

Cerámicas Magnéticas

Esquema

- Conceptos básicos de Magnetismo
- Tipos de magnetismos
- Dominios magnéticos
- Histéresis magnética
- Materiales magnéticos blandos y duros
- Ferritas blandas:
 - Estructura
 - Propiedades magnéticas
 - composiciones comerciales
 - Procesado
 - Aplicaciones:
 - supresores de interferencias
 - Inductores de potencia
 - transponder
 - amplificadores de audio

Conceptos básicos de magnetismo

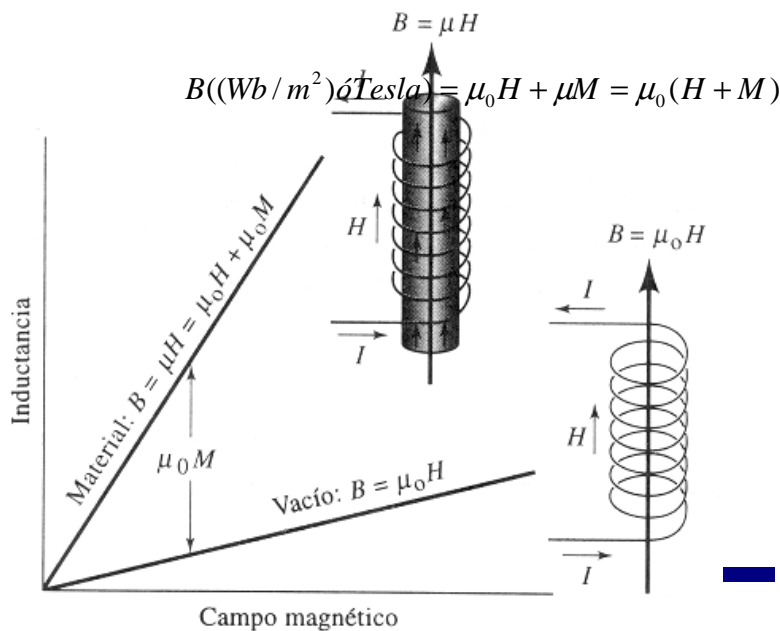
H: Intensidad de campo magnético externamente aplicado

Si se hace pasar corriente eléctrica de intensidad i por un solenoide de n vueltas y longitud l , se genera un campo magnético, H .

$$H (A / m) = \frac{0,4\pi ni}{l}$$

B: Inducción magnética o densidad de flujo magnético

Magnitud de la intensidad de campo magnético dentro de una sustancia sometida a un campo H .
 Unidades: *tesla = weber/m² (Wb/m²)*. M=magnetización



En el vacío: $B = \mu_0 \cdot H$

Con un material: $B = \mu \cdot H$

μ_0 : permeabilidad del vacío (cte.)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb} / \text{A m} \text{ ó henrio} / \text{m (H/m)}$

μ : permeabilidad del medio. Propiedad específica del material a través del cual pasa el campo

μ_r : permeabilidad relativa, indica el efecto del material sobre la inducción. Una medida del grado con que un material puede ser magnetizado.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

Conceptos básicos de magnetismo

μ : Permeabilidad relativa

Es una medida de la intensidad del campo magnético inducido

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

χ_m : Susceptibilidad magnética

Constante de proporcionalidad entre la magnetización M y el campo aplicado H.

$$\chi_m = \frac{M}{H}$$

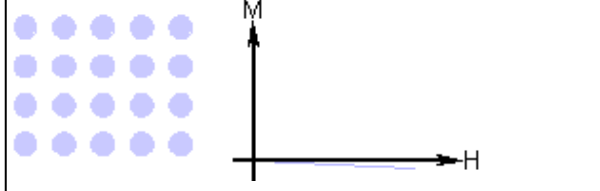
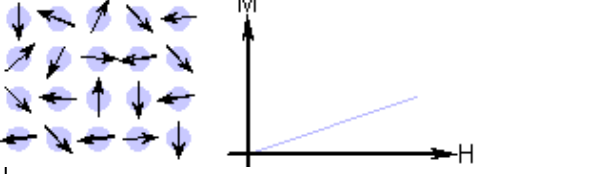
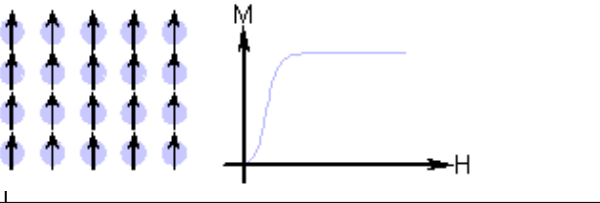
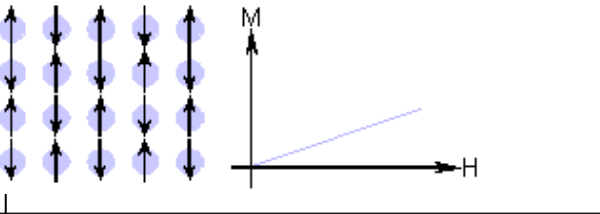
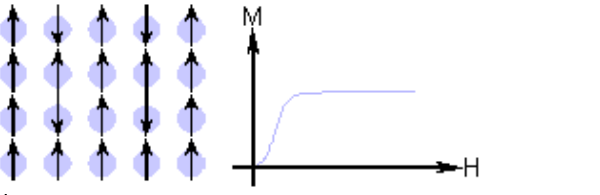
Unidades: *adimensional*.

Comportamiento de los materiales ante un campo magnético: Tipos de magnetismos

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 H | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He |
| | | <input type="checkbox"/> Ferromagnetic <input type="checkbox"/> Antiferromagnetic | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> Paramagnetic <input type="checkbox"/> Diamagnetic | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 Li | 4 Be | | | | | | | | | | | 5 B | 6 C | 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne |
| 11 Na | 12 Mg | | | | | | | | | | | 13 Al | 14 Si | 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar |
| 19 K | 20 Ca | 21 Sc | 22 Ti | 23 V | 24 Cr | 25 Mn | 26 Fe | 27 Co | 28 Ni | 29 Cu | 30 Zn | 31 Ga | 32 Ge | 33 As | 34 Se | 35 Br | 36 Kr |
| 37 Rb | 38 Sr | 39 Y | 40 Zr | 41 Nb | 42 Mo | 43 Tc | 44 Ru | 45 Rh | 46 Pd | 47 Ag | 48 Cd | 49 In | 50 Sn | 51 Sb | 52 Te | 53 I | 54 Xe |
| 55 Cs | 56 Ba | 57 La | 72 Hf | 73 Ta | 74 W | 75 Re | 76 Os | 77 Ir | 78 Pt | 79 Au | 80 Hg | 81 Tl | 82 Pb | 83 Bi | 84 Po | 85 At | 86 Rn |
| 87 Fr | 88 Ra | 89 Ac | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 58 Ce | 59 Pr | 60 Nd | 61 Pm | 62 Sm | 63 Eu | 64 Gd | 65 Tb | 66 Dy | 67 Ho | 68 Er | 69 Tm | 70 Yb | 71 Lu | |

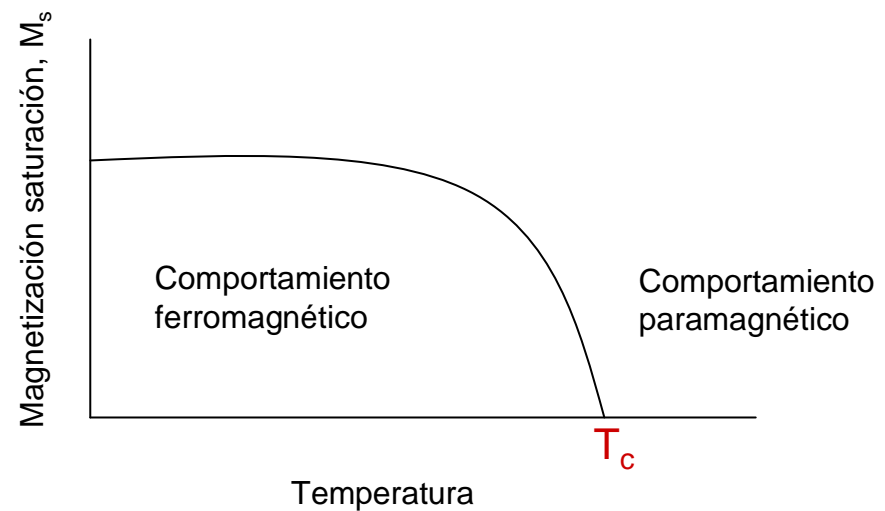
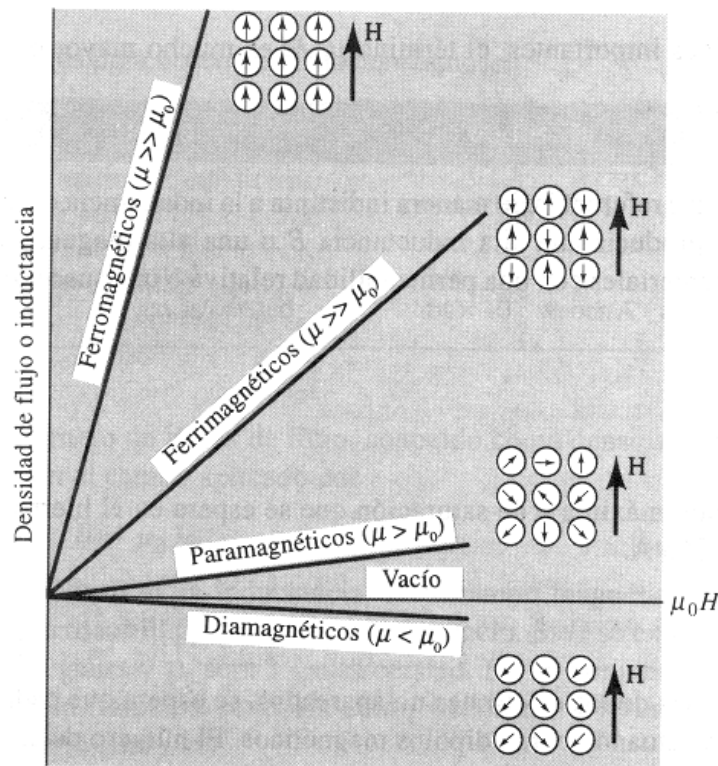
Tabla periódica indicando el comportamiento magnético de los diferentes elementos a la temperatura ambiente

Comportamiento de los materiales ante un campo magnético: Tipos de magnetismos

| Tipo de Magnetismo | Susceptibilidad | Comportamiento atomico / Magnético | | Ejemplos / Susceptibilidad | |
|----------------------------|---|--|---|----------------------------|---|
| Diamagnetismo | Pequeña y negativa. | Los átomos no tienen momento magnético |  | Au Cu | -2.74x10 ⁻⁶ -0.77x10 ⁻⁶ |
| Paramagnetismo | Pequeña y positiva. | Átomos con momentos magnéticos orientados al azar |  | β-Sn Pt Mn | 0.19x10 ⁻⁶ 21.04x10 ⁻⁶ 66.10x10 ⁻⁶ |
| Ferromagnetismo | Grande y positiva, función del campo aplicado, depende de la microestructura. | Átomos con momentos magnéticos alineados y paralelos |  | Fe | ~100,000 |
| Antiferromagnetismo | Pequeña y positiva. | Átomos con momentos magnéticos antiparalelos |  | Cr | 3.6x10 ⁻⁶ |
| Ferrimagnetismo | Grande y positiva, función del campo aplicado, depende de la microestructura. | Átomos con momentos magnéticos antiparalelos y paralelos |  | Ba ferrite | ~3 |

Comportamiento de los materiales ante un campo magnético: Tipos de magnetismos

Efecto de la Temperatura

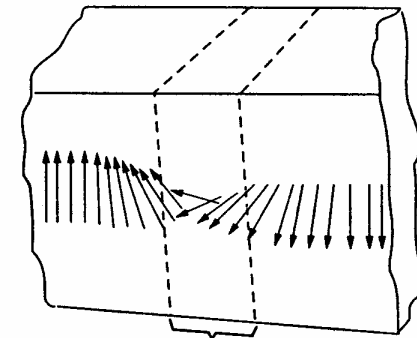
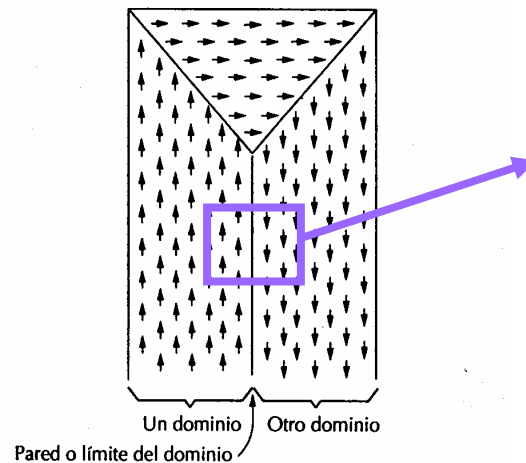


- Magnetización a saturación M_s
- Temperatura de Curie, T_C (ferro-)
- Temperatura de Neel, T_N (antiferro-)

Dominios magnéticos

Regiones 3-D de momentos magnéticos alineados en la misma dirección (sólo en ferro- y ferrimagnéticos).

En un material policristalino cada grano puede contener más de un dominio



W.D. Callister. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Ed. Reverté

Dominios en un material ferromagnético o ferrimagnético. Flechas: dipolos magnéticos

Dimensiones de los dominios: $\approx 10 - 100 \mu\text{m}$

Dimensiones de las paredes: $\approx 100 \text{ nm}$, 300 diámetros atómicos.

Presencia de dominios: minimizan la energía magnetostática del material

Dominios magnéticos

Visualización de los dominios magnéticos: Magnetización de dominios por polarización de luz polarizada plana por reflexión de la superficie (Efecto Kerr), o por transmisión a través de la muestra (efecto Faraday)

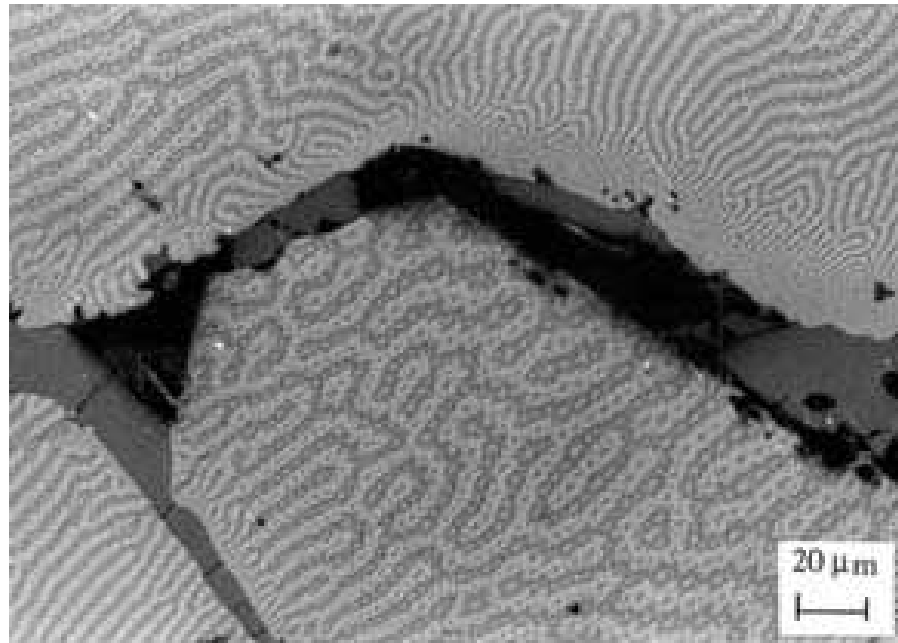
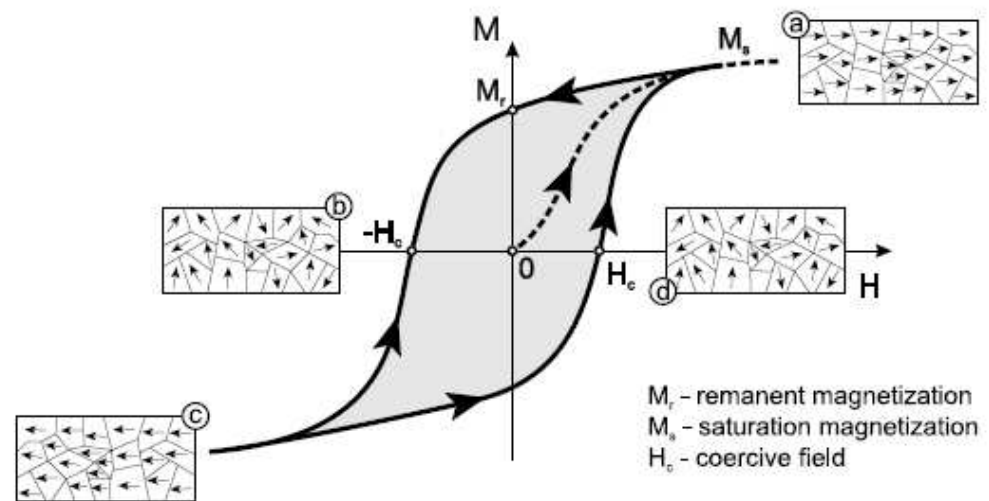
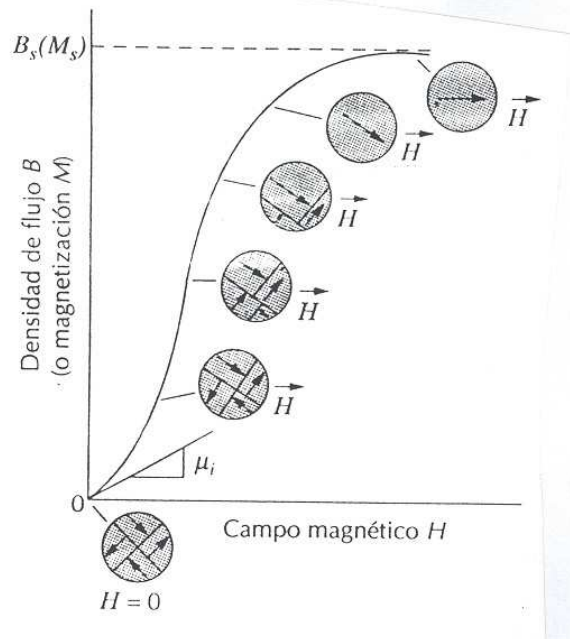


Imagen de efecto Kerr de muestra homogeneizada de $\text{Nd}_{16}\text{Fe}_{76}\text{B}_8$

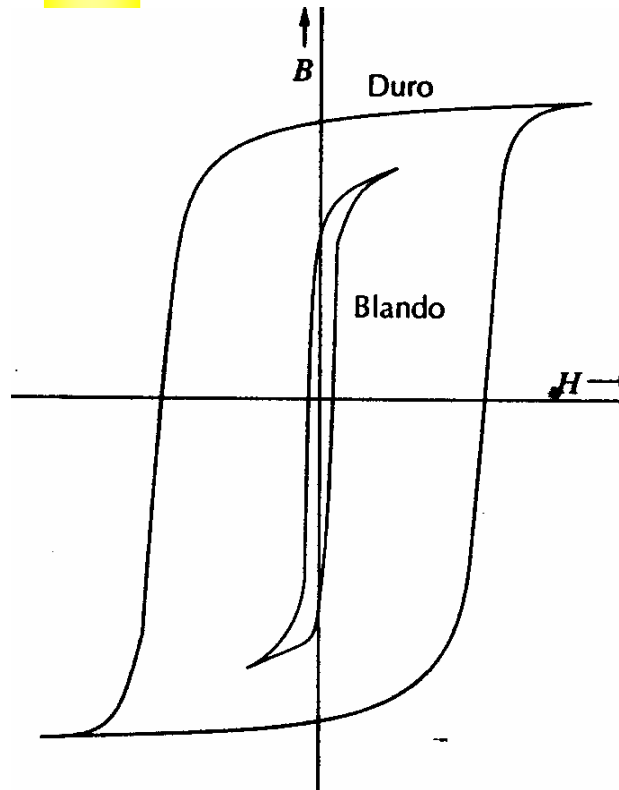
Histéresis magnética

Ciclo de Histéresis B-H:



Materiales magnéticos blandos y duros

Los materiales ferromagnéticos y ferrimagnéticos se clasifican en duros y blandos en base a sus características de histéresis.



Materiales magnéticos blandos:

- $\mu \uparrow$ \rightarrow permite alcanzar M_s con H bajos
- Pérdidas por histéresis \downarrow **ciclo pequeño**
- $H_c \downarrow \Rightarrow$ fácilmente magnetizable, pierden rápidamente sus prop. magnéticas.
- $B_r \downarrow \rightarrow$ para que la imanación bajo $H=0$ sea ≈ 0 ó pequeña.

Materiales magnéticos duros:

- μ baja o moderada
- Pérdidas por histéresis
- $\uparrow H_c \Rightarrow H_c = f(\text{variables estructurales})$. Impurezas, poros, defectos... $\uparrow H_c \Rightarrow$ impiden mvto. dominios
- $B_r \uparrow$ (dominios estables).

Cerámicas Magnéticas

Óxidos Cerámicos magnéticos

- Ferritas blandas (espinelas y granates)
- Ferritas duras (hexaferritas)
- Óxidos como registros magnéticos
- Óxidos magnetorresistentes

Ferritas blandas: Espinelas

Estructura: tipo espinela AB_2O_4 $A^{2+}B^{3+}_2O_4$

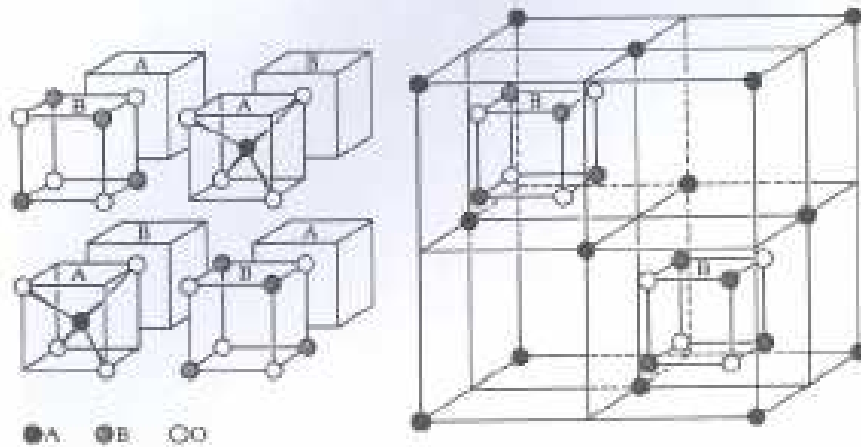


Figura 1.14 Estructura de la espinela, AB_2O_4 .

f.c.c. de O^{2-} 8 fórmulas por celda
 1/8 h.o. A^{2+}
 1/2 h.t. B^{3+}

Espinela normal: $A_t[B_2]_oO_4$

Espinela inversa: $B_t[AB]_oO_4$

-Ferritas comerciales: espinela inversa donde $A = Mn, Ni, Zn, Mg, Co$ (ión divalente)

-Sitio ocupado depende de:

- radio iónico
- configuración electrónica
- energía electrostática de la red

Ferritas blandas: Espinelas

Propiedades magnéticas: ferrimagnéticas (momentos magn. antiparalelos)

Origen del “ferrimagnetismo” en las ferritas:

- electrones 3d desapareados.
- interacción de canje indirecto entre los iones de sitios A-B adyacentes via los átomos de oxígeno.
- No equivalencia entre el número de sitios A y B ocupados.

| | Sitios A (\uparrow) | Sitios B (\downarrow) | Momento neto |
|---|---------------------------------|---|--------------|
| $\text{Fe}[\text{NiFe}]\text{O}_4$ | $\text{Fe}^{+++} \ 5$ | $\text{Ni}^{++} \ 2 \mu_B, \text{Fe}^{+++} \ 5 \mu_B$ | $2\mu_B$ |
| $\text{Mn}[\text{Fe}_2]\text{O}_4$ | $\text{Mn}^{++} \ 5$ | $\text{Fe}^{+++} \ 2 \times 5 \mu_B$ | $5 \mu_B$ |
| $\text{Zn}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}[\text{Fe}_2]\text{O}_4$ | $\text{Mn}^{++} \ 0.5 \times 5$ | $\text{Fe}^{+++} \ 2 \times 5 \mu_B$ | $7.5 \mu_B$ |

| | |
|-------------------|---------|
| | μ_B |
| Fe^{++} | 4 |
| Fe^{+++} | 5 |
| Mn^{++} | 5 |
| Ni^{++} | 2 |
| Zn^{++} | 0 |

Ferritas blandas: Espinelas

Propiedades magnéticas: ¿De qué depende la permeabilidad?

- **Factores intrínsecos (química):**
 - anisotropía magnética: K (K_1 anisotrop. cristalina, λ_s magnetostricción)
 - magnetización espontánea (M_s)
- **Factores microestructurales:**
 - tamaño de grano (D)
 - porosidad, inclusiones, dislocaciones (obstáculos al movimiento de las paredes)

Rotación magnetización:

$$\mu^R \propto \frac{M_s^2}{K}$$

Movimiento de paredes:

$$\mu^w \propto \frac{M_s^2}{K \cdot \delta} D$$

Ferritas blandas: Espinelas

Propiedades magnéticas:

PROPIEDAD

AGENTE MODIFICADOR

Factores intrínsecos:

- anisotropía magnética: K (K_1 anisotrop. cristalina, λ_s magnetostricción)



Adición Fe^{++} , Co^{++} (contribución a K de signo contrario a la red)

- magnetización espontánea (M_s)



Sustitución Mn^{++} , Ni^{++} por Zn^{++} aumenta M_s (reduce interacción de canje)

Factores microestructurales:

- tamaño de grano (D)
- porosidad, inclusiones, defectos



Procesado: sinterizado (tiempo y temperatura)

Dopantes

Pureza de las materias primas

Ferritas blandas: Espinelas

Composiciones comerciales más comunes

- Materiales de alta permeabilidad a baja frecuencia



Ferritas mixtas Mn-Zn: $Mn_xZn_{1-x}(Fe_2O_4)$

- alta M_s
- baja anisotropía magnética (K)

- Materiales de menor permeabilidad pero con estabilidad hasta más altas frecuencias

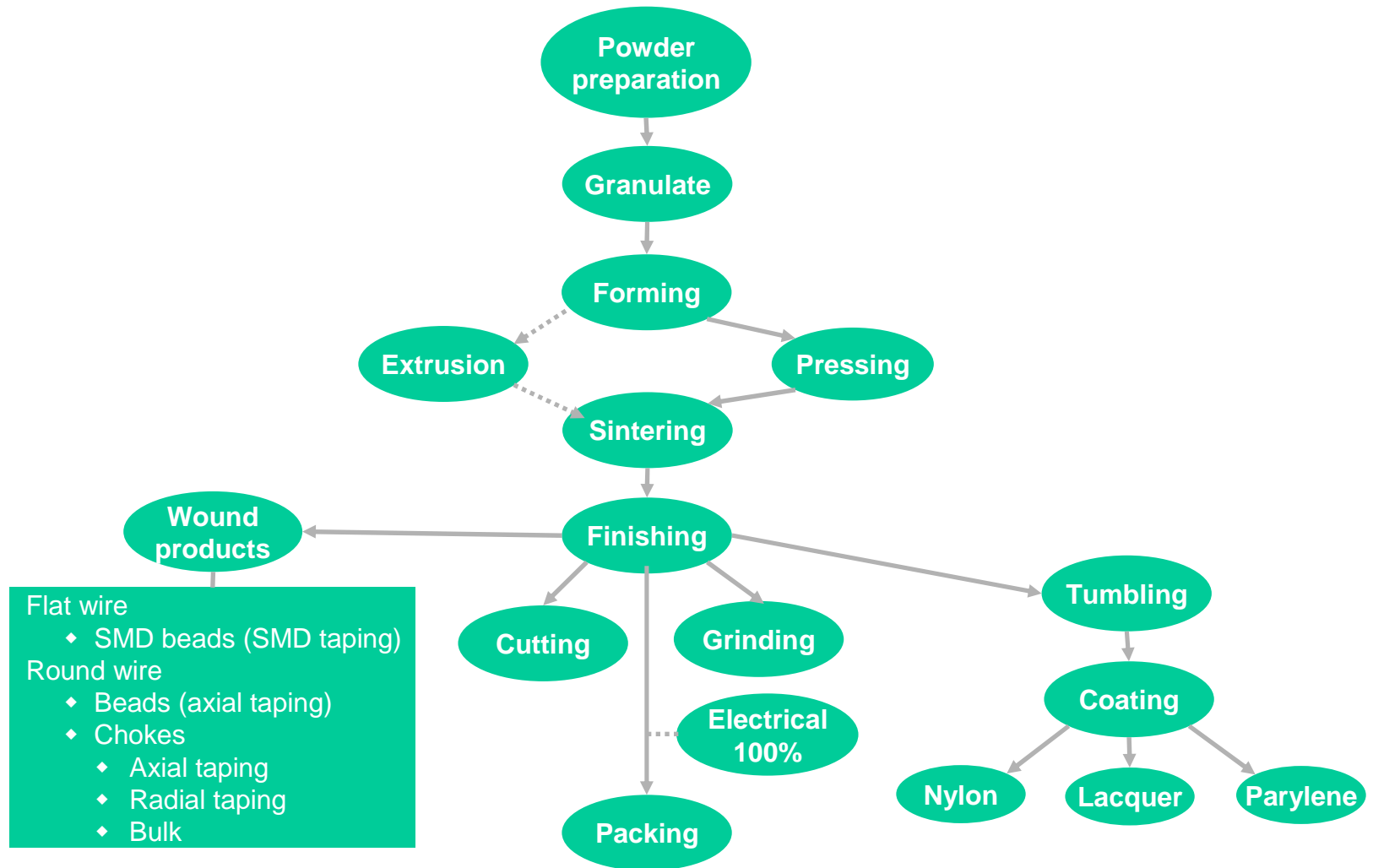


Ferritas mixtas Ni-Zn: $Ni_xZn_{1-x}(Fe_2O_4)$

- baja M_s
- mayor resistividad eléctrica
- estabilidad de μ' hasta altas frecuencias

Ferritas blandas: Espinelas

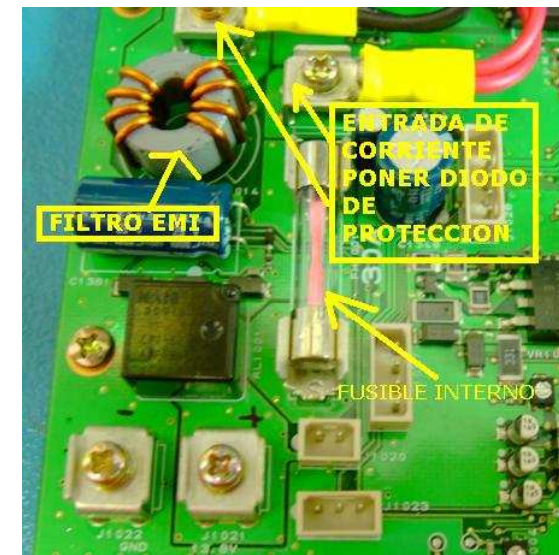
Procesado



Ferritas blandas: Aplicaciones

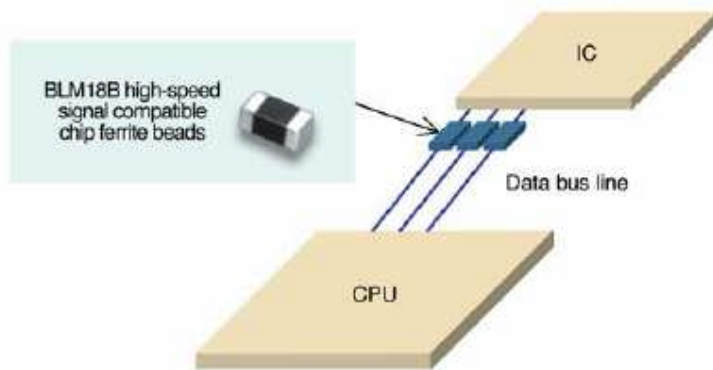
SUPRESORES DE INTERFERENCIAS

Elementos eléctricos pasivos que elimina ruido de alta frecuencia en circuitos electrónicos.



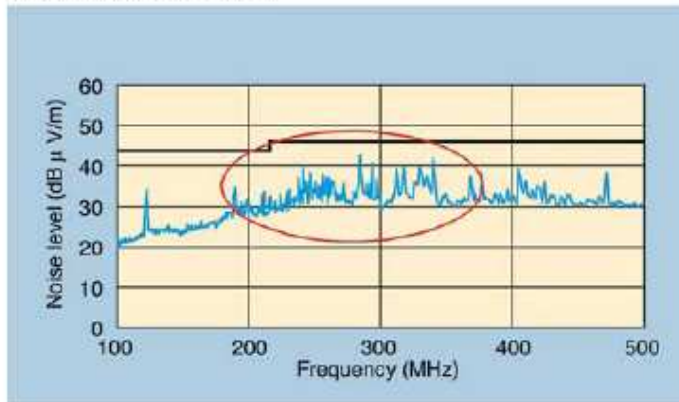
Ferritas blandas: Aplicaciones

SUPRESORES DE INTERFERENCIAS



Filtros SMD para circuitos

Before measures are taken



After BLM18BD601SN1 is installed

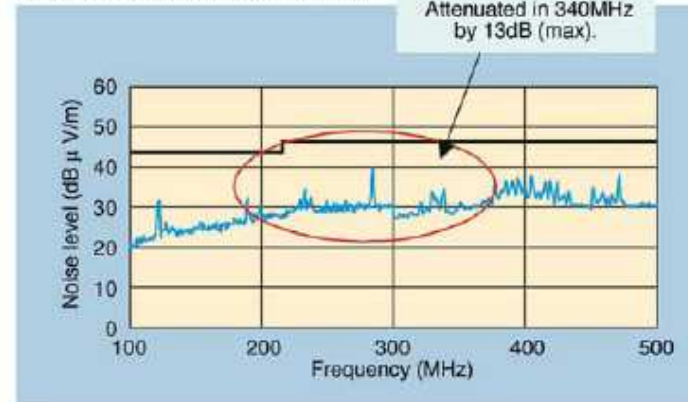


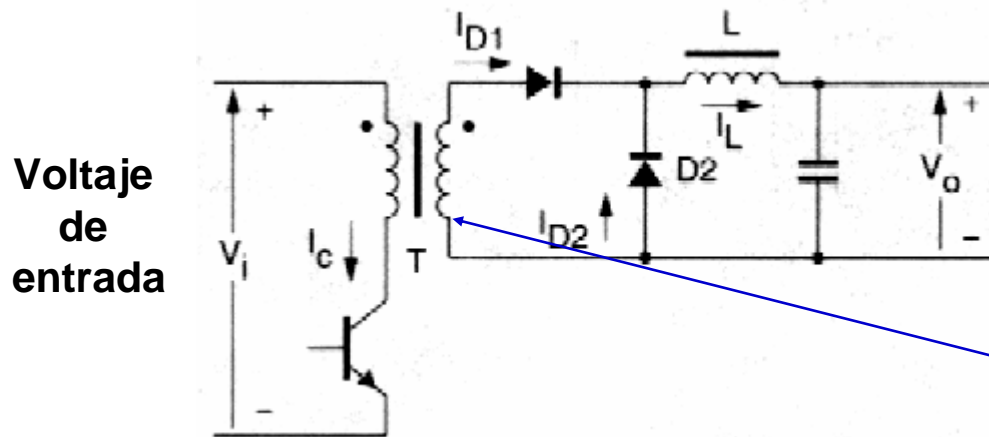
Fig. 4: Effect of noise suppression in data bus line



Ferritas blandas: Aplicaciones

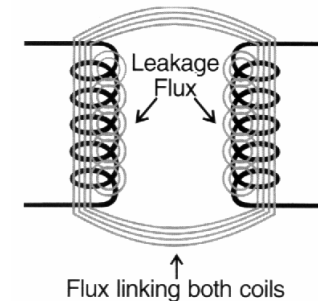
INDUCTORES DE POTENCIA

Transformadores en fuentes de alimentación conmutadas:



Voltaje de salida requerido para

Tu Radio
Tu Video
Tu TV
Tu PC



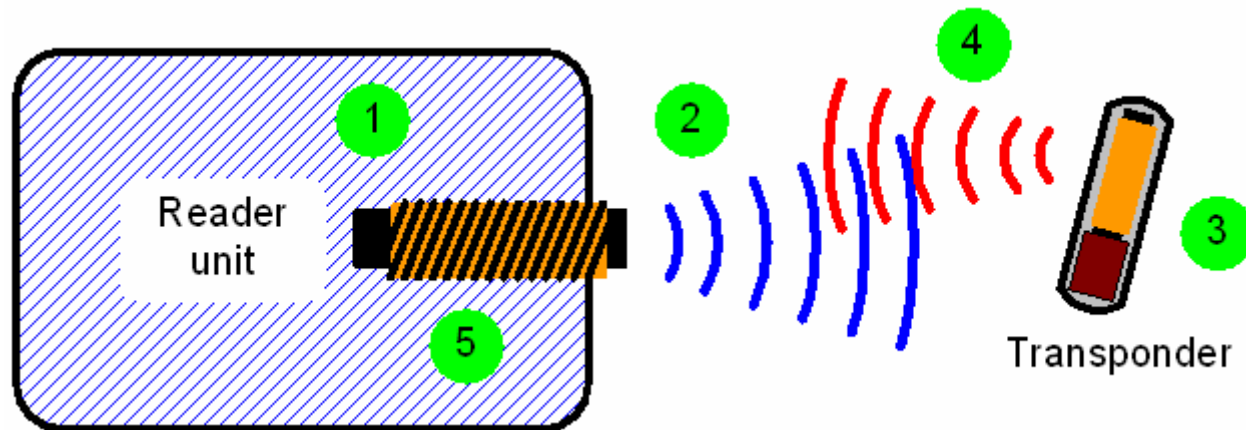
¿ Por qué es necesaria la transformación electromagnética ?:

- Asegura transferencia de energía entre diferentes partes del circuito sin conexión eléctrica (aísla eléctricamente unas partes del circuito de otras).
- Es una manera eficiente de suministrar el nivel de voltaje deseado a un dispositivo eléctrico

Ferritas blandas: Aplicaciones

TRANSPONDER: TRANSmitter/resPONDER

Dispositivos electrónicos (receptor-transmisor) capaces de enviar mensajes cortos de radiofrecuencia (RF) ante una petición



- 1.- Un processor controla el emisor/receptor de señal de RF
- 2.-Una antena envía señal de RF con información codificada.
- 3.-En el transponder, la señal de RF se convierte en señal eléctrica.
- 4.- El transponder envía su información codificada
- 5.- El receptor recibe la respuesta del transponder. La información se procesa en función de la aplicación.

Ferritas blandas: Aplicaciones

TRANSPONDER

Aplicaciones de los transponder:

- Identificación de animales, paquetes
- Sistema de peaje en autopistas sin parada
- Sistema de control de presión de neumáticos
- Identificación de corredores en carreras largas



Ferritas blandas: Aplicaciones

AMPLIFICADORES ELECTRÓNICOS (amplificador de audio)

Dispositivo que aumenta la corriente, el voltaje o la potencia de una señal. Toma la potencia de una fuente de alimentación y controlando la salida hace coincidir la forma de onda de la salida con la de la entrada con una mayor amplitud



*Complete 400W Full-Range Class-D Amplifier Module
(Courtesy of ColdAmp)*