

Magnetostricción

Sergio Laverde* and Samuel Hernandez**

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

(Dated: 8 de mayo de 2025)

En el presente informe se reportan los resultados obtenidos en la práctica de *Magnetostricción*, usando un interferómetro de Michelson-Morley y una bobina. Los objetivos de esta práctica fueron: 1) Corroborar el modelo clásico para el campo magnético en una bobina. 2) Evidenciar el fenómeno de magnetostricción para el Níquel y el Hierro. 3) Observar la histéresis magnética de cada uno de los materiales anteriormente mencionados. El modelo clásico para el campo magnético predice un comportamiento lineal y con $B(0) = 0$, el ajuste encontrado para la bobina del montaje utilizado fue de $B = (26,9528 \pm 0,0329)I + (0,5532 \pm 0,0671) \text{ mT}$. Además, se pudo evidenciar satisfactoriamente el fenómeno de magnetostricción en los materiales estudiados.

I. INTRODUCCIÓN

La magnetostricción es un fenómeno físico por el cual ciertos materiales ferromagnéticos cambian su forma o dimensiones al ser sometidos a un campo magnético. Este efecto, descubierto por James Joule en 1842, surge de la interacción entre el momento magnético de los electrones y la red cristalina del material. La magnetostricción es de gran interés tanto desde el punto de vista fundamental como en aplicaciones tecnológicas, como sensores, actuadores y dispositivos de ultrasonido.

Es decir, si tenemos una barra de largo L rodeada de un solenoide, esta se expandirá o contraerá una distancia ΔL en la dirección del campo magnético. La razón $\lambda = \frac{\Delta L}{L}$ es lo que llamamos *magnetostricción*.

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{n\lambda}{2l} \quad (1)$$

Donde n es el número de mínimos que se desplazó en un punto fijo el patrón de interferencia.

Además, la magnetostricción alcanza un valor de saturación una vez se alcanza un valor crítico para el módulo del campo magnético.

Por otro lado, atómicamente, los electrones generan dos campos magnéticos, el que está dado por su espín, y el que genera su 'órbita' alrededor del núcleo. Esto hace que, por cuestiones de estabilidad, los electrones tiendan a alinear sus espines. Si esto lo hicieran todos, tendrían energía muy grande y el material sería inestable. Por esto se crean los llamados dominios. Cuando se induce un campo magnético, algunos dominios crecen y otros se hacen pequeños. La energía resultante de este proceso se equilibra con la elástica que mantiene la

estructura cristalina. Al llegar al equilibrio, la estructura habrá cambiado y vemos el cambio de dimensiones. Este cambio es isentrópico.

Por último, recordemos que el campo magnético en una bobina casi infinita que da N vueltas será

$$B(z) = \frac{N\mu_0 I r^2}{2(r^2 + (z)^2)^{3/2}} - \frac{N\mu_0 I r^2}{2(r^2 + (z)^2)^{3/2}}. \quad (2)$$

Siendo r el radio de la bobina. Es decir, es lineal con la corriente.

II. MONTAJE EXPERIMENTAL Y METODOLOGÍA

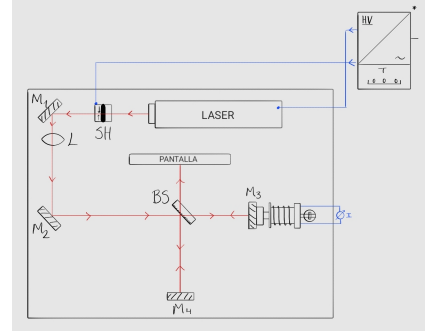


Figura 1. Montaje experimental.

Consiste en: láser monocromático, obturador óptico (SH), shutter control (superior derecha), lente convergente (L), espejos (M_1, M_2, M_3, M_4), beam splitter (BS), pantalla, bobina, metales de estudio (hierro, cobre y níquel).

Primero, se llevó a cabo el montaje experimental siguiendo la configuración indicada en la figura 1. Para lograr una correcta observación del patrón de interferencia, se realizaron varios ajustes iniciales, comenzando por la retirada del lente de la disposición. Los espejos fueron alineados de tal manera que el haz reflejado regresara al punto de origen. El espejo M_3

* Correo institucional: s.laverdeg@uniandes.edu.co

** Correo institucional: sm.hernandezc1@uniandes.edu.co

se colocó al final de la barra del material en estudio, asegurándose de que, al insertarlo en la bobina, el material quedara distribuido equitativamente a ambos lados, con el objetivo de garantizar una magnetización uniforme. El divisor de haz fue ubicado de modo que una parte del haz llegara al espejo M4 y otra al M3; luego, se hicieron coincidir los haces reflejados y se colocó nuevamente el lente, lo que permitió visualizar un patrón de interferencia de forma circular.

Una vez que se alineó el sistema óptico, se conectó la bobina y se realizó un barrido de corriente en el rango de 0.5 a 5 amperios. Antes de comenzar con la recolección de datos sobre el número de mínimos, se consideró que los materiales requerían un proceso previo de pre-magnetización. Este procedimiento se repitió para cada una de las barras. En el caso del níquel, se efectuó un barrido desde -5 hasta 5 amperios y luego en sentido inverso. Finalmente, se midió el campo magnético utilizando un teslámetro para diferentes configuraciones de corriente, con el objetivo de emplear estos valores en el análisis posterior.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Caracterización de la bobina

Primero se hizo una caracterización de la bobina. Es decir, se determinó cómo respondía el campo magnético a la corriente. Los resultados se ilustran en la siguiente figura 2

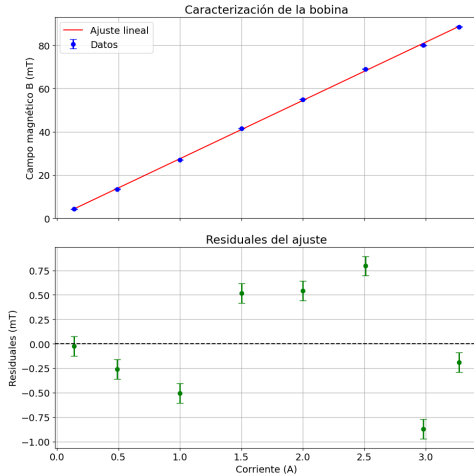


Figura 2. Caracterización del campo magnético en la bobina. La teoría predecía una respuesta lineal y se puede apreciar el comportamiento lineal del campo en función de la corriente. Por otro lado, los residuales son aleatorios y, por lo tanto, dan buena fé del ajuste.

Los parámetros obtenidos son:

$$B = (26,9528 \pm 0,0329)I + (0,5532 \pm 0,0671) \quad (3)$$

Con la corriente I en A y el campo B en mT . Se observó que en ambos casos la precisión es alta, y en el caso de b , esperábamos un valor de $b = 0$, y nos alejamos aproximadamente 8σ , lo cual es un valor considerablemente alto. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la ecuación (2) es una aproximación y podría tener un término que corra el ajuste, como por ejemplo, el campo magnético de la Tierra.

Magnetostricción

En las tablas I y II se reportan los valores de magnetostricción para el níquel y el hierro, respectivamente. Y se visualizan en la figura 3.

I (A)	$\Delta\ell$ (m)	$\frac{\Delta\ell}{\ell}$	B (mT)
0.14 (0.10)	0 (0)	0 (0)	4.33
0.26 (0.10)	0.0003 (0.0003)	0.0000021 (0.0000002)	7.56
0.35 (0.10)	0.0006 (0.0006)	0.0000042 (0.0000004)	9.99
0.42 (0.10)	0.0009 (0.0009)	0.0000063 (0.0000006)	11.87
0.52 (0.10)	0.0013 (0.0013)	0.0000084 (0.0000008)	14.57
0.66 (0.10)	0.0016 (0.0016)	0.0000106 (0.0000011)	18.34
0.99 (0.10)	0.0019 (0.0019)	0.0000127 (0.0000013)	27.24
1.42 (0.10)	0.0022 (0.0022)	0.0000148 (0.0000015)	38.83
2.00 (0.10)	0.0025 (0.0025)	0.0000169 (0.0000017)	54.46

Cuadro I. Datos experimentales para el níquel de la elongación $\Delta\ell$ frente a la corriente I y campo B calculado mediante el modelo (3) con sus respectivas incertidumbres.

I (A)	$\Delta\ell$ (m)	$\Delta\ell/\ell$	B (mT)
0.14 (0.10)	0 (0)	0 (0.97)	4.33
0.69 (0.10)	3.17×10^{-7} (0)	2.11×10^{-6}	19.17
1.76 (0.10)	0 (0)	0 (0)	48.01

Cuadro II. Datos experimentales para el hierro de la elongación $\Delta\ell$ frente a la corriente I y campo B calculado mediante el modelo (3) con sus respectivas incertidumbres.

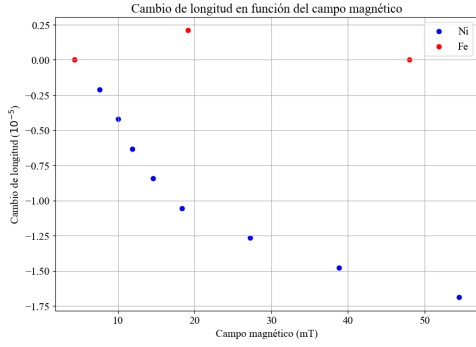


Figura 3. Magnetostricción en función del campo magnético externo (B).

Cambio en longitud de las barras de estudio (Ni y Fe) medido mediante interferometría (figura 1) y campo magnético calculado mediante ajuste (3).

Se puede evidenciar el fenómeno de magnetostricción tanto para el níquel como para el hierro. Ya que la geometría de las barras de estudio fue modificada debido al campo magnético externo. Además, en el caso del níquel, el cambio de longitud de la barra es negativo y se dirige a un punto de saturación del cual le será más difícil contraerse. A diferencia del hierro

que, después de expandirse, se contrae de vuelta a su longitud inicial. Estos resultados revelan la diferente estructura intermolecular entre el níquel y el hierro.

Es importante tener en cuenta que los fenómenos de histéresis magnética y expansión térmica realizan cambios de longitud comparables en orden de magnitud a los causados por magnetostricción. Efectos que no fueron considerados.

IV. CONCLUSIONES

Logramos corroborar una vez más la exactitud del modelo 2 para describir el campo magnético de un solenoide en experimentos a nivel macroscópico. Además, fue posible observar el fenómeno de magnetostricción tanto para el níquel como para el hierro, como lo reflejan las tablas I y II y la figura 3.

Como propuesta de mejora del procedimiento experimental realizado, se podría instalar un aislante térmico entre el solenoide y la barra de estudio de tal forma que el fenómeno de expansión térmica sea despreciable.

V. ANEXOS

A. Criterios

■ Precisión: $= \frac{\sigma}{\bar{X}_{exp}} \leq 0,1$

■ Exactitud: $:= |X_{real} - X_{exp}| \leq 3 \cdot \sigma$

B. Apéndice de cálculo

■ Propagación de errores:

$$\sigma_f = \sqrt{\sum_i^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma x_i \right)^2} \quad (4)$$