



Universidad  
de Alcalá

# Tema 5º

Campos magnéticos  
en el vacío

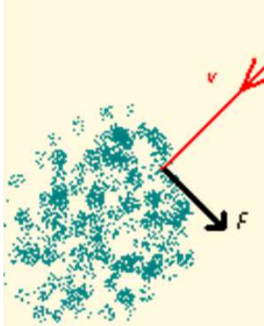
# Programa

- Fuerza magnética sobre cargas en movimiento.
- Fuerza sobre una corriente.
- Acción magnética sobre una espira: momento magnético.
- Fuerzas entre corrientes. Ley de Biot y Savat.
- Ecuaciones del campo magnético: Ley de Ampere.
- Flujo.
- El fenómeno de la inducción magnética: Leyes de Faraday y Lenz.
- Coeficientes de inducción.

# Fuerza sobre cargas en movimiento

Si existe campo magnético en una región e introducimos en ella una carga con una velocidad conocida, observamos:

- La carga se ve sometida a una fuerza perpendicular a la velocidad
- Si aumentamos el módulo de la velocidad, aumentará el módulo de la fuerza
- Si variamos la dirección de la velocidad, la fuerza es siempre perpendicular a la dirección de la velocidad y a otra, que es siempre la misma.
- Existe una dirección en la que la carga no sufre variación, que coincide con la dirección a la que la fuerza a sido siempre perpendicular



Lo que resumimos como  $\vec{F} \propto q[\vec{v} \times \vec{u}_p]$

**Fuerza de Lorentz**

$$\vec{F} = q \left( \vec{E} + [\vec{v} \times \vec{B}] \right)$$

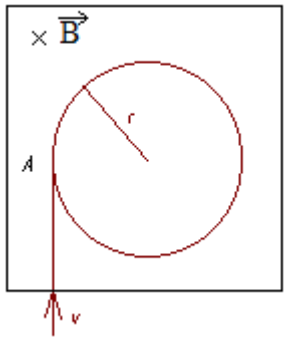
# Cargas en movimiento

Si una carga se mueve en un campo magnético actúa una fuerza

$$\vec{F}_B = q [\vec{v} \times \vec{B}]$$

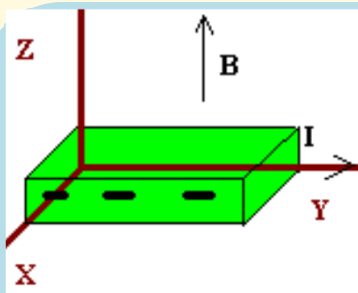
Siempre perpendicular a la velocidad, describirá una circunferencia de radio:

$$r = \frac{m |\vec{v}|}{q |\vec{B}|}$$



## Efecto Hall

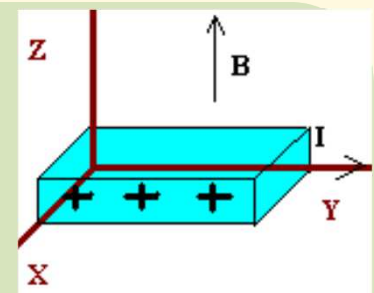
En una muestra paralelepípedica semiconductor por la que circula una corriente en el sentido positivo del eje "Y", que está situada en el interior de un campo magnético homogéneo paralelo al eje "Z".



Si la muestra es "n" la conducción se realiza por electrones, la velocidad de los portadores será de sentido contrario al de la corriente

**Los electrones se verán empujados hacia la cara externa**

Si la muestra es "p" la conducción se lleva a cabo por huecos ("cargas positivas") la velocidad de los portadores tendrá el mismo sentido que la corriente



**Los portadores positivos se verán empujados hacia la cara externa**

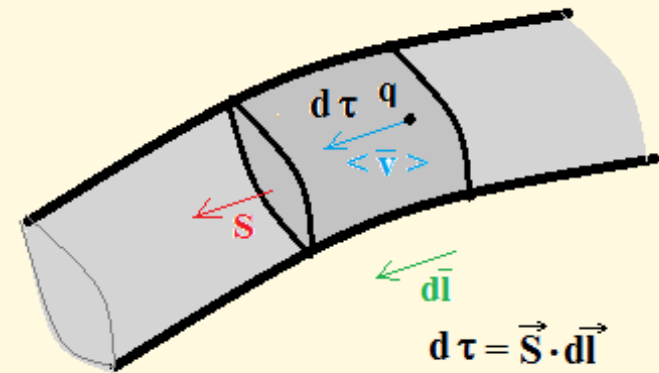
# Campo magnético y corrientes

## Fuerza sobre un elemento de corriente

Una corriente es un conjunto de cargas en movimiento. En el seno de un campo magnético, sobre cada portador actúa la fuerza de Lorentz:  $\vec{F} = q[\langle \vec{v} \rangle \times \vec{B}]$ .

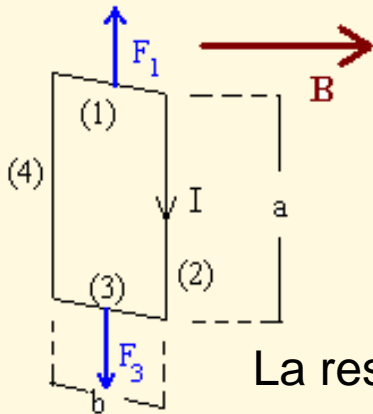
Sobre un volumen  $d\tau$  que contiene "n" portadores por unidad de volumen actúa una fuerza:  $d\vec{F} = \sum \vec{f} = n \cdot d\tau \cdot q[\langle \vec{v} \rangle \times \vec{B}]$ . El paralelismo de los vectores velocidad promedio; superficie y longitud del elemento de volumen, permiten obtener :

$$d\vec{F} = I[d\vec{l} \times \vec{B}]$$



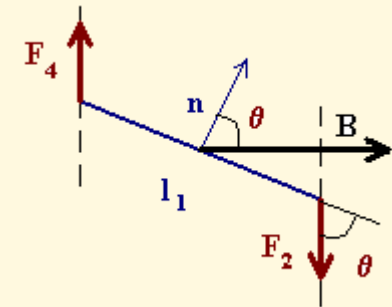
# Momento magnético

Supongamos una espira rectangular de lados “a” y “b” recorrida por una corriente “I”, que se encuentra en un campo magnético de inducción  $\vec{B}$ .



Sobre cada lado actuará una fuerza  $\vec{F} = I[\vec{l} \times \vec{B}]$ , las fuerzas sobre los lados “1” y “3” se cancelarán. Las fuerzas sobre los lados “2” y “4”, cuyos módulos también serán los mismos, pero los vectores no estarán en la misma línea.

La resultante será nula, pero no el momento resultante, su módulo será:  $|\vec{M}_R| = |\vec{l}_1 \times \vec{F}_2| = |\vec{l}_1| \cdot |\vec{F}_2| \cdot \text{sen}\theta$ , es decir:  $\vec{M}_R = I(a \cdot b)[\vec{n} \times \vec{B}]$ .



Lo que nos permite definir el momento magnético de la espira

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

que estará sometida a una momento mecánico  $\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$

A un electrón en su órbita le asociamos un momento magnético relacionado con su momento angular por la razón giromagnética

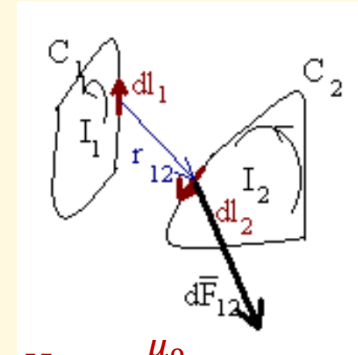
$$\gamma = \frac{|\vec{m}|}{|\vec{l}|}$$

# Leyes fundamentales

## Ley de Biot y Savat

Entre dos elementos de corriente aparece una fuerza

$$d^2\vec{F}_{1,2} = K_M I_1 I_2 \frac{d\vec{l}_2 \times [d\vec{l}_1 \times \vec{u}_{1,2}]}{r_{1,2}^2}$$



La constante magnética vale  $10^7 \text{ N}\cdot\text{A}^{-2}$ , y la escribimos como  $K_M = \frac{\mu_0}{4\pi}$

Recordando la fuerza sobre un elemento de corriente, obtenemos para la inducción creada por un circuito

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{C_1} \frac{(I_1 d\vec{l}_1) \times (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^3}$$

## Ley de Ampere

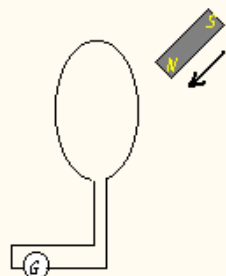
Nos da la circulación del vector inducción a través de una curva cualquiera

$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot I_{\text{encerrada por "C"}}$  Si existe simetría y conocemos las líneas del campo puede ser muy útil para calcular el módulo de la inducción

## Flujo del vector inducción magnética

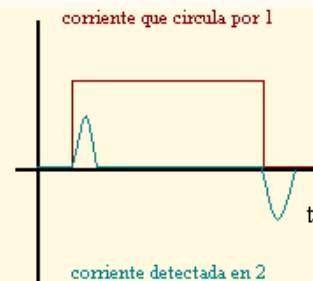
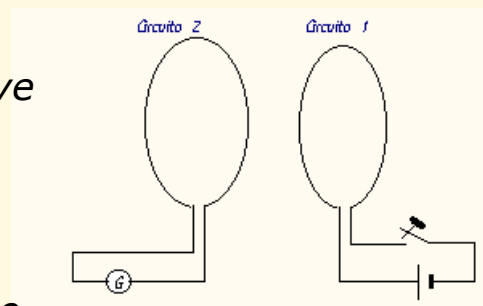
Las líneas de la inducción magnética son cerradas,  $\oiint_{\Sigma} \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$

# Inducción



Al mover un imán en las cercanías de un circuito se induce una corriente, cuyo sentido será opuesto cuando se aleje

Experimento de Faraday "Cuando se hizo el contacto, se produjo un efecto repentino y muy leve en el galvanómetro y también hubo un efecto semejante, muy leve, cuando se interrumpió el contacto con la batería. Pero cuando la corriente voltaica pasaba por la primera hélice, no se observaba ninguna alteración galvanométrica, ni se podía observar ningún efecto de inducción sobre la otra hélice, aun cuando se había comprobado que el poder activo de la batería era muy grande".



**Ley de Lenz:** "La variación del flujo magnético que enlaza a un circuito produce una f.e.m. que se opone a la variación del flujo en él"

**Ley de Faraday:** "El valor de la f.e.m. coincide con la rapidez de variación del flujo magnético"

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt}$$

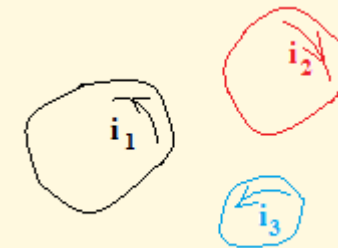
Recordando la definición de f.e.m.  $\int_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_\Sigma \vec{B} \cdot d\vec{s}$



# Coeficientes de inducción

Si en las cercanías de un circuito, por el que pasa una corriente, se encuentran otros, el campo creado por cada uno atravesará a los demás.

De forma que: la inducción magnética debida a la corriente del circuito 1 en un punto cualquiera del **circuito 2**, o del **circuito 3**, depende del valor de la intensidad de la corriente  $i_1$ , de la geometría propia del circuito 1 y la geometría relativa relativa del punto considerado en los circuitos **2** y **3** respecto del circuito 1



$$\vec{B}_{2,1} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{C_1} \frac{(I_1 d\vec{l}_1) \times (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^3}$$

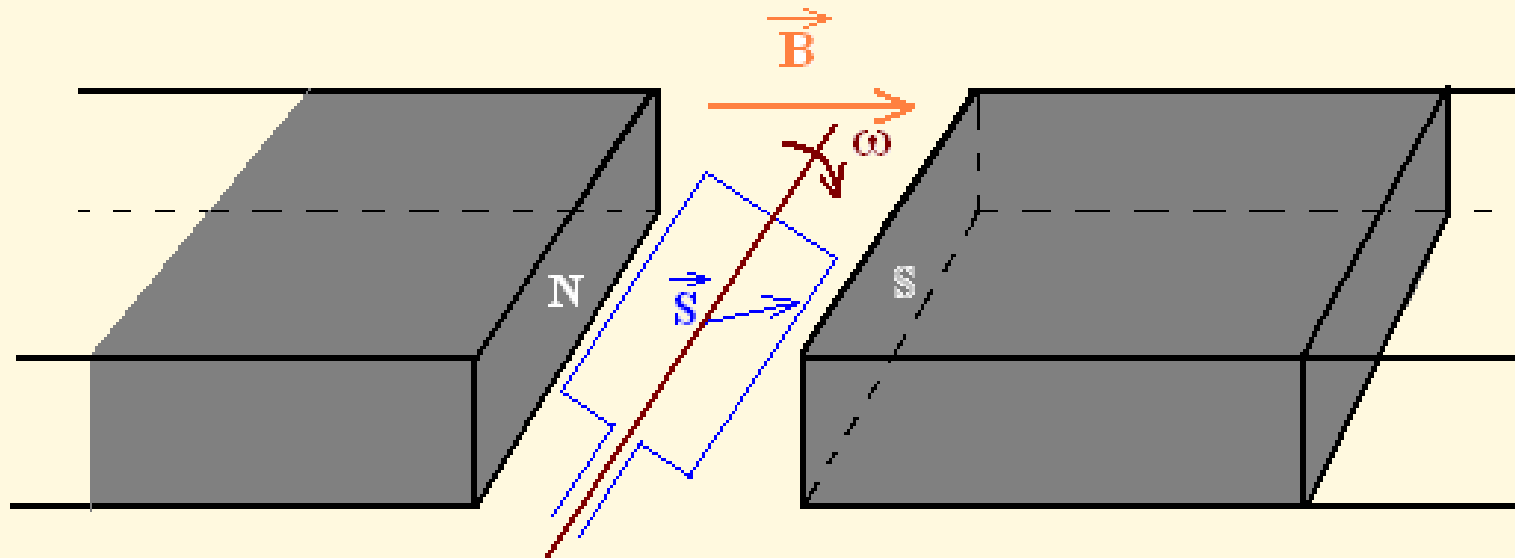
En consecuencia el flujo de la inducción magnética que atraviesa al circuito "i" debido a que por el "j" pasa corriente, será:  $\phi_{ij} \propto i_j$ . La constante de proporcionalidad dependerá exclusivamente de la geometría de los dos circuitos y de sus posiciones relativas y lo representaremos por  $M_{ij}$

$$\phi_i = \sum_{j=1}^N M_{ij} I_j \quad \text{Recordando la ley de Faraday} \quad \varepsilon_j = -\frac{d\phi_j}{dt} = -\sum_{i=1}^N M_{ij} \frac{dI_i}{dt}$$

Para un único circuito  $\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$

Los coeficientes "L" y  $M_{ij}$  son los coeficiente de autoinducción e inducción mutua. Se miden en **henrios**

# Generadores de alterna



El flujo del campo de inducción que atraviesa la espira será:

$$\phi = B \cdot S \cos \omega t$$

Lo que supone la aparición en la espira de una f.e.m. inducida  $\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$

Que podemos escribir como  $\varepsilon = \varepsilon_0 \text{sen } \omega t$

# Sistema Internacional (SI)

## Unidades básicas

Magnitud	Nombre	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	ampere	A
Temperatura termodinámica	kelvin	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

## Unidades básicas sin dimensión

Magnitud	Nombre	Símbolo	Expresión en unidades SI básicas
Ángulo plano	Radián	rad	$m \ m^{-1} = 1$
Ángulo sólido	Estereorradián	sr	$m^2 \ m^{-2} = 1$

# Sistema Internacional (SI)

## Unidades derivadas

Magnitud	Nombre	Símbolo	Expresión en otras unidades SI	Expresión en unidades SI básicas
<b>Frecuencia</b>	hertz	Hz		$s^{-1}$
<b>Fuerza</b>	newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
<b>Presión</b>	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
<b>Energía, trabajo, cantidad de calor</b>	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
<b>Potencia</b>	watt	W	$J \cdot s^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
<b>Cantidad de electricidad carga eléctrica</b>	coulomb	C		$s \cdot A$
<b>Potencial eléctrico fuerza electromotriz</b>	volt	V	$W \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
<b>Resistencia eléctrica</b>	ohm	$\Omega$	$V \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
<b>Capacidad eléctrica</b>	farad	F	$C \cdot V^{-1}$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
<b>Flujo magnético</b>	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
<b>Inducción magnética</b>	tesla	T	$Wb \cdot m^{-2}$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
<b>Inductancia</b>	henry	H	$Wb \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$

# Sistema Internacional (SI)

Página oficial: <http://www.cem.es/sites/default/files/siu8edes.pdf>

## Prefijos SI

Factor	Nombre	Símbolo	Factor	Nombre	Símbolo
$10^1$	deca	da	$10^{-1}$	deci	d
$10^2$	hecto	h	$10^{-2}$	centi	c
$10^3$	Kilo	k	$10^{-3}$	mili	m
$10^6$	mega	M	$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^9$	giga	G	$10^{-9}$	nano	n
$10^{12}$	tera	T	$10^{-12}$	pico	p
$10^{15}$	peta	P	$10^{-15}$	femto	f
$10^{18}$	exa	E	$10^{-18}$	atto	a
$10^{21}$	zetta	Z	$10^{-21}$	zepto	z
$10^{24}$	yotta	Y	$10^{-24}$	yocto	y