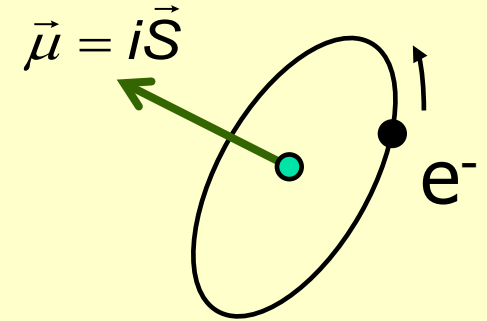


Lección 8: Materiales ferromagnéticos

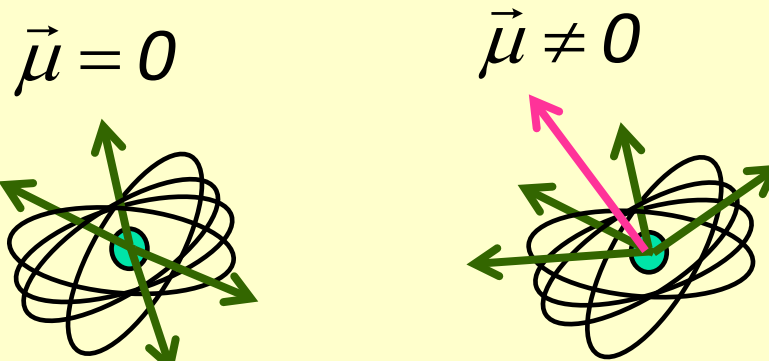
- Imantación o Magnetización. Materiales magnéticos.
- Permeabilidad y susceptibilidad magnética.
- Ferromagnetismo. Ciclo de histéresis.
- Aplicaciones.

Magnetismo en la materia. Imantación o Magnetización.

- Las propiedades magnéticas de los **materiales ferromagnéticos** pueden explicarse por su **estructura atómica**.
- Un electrón en su órbita atómica puede considerarse como una **corriente eléctrica** circulando por una espira. El electrón produce un campo magnético, y puede calcularse su **momento magnético (μ)**.



- En los átomos de algunos materiales, esos momentos magnéticos se cancelan, pero en los **materiales ferromagnéticos**, hay un **momento magnético resultante no nulo**:



Átomo de un material
No ferromagnético

Átomo de un material
Ferromagnético

Magnetismo en la materia. Permeabilidad magnética.

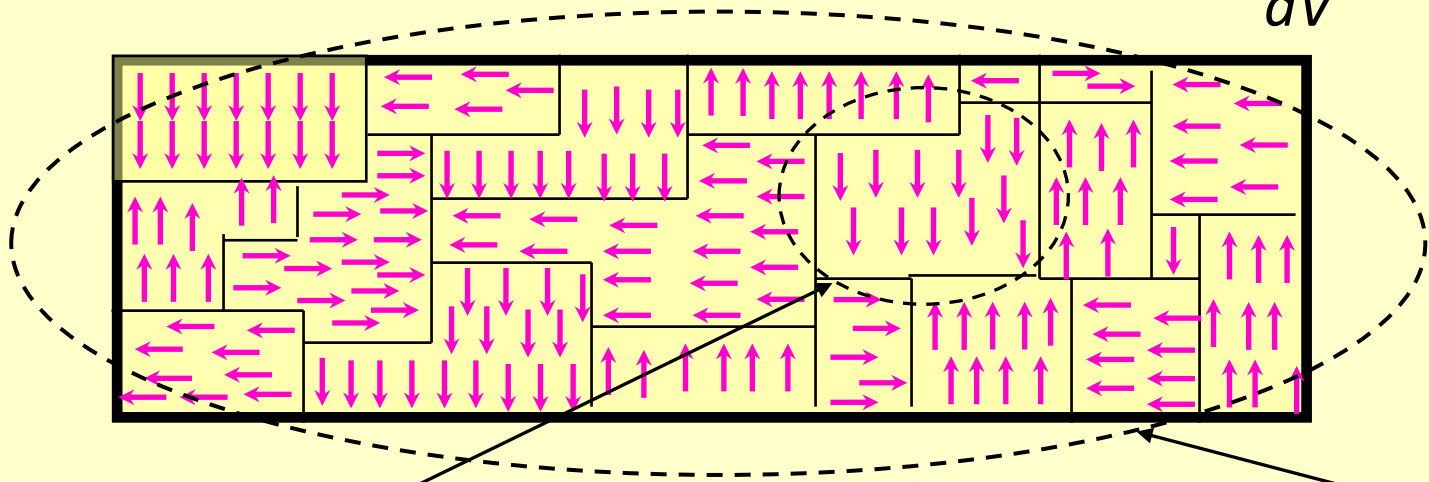
- Hay dos tipos de materiales no ferromagnéticos, en los que los momentos magnéticos sólo cambian ligeramente cuando se les aplica un campo magnético, por lo que **no tienen muchas aplicaciones técnicas**:
- **Materiales paramagnéticos**: Refuerzan el campo magnético externo muy levemente (menos de un 0,01%). Sus efectos se notan con dificultad.
- **Materiales diamagnéticos**: Disminuyen el campo magnético externo muy levemente (menos de un 0,01%). Sus efectos se notan con dificultad.

- Pero hay un tercer tipo de materiales con efectos muy fuertes al aplicarles un campo magnético externo: **los materiales ferromagnéticos**: $\mu_r=20000$ o incluso mayor. Sus efectos se notan claramente, y **tienen muchas aplicaciones técnicas**.

Magnetismo en la materia. Materiales ferromagnéticos.

- En los **materiales ferromagnéticos**, hay regiones (**dominios magnéticos**) en las que sus **momentos magnéticos están todos alineados** en la misma dirección. El momento magnético por unidad de volumen se llama

Imantación o Magnetización (es un vector): $\vec{M} = \frac{d\vec{\mu}}{dV}$



- En un **dominio**: $\sum_{\text{undominio}} \vec{M} \neq 0$ pero en **todos los dominios** $\sum_{\text{todos los dominios}} \vec{M} = 0$
- Las direcciones en las que se orientan los dominios se llaman **direcciones de fácil imantación**, y están relacionadas con la estructura cristalina del material.

Magnetismo en la materia. Materiales ferromagnéticos.

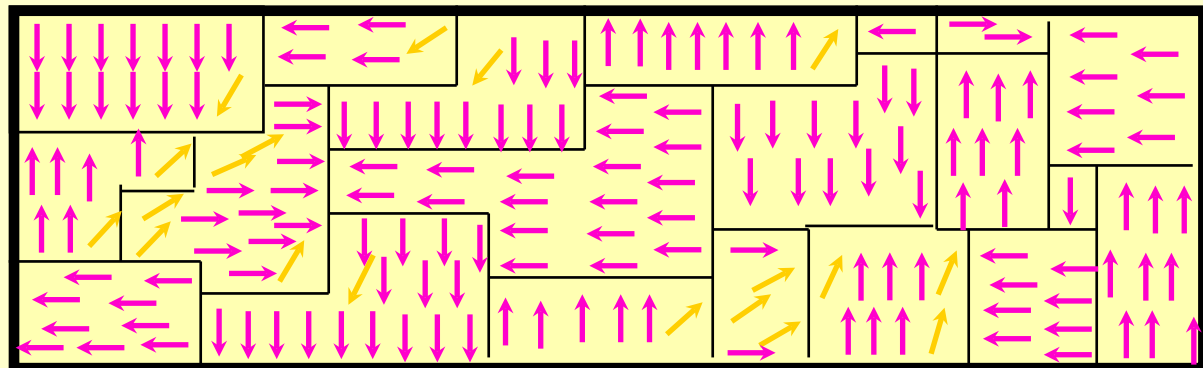
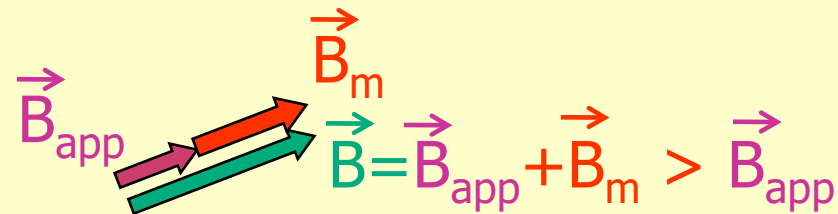
- Al **aplicar** un **campo magnético externo** (B_{app}), los momentos magnéticos de los bordes de los dominios cambian sus direcciones según B_{app} .
- La magnetización no es nula, por lo que **aparece un campo magnético** B_m **que refuerza el campo aplicado**. B_m depende de B_{app} a través de una característica del material llamada **susceptibilidad magnética** (χ_m):

$$\vec{B}_m = \chi_m \vec{B}_{app}$$

- El campo magnético resultante es: $\vec{B} = \vec{B}_{app} + \vec{B}_m = (1 + \chi_m) \vec{B}_{app} = \mu_r \vec{B}_{app}$

$$\mu_r = 1 + \chi_m$$

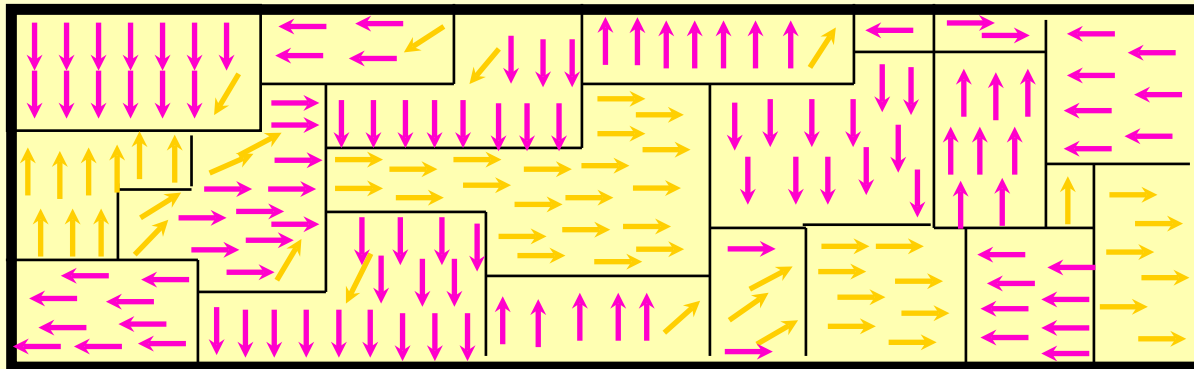
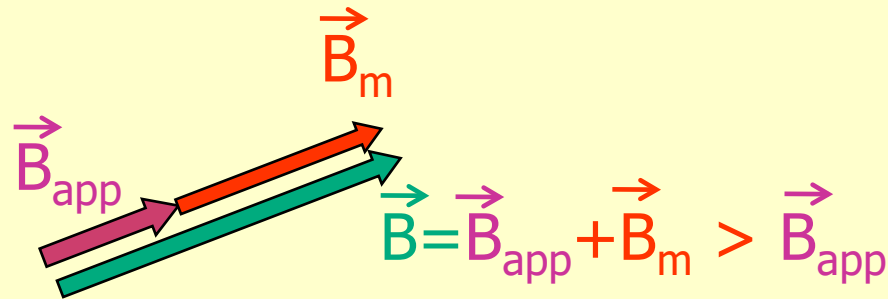
Permeabilidad magnética relativa



①

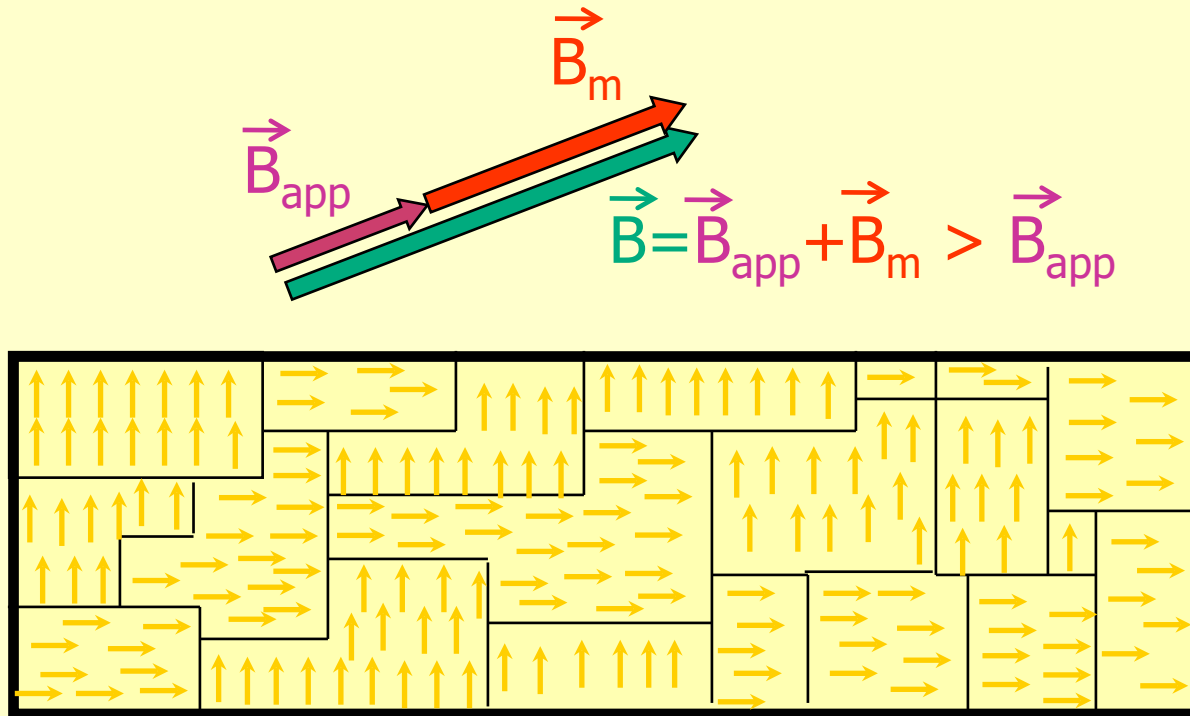
Magnetismo en la materia. Ferromagnetismo.

- Al aumentar el campo magnético aplicado B_{app} , algunos dominios se orientan en una de las direcciones de fácil imantación (efectos de Barkhausen). La magnetización B_m aumenta y también lo hace el campo total.....



Magnetismo en la materia. Ferromagnetismo.

- Hasta que **todos los dominios están orientados** en alguna dirección de fácil imantación próxima al campo magnético aplicado B_{app} .

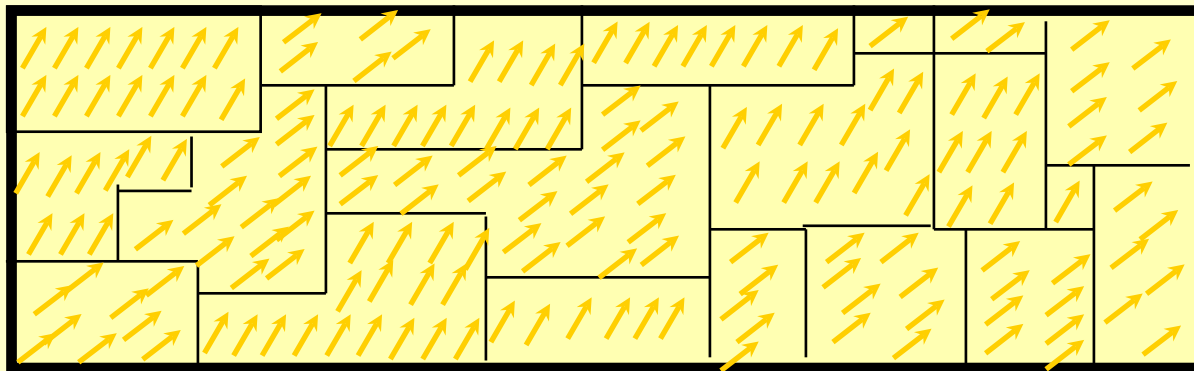
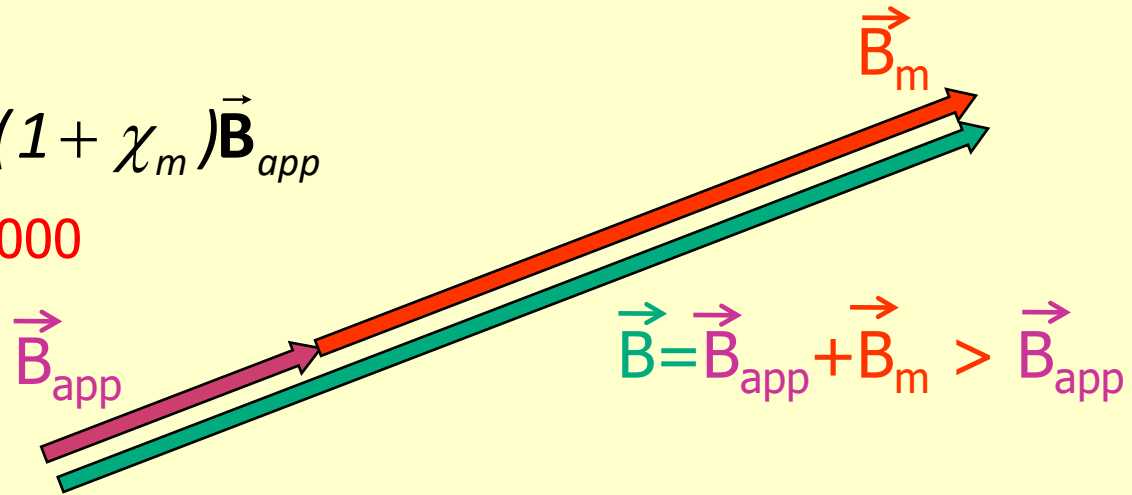


Magnetismo en la materia. Ferromagnetismo.

- El último paso ocurre cuando todos los dominios se orientan en la dirección del campo exterior aplicado. Hemos alcanzado la máxima imantación (imantación de saturación).
- El campo resultante (B) es miles de veces el campo aplicado:

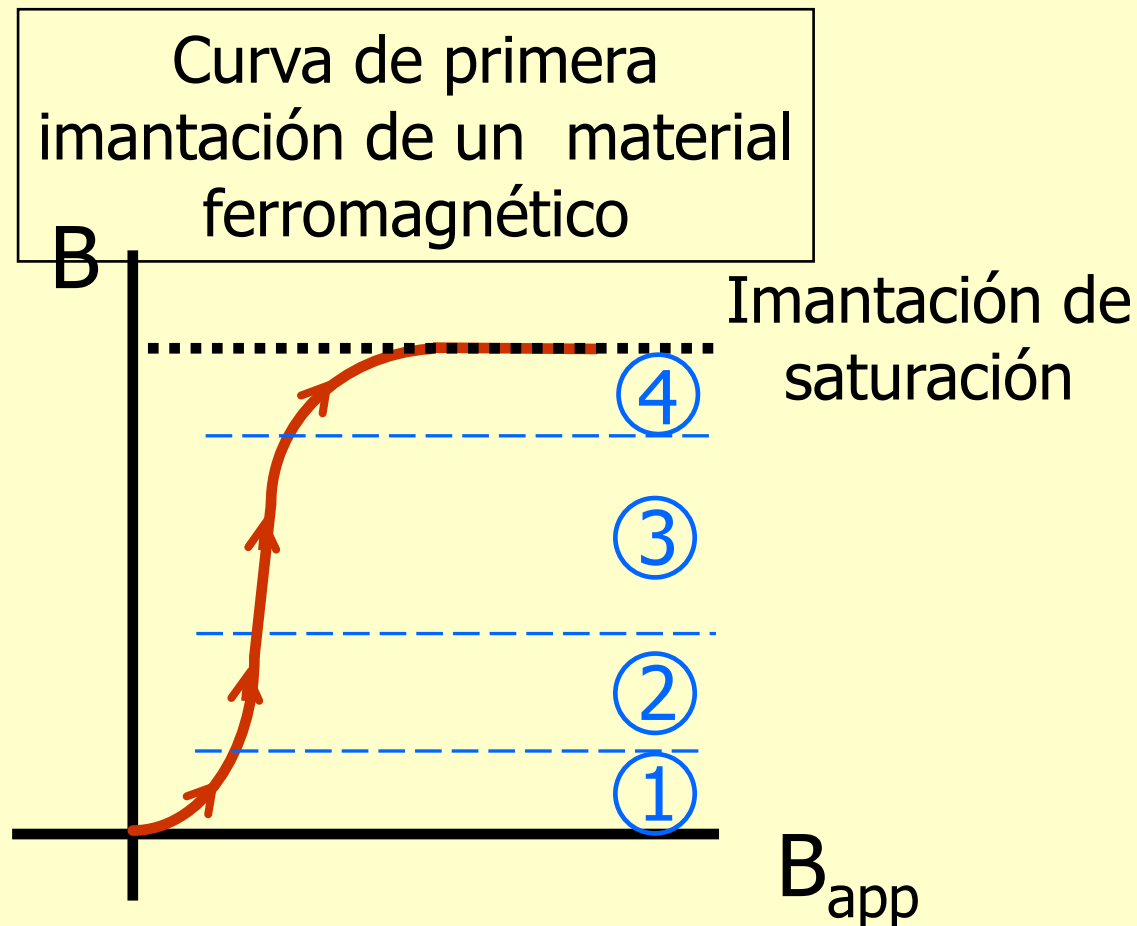
$$\vec{B} = \vec{B}_{app} + \vec{B}_m = (1 + \chi_m) \vec{B}_{app}$$

Permalloy: $\chi_m = 25000$



Ferromagnetismo. Curva de primera imantación.

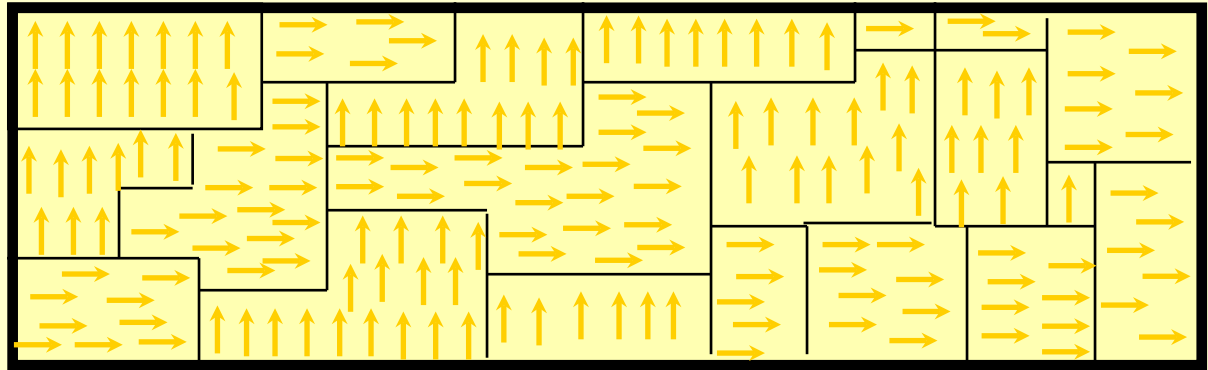
- El proceso de imantación es **no lineal** (salvo la zona (3) de la curva), y si representamos B vs B_{app} obtenemos la **curva de primera imantación** de un material ferromagnético:



Ferromagnetismo. Desimantación.

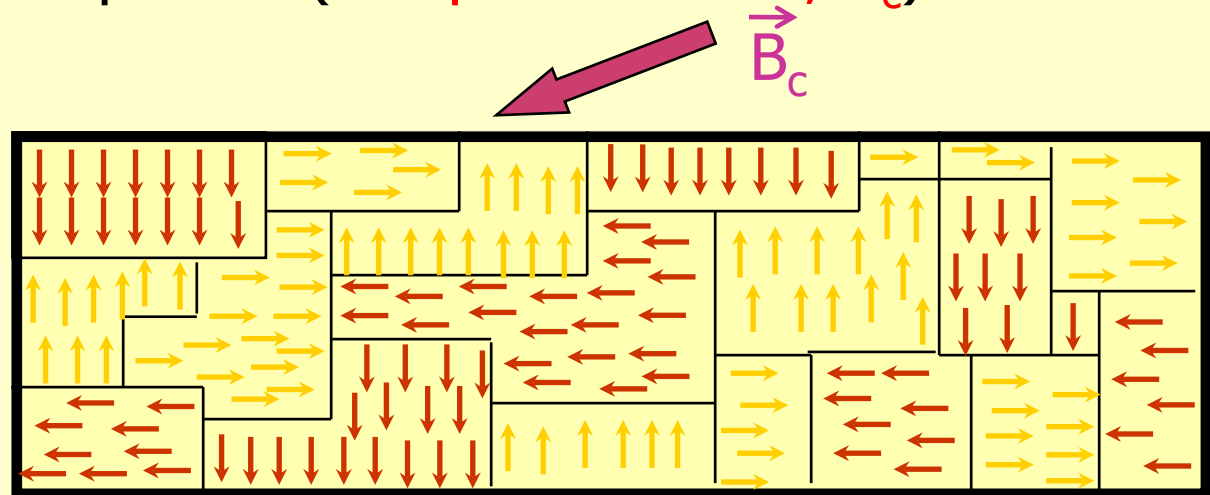
- Al retirar el campo externo, los momentos magnéticos vuelven a sus direcciones de fácil imantación, no a las que tenían inicialmente, por lo que queda alguna imantación (**imantación remanente**):

$$\mathbf{M} \neq 0$$



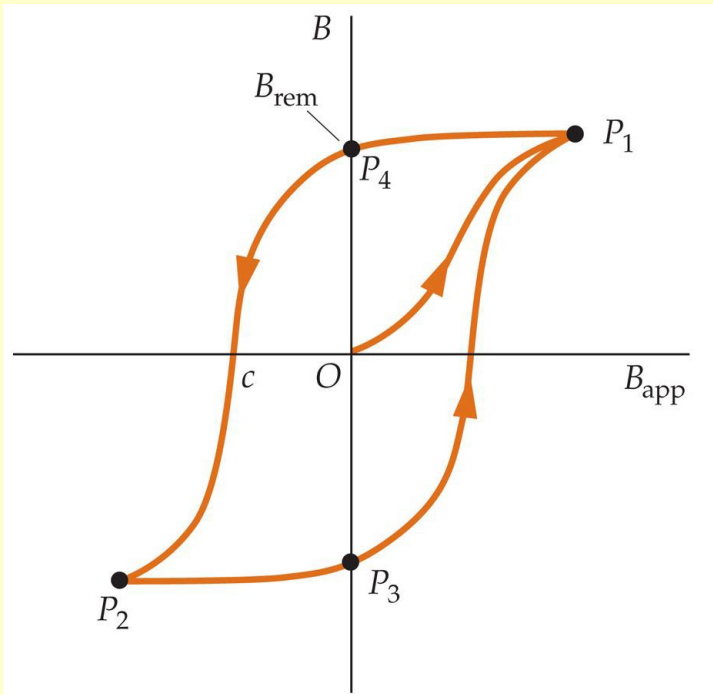
- Para **eliminar la imantación remanente**, debe aplicarse un campo magnético opuesto (**campo coercitivo, B_c**):

$$\mathbf{M} = 0$$

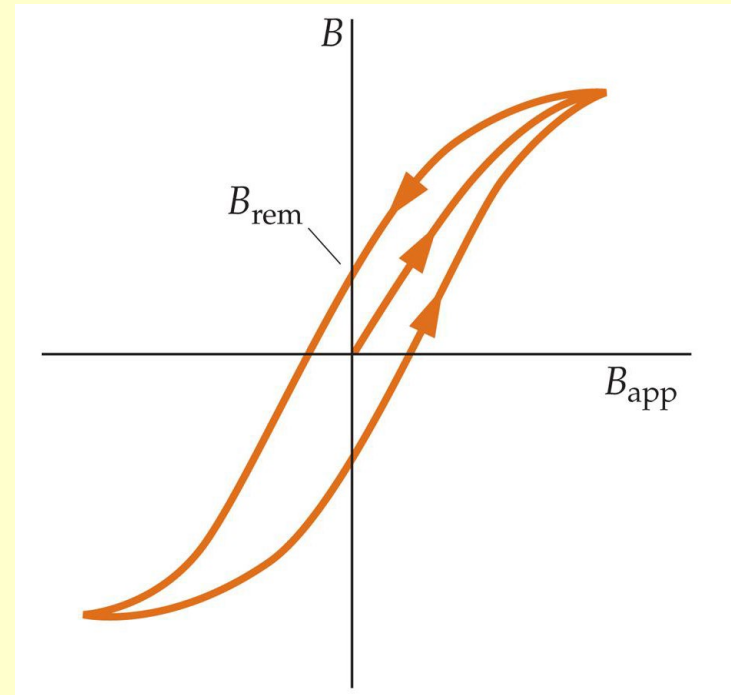


Ferromagnetismo. Materiales magnéticos duros y blandos.

- El **área** encerrada por la curva de histéresis está relacionada con la **energía** perdida por **fricción**. Los materiales **Duros** (alta imantación remanente) son útiles para hacer **imanes o memorias para almacenar datos**. Los materiales **Blandos** son apropiados para hacer **electroimanes**



Material "Duro"



Material "Blando"

Lectura y escritura en dispositivos magnéticos

- Un **solenoid bobinado** alrededor de un material magnético **blando** puede utilizarse para “organizar” (escribir como 0 o 1) un material magnético **duro**. La información almacenada puede **leerse** mediante **inducción electromagnética**.

