# Fuerza magnética sobre conductores.

**Previamente se analizó el comportamiento de una carga *q* que se mueve con una velocidad dentro de un campo magnético $\vec{B}$, la cual experimenta una fuerza dada por la expresión:**

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

# Fuerza magnética sobre conductores.

## Obteniendo la magnitud de la fuerza

$$F = q \cdot v \cdot \operatorname{sen}\alpha \cdot B$$

**Si en ángulo α entre los vectores y es 90 [°], entonces**

$$F = q \cdot v \cdot B$$

# Fuerza magnética sobre conductores.

**La velocidad se puede expresar como:**

$$\mathrm{v} = \frac{\ell}{\mathrm{t}}\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$$

**Sustituyendo**

$$F = q \cdot \frac{\ell}{t} \cdot B = \frac{q}{t} \cdot \ell \cdot B = I \cdot \ell \cdot B = B \cdot I \cdot \ell$$

# Fuerza magnética sobre conductores.

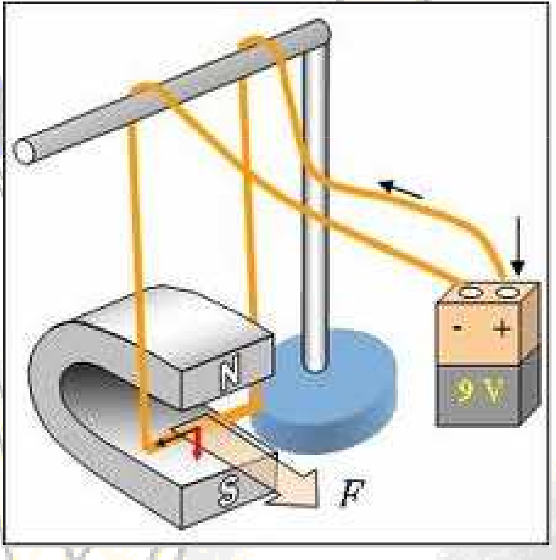
**Expresando la ecuación anterior de manera vectorial:**

$$\vec{F} = I\left(\vec{\ell} \times \vec{B}\right)$$

**Por medio de esta expresión se puede determinar la fuerza de origen magnético que actúa sobre un conductor recto de longitud L, que se encuentra en una región de campo magnético y por el cual circula una corriente I.**

# Fuerza magnética sobre conductores.

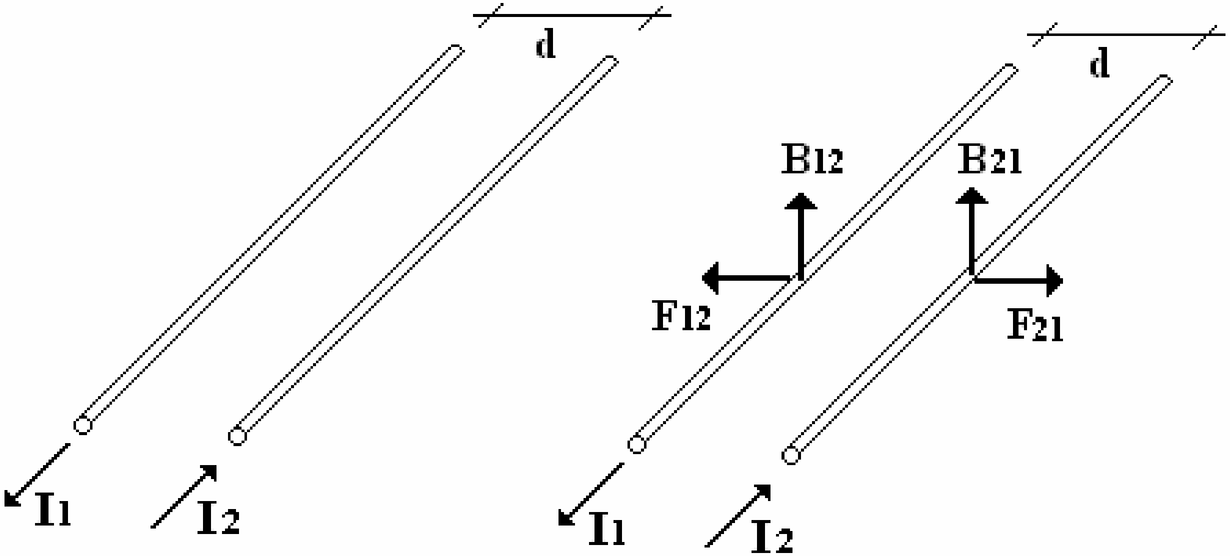
Nótese que el vector tiene la dirección definida por el sentido convencional de la corriente eléctrica.




La aplicación de la expresión anterior nos permite analizar las fuerza entre conductores paralelos observadas por Ampere.

# Fuerza magnética sobre conductores.

En la siguiente figura se muestran dos conductores rectos, paralelos muy largos separados una distancia "d", por los cuales circulan las corrientes $I_1$ e $I_2$ en sentidos contrarios.



# Fuerza magnética sobre conductores.

- Como se ha visto cada conductor producirá un campo magnético propio que afectará al otro conductor el cual experimentará una fuerza como se indica en la figura anterior en el lado derecho.

La magnitud de las fuerzas que actúan sobre cada conductor es:

# Fuerza magnética sobre conductores.

## Fuerza sobre el conductor 1.

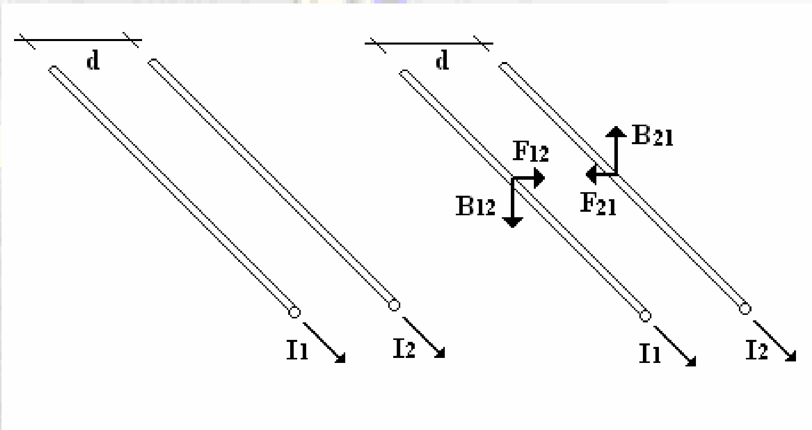
$$F_{12} = I_1 \cdot \ell \cdot B \cdot \mathrm{sen}\alpha = I_1 \cdot \ell \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_2}{2\pi \cdot d} [N]$$

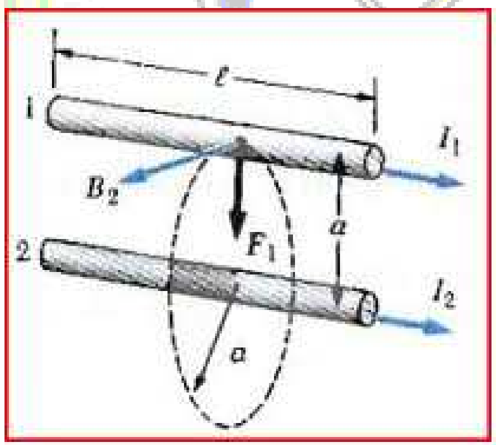
## Fuerza sobre el conductor 2.

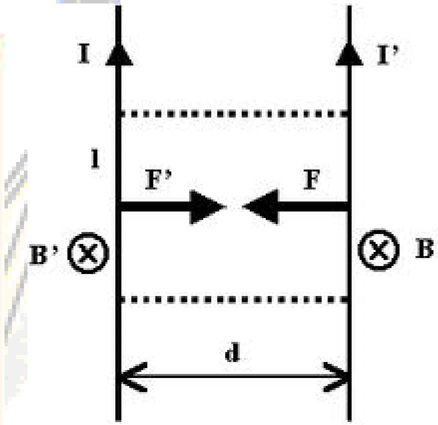
$$F_{21} = I_2 \cdot \ell \cdot B \cdot \mathrm{sen}\alpha = I_2 \cdot \ell \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot d} [N]$$

# Fuerza magnética sobre conductores.

**Para corrientes eléctricas en el mismo sentido, la magnitud de las fuerza es la misma pero se invierten sus sentidos como se muestra en la siguiente figura.**



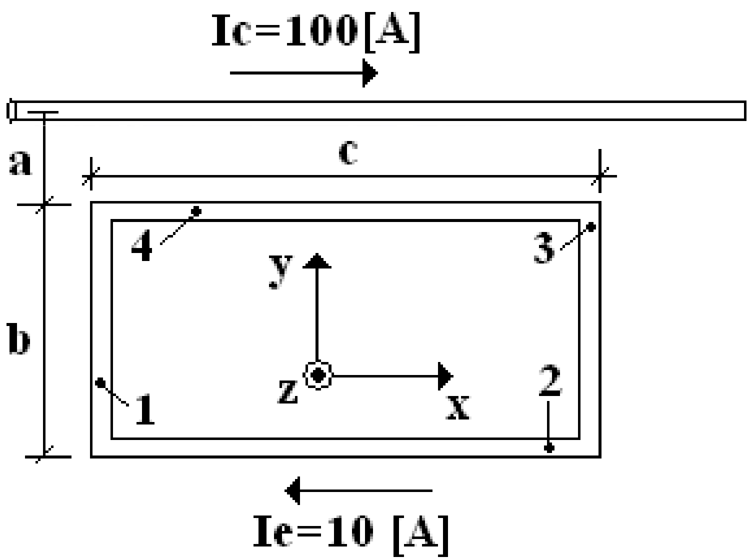




Fuerza magnética sobre conductores.

# Fuerza magnética sobre conductores.

- Ejemplo.

Calcular la fuerza total sobre una espira rectangular (ancho b=5 [cm] y largo c=10 [cm]) por la cual fluye una corriente Ie=10 [A], coplanar a un conductor recto y largo que transporta una corriente Ic=100 [A], como se muestra en la figura.



# Fuerza magnética sobre conductores.

- La fuerza sobre la espira, aplicando el principio de superposición, es:

$$\vec{F}_{esp} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$$

El campo magnético producido por el conductor en la zona donde se encuentra la espira tiene la dirección de $\left(-\hat{k}\right)$

# Fuerza magnética sobre conductores.

Aplicando regla de la mano izquierda a los lados 2 y 4 de la espira se ve que las fuerzas que actúan sobre estos lados son de la misma magnitud y de sentido contrario por lo que sus efectos se cancelan mutuamente. Por lo tanto la fuerza en la espira es:

$$\vec{F}_{esp} = \vec{F}_1 + \vec{F}_3$$

# Fuerza magnética sobre conductores.

Para el lado 1 de la espira:

$$F_1 = BI_e\ell = BI_e c = \frac{\mu_0 I_c}{2\pi a} I_e c$$

Para el lado 3 de la espira:

$$F_3 = BI_e\ell = BI_e c = \frac{\mu_0 I_c}{2\pi(a+b)} I_e c$$

# Fuerza magnética sobre conductores.

La fuerza en la espira es:

$$\vec{F}_{esp} = I_e c \frac{\mu_o I_c}{2\pi a}\hat{j} - I_e c \frac{\mu_o I_c}{2\pi(a+b)}\hat{j}$$

$$\vec{F}_{esp} = I_e c \frac{\mu_o I_c}{2\pi a}\left[\frac{1}{a} - \frac{1}{(a+b)}\right]\hat{j}$$

# Fuerza magnética sobre conductores.

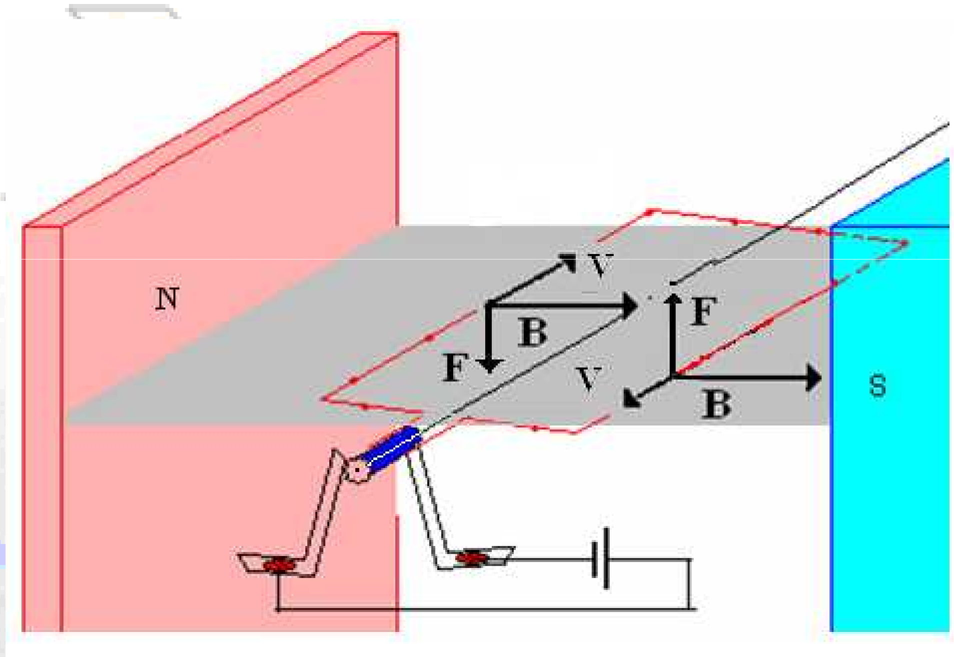
Sustituyendo valores:

$$\vec{F}_{esp} = \frac{10\left(10\times10^{-2}\right)4\pi\times10^{-7}}{2\pi}\left[\frac{1}{0.02}-\frac{1}{0.07}\right]\hat{j}[N]$$

$$\vec{F}_{esp} = 7.143\times10^{-4}\,\hat{j}[N]$$

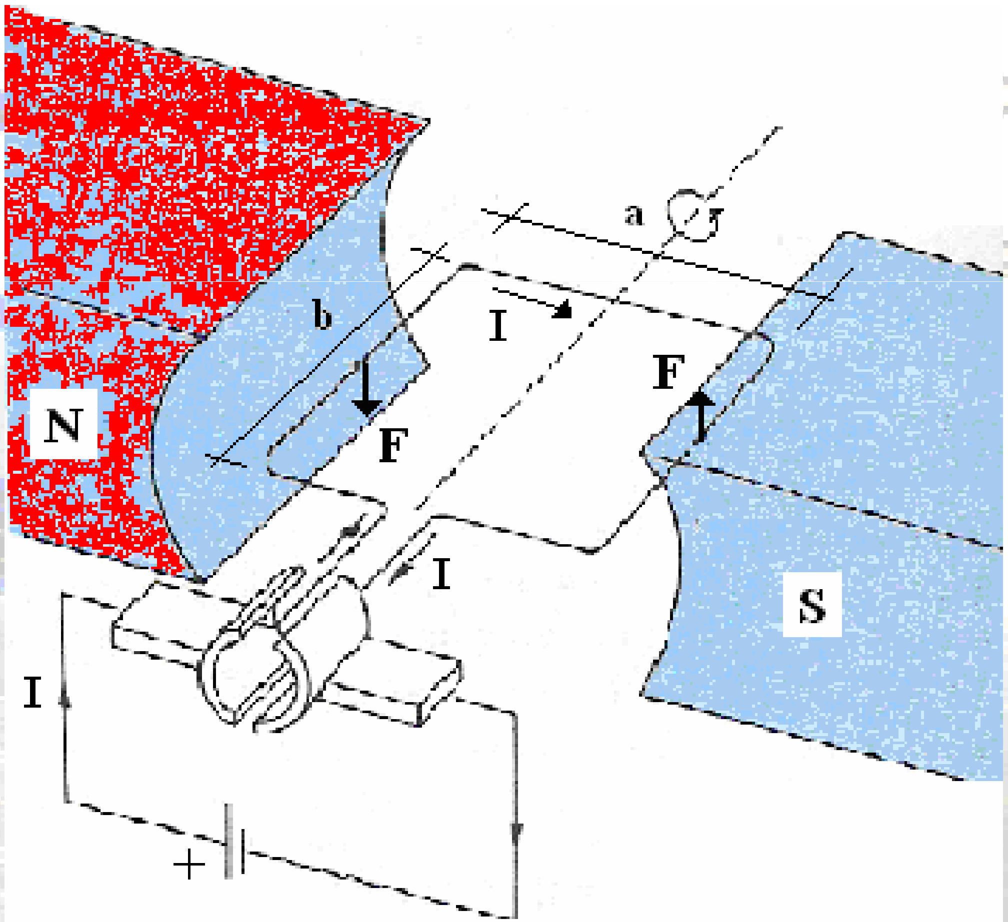
# Fuerza magnética sobre conductores.

Una aplicación de la fuerza de origen magnético en conductores es en el principio de funcionamiento de los motores como el que se muestra a continuación.

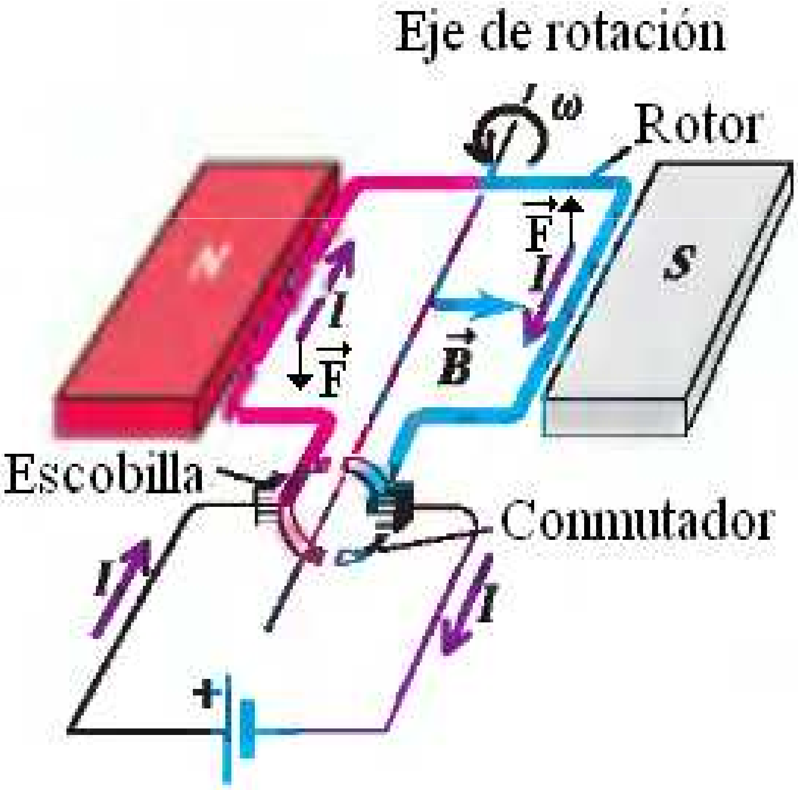


# Fuerza magnética sobre conductores.

Es de observar el conmutador partido.



# Motor de corriente continua

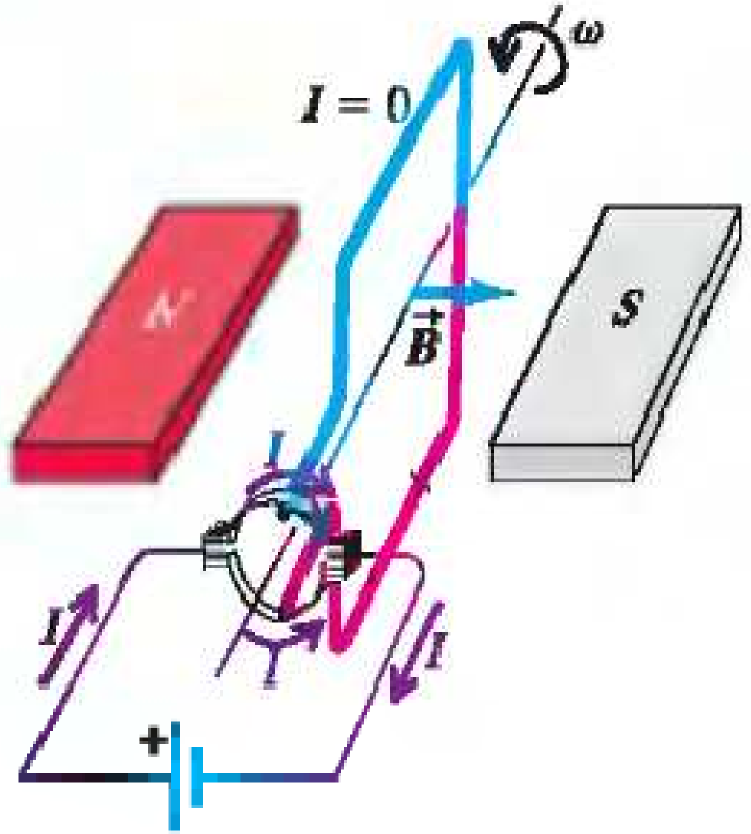



Las escobillas estan alineadas con los segmentos del conmutador.

La corriente entra por el lado rojo del rotor y sale por el azul.

El momento de torsión magnético hace girar el rotor en sentido contrario a las manecillas del reloj.

# Motor de corriente continua



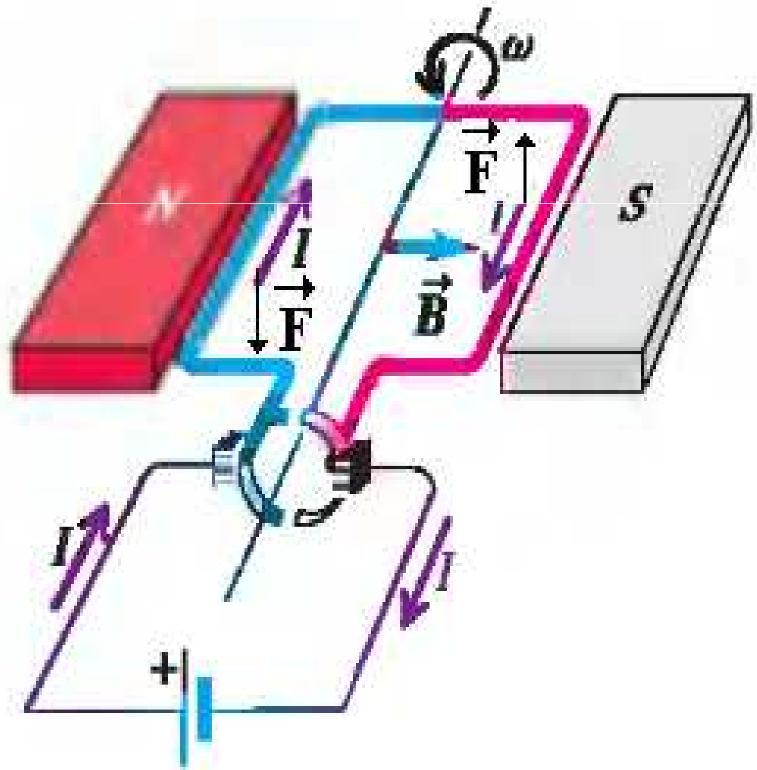

El rotor ha girado 90 [°]

Cada escobilla está en conctacto con ambos segmentos del conmutador.

La corriente solo fluye entre las escobillas, es decir, se devia del rotor.

No hay momento de torsión

# Motor de corriente continua




Las escobillas están alineadas con los segmentos del conmutador

La corriente entra por el lado azul y sale por el rojo.

De nuevo, el momento de torsión magnético hace girar el rotor en sentido contrario a las manecillas del reloj

# Fuerza magnética sobre conductores.

**El par magnético que actúa sobre una espira se obtiene mediante un producto vectorial.**

$$\tau_m = \vec{d} \times \vec{F}$$

**Donde $\vec{d}$ es el vector distancia dirigido de la línea de acción de una de las fuerzas del par hacia la línea de acción de la otra fuerza.**

# Fuerza magnética sobre conductores.

**Recordando que la fuerza de origen magnético que actúa sobre un conductor recto de longitud $\ell$ , que se encuentra en una región donde hay un campo magnético y por el cual circula una corriente I es:**

$$\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B}$$

**Si en la figura anterior "a" es la distancia entre las fuerzas de origen magnético y "b" es la longitud de la misma, al sustituir la segunda expresión en la primera se obtiene**

# Fuerza magnética sobre conductores.

**la siguiente expresión:**

$$\tau_m = I \cdot a \cdot b \cdot \operatorname{sen}\alpha \cdot B$$

**O en forma vectorial** $\tau_m = I\,\vec{A} \times \vec{B}$

**Donde:** $A = a\,b\,\left[m^2\right]$

**Es el área de la espira.**

# Fuerza magnética sobre conductores.

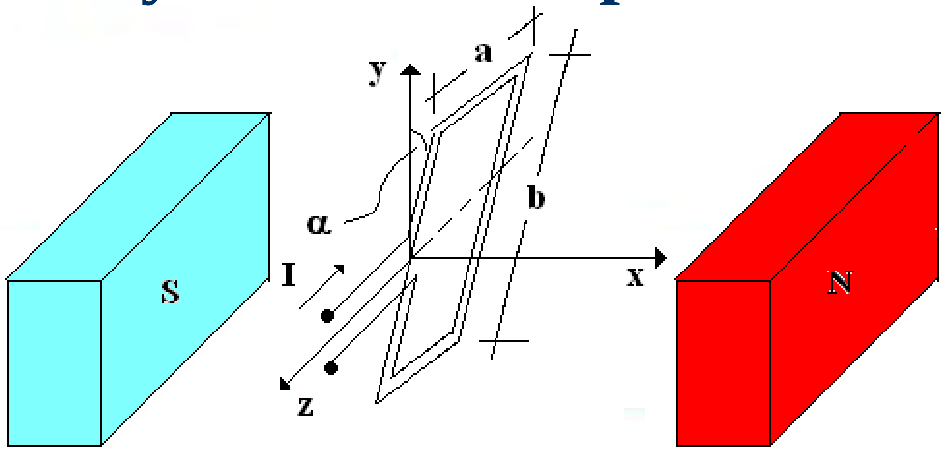
Esta expresión es válida en espiras de formas geométricas irregulares, planas y colocadas en una región de campo magnético uniforme.

Si en lugar de una espira se cuenta con una bobina de N espiras muy juntas y se puede considerar que todas son afectadas por el mismo campo magnético, el momento magnético será:

$$\tau_m = NI \cdot \vec{A} \times \vec{B}$$

# Motor de corriente continua

**En el motor mostrado en la figura, por su rotor circula una corriente I=1.2 [A], éste consta de 120 vueltas de largo a=20 [cm] y ancho b=10 [cm] y esta bajo un campo uniforme $\vec{B} = -0.6\hat{i}[T]$. El plano del rotor forma un ángulo alfa de 30 [°] con el plano "yz". Para la posición mostrada determine:**



# Motor de corriente continua

a) El vector fuerza magnética sobre el lado “a” del rotor.
b) El par del motor (momento magnético)
c) El sentido de giro
d) El flujo a través de las espiras.

# Motor de corriente continua

a) La fuerza en parte superior en dirección "y" y en la parte inferior en la dirección –"y".

$$\vec{F} = I\left(\vec{\ell} \times \vec{B}\right)$$

$$\vec{F} = 1.2\left[\left((-0.2\hat{k}\right)\times\left(-0.6\hat{i}\right)\right]120 = 17.28\hat{j}\,[N]$$

# Motor de corriente continua

b) El par magnético.

$$\vec{\tau} = IN\left(\vec{A} \times \vec{B}\right)$$

$$\vec{A} = A\left[\left(\left(-\cos\alpha\hat{i}\right) + \left(\operatorname{sen}\alpha\hat{j}\right)\right)\right]$$

$$\vec{A} = (0.2)(0.1)\left[-0.866\hat{i} + 0.5\hat{j}\right]$$

$$\vec{A} = \left[-0.017\hat{i} + 0.01\hat{j}\right]\left[m^2\right]$$

# Motor de corriente continua

$$\vec{\tau} = (120)(1.2)\begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ -0.0173 & 0.01 & 0 \\ -0.6 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0.864\hat{k}[\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}]$$

**c) Debido a las fuerzas del inciso a) el motor gira en sentido contrario a las manecillas del reloj**

# Motor de corriente continua

d) El flujo a través de las espiras.

$$\phi = \iint \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

$$\phi = \iint B\cos\alpha\, ds = B\cos\alpha \iint ds$$

$$\phi = B\cos\alpha A = 0.6(\cos 30)(0.2)(0.1)$$

$$\phi = 0.0104[\mathrm{Wb}]\ \text{hacia la izquierda}$$

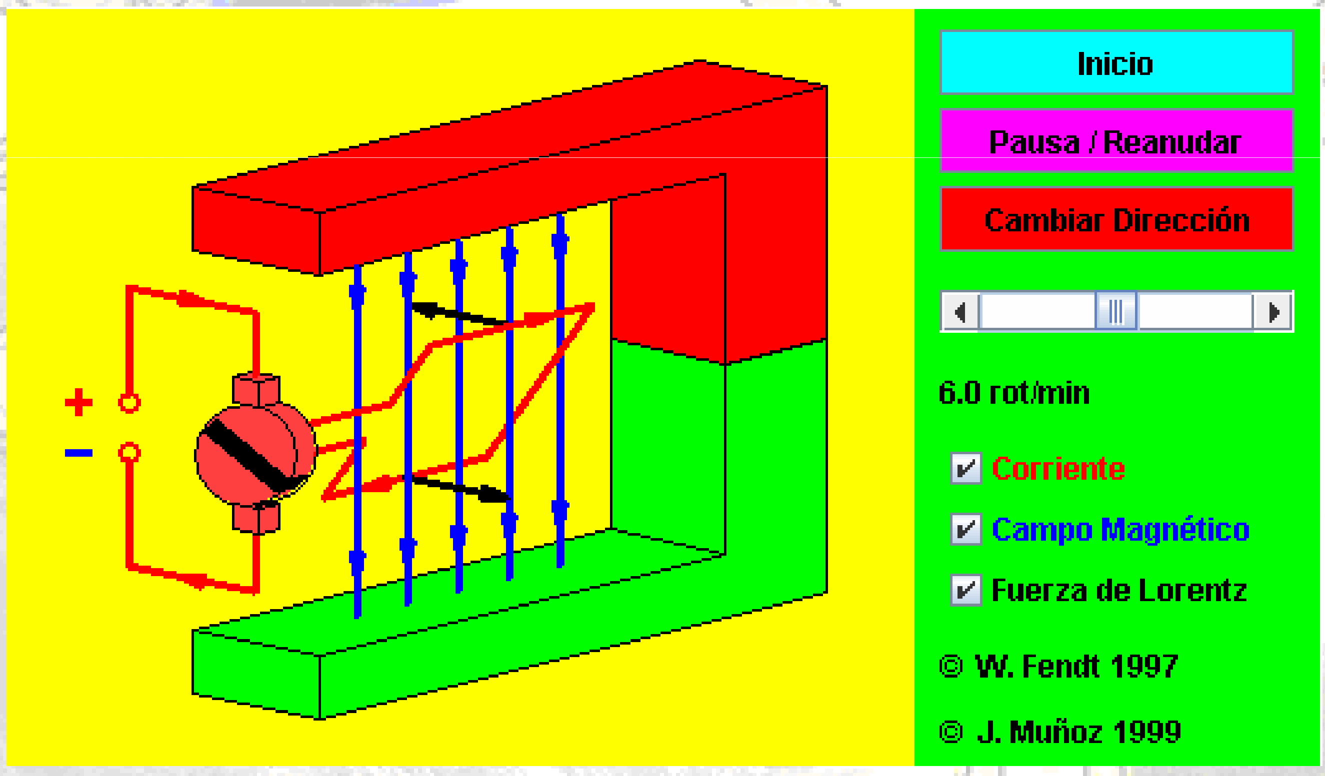
# Fuerza magnética sobre conductores.

**Ver el applet del motor eléctrico en la siguiente dirección.**

**http://www.walter-fendt.de/ph14s/electricmotor_s.htm**

# Fuerza magnética sobre conductores.

http://www.walter-fendt.de/ph14s/electricmotor_s.htm



# Motor de corriente continua

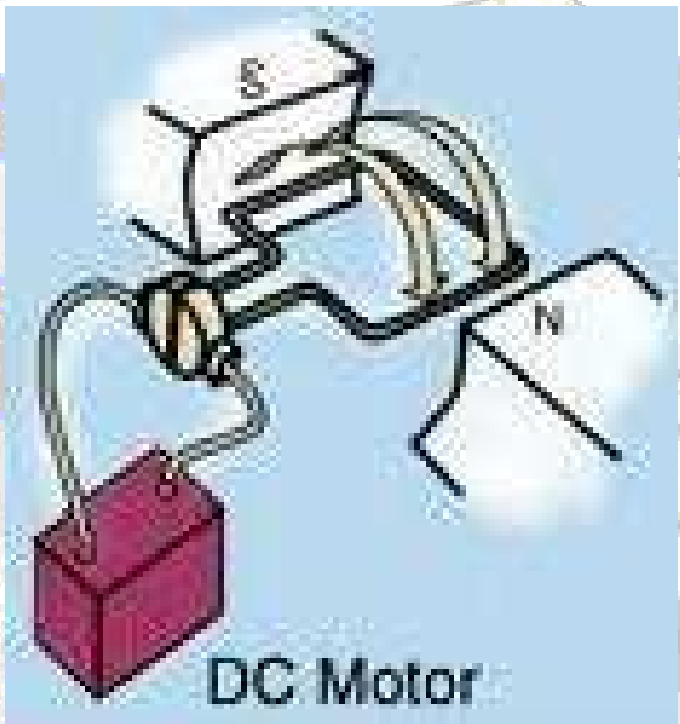
- html.rincondelvago.com

# Motor de corriente continua

- www.manvillemotor.com

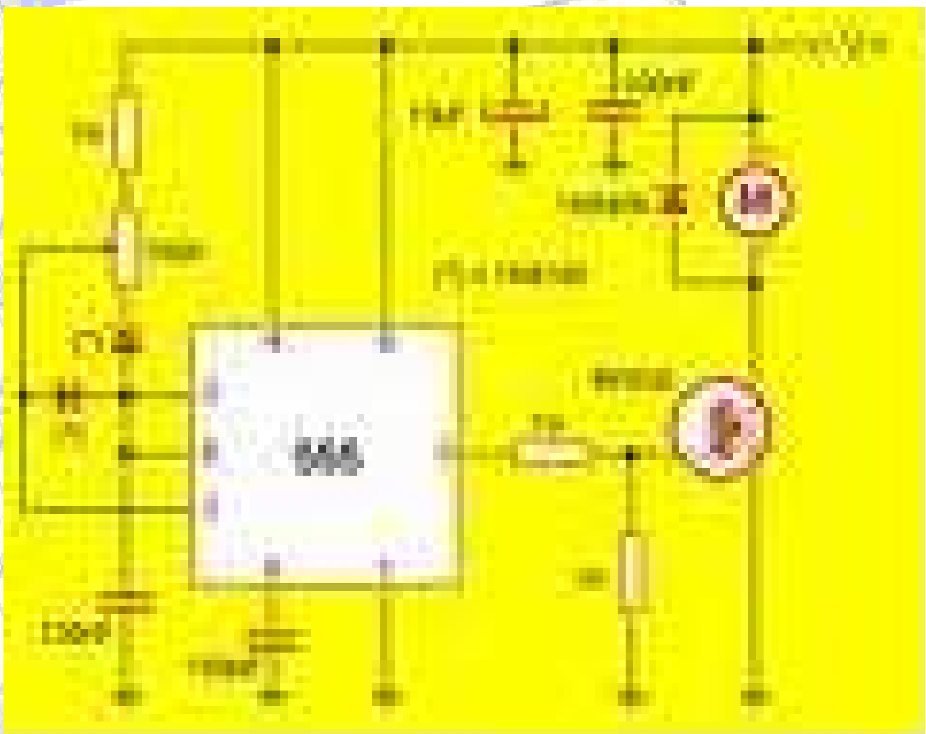
# Motor de corriente continua

- electronicaenlapractica.blogspot.com



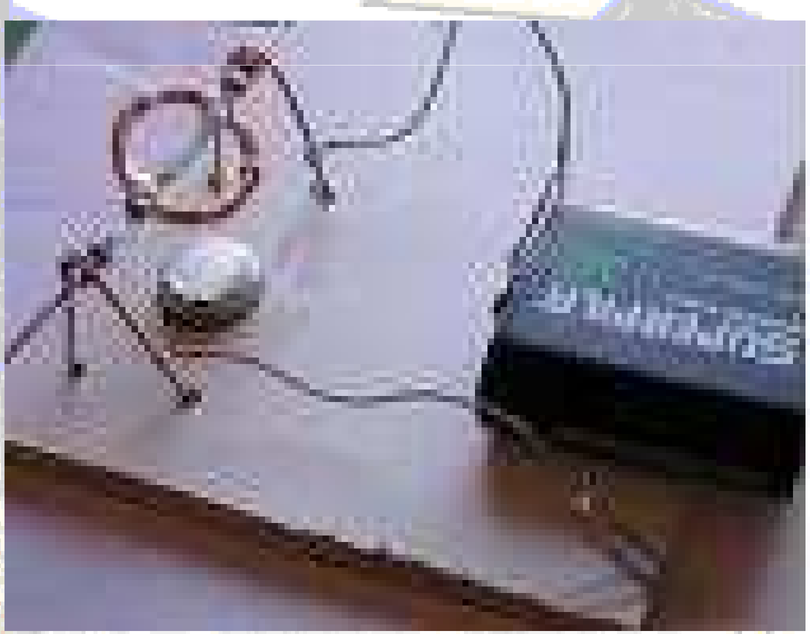
# Control de velocidad de un motor

- www.yoreparo.com



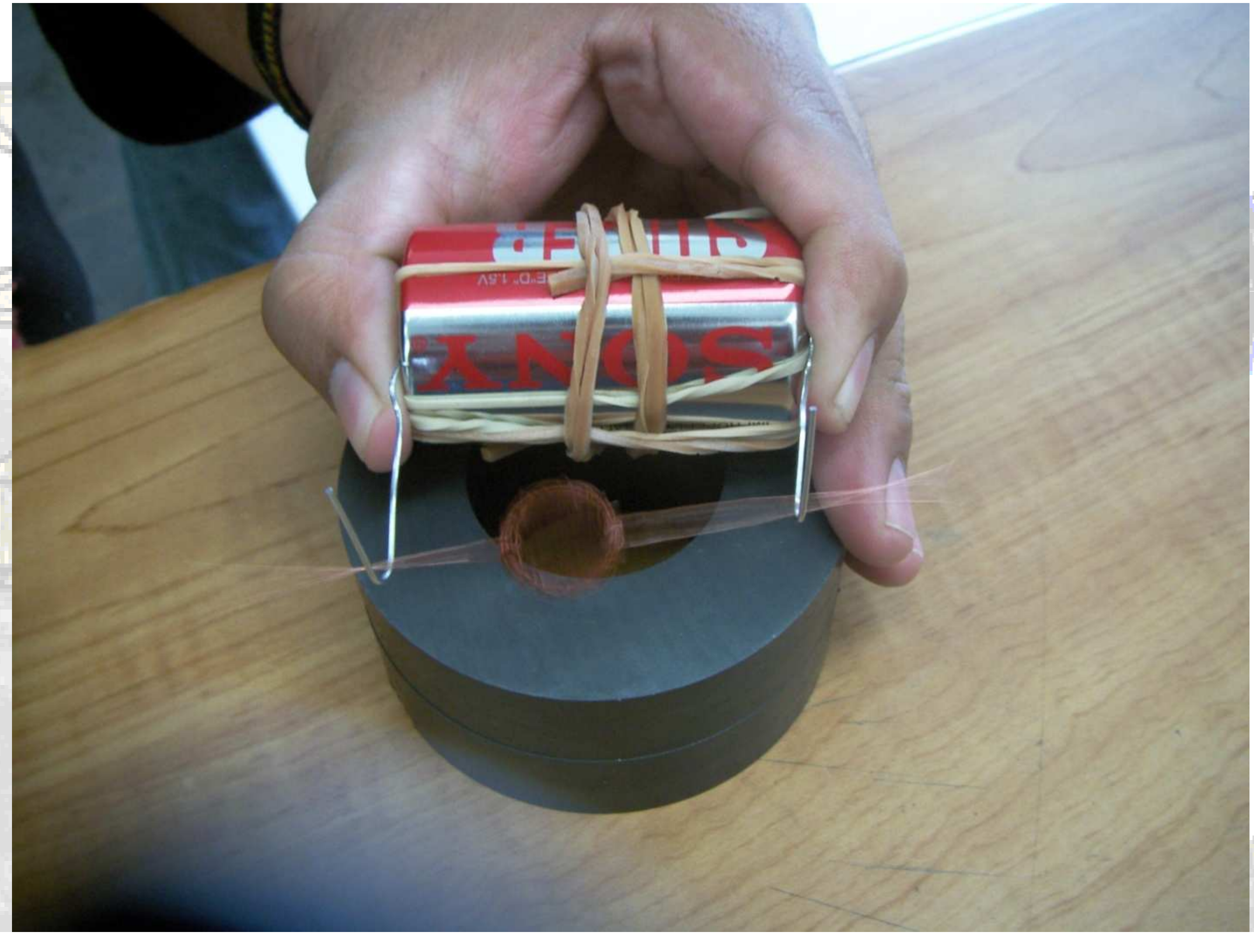
# Motor de corriente continua

- motor-cc.blogia.com

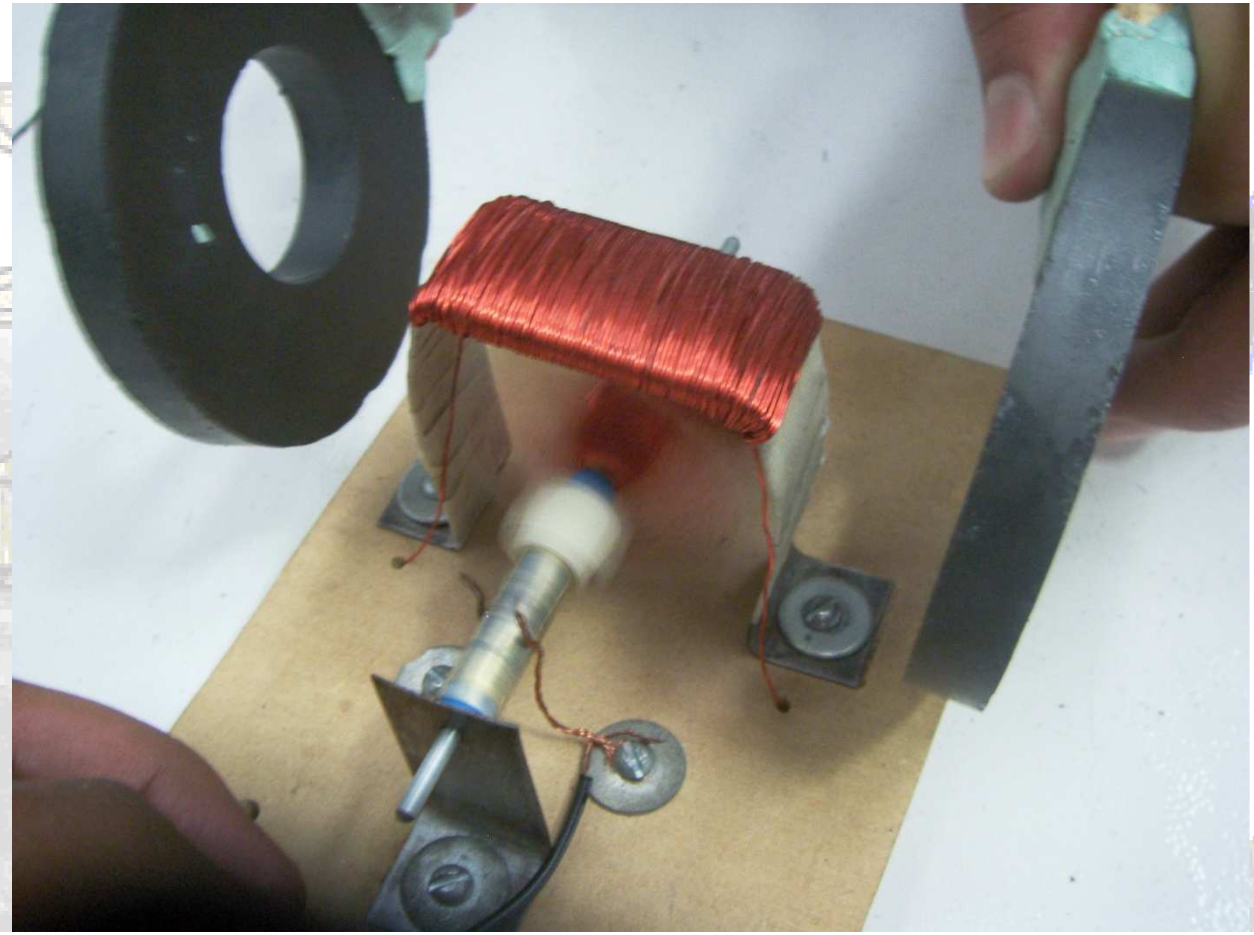


# Motor de corriente continua

# Motor de corriente continua



# Motor de corriente continua



# Motor de corriente continua

- Motor de directa\Motor-Eléctrico.wmv

- Videos campo magnetico\The_simplest_motor_of_the_world_xvid.avi
- Videos campo magnetico\generador motor electrico.avi

# Proyecto.

Construcción de un motor de directa .

Determinar la masa de la espira del rotor.

Obtener el modelo matemático de RMP vs. Corriente de motor.

Determinar el momento magnético del motor.

$$\vec{\tau} = I\vec{A} \times \vec{B}$$

$$|\vec{\tau}| = I\left|\vec{A}\right| \operatorname{sen}\beta \left|\vec{B}\right|$$

# Proyecto

De un movimiento circular uniforme:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f\,[RPM]$$

Conociendo f se puede determinar la velocidad lineal

$$v = 2\pi\, f\, R\, [m/s]$$

Donde R es el radio del circulo que describe la espira.

# Proyecto

Conociendo v y la masa se puede determinar la fuerza centrípeta

$$F_c = \frac{mv^2}{R} = 4\pi^2 f^2 m R \, [N]$$

**La fuerza centrífuga es opuesta a fuerza centrípeta pero de igual magnitud. Por lo tanto el momento magnético es:**

$$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F}_{cf} \, [N \bullet m]$$

# Bibliografía.

Gabriel A. Jaramillo Morales, Alfonso A. Alvarado Castellanos.
Electricidad y magnetismo.
Ed. Trillas. México 2003

Sears, Zemansky, Young, Freedman
Física Universitaria
Ed. PEARSON. México 2005