

Magnetostricción

Rafael Casas* and Juan Felipe Camelo**
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
(Dated: 10 de mayo de 2024)

En el experimento de la magnetostricción, exploramos como variaba la longitud de distintos materiales, al ser expuestos a distintos campos magnéticos, esto a través de una interferometría. Pudimos observar la variación de las longitudes de varas de Cobre, Níquel y Hierro, en respuesta a un cambio en el campo aplicado al material, resultando en una variación en el patrón de interferencia. Fuimos capaces de observar el fenómeno de la magnetostricción positiva, negativa, así como la histéresis. Llegando a ver como en el caso del Cobre, observamos que no hubo cambio en el patrón de interferencia, debido a que su naturaleza no es ferromagnética, a comparación del Níquel y del Hierro, en donde observamos una curva de histéresis y magnetostricción positiva y negativa, respectivamente.

I. INTRODUCCIÓN

De forma general, la magnetostricción es el fenómeno físico mediante el cual un material puede cambiar sus propiedades mecánicas al ser sometido a un campo magnético [1]. Por ejemplo, ciertos metales cambiarán de forma o tamaño al ser expuestos a un campo magnético. Este fenómeno fue observado por primera vez por James Joule en 1847 y represento un paso fundamental para construir nuestro entendimiento de como se comportan diferentes metales magnéticos al ser expuestos a un campo magnético [4].

En este experimento utilizaremos un interferómetro de Michelson, Desarrollado por Albert A. Michelson en 1881, este interferómetro usa técnicas ópticas para lograr medir cosas muy pequeñas o incluso desplazamiento [3]. Nuestro objetivo será aprovecharnos de esta herramienta de medición para ver las pequeñas variaciones en tamaño que sufren diferentes materiales al ser expuestos a un campo magnético [2].

De forma más precisa, vamos a alumbrar con un láser un material y vamos a ver una proyección del patrón de interferencia qué se produce. A medida que cambie el tamaño del material, este patrón de interferencia cambiará. Si se da el caso que el patrón de interferencia que exhibe el láser cambia cuando expone-mos el material a un campo magnético, corroboramos que dicho material está sufriendo magnetostricción.

II. OBJETIVOS

- Observar el fenómeno de interferencia con un láser en configuración de Michelson.

- Apreciar el efecto de magnetostricción sobre diferentes materiales.
- Medir el efecto de histéresis magnética en el níquel.

III. MONTAJE EXPERIMENTAL

Para el montaje vamos a necesitar los siguientes dispositivos:

- Base de Aluminio de de 5 kg (Mesa óptica)
- He/Ne láser
- Fuente de alimentación para láser
- Fuente de alimentación PHYWE
- Varillas de hierro, cobre y níquel
- Divisor de haz
- Soporte de ajuste 35 x 35 mm.
- Espejos movibles 30 x 30 mm.
- Lente montado, f +20 mm.
- Pantalla blanca, 150x150mm.
- Bobina

Empezamos por montar ej experimento como el montaje base, que se observa en la figura 2.

* Correo institucional: r.casas@uniandes.edu.co

** Correo institucional: j.camelob@uniandes.edu.co

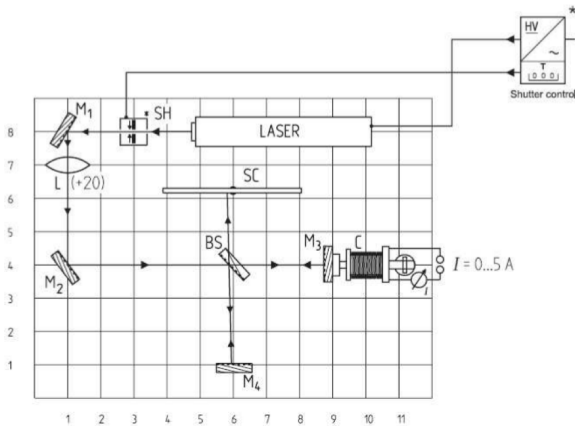


Figura 1.

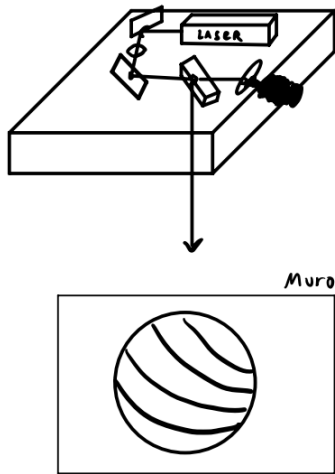


Figura 2. Montaje usando un muro como pantalla

Una vez con el montaje montado, seguimos una serie de pasos para alinear el láser y poder ver claramente el patrón de interferencia.

- Para la primera parte, el lente no debe estar en el montaje. Movemos los espejos de tal manera que al ser reflejado el haz, vuelva a coincidir con el punto de partida. Además, el espejo M3 debe estar al final de la barra del material de estudio, y al insertarlo en la bobina, partes iguales del material deben estar en cada lado de la bobina, con el fin de asegurar una magnetización constante.
- Una vez con lo anterior ajustado, ponemos el divisor de haz de forma que un haz parcial llegue al espejo M4, y otro al espejo M3. Asegurándonos que coincidan los haces reflejados por ambos

espejos, y ahí si ponemos el lente, en este punto observamos un patrón de interferencia circular.

- De ahí, conectamos la bobina y variamos el campo magnético desde los 0.5 hasta los 5 Amperios; teniendo en cuenta que antes de poder tomar los datos, toca pre-magnetizar los materiales.
- Repetimos este procedimiento para cada barra. Y en el caso del Níquel, hicimos lo mismo, pero empezando desde -5 Amperios hasta 5 Amperios.
- Y con la ayuda de un teslametro, medimos el campo magnético para varias configuraciones de corriente, para luego usarlo para calcular el campo magnético en cada punto.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Primero, vamos a medir cómo se relacionan la corriente y el campo que logramos generar con nuestro montaje. De esta forma nos deshacemos de la mayor cantidad de variables indeseadas. Con este propósito en mente vamos a tomar diferentes medidas de campo para diferentes corrientes y hacer una regresión. Con nuestra regresión debe ser posible relacionar directamente la corriente que usamos con un campo, que va a ser sumamente útil en la toma de datos que haremos más adelante.

Corriente(A)	Campo Magnético(mT)
0,15	2,4
0,65	13,3
1,15	24,2
1,65	32,7
2,15	43,7
2,65	55,2
3,15	64,9

Además, podemos realizar una gráfica de residuos obteniendo, la figura 4.

Nuestra gráfica residual nos muestra resultados satisfactorios. Los residuos parecen no seguir un patrón fuerte. No obstante, por el bajo número de datos, es posible que haya un patrón que simplemente no podamos detectar con una muestra de este tamaño. Aun así, con la información dada podemos decir que nuestra regresión modela sin sesgo la relación entre corriente y campo.

Empezamos por estudiar como se comporta el Cobre al estar expuesto a un campo magnético. Pero desde un principio podemos concluir que el Cobre no va a presentar el fenómeno de la magnetostricción,

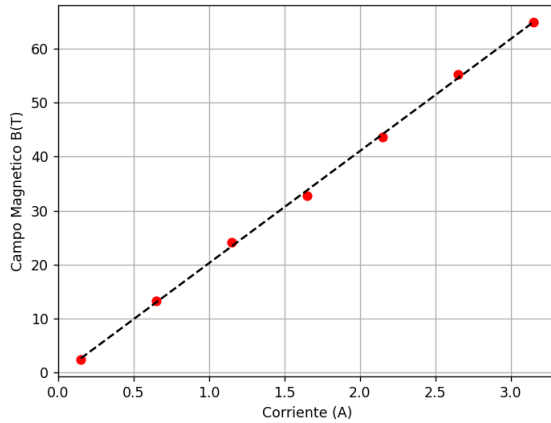


Figura 3. Gráfico evidenciando la relación entre corriente y campo. Se encontró una regresión que correctamente modela nuestros datos. Nuestra regresión tiene pendiente de $20,77 \pm 5,24 \times 10^{-5}$ e intercepto de $-0,50 \pm 0,00$.

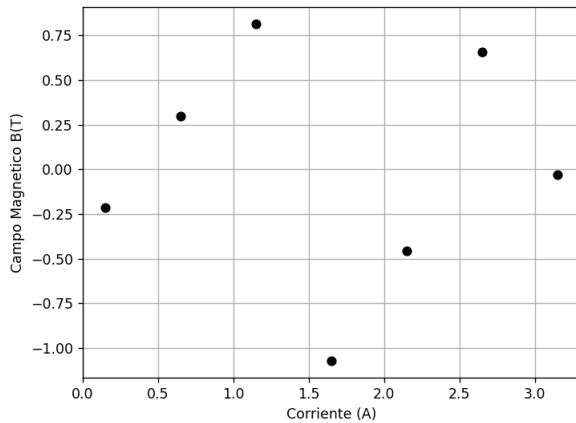


Figura 4. Gráfico de residuos entre nuestro modelo y los datos tomados experimentalmente para el campo magnético en función de la corriente.

puesto que este no es un material ferromagnético. Luego al contacto con un campo magnético, no va a haber cambio alguno en la forma de sus cristales, por lo que no veríamos ningún cambio en los mínimos. De ahí que no procedimos a tomar datos de este.

Ahora procederemos a estudiar como se comporta en Níquel al ser expuesto a un campo. Siguiendo el montaje experimental descrito anteriormente 2. Nuestros resultados están expuestos en la tabla siguiente IV.

Pese a que la tabla es bastante simple, nos permite hacer una gráfica para ver nuestros resultados más claramente. Para esto primero encontramos la razón por la cual cambia la longitud del material con respecto a su tamaño original, para esto hacemos $\Delta l = \frac{N\lambda}{2}$ y final-

Níquel	
Corriente(A)	#Mínimos
0,15	0
0,65	1
1,15	2
1,65	3
2,15	4
2,65	6
3,15	11

mente calculamos $\Delta l/l_0$, y lo graficamos en contra del campo magnético correspondiente para cada corriente, calculándolo con la ecuación obtenida en la regresión lineal. Obteniendo la figura 5.

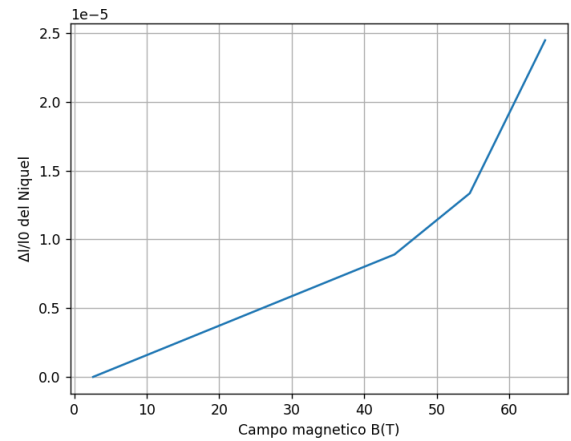


Figura 5. La gráfica muestra la relación entre los mínimos que vimos pasar a medida que cambia el tamaño del material (como consecuencia de un cambio en el campo al cual lo exponemos). En la gráfica no se pueden apreciar las barras de error debido a que son muy pequeñas, pues $\sigma_B = 0,2077T$ (V).

De la gráfica podemos ver como al exponer el níquel a un campo magnético, podemos hacer que este se expanda. De la gráfica es posible ver que a medida que aumentamos el campo, el material aumenta un muy pequeño porcentaje su tamaño. Luego pudimos observar claramente el fenómeno de la magnetostricción

Luego, repetimos el proceso anterior, pero ahora con el hierro. Nuestros resultados están expuestos en la tabla siguiente IV.

Y hacemos los mismos cálculos que hicimos en el caso del Níquel. Pasando las corrientes a al campo correspondiente, a partir de la ecuación obtenida de la regresión lineal, y calculamos el $\Delta l/l_0$. Una vez con los datos para cada una de las corrientes y sus mínimos, los graficamos

Hierro	
Corriente(A)	#Mínimos
0,15	0
0,65	-2
1,15	-3
1,65	-2
2,15	-1
2,65	-1
3,15	0

obteniendo la gráfica 6.

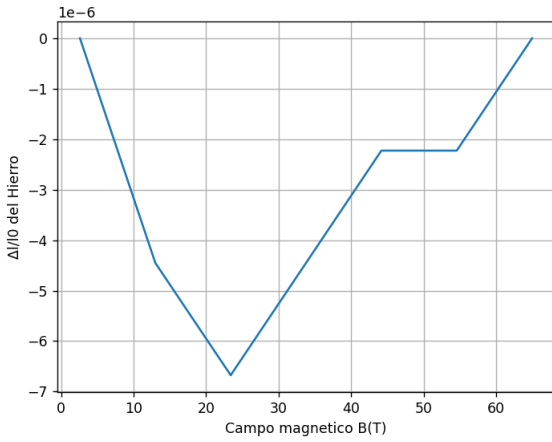


Figura 6. La gráfica muestra la relación entre los mínimos que vimos pasar a medida que cambia el tamaño del material (como consecuencia de un cambio en el campo al cual lo exponemos). En la gráfica no se pueden apreciar las barras de error debido a que son muy pequeñas, pues $\sigma_B = 0,2077T$ (V).

De la gráfica podemos ver como al exponer el hierro a un campo magnético, este primero se contrae y luego se comienza a expandir. De la gráfica es posible ver que a medida que aumentamos el campo, hasta al rededor de 23 T, el material reduce un muy pequeño porcentaje su tamaño. Tras pasar este punto este comienza a volverse a expandir, en nuestra toma de datos solo logramos ver

que este se expandiera hasta su tamaño original, pero es enteramente posible que se siga expandiendo.

V. CONCLUSIONES

En conclusión, se pudo observar claramente el fenómeno de la magnetostricción, algo que era de esperarse debido a la naturaleza ferromagnética del Hierro y del Níquel. Esto al aumentar el campo magnético viendo como el valor de $\Delta l/l_0$, variaba llegando a las gráficas, 5, 6. En el caso del Níquel, pudimos observar claramente la curva de histéresis, en este caso incompleta, debido a que no fue posible hacer mediciones para campo negativos. Por otro lado, en el caso del Hierro, pudimos ver la magnetostricción positiva y negativa, viendo como la variación de longitud, $\Delta l/l_0$, aumentaba y disminuía. Y por último, pudimos observar también como en el caso del Cobre no hubo cambio alguno. Una vez habiendo hecho el experimento, notamos que algunos cambio podrían llegar a hacerse con el fin de obtener unos datos más precisos, como el uso de aparatos más nuevos que nos permitan tomar un mayor número de datos, así como tomar datos para campos positivos y negativos. Además, la difícil alineación del láser, hace que el proceso sea largo y no en todos los casos muy efectivo, por lo que haciendo estos pequeños cambios podríamos notar una mejora significativa en los resultados.

APÉNDICE DE CÁLCULO DE ERRORES

$$\text{Sea } f : B = 20,77 \frac{T}{A} I - 0,50 \text{ y } \sigma_I = 0,01A$$

$$\sigma_B = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial I} \sigma_I\right)^2}$$

$$\sigma_B = 20,77 \frac{T}{A} \sigma_I \Rightarrow \sigma_B = 0,2077T$$

-
- [1] E. Callen. Magnetostriction. *Journal of applied physics*, 39(2):519–527, 1968.
 - [2] J. M. Chicharro Higuera. *Estudio de la magnetostricción por interferometría de Speckle*. PhD thesis, Minas, 2000.
 - [3] U. G. Cuellar. Sistema de medición de micro-imperfcciones en superficies, aplicando el interferometro

de michelson. 2012.

- [4] E. W. Lee. Magnetostriction and magnetomechanical effects. *Reports on progress in physics*, 18(1):184, 1955.
- [5] M. Serway, Moses. Modern physics thrid edition. *Phys. Rev. D*, 3, 2005.