



Desarrollo de Sistema de adquisición y control para rutina de caracterización magnética de láminas delgadas

Alexis Espinoza Quinteros¹, Diego Alarcón Castillo² y Erick Burgos Parra²

¹Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca,

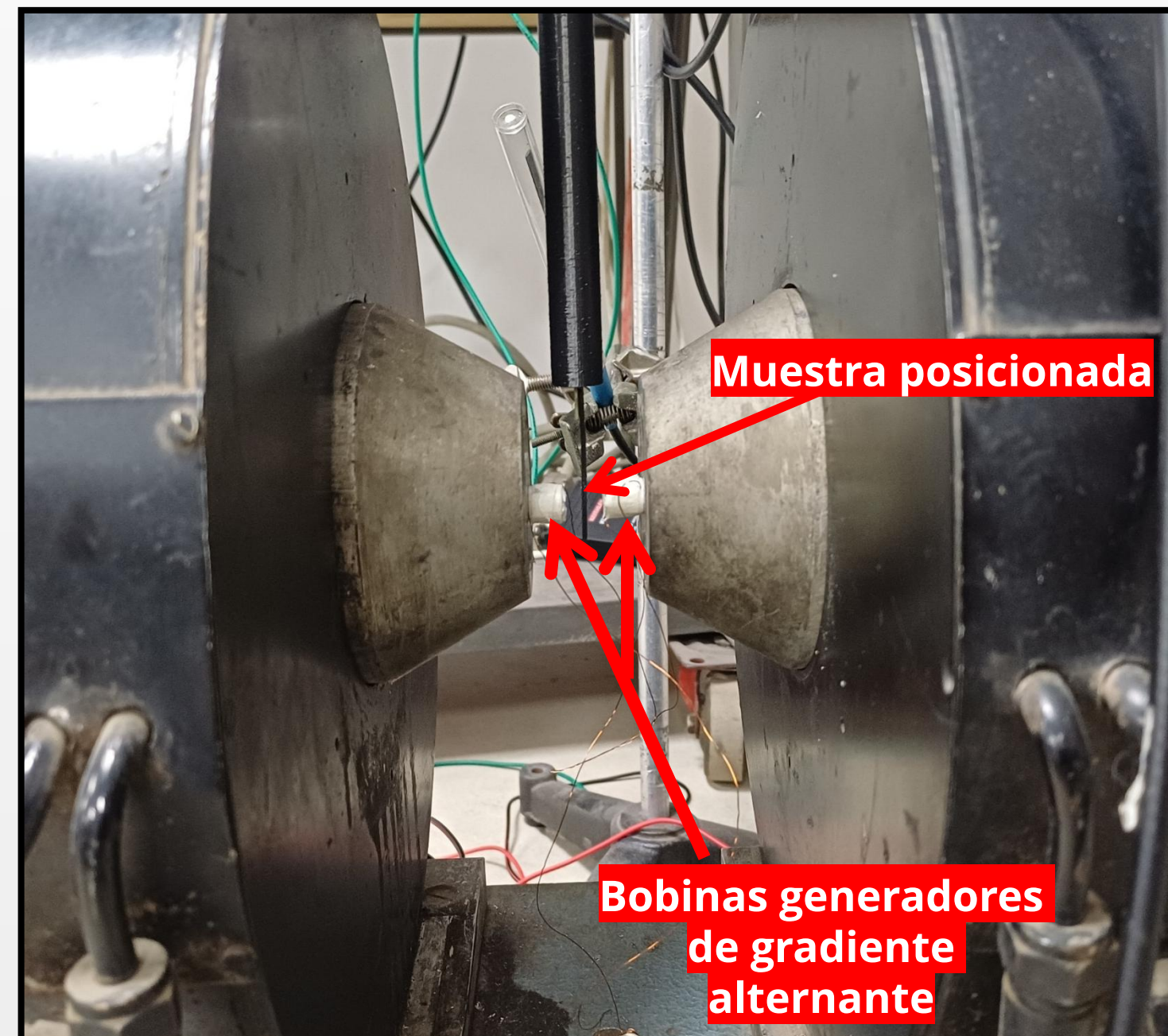
²Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
aespinoza18@alumnos.uta.cl



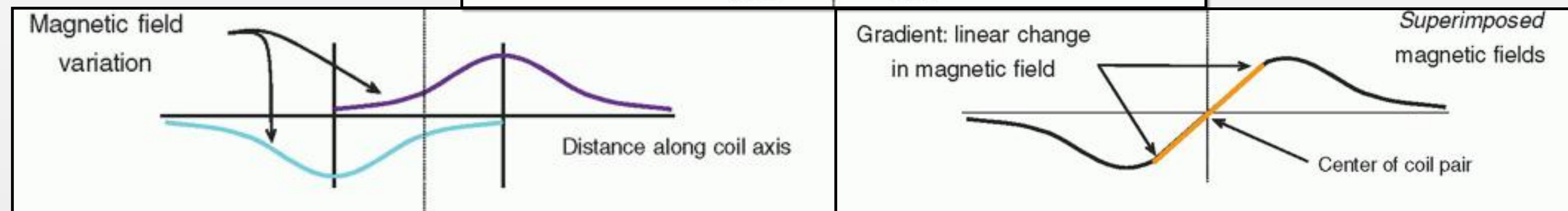
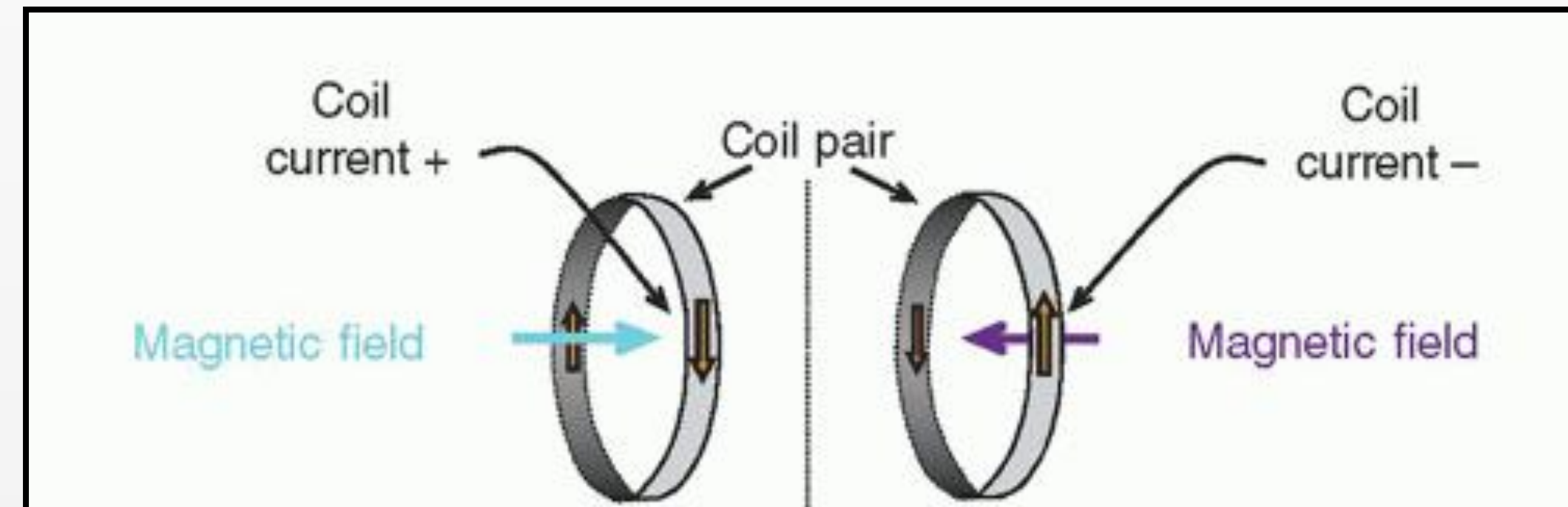
Abstract

En el marco de la expansión de capacidades experimentales del Laboratorio de Sistemas en Bajas dimensiones (LDSL) de la Universidad de Chile, se llevó a cabo la puesta en marcha y automatización de un Magnetómetro de Gradiente de Fuerza Alternante (AGFM). El objetivo principal fue desarrollar un sistema robusto de control y adquisición de datos capaz de caracterizar las propiedades magnéticas de películas delgadas. El sistema se implementó integrando instrumentación de precisión, específicamente una fuente SourceMeter Keithley 2400 para la generación del campo magnético DC y un Lock-in Amplifier para la detección síncrona de la señal proveniente del sensor piezoeléctrico. Todo el control fue centralizado mediante una interfaz desarrollada en LabVIEW, la cual gestiona la comunicación con los instrumentos, controla los barridos de campo y otros parámetros ajustables según la necesidad de la muestra a medir, y asegura la integridad de la medición mediante estándar de temporización basados en la constante de tiempo del filtro elegido. Para la validación del sistema, se realizaron mediciones de curvas de histéresis en cintas amorfas magnéticamente blandas (Metglas) y muestras de lámina delgada de Co de 40 nm sobre sustrato de mica, utilizando portamuestras diseñados e impresos en 3D en LIT de Universidad de Chile. Los datos obtenidos fueron procesados mediante algoritmos en Python.

Magnetómetro de Gradiente de Fuerza Alternante AGFM



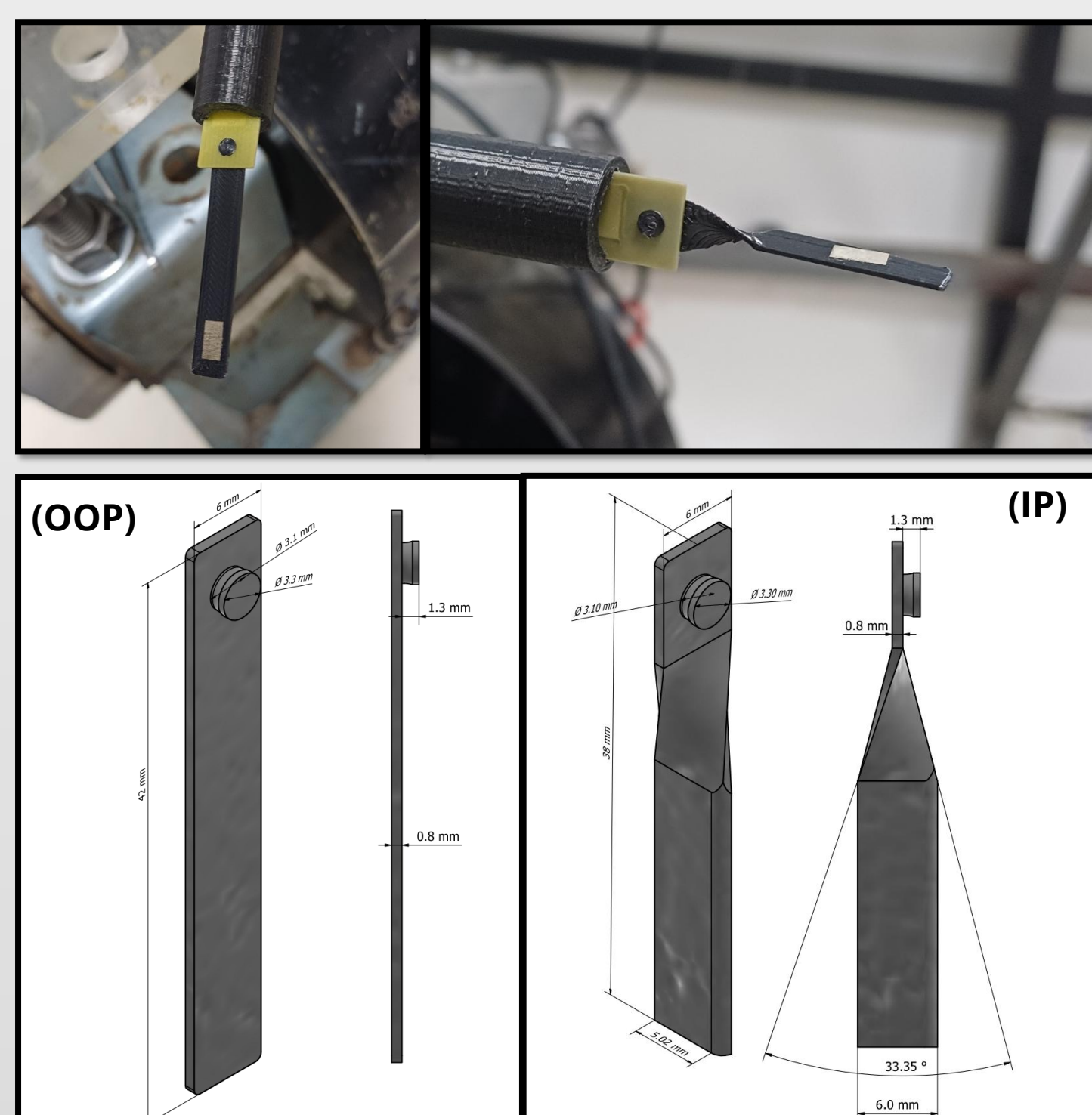
$$\vec{F} = (\vec{m} \cdot \nabla) \vec{H}$$
$$H_{total}(z, t) = H_{DC} + h_{ac}(z) \cos(\omega t)$$
$$F_z(t) = m_z \cdot \left(\frac{\partial h_{ac}}{\partial z} \right) \cos(\omega t)$$
$$H_{aplicado} = \left(\frac{\alpha}{R_{bobina}} \right) \cdot V_{source}$$



<https://radiologykey.com/magnetic-resonance-basics-magnetic-fields-nuclear-magnetic-characteristics-tissue-contrast-image-acquisition/>

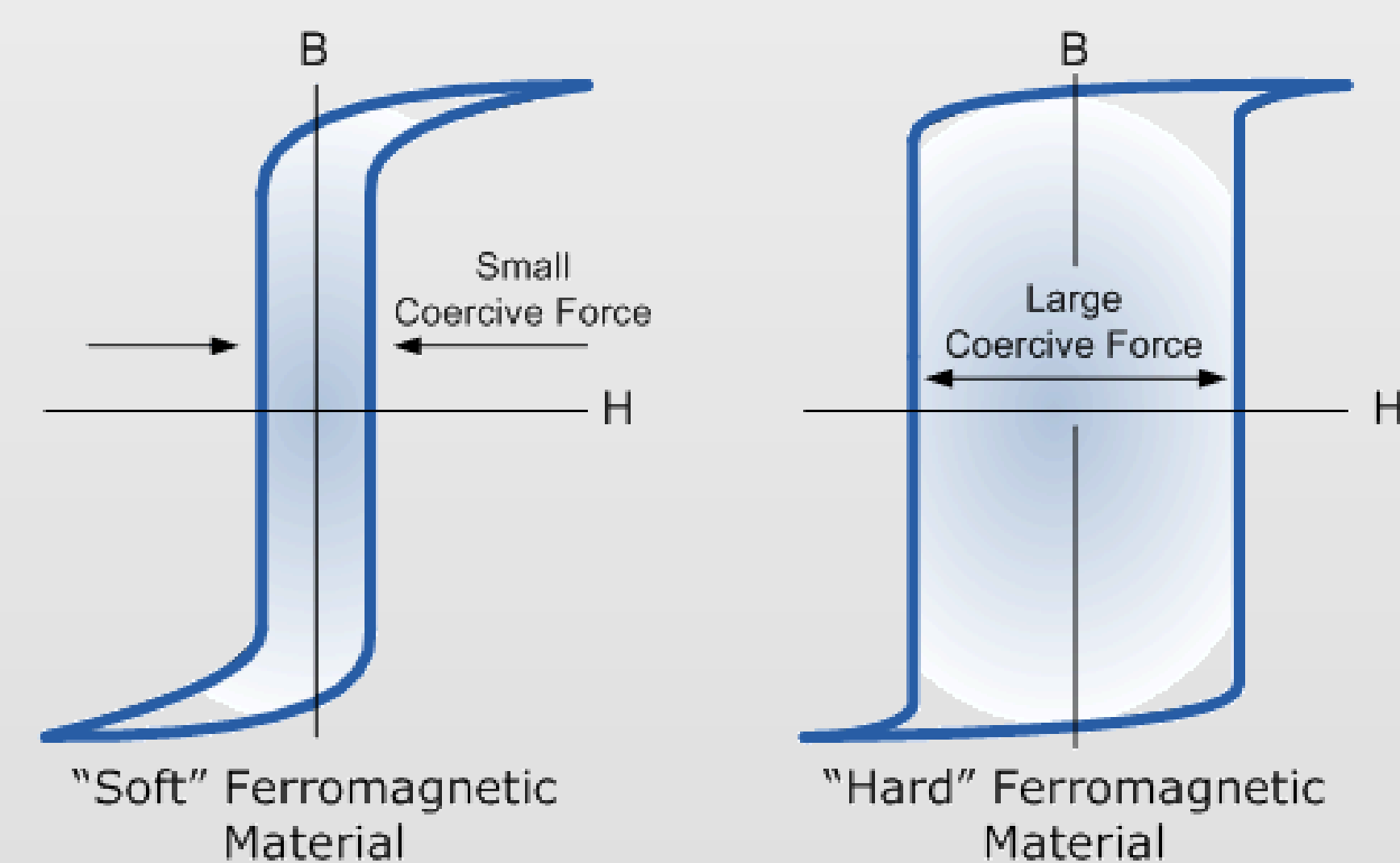
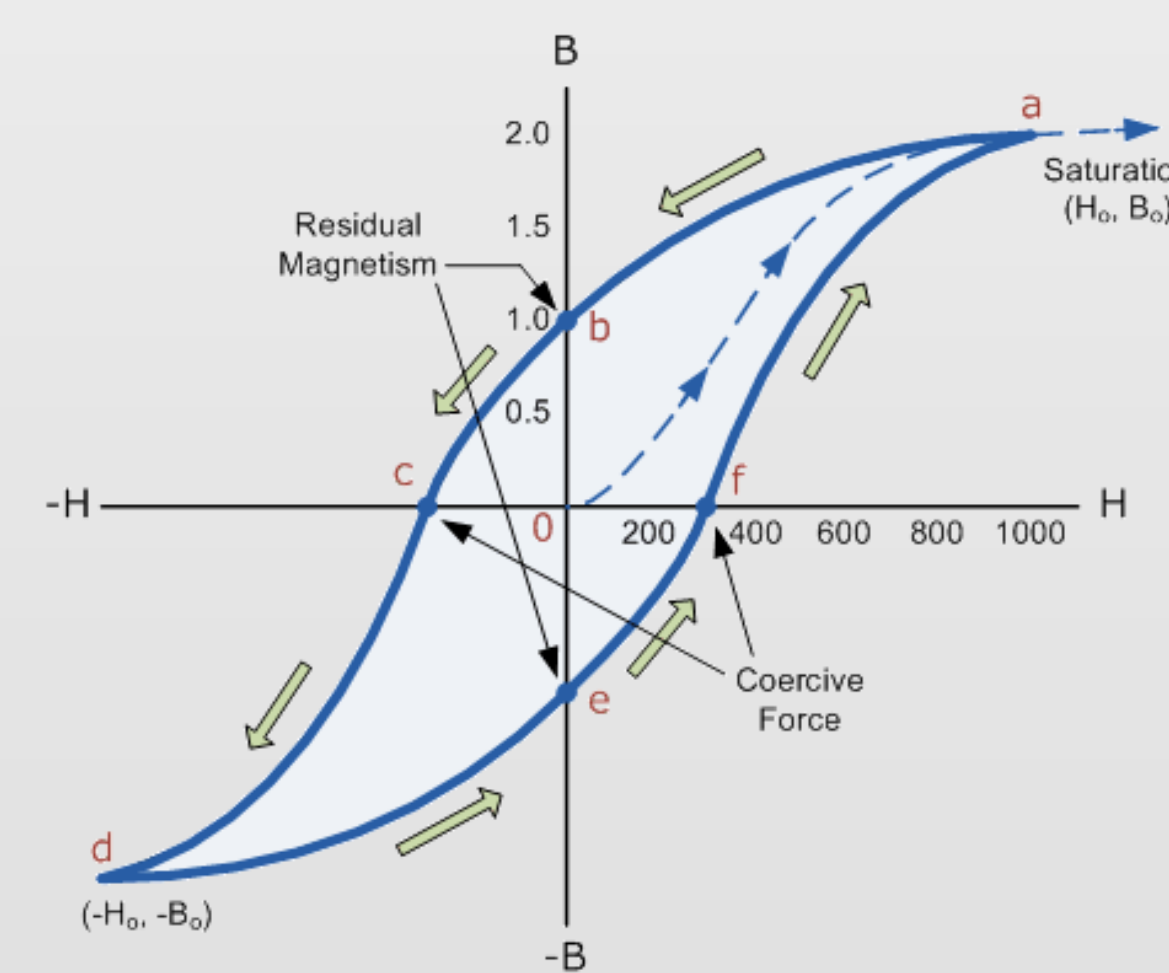
Montaje físico

Montaje experimental de AGFM con sus componentes principales



Posición del portamuestras para medidas con el campo magnético externo fuera (OOP) y en (IP) el plano

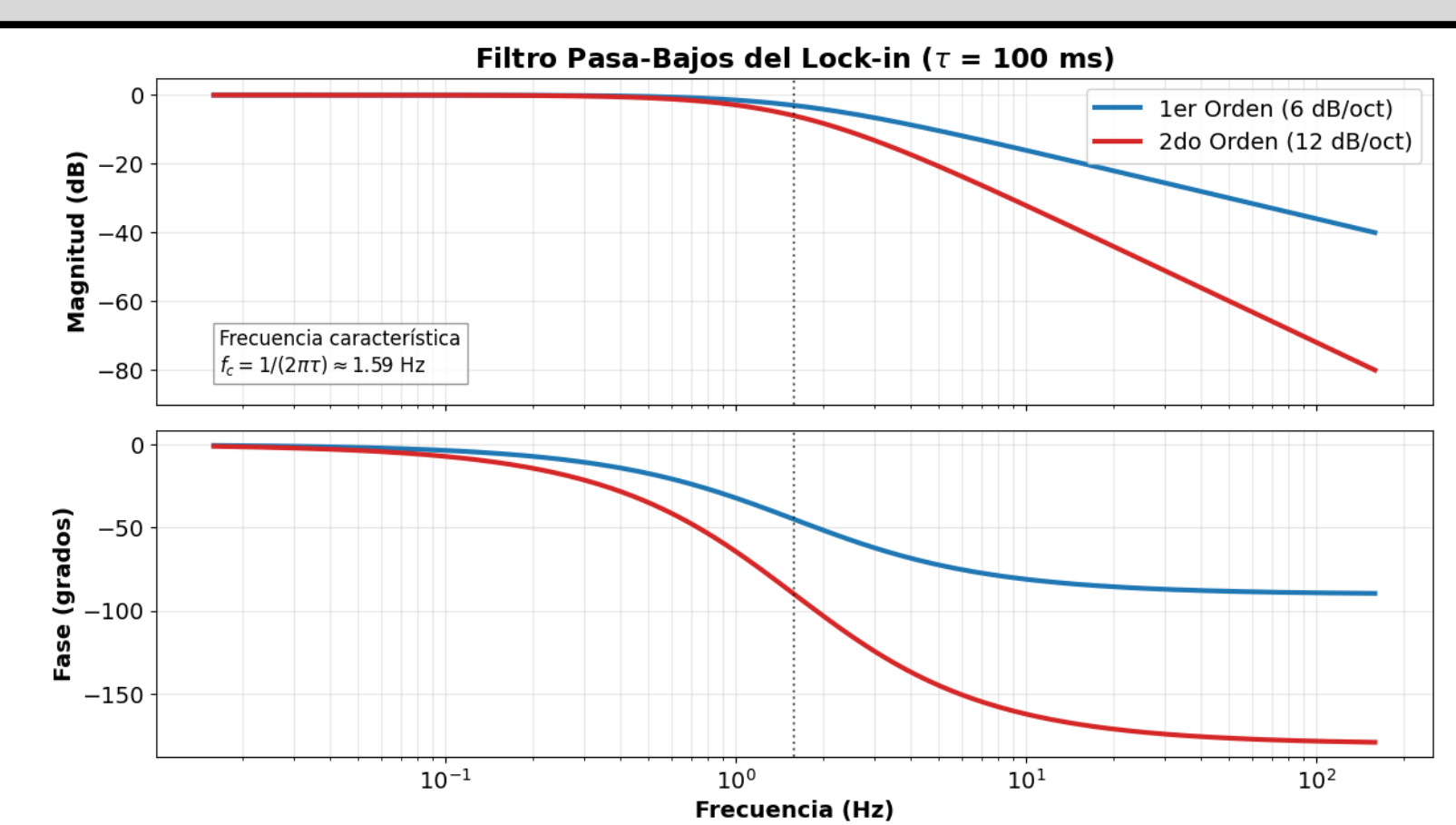
Curvas de histéresis magnéticas



Esta curva de histéresis muestra los puntos relevantes para la caracterización magnética de un material, como la magnetización residual, el campo coercitivo y la magnetización de saturación

Un material ferromagnético puede ser caracterizado de suave (soft) o duro (hard) dependiendo del comportamiento de la magnetización en el campo y sus campos coercitivos. Esto también nos habla de los ejes fáciles y difíciles de magnetización.

Adquisición, filtrado de Señales y Algoritmo



Filtro Pasa-Bajos Lock-In Amplifier

$$V(t) = V_{\infty} (1 - e^{-t/\tau})$$

$$\text{Si } t_{wait} = 5\tau \Rightarrow V(5\tau) = V_{final}(1 - e^{-5}) \approx 0.993V_{\infty}$$

Principio Lock-In Amplifier

$$V_{sig} = V_0 \sin(\omega t + \phi) + N(t)$$

$$V_{ref} = V_L \sin(\omega t)$$

$$V_{PSD} = V_{sig} V_{ref} = \frac{V_0 V_L}{2} [\cos(\phi) - \cos(2\omega t + \phi)] + \text{Ruido} \times V_{ref}$$

$$V_{out} \propto V_0 \cos(\phi)$$

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

Begin

Setup: Parámetros, Intervalos, cantidad muestras/paso

Main Loop

Aplicar Setpoint Voltaje iter. i

WAIT Asestamiento

Loop promedio muestras

$$\bar{X}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_{i,k}$$

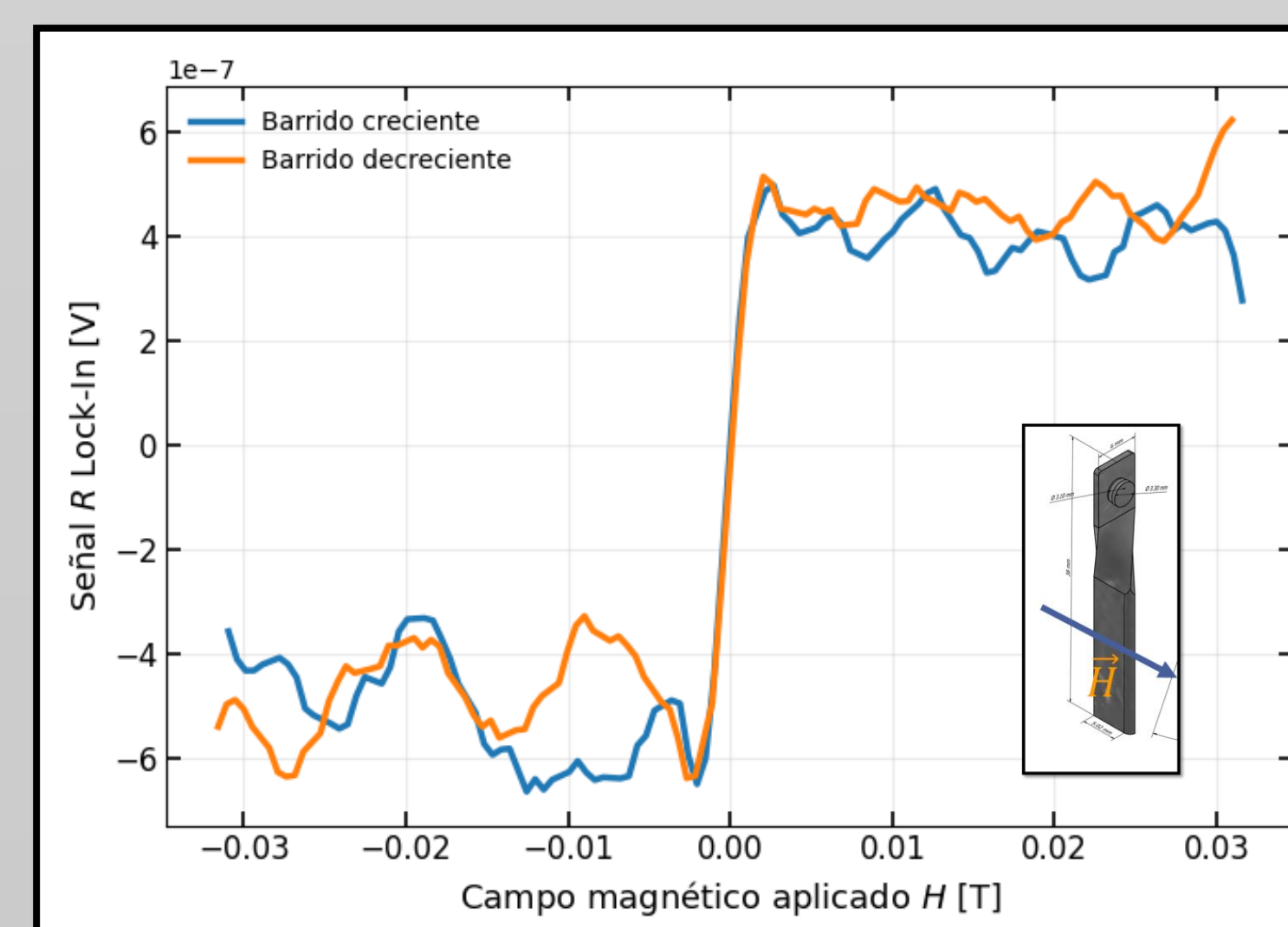
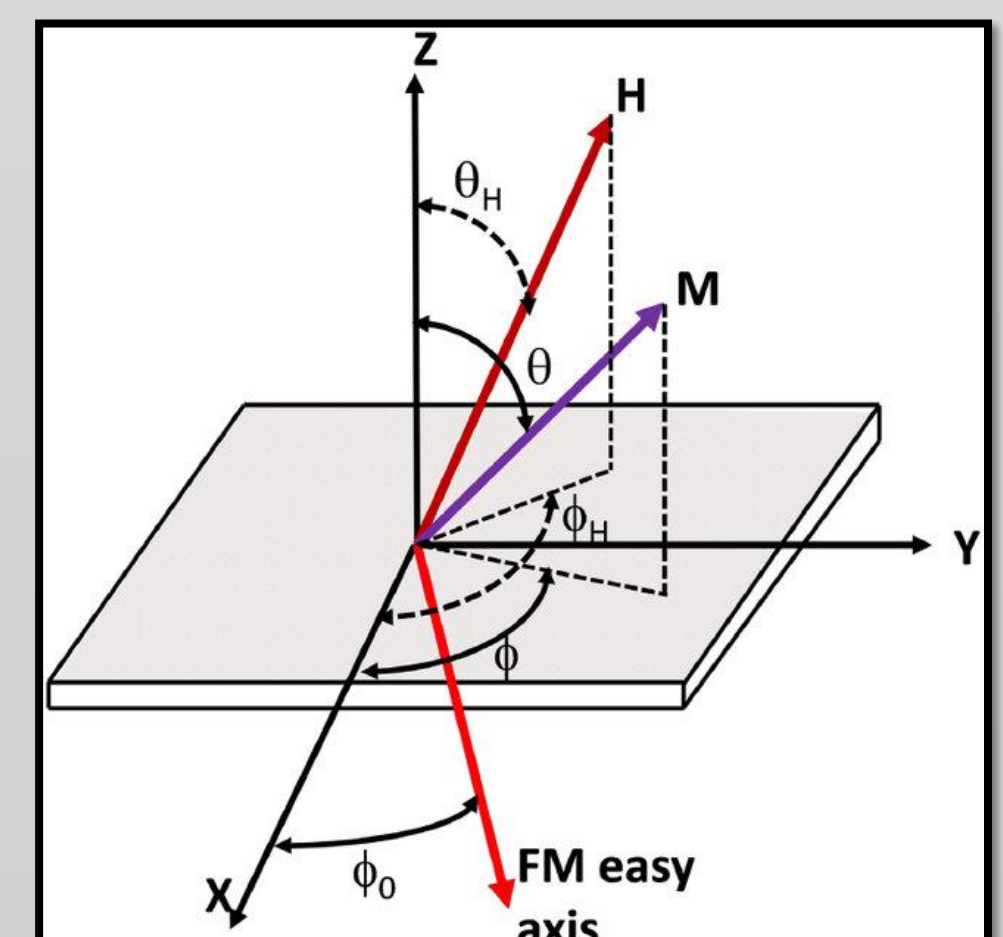
Adquisición de datos en Array

Plot variables en tiempo real

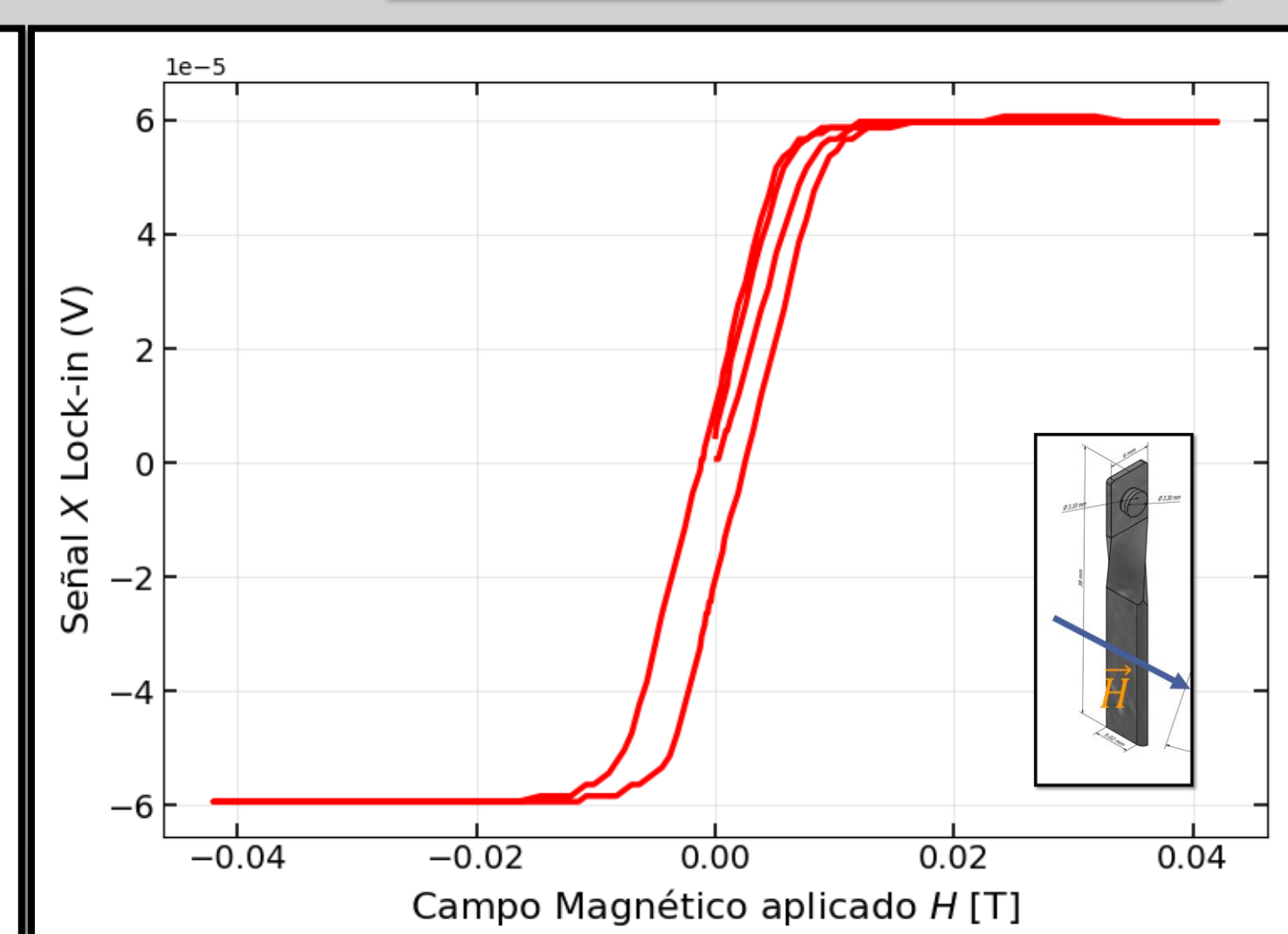
Finalización: Exportación de arrays, apagado seguro

Resultados

Las medidas de histéresis magnética tomadas en dos muestras de distinta composición y distintos grosores nos muestran principalmente que son muestras ferromagnéticas con sus ejes fáciles de magnetización en el plano. Las características de las curvas, como sus campos coercitivos y pendientes del cambio de magnetización en función de campo externo nos hablan de su dureza magnética. Es importante recalcar que la muestra de Co solo tiene 40 nm de espesor, lo que habla de la sensibilidad del sistema a láminas nanométricas de material ferromagnético.



Material: lámina delgada de Co de 40 nm sobre sustrato de mica.



Material: Metglas, Aleación Amorfa blanda. Composición típica: Fe-Ni-Co-B.

Agradecimientos

Agradezco al LIT de la Universidad de Chile por su colaboración en la fabricación por impresión 3D de los portamuestras diseñados. Extiendo mi gratitud a los estudiantes e investigadores del Laboratorio de Sistemas en Bajas Dimensiones (LDSL) por su cálida acogida, disposición y valiosa ayuda durante el montaje experimental. Finalmente, agradezco este trabajo a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido el pilar fundamental que hace posible mi desarrollo profesional y poder realizar esta práctica.

Referencias

- [1] P. J. Flanders, "An alternating-gradient magnetometer (invited)," J. Appl. Phys., vol. 63, no. 8, pp. 3940-3945, Apr. 1988. doi: 10.1063/1.340582.
- [2] Keithley Instruments, Low Level Measurements Handbook: Precision DC Current, Voltage, and Resistance Measurements, 7th ed. Cleveland, OH: Keithley Instruments, A Tektronix Company.