

Práctica 2

Temperatura de Curie para Gadolinio y monel



Carlos Esteves Flores carlos.stvs@ciencias.unam.mx

Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México

Fecha de entrega: 10 de abril de 2023

Resumen

Este trabajo consistió en la determinación de la temperatura de Curie para una barra de aleación monel (65 % Ni, 33 % Cu y 2 % Fe) y una muestra de Gadolinio (Gd), utilizando dos métodos. Para el primer método, se realizó un baño térmico en un enfriador de agua, donde se introdujo un barra de monel, se le aplicó un voltaje con CA usando dos bobinas en cada extremo de la barra, y se midió la FEM Inducida. Para el segundo método, se utilizó agua y glicerina, además de un imán; se sumergió la barra de monel y el gadolinio, respectivamente; se les calentó hasta observar la pérdida de sus propiedades magnéticas, y se registró la temperatura en la cual ocurrió. Se encontró que para el monel, la temperatura de Curie con el primer método es $T_C = (21.219 \pm 0.342)$ °C y para el segundo $T_C = (42.0 \pm 1.2)$ °C; mientras que para el Gadolinio, se encontró una temperatura $T_C = (66.1 \pm 4.2)$ °C.

Palabras clave: temperatura de Curie, paramagnetismo, ferromagnetismo, diamagnetismo.

1. Introducción

Los materiales magnéticos son aquellos que pueden generar una respuesta en presencia de un campo magnético y además, tienen la capacidad de almacenar energía. Este tipo de materiales están prácticamente presentes a nuestro alrededor, pues tienen múltiples aplicaciones, las cuales van desde algo tan simple como los imanes que utilizan las puertas de los refrigeradores, como en dispositivos electrónicos, automóviles; teniendo también aplicaciones en nanotecnología, ordenadores cuánticos, etcétera. [3] Se mencionan tres tipos de materiales magnéticos, de acuerdo a la variación de su magnetización magnética M con respecto al campo magnético aplicado H:

- material ferromagnético: la magnetización y el campo tienen el mismo sentido, por lo cual, la magnetización es intensa y si se deja de aplicar el campo externo, este permanece magnetizado.
- material paramagnético: la magnetización tiene el mismo sentido que el campo, pero es débil y si

el campo externo deja de aplicarse, desaparece.

 material diamagnético: sucede cuando no es ferromagnético ni paramagnético, porque es tan débil que queda enmascarada por los otros dos fenómenos. La magnetización tiene sentido opuesto al campo magnético. Se dice que 'repele' los campos magnéticos.

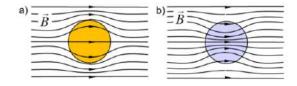


Figura 1. Líneas de campo magnético actuando sobre un material (a) diamagnético y (b) paramagnético.
[2]

La **temperatura de Curie** es la temperatura por encima de la cual un material ferromagnético pierde

sus propiedades magnéticas, por lo que comienza a comportarse como un material paramagnético. Según la Teoría de Landau [4], esta temperatura corresponde al punto de inflexión en el cual sucede la transición de fase entre el ferromagnetismo y el paramagnetismo.

2. Metodología

2.1. Diseño y desarrollo experimental

2.2. Primer método

Se utilizó una barra de aleación monel, en la cual fueron colocadas dos bobinas de cobre (calibre 26) de 500 vueltas cada una en cada extremo de ésta. Se soldó un par de cables de menor calibre para conectar a una bobina una fuente de bajo voltaje marca CENCO, configurada para corriente alterna; mientras que para la otra bobina, se conectó un multímetro Steren MUL-285 para medir la FEM inducida por la fuente. Por otro lado, se utilizó un multímetro Steren MUL-282 para medir la temperatura con un termopar colocado cerca del centro de la barra de monel. Después de las conexiones, se sumergió la barra con las bobinas en el compartimiento para agua de la máquina enfriadora. Se encendió la máquina para enfriar el agua un poco por debajo de los (4.00 ± 0.01) °C. Una vez que se alcanzó la temperatura deseada, se utilizó un par de resistencias para calentar el agua y un agitador. Se comenzó el registro de datos utilizando el multímetro del termopar y de la bobina inducida, y se registró el voltaje en miliVolts en función de la temperatura en grados Celsius, desde los (4 ± 1) °C hasta los (40 ± 1) °C. De la misma forma, se registró el voltaje contra la temperatura bajando la temperatura en ese mismo rango. El proceso se repitió calentando el agua tres veces y enfriando dos veces.

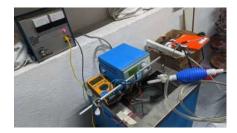


Figura 2. Se observan: la fuente de voltaje, la máquina enfriadora y el multímetro para voltaje.

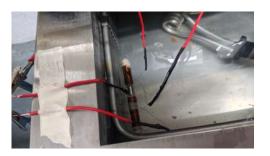


Figura 3. Barra de aleación monel sumergida en la máquina enfriadora.

2.3. Segundo método

El montaje consistió en el uso de una parrilla marca Corning, a la cual se le colocó encima un plato de hierro, sobre el cual se puso un vaso de precipitados de 1 litro con agua. Al lado, se colocó un soporte universal con un par de pinzas, una sosteniendo a la otra, para sostener la barra de monel en vertical, sumergiéndola en el agua del vaso, de tal forma que no tocara la pared del mismo. Luego, se le colocó un imán de neodimio a la barra y, entre la unión, se colocó un termopar para medir la temperatura. Con la parrilla, se aumentó la temperatura del agua para observar la caída del imán. Durante el proceso, se mezcló el agua con un agitador de plástico. Se registró en la bitácora la temperatura en la que el imán se despegó de la barra. De la misma forma, se repitió para un trozo de Gadolinio, colgándolo de una pinza y utilizando glicerina en vez de agua, en un vaso de precipitado de 80 ml. El proceso se repitió cuatro veces para el monel y siete para el Gadolinio.



Figura 4. Arreglo del segundo método para la barra de monel.



Figura 5. Arreglo del segundo método para el Gadolinio.

3. Resultados

3.1. Primer método

Las tablas con los datos de las mediciones se encuentran en el apéndice.

Se presentan a continuación las gráficas de FEM Inducida [mV] contra Temperatura [°C]:

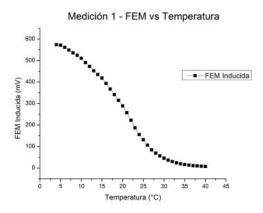


Figura 6

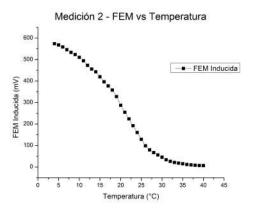


Figura 7

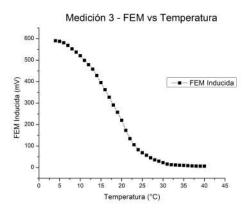


Figura 8

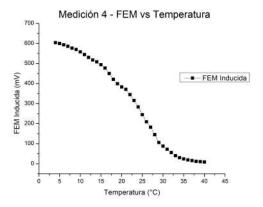


Figura 9

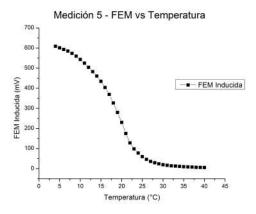


Figura 10

3.2. Segundo método

Para esta parte, se obtuvieron las siguientes mediciones, presentadas en las Tablas 1 y 2:

No. de corrida	Temperatura [°C] (\pm 1)
1	43
2	45
3	40
4	40

Tabla 1. Mediciones para la barra de aleación monel.

No. de corrida	Temperatura [°C] (± 1)
1	52
2	61
3	66
4	73
5	58
6	86
7	67

Tabla 2. Mediciones para el Gadolinio.

4. Discusión

Para el **primer método**, basado en la teoría de Landau, de las gráficas de las Figuras 6 a 10, se calculó la segunda derivada y a las gráficas resultantes, se les realizó un ajuste lineal para obtener una ecuación de primer grado, la cual se resolvió para obtener la temperatura de Curie en cada medición.

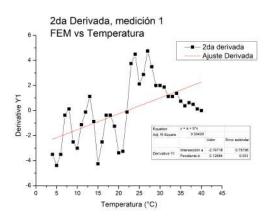


Figura 11

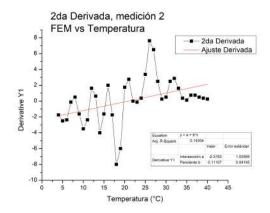


Figura 12

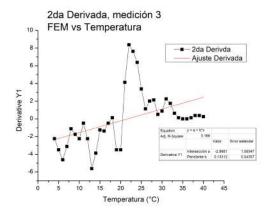


Figura 13

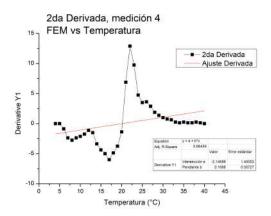


Figura 14

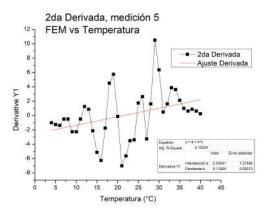


Figura 15

De la Figura 11, se recuperó la ecuación

$$y = 0.12684T - 2.79718$$

de donde, igualando a cero, se obtuvo que

$$T_C = 22.0528 \, ^{\circ}\text{C}$$

De la Figura 12, se recuperó la ecuación

$$y = 0.11107T - 2.31520$$

de donde, igualando a cero, se obtuvo que

$$T_C = 20.8445$$
 °C

De la Figura 13, se recuperó la ecuación

$$y = 0.13312T - 2.8881$$

de donde, igualando a cero, se obtuvo que

$$T_C = 21.6955$$
 °C

De la Figura 14, se recuperó la ecuación

$$y = 0.11824T - 2.53041$$

de donde, igualando a cero, se obtuvo que

$$T_C = 21.4006 \, ^{\circ}\text{C}$$

De la Figura 15, se recuperó la ecuación

$$y = 0.10680T - 2.14699$$

de donde, igualando a cero, se obtuvo que

$$T_C = 20.1029 \, ^{\circ}\text{C}$$

Con lo anterior, se calculó el promedio y se obtuvo que la temperatura de Curie promedio, para la barra de aleación monel, es de

$$T_C = (21.219 \pm 0.342)$$
 °C

La demostración del valor de la temperatura de Curie utilizando este método con ajustes matemáticos, ayudó a visualizar, en las gráficas de FEM vs Temperatura, el punto de inflexión descrito por la teoría de Landau de forma cuantitativa.

Para el **segundo método**, se realizó un promedio para la temperatura de Curie de cada material, siendo $T_C=(42.0\pm1.2\,^{\circ}\mathrm{C})$ para el monel, y $T_C=(66.1\pm4.2)\,^{\circ}\mathrm{C}$ para el Gadolinio. Para estos materiales ferromagnéticos, este método permitió visualizar el comportamiento de la magnetización de estos debido al aumento de la temperatura de su entorno, es decir, sobrepasando la temperatura de Curie.

5. Conclusiones

- Para la barra de monel, se obtuvieron las temperaturas $T_{C_1} = (21.219 \pm 0.342)$ °C y $T_{C_2} = (42.0 \pm 1.2)$ °C; y se comparó el rango mencionado en [1], que corresponde a 21 49 °C, con los resultados obtenidos. Se concluyó que el uso de ambos métodos es eficiente para estimar la temperatura de Curie de este material, ya que ambos resultados quedan acotados entre esos valores. Cabe mencionar que esta temperatura, depende del cambio en la composición química y del calentamiento a temperatura ambiente.
- Para el Gadolinio, se obtuvo una temperatura de Curie de $T_C = (66.1 \pm 4.2)$ °C. Comparando con los 20°C mencionados en [5], se concluyó que, para comprobar la temperatura de Curie de este material, no es suficiente la utilización de un sólo método. Se sugiere utilizar un método adicional que contribuya a una medición más precisa.
- El primer método es un proceso eficiente para obtener de forma más precisa y exacta la temperatura de Curie, mientras que el segundo método es mejor para visualizar la transición de un material que muestra propiedades ferromagnéticas, a mostrar propiedades paramagnéticas.

Referencias

- [1] Heanjia Super-Metals Co. Monel Nickel-Copper Alloy 400. 5 de abr. de 2023. URL: https://super-metals.com/wp-content/uploads/2015/03/Monel-4001.pdf.
- [2] Universidad Politécnica de Madrid. Tema 7
 Magnetostática de Medios Materiales. 4 de
 abr. de 2023. URL: http://ocw.upm.es/
 pluginfile.php/531/mod_label/intro/
 tema-7.-magnetostatica-de-materiales.
 pdf.
- [3] Universidad Pública de Navarra. Jornadas doctorales Materiales Magnéticos: conceptos básicos, tipos, aplicaciones y caracterización. 27 de mar. de 2023. URL: https://www.unavarra.es/digitalAssets/255/255731_100000JD-INAMAT2-Materiales-Magneticos.-Conceptos-basicos--tipos...-25_26-Noviembre.pdf.

- [4] José A. Manzanares. Manual de práctica 'Temperatura de Curie de la aleación monel'. 1.ª ed. Instituto de Física Corpuscular Universidad de Valencia.
- [5] University of Wisconsin. Ferromagnetism The Curie Temperature of Gadolinium. 5 de abr. de 2023. URL: https://sun.iwu.edu/~gspaldin/7_UWMadison_Curie_lab.pdf.

Apéndice A. Mediciones del primer método

Se muestran a continuación las siguientes tablas.

Tabla 3. Primera corrida, con un voltaje de corriente alterna de $6.2~\mathrm{V}.$

Temperatura [°C] (±1)	FEM Inducida [mV] (± 1.0)
4	574.0
5	571.5
6	562.0
7	549.0
8	536.0
9	525.5
10	510.5
11	491.0
12	473.0
13	452.5
14	435.0
15	418.5
16	393.5
17	367.5
18	342.0
19	315.0
20	289.0
21	257.5
22	222.5
23	187.0
24	155.5
25	131.5
26	106.5
27	84.5
28	69.0
29	56.5
30	45.5
31	36.5
32	30.0
33	24.0
34	19.0
35	16.0
36	13.5
37	11.0
38	9.5
39	8.5
40	7.5

Tabla 4. Segunda corrida, con un voltaje de corriente alterna de 5.99 V.

Temperatura [°C] (±1)	FEM Inducida [mV] (\pm 1.0)
4	574.0
5	568.0
6	558.5
7	546.0
8	533.5
9	523.5
10	510.5
11	494.5
12	473.5
13	456.0
14	443.0
15	420.0
16	396.5
17	377.5
18	358.0
19	328.0
20	287.5
21	254.5
22	224.0
23	192.0
24	160.5
25	129.0
26	98.5
27	79.5
28	67.0
29	56.0
30	45.5
31	33.5
32	26.0
33	21.0
34	18.0
35	15.0
36	11.5
37	9.5
38	8.0
39	7.0
40	6.5

Tabla 5. Tercera corrida, con un voltaje de corriente alterna a 5.99 V.

Temperatura [°C] (±1)	FEM Inducida [mV] (± 1.0)
4	590.0
5	587.5
6	580.5
7	568.5
8	552.5
9	537.0
10	520.0
11	498.5
12	478.5
13	458.0
14	428.0
15	395.0
16	362.0
17	327.0
18	290.5
19	257.0
20	219.5
21	173.0
22	134.5
23	105.5
24	83.0
25	68.5
26	57.0
27	45.0
28	35.5
29	29.5
30	22.5
31	16.0
32	13.0
33	11.5
34	10.5
35	9.5
36	8.5
37	7.5
38	6.5
39	6.0
40	6.0

Tabla 6. Cuarta corrida, con un voltaje de corriente alterna de 6.00 V.

Temperatura [°C] (±1)	FEM Inducida [mV] (\pm 1.0)
4	604.0
5	599.5
6	593.0
7	585.5
8	576.5
9	569.5
10	558.0
11	544.5
12	530.5
13	517.5
14	508.0
15	494.0
16	477.0
17	450.0
18	421.0
19	399.0
20	383.0
21	371.0
22	344.5
23	315.0
24	283.5
25	245.0
26	209.0
27	182.0
28	145.0
29	106.0
30	87.5
31	72.0
32	55.5
33	40.0
34	30.0
35	23.5
36	19.0
37	15.5
38	12.0
39	10.0
40	8.5

Tabla 7. Quinta corrida, con un voltaje de corriente alterna de 6.00 V.

Temperatura [°C] (±1)	FEM Inducida [mV] (\pm 1.0)
4	609.0
5	601.0
6	593.0
7	585.0
8	573.5
9	559.5
10	543.0
11	524.5
12	504.0
13	482.5
14	460.5
15	434.5
16	403.5
17	369.0
18	326.5
19	279.5
20	230.0
21	175.0
22	128.0
23	98.0
24	77.5
25	60.0
26	46.0
27	36.0
28	29.0
29	23.5
30	19.5
31	16.5
32	14.0
33	12.5
34	11.0
35	9.5
36	8.5
37	7.5
38	6.5
39	6.0
40	5.5