

Histérisis magnética sobre una muestra de monel

D. Peluso y F. Yulita

Departamento de Física, FCEyN, UBA, CABA, Argentina

(30 de mayo, 2019)

Resumen

Se enfrió una muestra de monel por debajo de su temperatura de Curie y se la sometió a un campo magnético alterno para estudiar su magnetización a medida que se calentaba. Se lograron obtener figuras de histéresis magnética para distintas temperaturas, se hicieron gráficos del campo remanente en función de la temperatura y en base a estos se hallaron valores para la temperatura de Curie y otra magnitud relevante al modelo.

I. INTRODUCCIÓN

Por debajo de la Temperatura de Curie T_C , los materiales ferromagnéticos presentan dipolos magnéticos orientados de forma aleatoria y, por lo tanto, una magnetización total nula.

Si se aplica un campo magnético externo al material, sus dipolos se alinean con el mismo formando una magnetización M [1]. Si se retira el campo externo, esta magnetización permanece y puede describirse por la ley de potencias:

$$M \propto (T - T_C)^\beta,$$

donde β toma valores entre 0.33 y 0.37. Como el campo magnético en la muestra es proporcional a la magnetización entonces vale que:

$$B = a(T - T_C)^\beta, \tag{1}$$

donde a es alguna constante de proporcionalidad.

Cambiar la magnetización del material requiere un campo externo intenso, los dipolos se resisten a cambiar su orientación. Bajo la acción de un campo externo alterno este retraso entre el mismo y la magnetización de la muestra produce histéresis. En la **Figura 1** se muestra una representación de histéresis magnética.

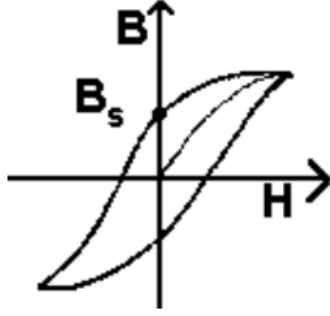


Figura 1: Ejemplo ilustrativo de una figura de histéresis. B_s campo remanente que persiste en la muestra aún cuando el campo externo es nulo.

Para el campo aplicado se supone:

$$H_a(t) = bI_{in}(t)$$

$$I_{in}(t) = \frac{V_{in}(t)}{R}$$

Donde b es una constante de proporcionalidad.

Así, conociendo el valor de la resistencia R , puede tomarse el campo aplicado directamente proporcional a la tensión aplicada. Se uti-

lizaron métodos inductivos para las mediciones basados en la Ley de Lenz-Faraday [2]. En la figura además está marcado el campo remanente B_s que en este informe se lo va a referir como B_{rem} . Este es el campo (o magnetización) que queda en el material cuando el campo externo aplicado es nulo.

II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se dispuso de un variac conectado a la red eléctrica (50 Hz), un transformador con una resistencia patrón $R = (2,506 \pm 0,001) \Omega$, un transformador diferencial, un circuito integrador y un osciloscopio. En la **Figura 2** se destacan los detalles del circuito utilizado.

El variac junto con el transformador funcionan como fuente flotante para el circuito. Se adquirieron la tensión sobre R , sobre la *Pt100* y a la salida del integrador utilizando una placa DAQ de *National Instruments*.

Conociendo la corriente máxima que puede circular por el bobinado primario (2 A) sin dañarlo, se determinó que tensiones iguales o menores a 14 V_{pp} eran adecuadas para trabajar.

Se observaron las curvas de histéresis con el osciloscopio midiendo la tensión sobre R y a la salida del integrador.

Se realizó la adquisición con *Labview SignalExpress* con una frecuencia de adquisición de 2,5 kHz, con 100 muestras por medición. Luego se observó que 40 mediciones constituyen

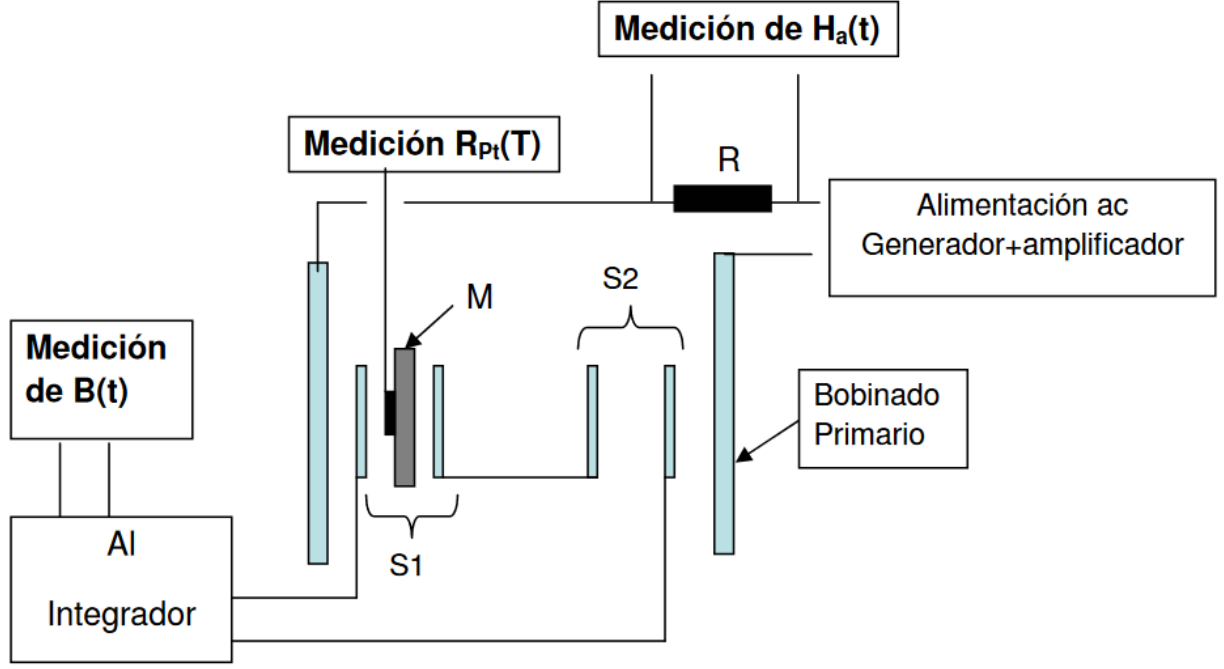


Figura 2: Circuito del montaje experimental. S_1 , S_2 bobinados en contrafase, M muestra de Monel, R resistencia patrón.

un ciclo de histéresis.

Antes de cada medición se enfría la muestra de Monel con nitrógeno líquido hasta la temperatura de saturación del mismo.

III. ANÁLISIS

Se calibró al termómetro ($Pt100$) posicionándolo en tres distintas fuentes de calor. Se midió el voltaje adquirido a temperatura ambiente de $(294,15 \pm 0,1)$ K y se obtuvo $(115,8 \pm 0,6)$ mV. Se midió esta temperatura utilizando un termómetro de mercurio ya calibrado. Luego, usando el mismo termómetro de mercurio, se midió su voltaje sumergido en agua con hielo a $(275,95 \pm 0,1)$ K y se obtuvo $(107,4 \pm 0,9)$ mV. Finalmente, se midió el voltaje adquirido por el termómetro sumergido en nitrógeno líquido, cuya temperatura de saturación es 77 K a presión atmosférica [3], y se obtuvo $(21,6 \pm 0,6)$ mV. Se hizo un ajuste cuadrático con coeficientes a , b y c para el voltaje que medía el termómetro en función de la temperatura y se hallaron valores de $a = -1614 \frac{\text{K}}{\text{V}^2}$, $b = 2527 \frac{\text{K}}{\text{V}}$ y $c = 23,2$ K.

Al tomarse las mediciones hubo momentos en los que el termómetro no midió correc-

tamente ya que su resistencia fluctuó significativamente en comparación al resto de los datos. Por lo tanto, se tuvo que eliminar muchos datos de temperatura ya que no servían. A la primera medición se le tuvo que eliminar los datos por debajo de 150 K, a la segunda los datos por encima de 261 K y a la tercera los datos por debajo de 163 K.

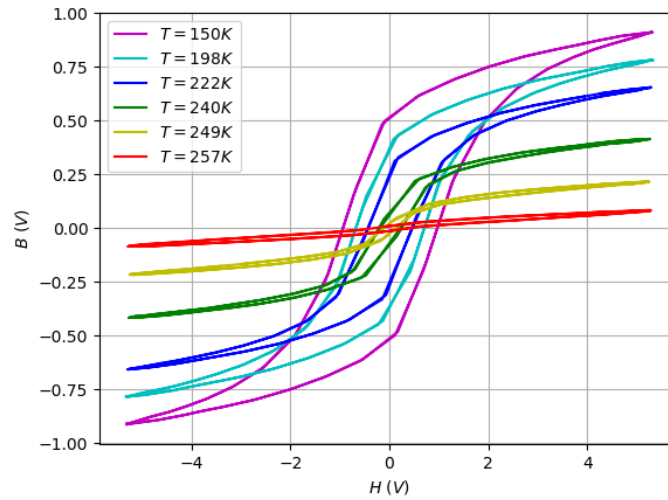


Figura 3: Figuras de histéresis a distintas temperaturas promedio de la primera medición.

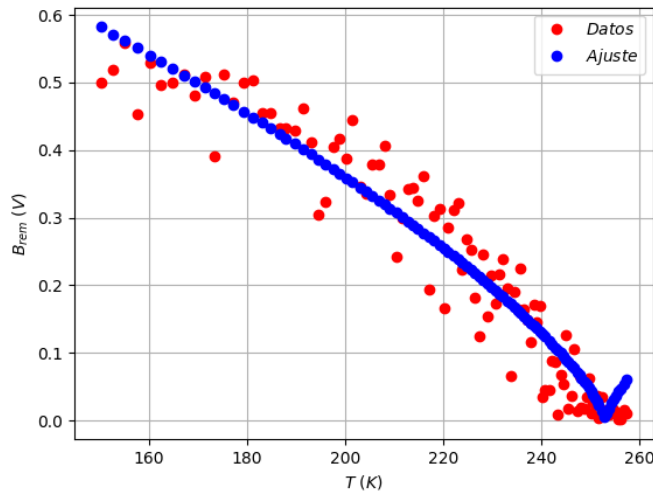
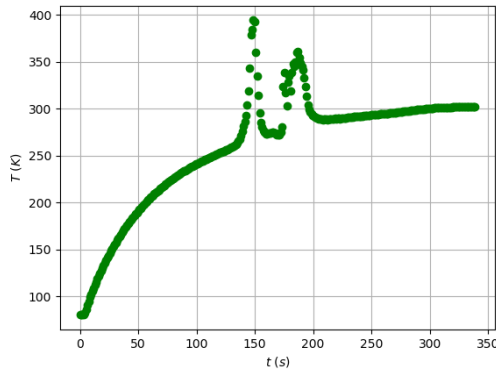


Figura 4: Campo remanente de la primera medición en función de la temperatura y su ajuste.

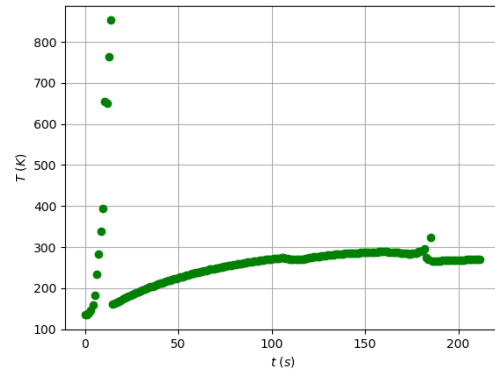
Se graficaron las figuras de histéresis obtenidas para cada una de las mediciones. En la **Figura 3** puede verse un gráfico de algunas figuras de histéresis de la primera medición. Para cada una se identifica la temperatura promedio de la muestra en el momento que tenía esa figura de histéresis. De la misma forma se puede ver lo mismo en la **Figura 7** y **Figura 8** para la segunda y tercera medición respectivamente que se encuentran en el apéndice. Nótese como la figura

va desapareciendo y haciéndose cada vez más lineal a medida que la temperatura crece. A 257 K ya la figura es casi completamente lineal. Algo similar también puede verse para las otras muestras.

En la **Figura 4** puede verse un gráfico del campo remanente B_{rem} para la primera medición en función de la temperatura T y su ajuste utilizando la **Ecuación 1**. El pequeño incremento que hay al final del ajuste se debe a que para poder ajustar correctamente se tomo el módulo de $T - T_C$. Se hallaron los valores de $T_C = 253,0$ K y $\beta = 0,73$. Debido a que no se calibró el campo medido entonces se dejaron sus unidades en volts. Se hallaron gráficos similares para las otras dos mediciones que se encuentran en el apéndice. Para la segunda medición se hallaron valores de $T_C = 257,8$ K y $\beta = 0,51$, y para la tercera medición se obtuvo $T_C = 285,3$ K y $\beta = 0,58$. Entonces, tomando el promedio de los valores se obtiene $T_C = (265 \pm 14)$ K y $\beta = (0,61 \pm 0,09)$. Nótese que el valor de β es muy distinto al esperado valor entre 0.33 y 0.37. Esto puede deberse a que las mediciones que se tomaron fueron muy poco precisas tanto para la temperatura como para los voltajes, nótese como en las figuras del campo remanente cada punto varía significativamente de los consiguientes. Además, como ya se mencionó antes, el termómetro tuvo significativas fluctuaciones en algunas regiones. En la **Figura 6** pueden verse gráficos de las temperaturas medidas en función del tiempo donde pueden verse las regiones donde la resistencia del termómetro fluctuó.



Temperatura medida para la segunda medición.



Temperatura medida para la tercera medición.

Figura 6: Temperaturas medidas para la segunda y tercera medición.

IV. CONCLUSIÓN

Se obtuvieron gráficos de la histéresis magnética a distintas temperaturas y de la caída del campo remanente a medida que la temperatura incrementa para tres distintas mediciones. De ahí se lograron medir tres distintos valores para la temperatura de Curie y para la magnitud β y se tomó un promedio para obtener los valores $T_C = (265 \pm 14)$ K y $\beta = (0,61 \pm 0,09)$. El valor de β es significativamente distinto al valor esperado, entre 0.33 y 0.37. Esto puede deberse a fluctuaciones no despreciables en la resistencia del termómetro al tomar las mediciones.

- [1] C. Lue, *A Direct Method for Viewing Ferromagnetic Phase Transitions*, The Physics Teacher **32**, 304-305 (1994).
- [2] Juan G. Roederer, *Electromagnetismo Elemental*, Eudeba, 261 (2015)
- [3] J.E. Jensen, W.A. Tuttle, R.B. Stewart, H. Brechna and A.G. Prodel, *Selected Cryogenic Data Notebook IV: Properties of Nitrogen*, Brookhaven National Laboratory 10200-R (1980)

Apéndice: Figuras

Aquí se pueden ver las figuras de histéresis de la segunda y tercera medición en la **Figura 7** y **Figura 8** respectivamente. También, se hallan los gráficos del campo remanente para la segunda y tercera medición en la **Figura 9** y **Figura 10** respectivamente.

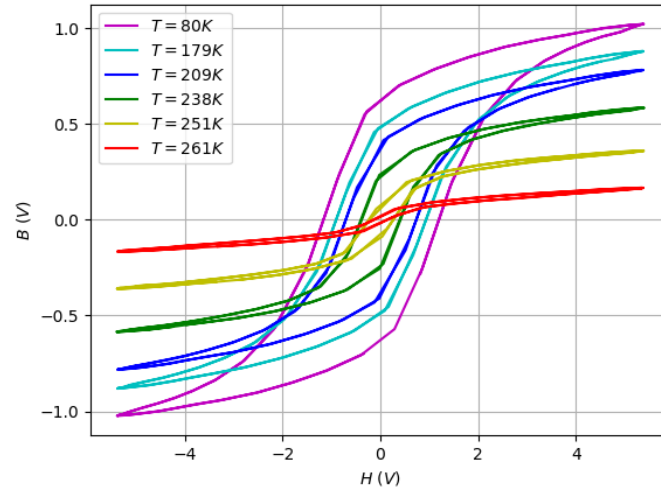


Figura 7: Figuras de histéresis a distintas temperaturas promedio de la segunda medición.

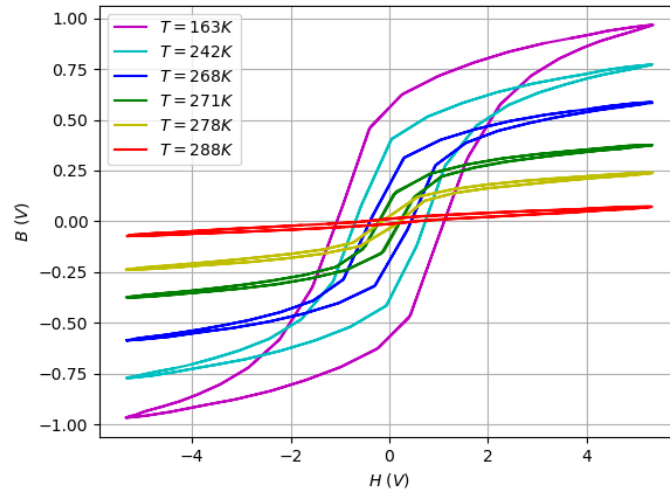


Figura 8: Figuras de histéresis a distintas temperaturas promedio de la tercera medición.

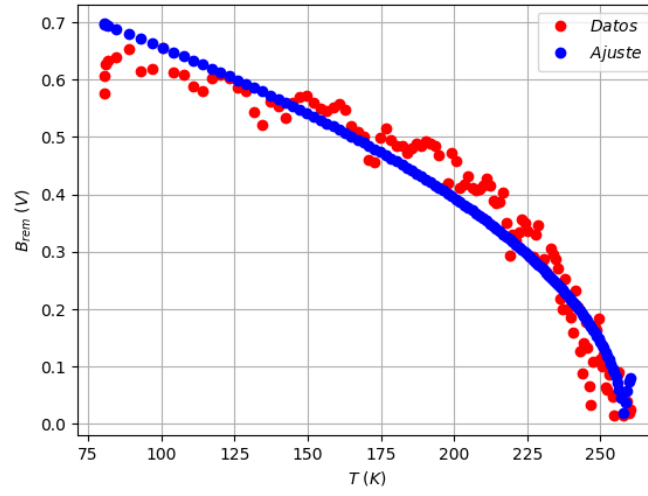


Figura 9: Campo remanente de la segunda medición en función de la temperatura y su ajuste.

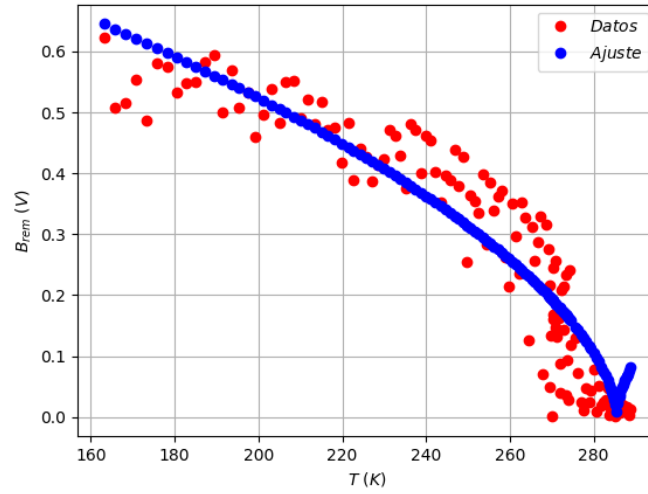


Figura 10: Campo remanente de la tercera medición en función de la temperatura y su ajuste.