

Transición Ferro- / Para-magnética

OBJETIVOS:

- Monitorear el comportamiento magnético de un material en función de la temperatura y el campo magnético aplicado
- Determinar la temperatura de Curie del Monel
- Aprender cómo funciona un circuito integrador
- Incorporar/afianzar el concepto de ancho de banda instrumental

CONCEPTOS NECESARIOS PARA LA PRÁCTICA:

- Qué es y qué origina la magnetización de un material?
- Qué es la magnetización inducida y la magnetización remanente o espontánea?
- Qué caracteriza desde el punto de vista de la organización de los momentos magnéticos, a un material paramagnético, ferromagnético, ferrimagnético y antiferrimagnético?
- Qué son las temperaturas de Curie y de Néel?
- Qué son los dominios magnéticos? A qué se deben? Qué son las paredes de dominio?
- Cómo responde a la presencia de un campo magnético un material paramagnético, ferromagnético, ferrimagnético y antiferrimagnético?
- Qué es el Monel?

INTRODUCCIÓN BREVE

Las propiedades de los materiales magnéticos se basan en gran parte en el fenómeno cuántico de la interacción de intercambio. La interacción de intercambio para bosones produce que partículas idénticas puedan encontrarse muy cerca unas de otras, como es el caso en los condensados de Bose-Einstein. Para fermiones en cambio, impone distancia y condiciones de (anti-)alineamiento de espín, como es el caso de la repulsión de Pauli.

Un átomo posee un momento magnético permanente determinado por la suma del momento angular y espín de sus electrones. La contribución del núcleo al momento magnético de un átomo es despreciable en comparación con los momentos magnéticos de los electrones. Existen materiales en donde los momentos magnéticos de los átomos componentes poseen una estructura ordenada, incluso en ausencia de un campo magnético externo. Si todos los momentos se encuentran alineados en una misma dirección, el material se denomina *Ferromagnético*. Cuando un material posee momentos magnéticos alineados pero orientados en sentidos opuestos y desbalanceados en magnitud o número, se denominan *Ferrimagnético*. Tanto los materiales ferro- como ferri-magnéticos pueden poseer una importante magnetización incluso en ausencia de un campo magnético aplicado externo; esta magnetización se denomina remanente o espontánea (M_r). En el caso particular de que un material contenga momentos magnéticos orientados en sentidos opuestos y perfectamente balanceados, este no presentará una magnetización macroscópica espontánea, y se denomina *Antiferromagnético*. En la figura 1 se muestra esquemáticamente las estructuras de momentos magnéticos características de estos materiales.

Para todos estos materiales, existe una temperatura por encima de la cual la agitación térmica vence a la energía de intercambio que mantiene a los momentos magnéticos alineados, y el comportamiento pasa a ser *Paramagnético* (Figura 1) con cero magnetización espontánea. Esta temperatura de transición se denomina temperatura de Curie para ferromagnetos y ferrimagnetos, y en el caso de los antiferromagnetos se denomina temperatura de Néel. En un material paramagnético los momentos magnéticos no poseen ninguna orientación preferencial, y en consecuencia ninguna magnetización espontánea. En presencia de un campo magnético externo, los momentos magnéticos tenderán a alinearse magnetizando al material. Este proceso se denomina magnetización inducida.

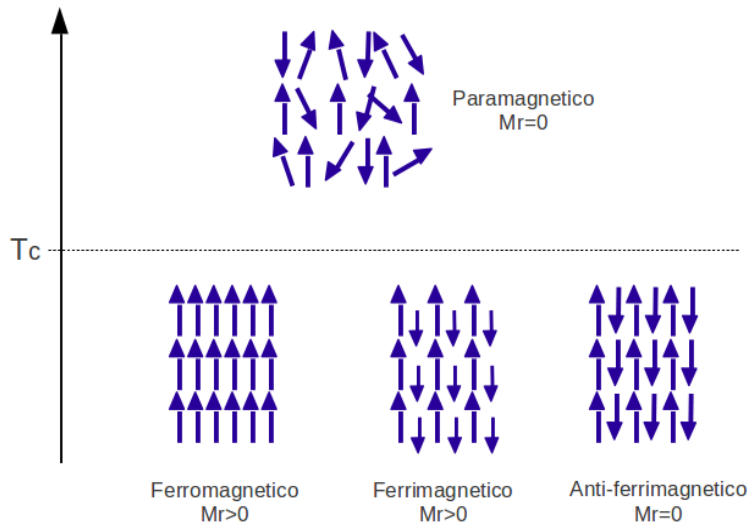


Figura 1. Esquem de las estructuras de momentos magnéticos características de los materiales ferro-, ferri-, antiferri-, y para-magnéticos.

En la práctica no científica se suele clasificar a un material como magnético cuando posee una significativa magnetización remanente, e.d. cuando presenta ordenamiento ferro- o ferri-magnético y su temperatura de Curie se encuentra bien por encima de la temperatura ambiente o la temperatura típica de trabajo de ese material. Análogamente se suele denominar a un material como no-magnético a cualquier material que no presenta magnetización espontánea, o sea materiales sin momentos magnéticos intrínsecos significativos, antiferromagnetos, y también a los ferro- y ferri-magnetos que poseen una temperatura de Curie muy por debajo de la temperatura ambiente o la temperatura de trabajo.

A temperaturas menores a la temperatura de Curie (T_c) los materiales ferromagnéticos presentan una estructura de dominios que determina la existencia de una magnetización espontánea o remanente (M_r). En general, en ausencia de un campo magnético los momentos magnéticos del material se encuentran orientados de forma aleatoria cancelándose así los efectos magnéticos macroscópicos.

Al someter a un material ferromagnético a un campo magnético, los dominios alineados con el campo tienden a crecer a costa de los dominios con orientaciones desfavorables. A medida que se incrementa la intensidad del campo, la magnetización del material, e.d. la re-orientación de sus momentos magnéticos para alinearse con el campo procede. Naturalmente, este proceso tiene un límite; en un caso ideal cuando todos los momentos magnéticos se orientan con el campo, o lo que ocurre más usualmente, cuando los paredes de dominio no pueden moverse más para reorganizar los tamaños de dominio debido a particularidades de la estructura del material. La magnetización máxima alcanzable

en un material se denomina magnetización de saturación (M_s). Al remover este campo los materiales ferromagnéticos no vuelven a su estado inicial, si no que permanecen magnetizados con cierto valor denominado magnetización remanente (M_r). El valor de M_r decrece con el aumento de la temperatura hasta que se alcanza la T_c , a partir de la cual el valor de M_r es nulo.

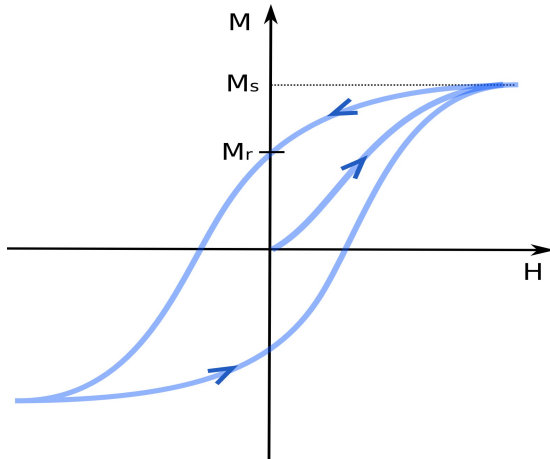


Figura 2. Ciclo de histéresis (magnetización M vs. campo aplicado H) esquemático para un material ferromagnético. M_s : magnetización de saturación. M_r : magnetización remanente.

DISPOSITIVO y DESARROLLO EXPERIMENTAL

El dispositivo experimental se muestra esquemáticamente en la figura 3. En primer lugar consiste de un bobinado primario P dentro del cual se colocan dos bobinados secundarios $S1$ y $S2$ conectados entre si en serie y en contrafase. Este conjunto de bobinas forman lo que se denomina un *transformador diferencial*.

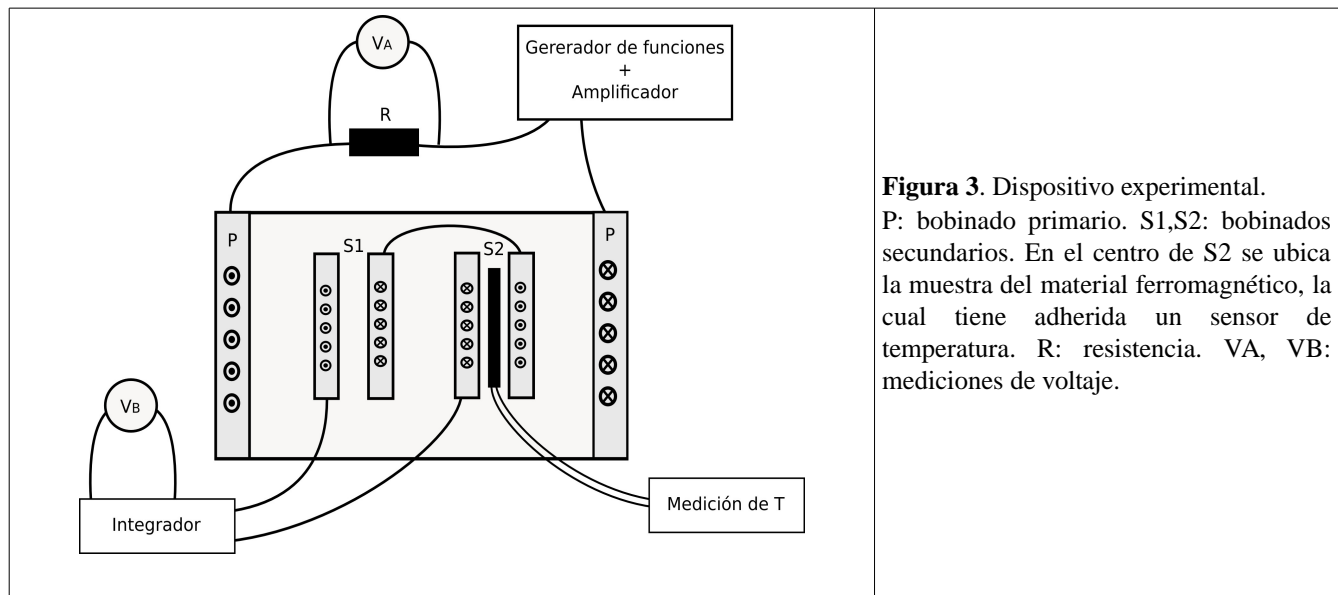


Figura 3. Dispositivo experimental. P : bobinado primario. $S1, S2$: bobinados secundarios. En el centro de $S2$ se ubica la muestra del material ferromagnético, la cual tiene adherida un sensor de temperatura. R : resistencia. V_A, V_B : mediciones de voltaje.

La muestra de Monel, cuya respuesta magnética se quiere medir se coloca en $S2$. Para la determinación de la temperatura de la muestra, esta tiene en estrecho contacto térmico una resistencia comercial de platino (PT100) cuya resistencia se medirá a cuatro terminales.

La caída de tensión sobre la resistencia R, dispuesta en serie con el bobinado primario P, es proporcional a la corriente que circula por P y en consecuencia al valor de H en los secundarios. Al aplicar una tensión variable en el primario, se induce en el secundario fuerza electromotriz (f.e.m, ε) de acuerdo con la ley de Faraday-Lenz:

$$\varepsilon = -N_2 \frac{d\Phi_B}{dt}$$

donde N_2 es número de vueltas del secundario y Φ_B el flujo magnético concatenado por el secundario (e.d. El valor del campo B que atraviesa por unidad de área que atraviesa la sección transversal de S2). De esta ecuación, se desprende que la integral temporal de la f.e.m. ε es proporcional al valor promedio de B en S2. La integral temporal de ε se realiza mediante un circuito integrador como el que se muestra en la figura 4.

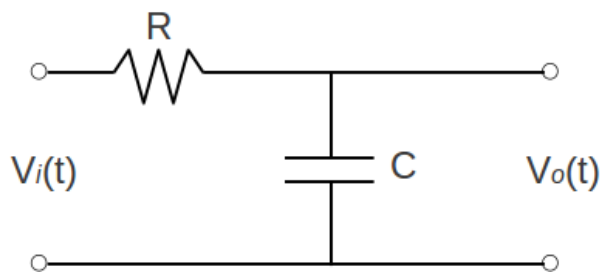


Figura 4. Circuito integrador.

La práctica consiste en registrar y analizar dichas curvas para varias temperaturas en el rango que va desde la temperatura del Nitrógeno líquido hasta temperatura ambiente, observar la transición ferro-/para-magnética y determinar la T_c del Monel.

PREGUNTAS A RESPONDER DURANTE LA PRÁCTICA E INCLUIR EN EL INFORME

- Demuestre por qué los voltajes V_B y V_A son proporcionales a B y H, respectivamente.
- En qué rango de frecuencias el circuito de la figura 4 actúa como un integrador? Qué ocurre fuera de ese rango?
- Cuál es el principio de funcionamiento de la resistencia Pt100 como medidor de temperatura?
- Por qué es conveniente medir la resistencia a cuatro terminales?
- Cuál es la T_c del Monel?
- Qué dependencia tiene M_r en función de la T a medida que se aproxima T_c ? Cómo se compara la dependencia medida en el experimento con los modelos usuales?