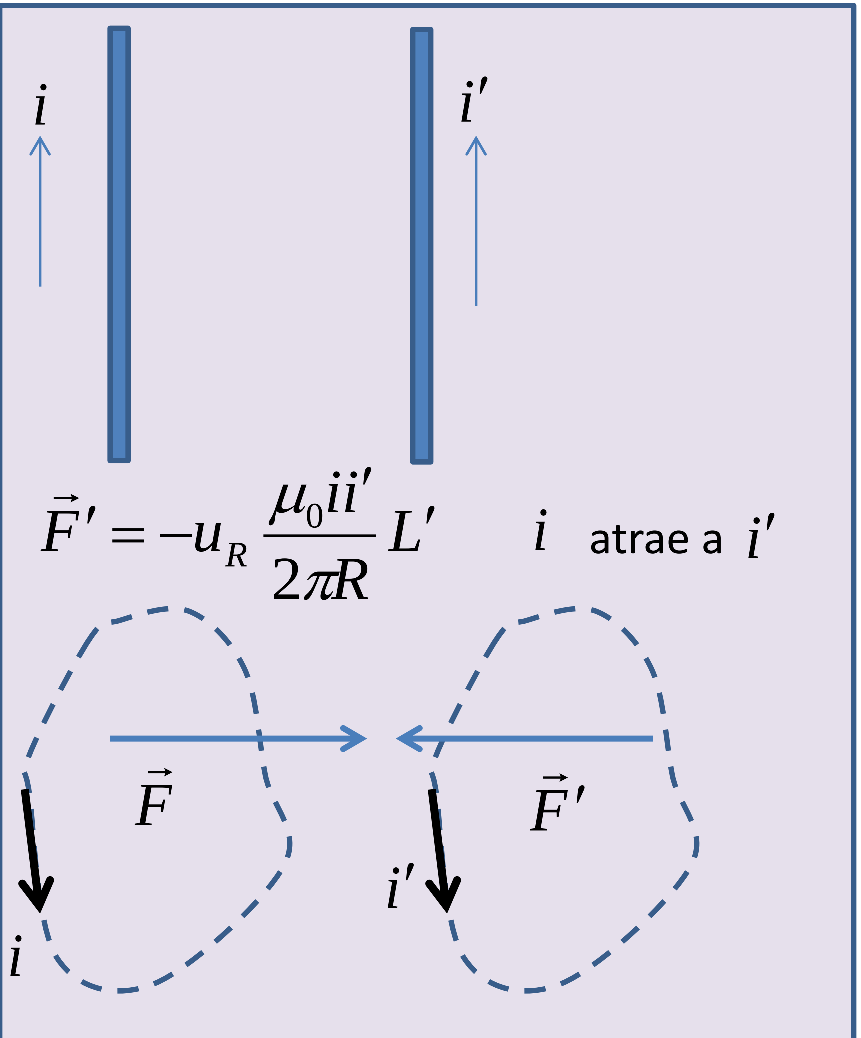


Fig. 1. Atracción entre dos fuerzas

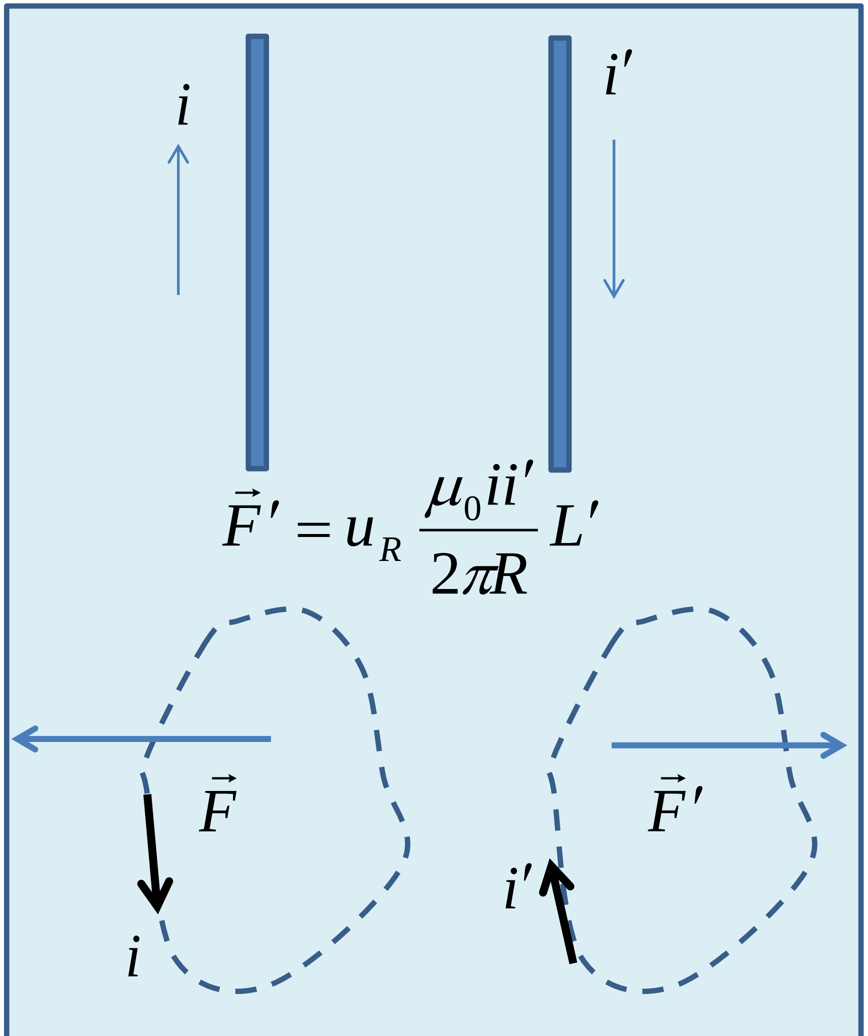
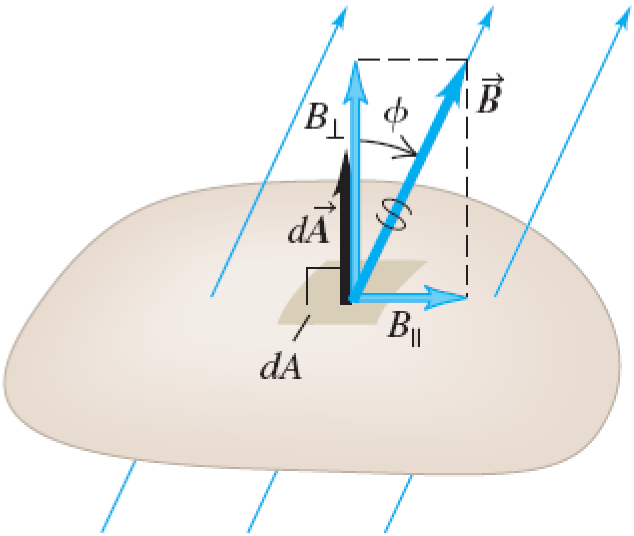


Fig. 2. Repulsión entre dos fuerzas

Dos corrientes paralelas en el mismo sentido se atraen con fuerzas iguales resultado de su interacción magnética.

Flujo Magnético y la ley de Gauss del magnetismo



Definimos el flujo magnético

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

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

Unidades

$$\Phi_B = BA \qquad \Phi_B \rightarrow Tm^2 \qquad Tm^2 \rightarrow weber$$

La ley de Gauss del magnetismo

$$\Phi_B = \oint B\cos\phi\,\hat{n}\,dA = \oint \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0$$

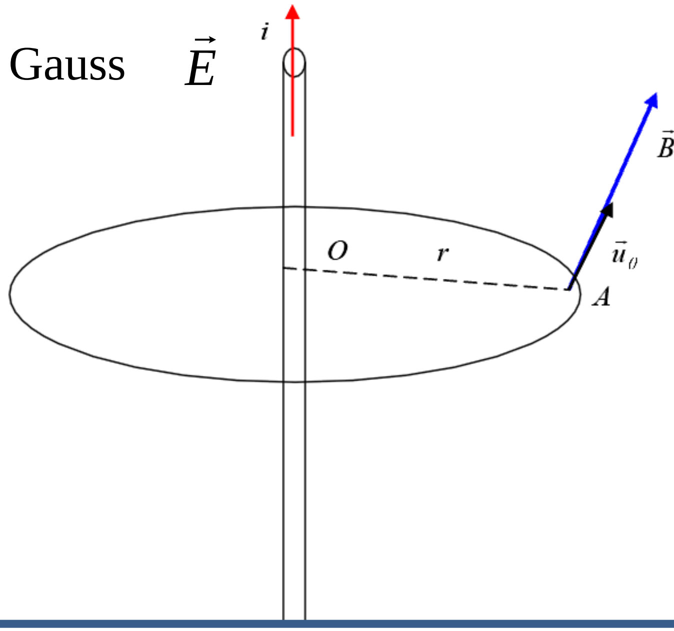
La ley de Gauss anteriormente

$$\Phi_E = \oint E\cos\phi\,\hat{n}\,dA = \oint \vec{E}\cdot d\vec{A} \neq 0$$

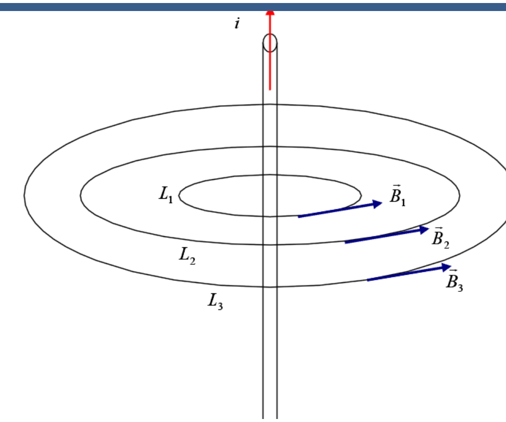
El flujo magnético total a través de una superficie cerrada siempre es igual a cero.

Ley de Ampere para el campo magnético

Ley de Gauss $\vec{E}$



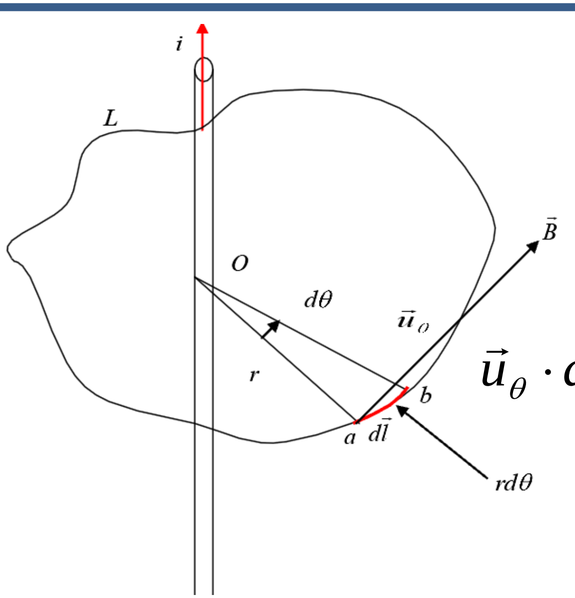
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}\vec{u}_\theta$$



$$\Lambda_B = \oint_C \vec{B}\cdot dl = B\oint_{2\pi r} dl$$

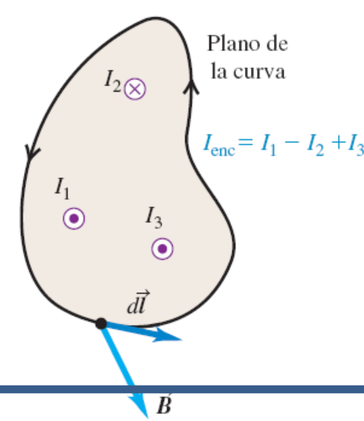
$$\Lambda_B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} 2\pi r \quad \Rightarrow \quad \Lambda_B = \mu_0 i$$

independiente del radio de la órbita



$$\Lambda_B = \oint_C \vec{B}\cdot dl = \oint_{2\pi r} \frac{\mu_0 i}{2\pi r}\vec{u}_\theta dl \Rightarrow \Lambda_B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}\oint \frac{\vec{u}_\theta \cdot d\vec{l}}{r}$$

$$\vec{u}_\theta \cdot d\vec{l} = r d\theta \qquad \Lambda_B = \frac{\mu_0 i}{2\pi}\oint_{2\pi} d\theta \qquad \Lambda_B = \mu_0 i$$



$$i = i_1 + i_2 + i_3 + \ldots.$$

Válida aun cuando la corriente no sea rectilínea

Ley de Ampére en forma diferencial

$$\frac{\partial B_y}{\partial x} - \frac{\partial B_x}{\partial y} = \mu_0 J_z \qquad \frac{\partial B_z}{\partial y} - \frac{\partial B_y}{\partial z} = \mu_0 J_x \qquad \frac{\partial B_x}{\partial z} - \frac{\partial B_z}{\partial x} = \mu_0 J_y$$

$$\boxed{\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}}$$

Esta es una relación local entre $\vec{B}$ en un punto y la densidad de corriente $\vec{J}$ en el mismo punto del espacio.

Para un $\vec{E} = cte$ (Estacionario) $\quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$

Ley de Gauss para el campo magnético

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0$$

$$\boxed{\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0}$$

Ecuaciones del campo electromagnético estacionario

Ley	Forma integral	Forma diferencial
Ley de Gauss para el campo eléctrico	$\oint_S \vec{E}\cdot\vec{u}_N dS = \frac{q}{\varepsilon_0}$	$\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$
Ley de Gauss para el campo magnético	$\oint_S \vec{B}\cdot\vec{u}_N dS = 0$	$\vec{\nabla}\cdot\vec{B} = 0$
Circulación del campo eléctrico	$\oint_L \vec{E}\cdot d\vec{l} = 0$	$\vec{\nabla}\times\vec{E} = 0$
Circulación del campo magnético	$\oint_S \vec{B}\cdot\vec{d} = \mu_0 I$	$\vec{\nabla}\times\vec{B} = \mu_0\vec{J}$

$$\vec{\nabla} = \hat{i}\frac{\partial}{\partial x} + \hat{j}\frac{\partial}{\partial y} + \hat{z}\frac{\partial}{\partial z}$$

Electromagnetismo y el principio de la Relatividad

Todas las leyes de la naturaleza deben ser idénticas para todos los observadores inerciales

Vamos a obtener una relación entre los campos (E,B) medidos por dos observadores en movimiento relativo uniforme. (satisfaga el Princ. De la Relatividad)

Supongamos que tenemos dos observadores O O' en movimiento relativo $\boldsymbol{v}$

La fuerza ejercida por Q que mide O sobre q $\longrightarrow$ $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

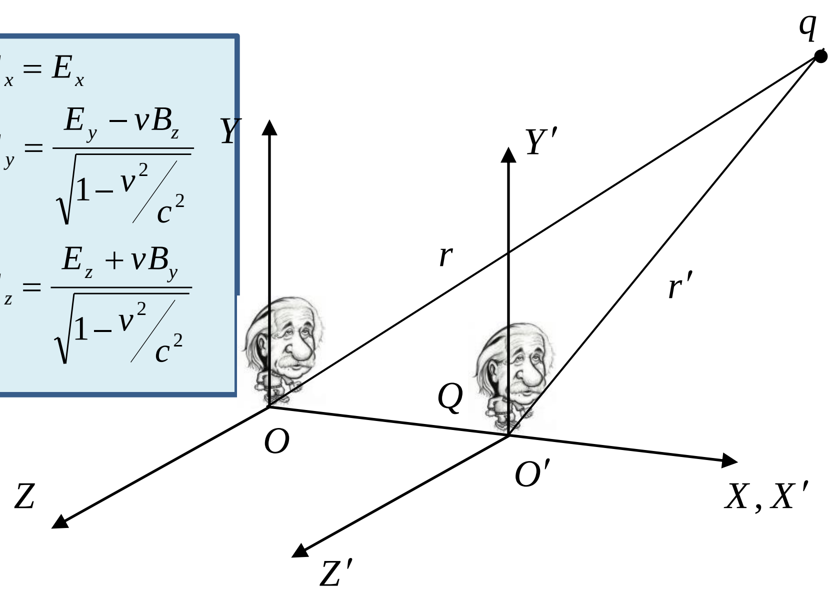
Dos carga Q, q en reposo respecto a O' y movimiento respecto a O

$$E'_x = E_x$$

$$E'_y = \frac{E_y - vB_z}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$E'_z = \frac{E_z + vB_y}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Campo eléctrico medido por el observador O' con los campos eléctricos y magnéticos medidos por O



Q esta en movimiento con respecto a O'. Este observador mide un B mas un E.

$$B'_x = B_x$$

$$B'_y = \frac{B_y + vE_z/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$E'_z = \frac{B_z - vE_y/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Fig. Comparación de las medidas electromagnéticas hechas por dos observadores en movimiento relativo

La separación de un campo electromagnético en un $\vec{E}$ y $\vec{B}$ no es un procedimiento absoluto sino que depende del movimiento de las cargas respecto al observador.

No debemos hablar de las interacciones eléctricas y magnéticas por separados, sino como de los dos aspectos de la interacción electromagnética