

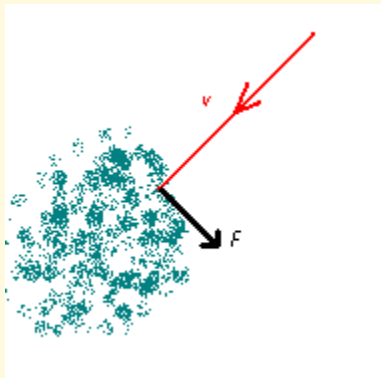


Universidad  
de Alcalá

# Tema 7º

Propiedades magnéticas

# Fundamentos I



Si una carga se mueve en el seno de un campo magnético, está sometida a una fuerza

$\vec{F} = q \left( \vec{E} + [\vec{v} \times \vec{B}] \right)$ 
 La fuerza total que actúa sobre una carga es la fuerza de Lorentz

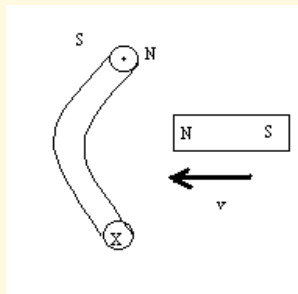
Fuerza que actúa sobre un elemento de corriente  $d\vec{F} = I [d\vec{l} \times \vec{B}]$

A todas las espiras recorridas por una corriente las podemos asignar un **momento magnético** de valor  $\vec{m} = I \vec{S}$

$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$ 
 Si una espira está sometida a un campo magnético uniforme actúa sobre ella un momento mecánico.

# Fundamentos II

## Leyes de Lenz y Faraday



**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”

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

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

$$\phi_i = \sum_{j=1}^N M_{ij} I_j$$

El valor del flujo total que atraviesa el circuito “i”, tendremos que sumar las contribuciones de todos y cada uno de los circuitos presentes, incluyendo al propio circuito “i”

Los **coeficientes de autoinducción e inducción mutua** son factores geométricos que relacionan la f.e.m. inducida en un “circuito” con las variaciones de intensidad en todos con los que interaccionan.  $M_{ij} = M_{ji}$

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_i}{dt} = - \sum_{i=1}^N M_{ij} \frac{dI_i}{dt}$$

# Medios magnéticos

## Vector imanación

Es la densidad de momentos magnéticos en un material

$$\vec{M} = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{m}}{\Delta\tau} = \frac{d\vec{m}}{d\tau}$$

En la superficie de un material aparece la

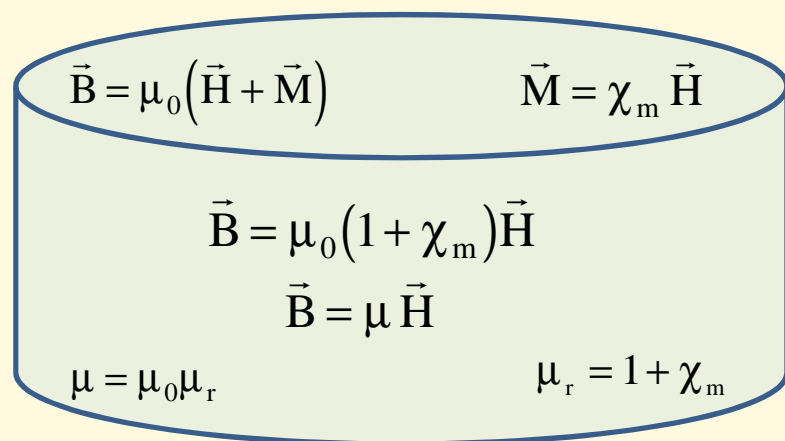
**densidad lineal de corrientes de imanación**

$$\vec{\lambda} = \vec{M} \times \vec{n}$$

En el volumen definimos la

**densidad de corrientes de imanación**

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \quad \text{El **vector campo magnético**}$$



Relaciones entre los vectores

## Energía del campo magnético

$$W_B = \frac{1}{2} \int_{\tau} \vec{H} \cdot \vec{B} d\tau$$

# Fenómenos magnéticos I

a) **Diamagnetismo**: es una **propiedad general de toda la materia** y es debida a la inducción de momento magnético en sentido opuesto al campo aplicado

b) **Paramagnetismo**: se presenta en materiales constituidos por entidades microscópicas (moléculas, átomos o iones) con **momento magnético permanente**.

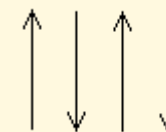
En ausencia de campo externo estos momentos están orientados al azar dando una densidad neta de momento magnético nula, es decir una imanación nula. La acción de un campo externo es tratar de orientar a estos momentos en contra de la agitación térmica, dando una imanación neta no nula en el sentido del campo aplicado.

c) Ferromagnetismo: se caracteriza por una fuerte interacción entre **momentos magnéticos permanentes próximos**, que da lugar a una ordenación de los mismos incluso en ausencia de campo aplicado, lo cual se manifiesta por la existencia de una imanación espontanea.

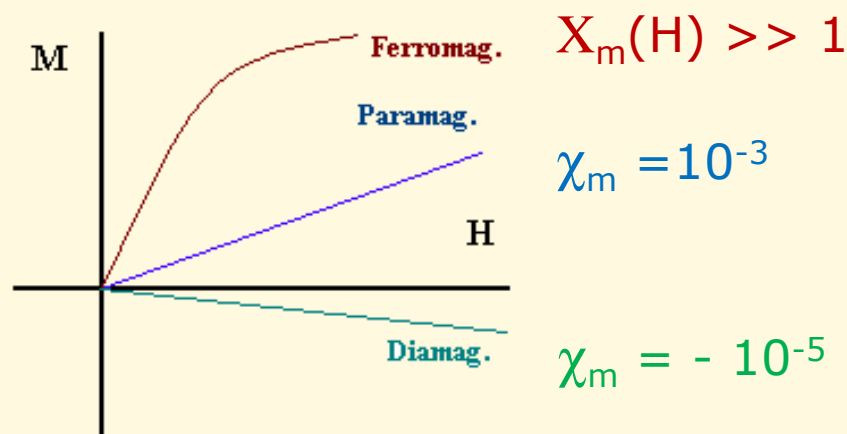
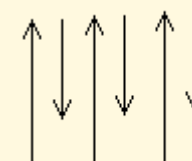


# Fenómenos magnéticos II

d) **Antiferromagnetismo**: es un fenómeno análogo al anterior pero en el cual **la ordenación** de los **momentos magnéticos permanentes**, **todos del mismo valor, es antiparalela**. Ello conduce a una imanación espontánea nula.



e) **Ferrimagnetismo**: aquí también existe una ordenación antiparalela de **dos subredes** de **momentos magnéticos permanentes**, pero estos **no son iguales** con lo cual existe imanación espontánea.

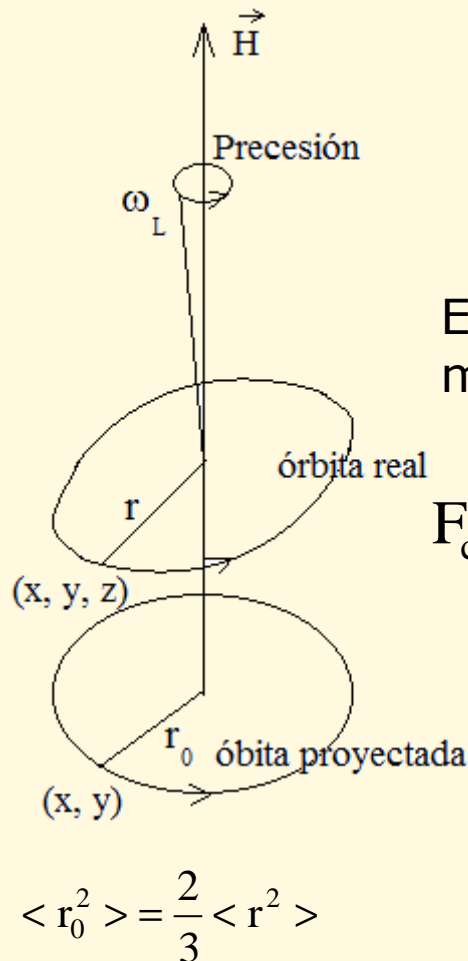


# Diamagnetismo electrónico

**Propiedad general de la materia.** Está  
ligado al movimiento orbital electrónico

Modelo clásico

El giro en la órbita se debe a una fuerza central. Su momento angular lleva asociado un momento magnético



$$F_c = m_e \omega_0^2 r_0 \quad l_0 = m_e \omega_0 r_0^2 \quad |\vec{m}_0| = \gamma_0 l_0 = \left( \frac{q_e}{2m_e} \right) m_e \omega_0 r_0^2$$

La acción de un campo  $F_c \pm q_e \omega r_0 |\vec{B}| = m_e \omega^2 r_0$

$$(\omega^2 - \omega_0^2) = (\omega + \omega_0) \cdot (\omega - \omega_0) = 2 \omega \delta\omega \quad \delta\omega = \frac{q_e}{2m_e} |\vec{B}| = \omega_L$$

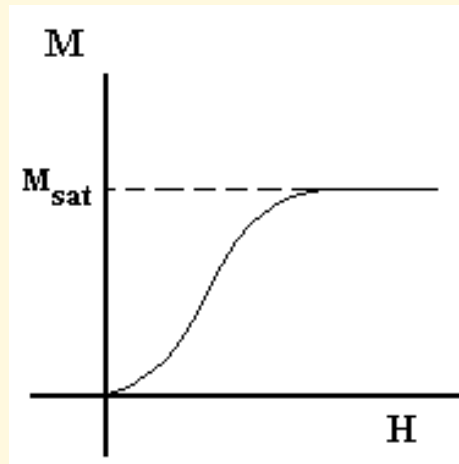
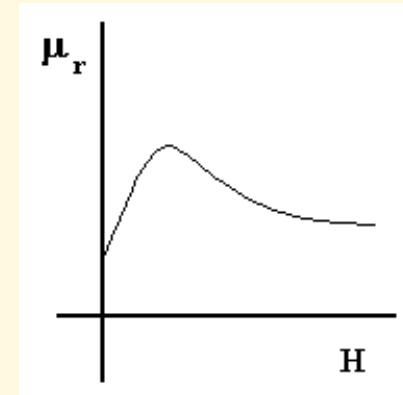
$$\delta \vec{m} = \frac{q_e}{2m_e} m_e \delta\omega r_0^2 \quad \delta \vec{m} = -\frac{q_e^2}{4m_e} \mu_0 r_0^2 \vec{H}$$

$$(\delta \vec{m})_{\text{total}} = -\frac{q_e^2}{4m_e} \mu_0 \vec{H} \left( \frac{2}{3} \sum r_i^2 \right) \quad \vec{M} = \left( -n \frac{q_e^2}{6m_e} \mu_0 \sum r_i^2 \right) \vec{H} \quad \chi_m = -n \frac{q_e^2}{6m_e} \mu_0 \sum r_i^2$$

# Medios ferromagnéticos

**1º** Tienen un marcado carácter no lineal.

La permeabilidad  $\mu$  y la susceptibilidad  $\chi_M$  son funciones del campo aplicado.  
No podemos hablar de una única  $\mu_r$

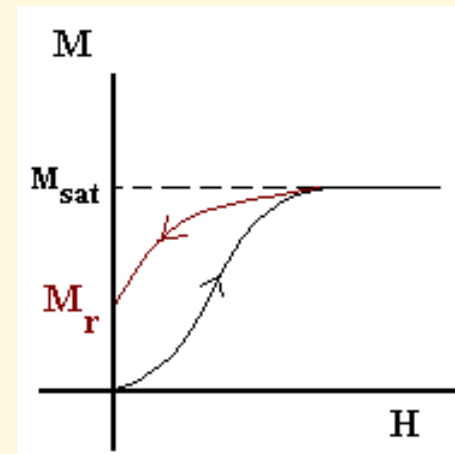


**2º** Para valores altos de campo aplicado la imanación alcanza un valor máximo  $M_{sat}$

No puede ocurrir lo mismo con la inducción:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mathbf{M}$$

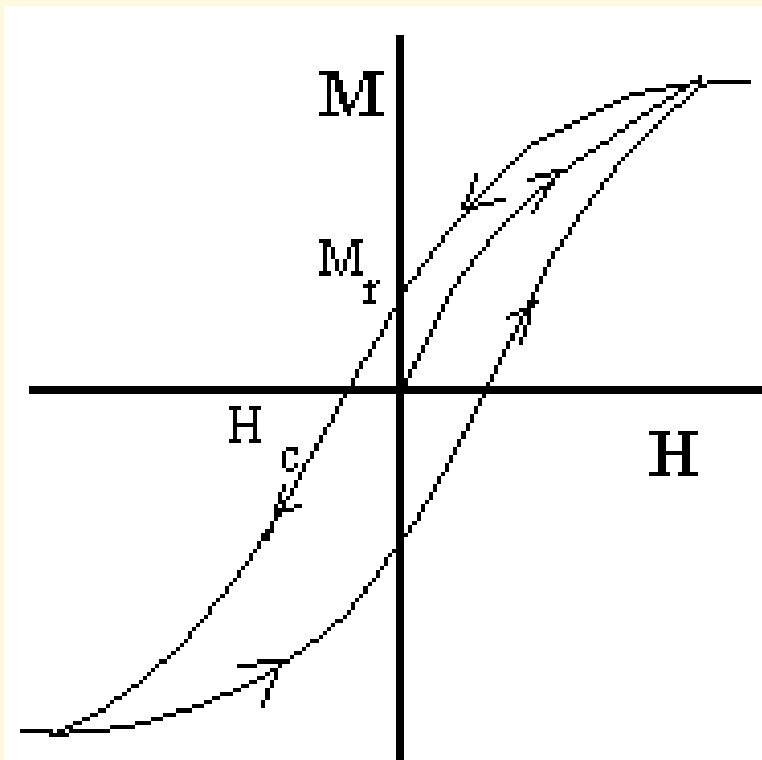
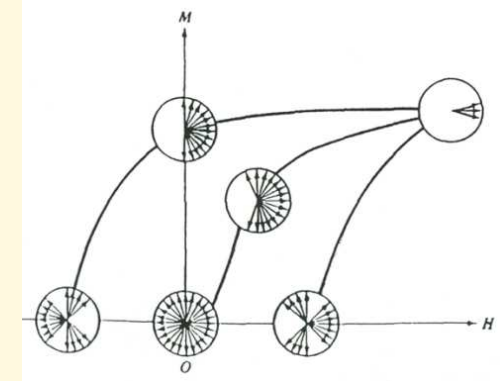
**3º** El material guarda memoria. A campo aplicado nulo existe imanación remanente  $\mathbf{M}_r$





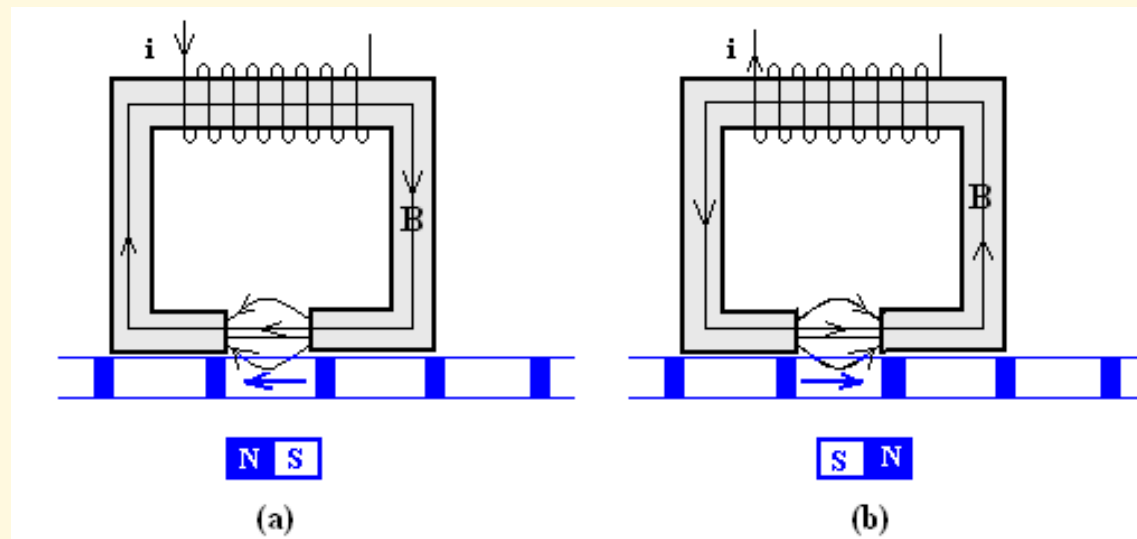
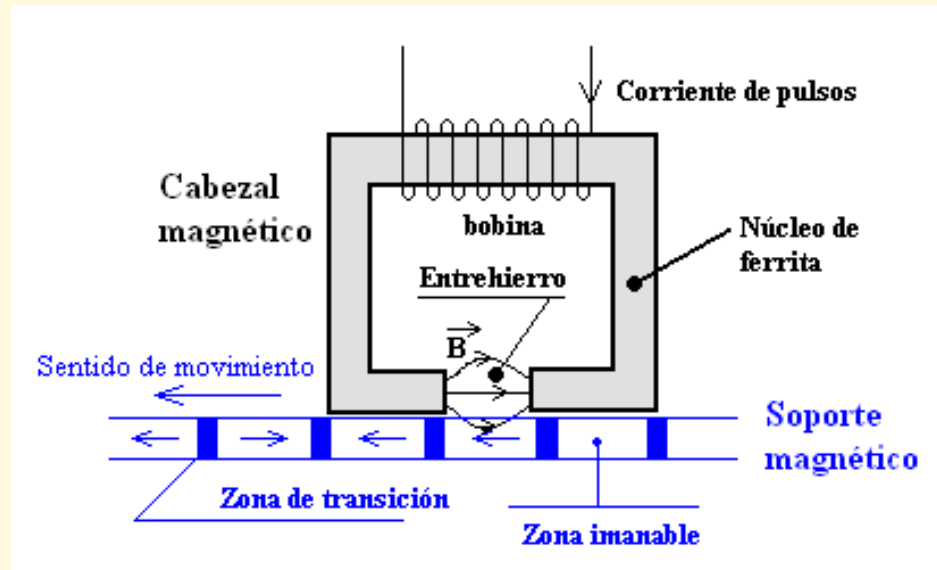
# Medios ferromagnéticos II

En su volumen existen “zonas” con imanación paralela **dominios**, cuyas orientaciones pueden estar distribuidas al azar (pueden no presentar imanación espontánea). El campo tiende a orientar los dominios.

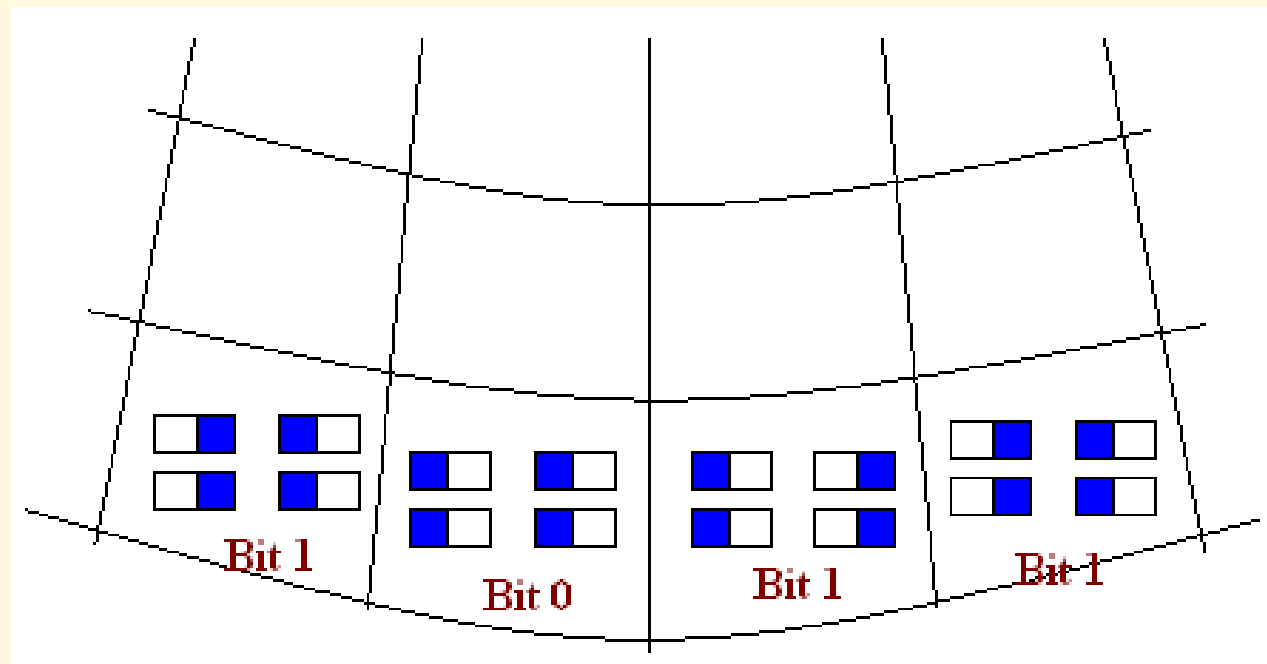
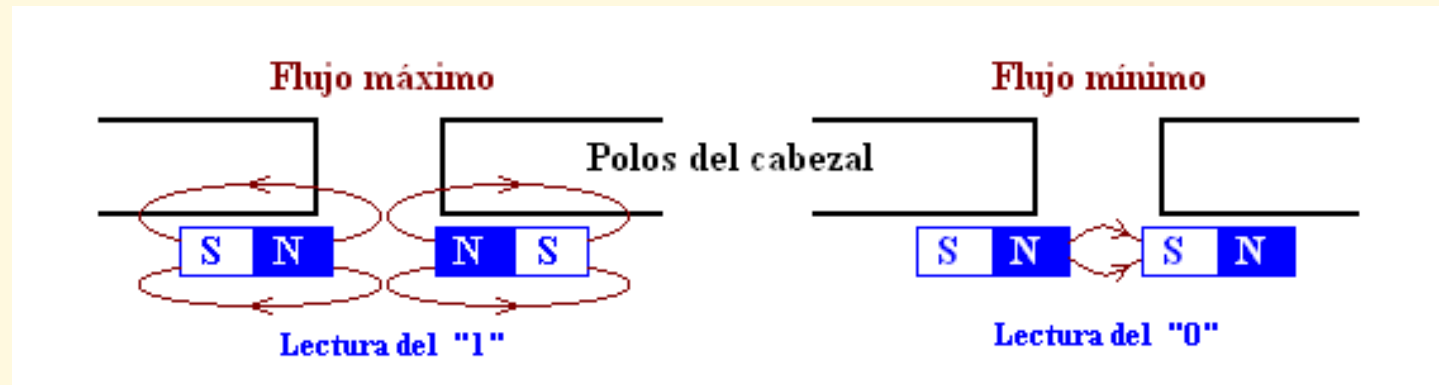


Al disminuir el campo el proceso no es reversible (no sigue la curva de primera imanación). Cuando el campo es nulo se mantiene la imanación remanente. Para que se anule la imanación es necesario un campo coercitivo (de sentido contrario al inicial) recorriéndose el **ciclo de histéresis**, que es simétrico respecto de origen

# Grabación magnética



# Lectura magnética



FIN