

Experimento de Magnetostricción

Juan C. Rojas V.^{*} and Katherin A. Murcia S.^{**}

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

(Dated: 19 de septiembre de 2024)

OBJETIVOS. El experimento de magnetostricción pretende caracterizar los efectos de este fenómeno sobre el hierro, cobre y níquel mediante el uso de un interferómetro de Michelson. Lo anterior en virtud de que interferómetro permite medir el cambio en la longitud de varillas de estos materiales al ser sometidas a campos magnéticos mediante la observación del cambio del patrón de interferencia observado. Así pues, se pretende obtener evidencia del efecto de magnetostricción sobre dichos materiales observando la relación entre $\frac{\Delta L}{L}$ y el campo magnético al que está sometida cada varilla. Con esto, se espera observar el efecto de histéresis magnética del níquel.

I. INTRODUCCIÓN

El fenómeno de magnetostricción fue reportado por primera vez por James Prescott Joule en 1842. Usando una barra de hierro pudo demostrar que la longitud de la barra aumentaba al ser sometida a campos de magnitud pequeña, y se reducía a medida que la magnitud del campo incrementaba. Luego, investigó los efectos del estrés externo de magnetostricción sobre hierro y demostró que bajo tensión, éste se contrae para cualquier magnitud de campo magnético [1][2]. Actualmente, este efecto es implementado en actuadores que operen a campos magnéticos muy bajos, lo cual permite utilizarlo para uso médico. Además de esto, también el efecto inverso, permite generar energía a partir del estrés mecánico, por lo que es usado en transductores [3]. En este experimento se pretende observar el fenómeno de interferencia con un láser en una configuración de Michelson, apreciando el efecto de magnetostricción por medio de interferometría y midiendo la histéresis magnética del níquel.

II. MARCO TEÓRICO

La interferometría es una técnica que permite la medición de longitudes de manera extremadamente precisa por medio de instrumentos ópticos cuyas propiedades son conocidas con exactitud. El método directo más sencillo para encontrar diferencias pequeñas de longitud es el conteo de franjas del patrón de interferencia, creada por la diferencia en la longitud de los caminos de cada brazo del interferómetro (véase la figura 2) i.e. la longitud entre el divisor de haz y los espejos M_4 y M_3 . La idea es que, mientras que un espejo se deja estático (en este caso el espejo M_4), el otro espejo mueve una distancia d_N . Este desplazamiento del espejo cambia el

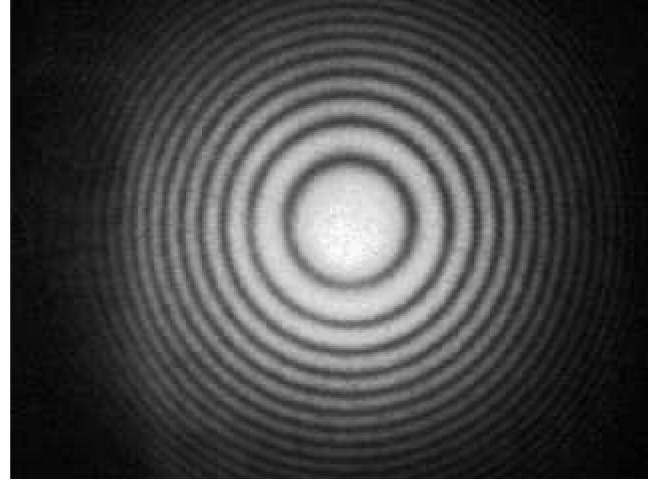


Figura 1. Patrón de interferencia proyectado por un interferómetro de Michelson-Morley. Imagen obtenida de [4].

camino óptico provocando una alteración en el patrón de interferencia proyectado en el muro (como el mostrado en la figura 1) que está descrito por

$$d_N = \frac{N\lambda}{2}, \quad (1)$$

donde N es el número de mínimos que pasaron por un punto en el patrón original y λ es la longitud de onda del láser [4].

Nótese que, entonces, se pueden medir cambios de camino óptico tan pequeños como una longitud de onda (que para este caso ronda los 630 nm). Lo mencionado anteriormente permitiría, pues, medir el cambio de longitud extremadamente pequeños, como los provocados por el efecto de magnetostricción.

Ahora, la magnetostricción es un fenómeno físico que resulta de la aplicación de un campo magnético a un material que puede ser tanto ferromagnético como no ferromagnético. Dada la presencia del campo magnético en el material, los campos magnéticos producidos por los electrones no apareados del material tienden a alinearse con el campo externo producido mientras que

^{*} Correo institucional: jc.rojasv1@uniandes.edu.co

^{**} Correo institucional: k.murcia@uniandes.edu.co

exista la forma de alinearse. Para algunos cristales, es más fácil magnetizar el material en direcciones específicas, lo que lleva a que pequeños grupos de átomos o iones se organicen en dominios magnéticos con electrones no apareados alineados. No obstante, estos dominios no son muy grandes por restricciones energéticas. Sin un campo magnético externo, la energía se minimiza al haber muchos dominios pequeños en el material, cada uno con un campo magnético orientado en diferentes direcciones. Entonces, cuando un campo magnético externo es aplicado, estos dominios alineados con el campo externo crecerán, mientras otros se reducen.

Estas distancias deben aumentar para permitir que las órbitas se alineen. Estos cambios en la longitud pueden hacer que la estructura cristalina se alargue en la misma dirección que el campo magnético, o que se alargue en una o más direcciones en ángulo recto con esta dirección. En este último caso, también puede haber una contracción del cristal en la misma dirección que el campo magnético [1].

Este fenómeno físico se puede atacar por medio de la termodinámica. Si se define

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\partial H}{\partial B},$$

donde H es la fuerza magnética, μ la permeabilidad del material y B la inducción provocada por el campo magnético aplicado; y el módulo de elasticidad

$$E = \frac{\partial S}{\partial s},$$

con S la tensión elástica y s la deformación elástica $\frac{\Delta \ell}{\ell}$ con $\Delta \ell$ el cambio en longitud del material y ℓ la longitud inicial del material. Se puede conseguir una relación entre la elasticidad y los cambios de la fuerza magnética, así

$$\frac{\partial S}{\partial B} = \frac{1}{4\pi} \frac{\partial H}{\partial s}.$$

Por medio de esta última, expresión se puede hallar una ecuación para el cambio de longitud de la barra dada por

$$s = y\mu \left(\frac{H}{E} \right)$$

donde H_m está dada por

$$H_m = \frac{NI}{\sqrt{4r^2 + \ell_s^2}},$$

donde N es el número de espiras, I es la corriente suministrada a la bobina y r es el radio de la bobina [5].

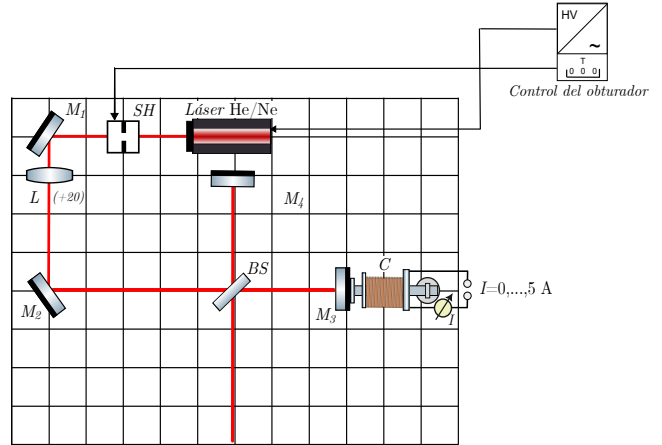


Figura 2. Interferómetro de Michelson montado sobre una mesa óptica y configurado de forma tal que el haz de salida se proyecta sobre un muro fuera del montaje. C es una bobina cilíndrica en la que se hace circular corriente, induciendo un campo magnético en su interior, en donde se encuentra una varilla de hierro, cobre o níquel que se expandirá o contraerá por el efecto de magnetostricción. La consecuente expansión o contracción de la varilla resultará en el desplazamiento del espejo M_3 , cambiando el camino de la luz y el patrón de interferencia observado.

III. MONTAJE EXPERIMENTAL

El montaje utilizado para el desarrollo del experimento consiste de un interferómetro de Michelson montado sobre una mesa óptica, como se muestra en la figura 2. En esta configuración se emplea una varilla de hierro, cobre o níquel al interior de una bobina cilíndrica (C) en la que se hace circular corriente. De esta manera, se pretende caracterizar el fenómeno de magnetostricción para los materiales mencionados al aplicar un campo magnético sobre las varillas, que resulta en su elongación o contracción. Lo anterior es posible en virtud de que estos efectos, a su vez, resultan en el cambio del camino de luz del láser, pues generan el desplazamiento de uno de los espejos del montaje, y, consecuentemente, pueden ser medidos al observar los cambios en el patrón de interferencia del láser siguiendo la ecuación (1).

Así pues, el procedimiento a seguir con las barras de hierro y cobre consiste de variar el campo magnético al interior de la bobina haciendo un barrido de corriente entre 0.5 A y 5.0, a la vez que se cuenta el número de mínimos que pasan por un punto en el patrón de interferencia original, N . Para la barra de níquel el barrido se realiza desde -5 A hasta 5 A y viceversa.

Adicionalmente, se medirá el campo magnético al interior de la bobina para diferentes configuraciones de corriente con un teslámetro y se hará una regresión lineal con estos datos con objetivo de conocer el campo magnético para cada valor de corriente utilizado.

Finalmente, con los datos obtenidos y calculados, se graficará $\frac{\Delta l}{l}$, el cambio en longitud sobre la longitud de cada varilla, en función del campo magnético para cada

medición. De esta manera, será posible determinar el comportamiento de cada material bajo el fenómeno de magnetostricción.

-
- [1] E. W. Lee, Reports on progress in physics **18**, 184 (1955).
 [2] R. d. A. Martins, Notes and Records **76**, 117 (2022).
 [3] N. Ekreem, A. G. Olabi, T. Prescott, A. Rafferty, and M. Hashmi, Journal of Materials Processing Technology

- 191**, 96 (2007).
 [4] E. Hecht, *Optics* (Pearson Education India, 2012).
 [5] U. de los Andes, *Magnetostricción* (2023).