

Ferromagnetismo

Muchos materiales magnéticos sufren una transición de fase en la que el sistema pasa de ser puramente paramagnético a ferromagnético a una crítica, conocida como temperatura de Curie T_c . En la fase paramagnética, los dipolos tienden a alinearse con el campo aplicado, y están completamente desordenados en ausencia de campo. En la fase ferromagnética, en cambio, los momentos magnéticos microscópicos locales tienden a alinearse entre sí. Algunas direcciones privilegiadas del sistema (ejes cristalinos, superficies) pueden privilegiar algunas direcciones sobre otras para la alineación de estos momentos. Sin embargo, incluso en la situación más sencilla en la que hay una única dirección posible, en ausencia de campo magnético aplicado el sentido de alineación de los dipolos magnéticos será arbitrario, por lo que la muestra presentará una estructura de dominios. Por lo tanto, al enfriar el material en ausencia de campo magnético, los dominios se encuentran orientados de forma aleatoria, dando una magnetización macroscópica nula.

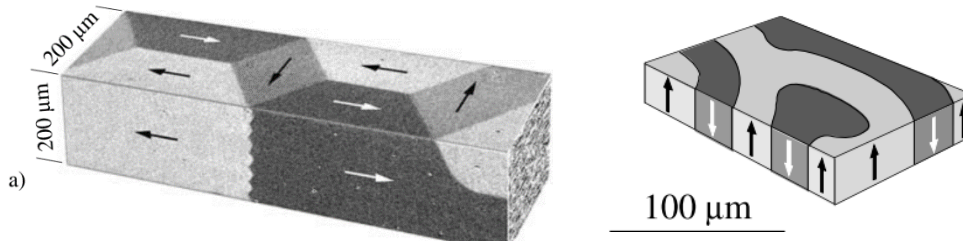


Figura 1: Imágenes de dominios obtenidas por técnicas magneto ópticas y procesado computacional. *Magnetic Domain Walls*, A. Hubert and R. Schafer.

Al someter el material a un campo magnético H , los dominios tienden a alinearse con el campo. Es decir, aquellos dominios, cuyos dipolos están en la dirección del campo crecen a expensas de los demás hasta que ocupan toda la muestra, generando una magnetización máxima de saturación M_s .

Al remover el campo, la entropía puede volver a desordenar parcialmente los dominios, pero los materiales no vuelven a su estado inicial, sino que permanecen con una magnetización remanente M_R , que depende de la temperatura, anulándose para temperaturas mayores a T_c . Para T menores, pero cercanas a T_c la magnetización remanente viene dada por la ecuación:

$$M_R \propto (T_c - T)^\beta \quad (1)$$

, donde β es un parámetro del orden de 0.3/0.4.

Hay que tener en cuenta que la ecuación 1 (local) valdrá para la magnetización global (que es la que se mide) en los casos en que la magnetización sea aproximadamente homogénea.

Ciclos de histéresis.

En la Figura 1 vemos un típico ciclo de histéresis (o curva de primera imantación) de M vs el campo aplicado H . Luego del primer ciclo se seguirá repitiendo la curva roja.

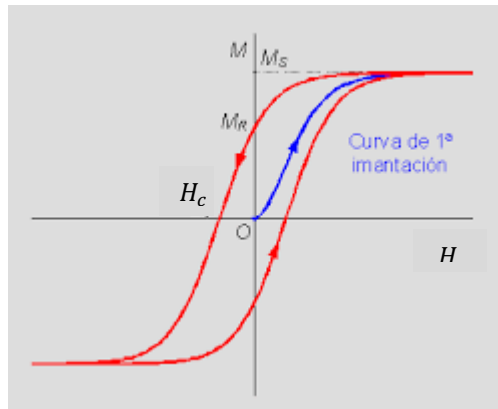


Figura 1: Ejemplo de ciclo de histéresis $M(H)$

Una de las maneras de medir ciclos de magnetización es a través de la medición del campo magnético (en los libros llamada a veces inducción magnética) B_{int} que generan los dipolos internos. En una geometría simple el campo total será la suma del aplicado y el interno:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mathbf{B}_{int} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}). \quad (2)$$

La curva de histéresis $B(H)$ será por lo tanto (componente a componente) similar a la de la figura 1, sumada a una recta $B = \mu_0 H$. A esto hay que sumarle eventualmente la respuesta paramagnética del material, que hace más pronunciada esa pendiente.

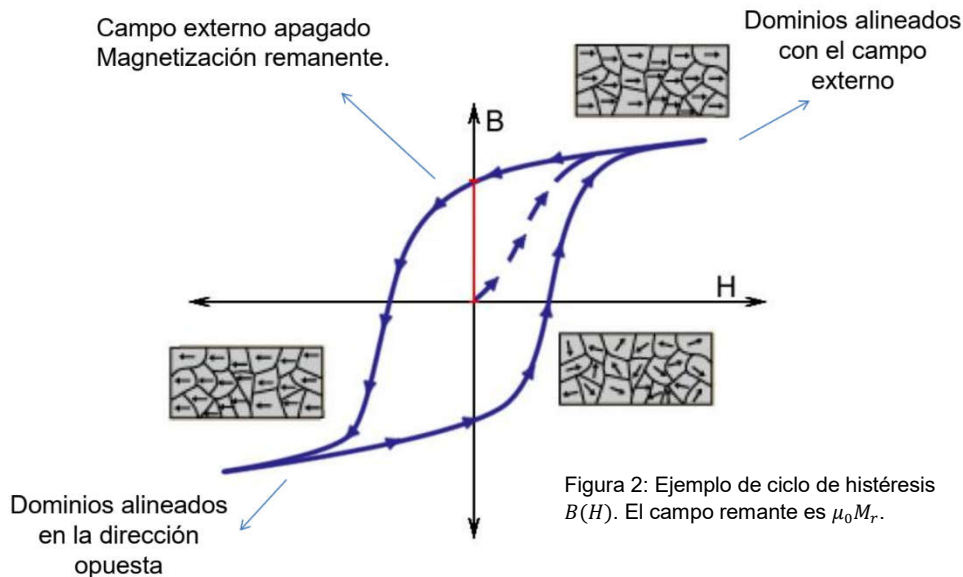


Figura 2: Ejemplo de ciclo de histéresis $B(H)$. El campo remanente es $\mu_0 M_r$.

Medidas inductivas:

Hay varias técnicas experimentales para medir ciclos de histéresis (Ver la sección campos magnéticos en Técnicas Experimentales). En esta práctica usaremos la técnica inductiva, que consiste en variar el campo aplicado de manera periódica a una frecuencia ω , y medir el voltaje inducido por la variación temporal del flujo magnético $\Phi(t)$ (Faraday).

Si generamos un campo magnético haciendo circular una corriente periódica $I(t)$ por un bobinado de densidad de vueltas n_1 , en aproximación de solenoide infinito $H(t) \sim n_1 I(t)$

en la dirección del eje del solenoide (piensen si tiene sentido usar esta aproximación o si deberían utilizar el cálculo de un solenoide finito y cómo hacerlo).

Si colocamos la muestra magnética en su interior esta genera su propio campo B_{int} , por lo que habrá un campo total $B(t)$. La fem inducida en un bobinado secundario de área A y N_2 vueltas será:

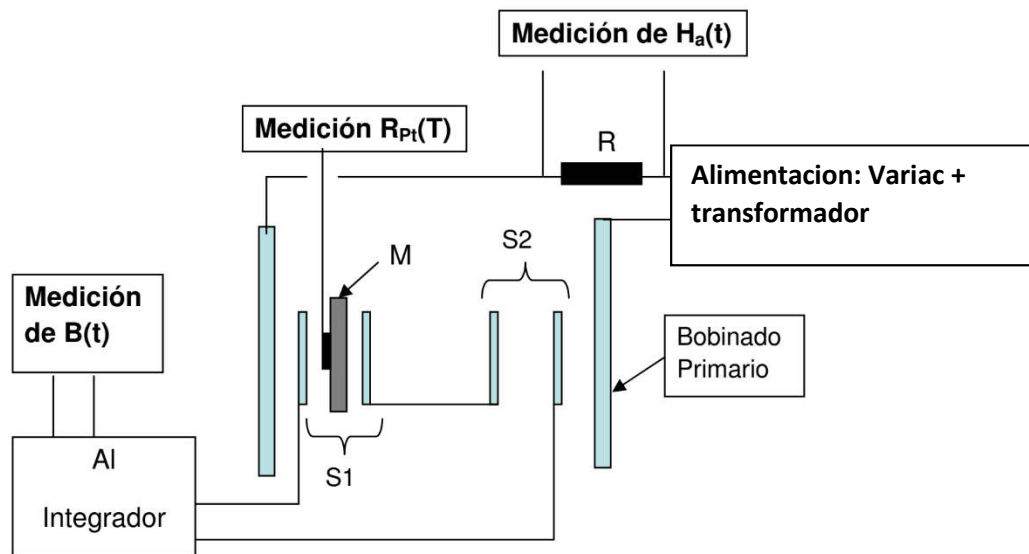
$$\varepsilon(t) = -N_2 \frac{\partial \Phi(t)}{\partial t} \quad (3)$$

, donde $\Phi(t) = \int b(r, t) dA \sim A B(t)$. Siendo $b(r, t)$ la componente local del campo total perpendicular al área de las espiras y $B(t)$ el campo total promedio perpendicular al área de la espira. Integrando por lo tanto la ecuación (3) es posible obtener $B(t)$, y $M(t)$.

Disposición experimental en Laboratorio 4

Se propone medir la magnetización de un alambre de Monel, una aleación magnética con una temperatura de Curie por debajo de T ambiente. Por lo tanto, para observar la fase ferromagnética hay que enfriar la muestra. Usaremos nitrógeno líquido para eso.

El dispositivo consiste en un bobinado primario dentro del cual se colocan dos bobinados secundarios S1 y S2 conectados entre sí en serie y en contrafase (por qué en contrafase?). El conjunto de bobinas forman el primario y secundario de un transformador denominado diferencial, como se esquematiza en la figura. 3. La muestra de Monel, cuya respuesta magnética se quiere medir se coloca en S1. La muestra tiene en estrecho contacto térmico una resistencia comercial de platino R_{Pt} (denominada R PT100) cuya resistencia se medirá a 4 terminales para determinar la temperatura de la muestra (Como determina T ? que ventaja tiene la medición de una resistencia a 4 terminales?)



El bobinado primario se alimenta con un Variac conectado a la frecuencia de línea (frecuencia principal 50 Hz) acoplado a un transformador (por qué es necesario este acople?) para generar un campo alterno $H(t)$ de amplitud suficiente como para llevar la muestra a saturación (por qué no podemos usar un generador de funciones?).

Para medir la señal $V_1(t)$ proporcional a $H(t)$ se dispone de una resistencia conocida conectada en serie con el bobinado primario y se mide la caída de tensión sobre ésta (justifique).

Integrando la señal del secundario se obtiene una señal $V_2(t)$ proporcional a la componente de normal al área de las espiras $B(t)$. de modo que se puede observar la figura del ciclo de histéresis $B(H)$ en un osciloscopio midiendo las señales $V_1(t)$ y $V_2(t)$ en los dos canales.

Para medir simultáneamente $V_1(t)$, $V_2(t)$ y la caída de tensión sobre la resistencia de platino (es decir, la temperatura) se recomienda utilizar una placa de adquisición. Hay varias maneras de medir la temperatura (discutir cómo generar una corriente conocida adecuada). También es posible evitar la integración electrónica y hacer una integración numérica de la fem $\varepsilon(t)$.

De este modo podrán reconstruir los lazos de histéresis a diferentes temperaturas. Para esto, inicialmente se sumerge la muestra en nitrógeno líquido (77 K) y se la introduce fría en el núcleo de S1 midiendo las señales a medida que la muestra adquiere T ambiente. Con este procedimiento: podemos considerar que cada lazo se mide T constante? (justificar).