

```
In [2]: from statistical_utilities import math_utilities as utils
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import optimize
from matplotlib import rc
rc('font', **{'family': 'serif', 'serif': ['Computer Modern'], 'size': 14})
rc('text', usetex=True)
```

**ALMACENAMIENTO DE DATOS:** Todos los datos tomados en esta práctica están almacenados en OneDrive: [https://uniandes-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/k\\_murcia\\_uniandes\\_edu\\_co/EpqZUJG\\_V\\_pPrmdpxrRXXbgBaegSgA48bKjsUeEoe=L8zMbV](https://uniandes-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/k_murcia_uniandes_edu_co/EpqZUJG_V_pPrmdpxrRXXbgBaegSgA48bKjsUeEoe=L8zMbV)

### INCERTIDUMBRES:

LONGITUD DE ONDA DEL LÁSER: No está reportada, se toma como el último dígito del valor reportado para  $\lambda$ .

- $\sigma_{\lambda} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}.$

LONGITUDES MEDIDAS CON EL CALIBRADOR:

- $\sigma_L = 0.00005 \text{ m}.$

MULTÍMETRO:

- $\sigma_I = 0.01 \text{ A}.$

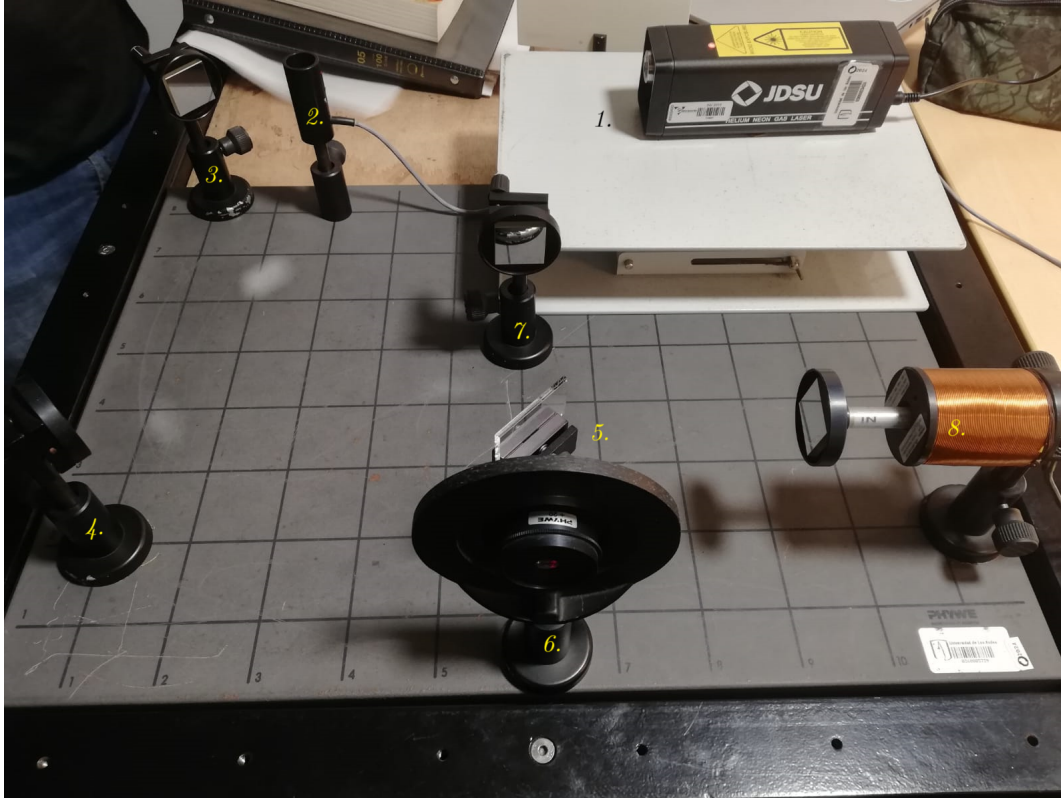
TESLÁMETRO:

- $\sigma_B = 0.0001 \text{ T}.$

### INSTRUMENTOS:

Para llevar a cabo el experimento se usaron los siguientes elementos:

### MESA ÓPTICA



En la mesa óptica se pueden encontrar: (1) Láser montado en una plataforma que lo eleva de forma que pueda ser alineado con los demás elementos. Luego de este se encuentra el obturador (2) que permite tener un control del haz de luz en el montaje. Con el fin de conseguir interferencia se utiliza el divisor de haz (5) que permite que el haz de luz que llega del espejo (4) se divida en dos caminos y choquen con los espejos (8) y (7) y se recombinen con el divisor de haz, llegando así a la lente (6) con la que se proyectará en la pared. Nótese que la posición del espejo (8) está determinada por la longitud de una barra metálica al interior de un embobinado de cobre. Esto permitirá aplicar un campo magnético a la barra de metal que sostiene el espejo; esta barra puede o no presentar el fenómeno de magnetostricción.

## FUENTES DE PODER



En cuanto a las fuentes de poder, se pueden encontrar lo siguiente: (1) unidad de control del obturador; (2) transformador de voltaje de 115 V a 230 V; (3) suministro de poder para la bobina; y (4) multímetro encargado de medir la corriente entregada por la fuente (3) a la bobina.

## SESIÓN 01.

**FECHA:** 2024-09-19

**HORA:** 16:30

**EXPERIMENTALISTAS:** Juan Carlos Rojas Velásquez (jc.rojasv1@uniandes.edu.co) & Katherin A. Murcia S. (k.murcia@uniandes.edu.co)

**LABORATORIO:** B-103. Laboratorio de óptica.

### OBJETIVOS DE LA SESIÓN:

1. Registrar algunos datos relevantes, como la longitud de onda del láser, la longitud de las barras metálicas, la longitud, el diámetro y el número de vueltas de la bobina, así como sus incertidumbres.
2. Realizar la alineación del montaje mostrado en la primera imagen de manera tal que se observe un patrón de interferencia.
3. Tomar datos de corriente aplicada sobre la bobina en función del número de mínimos que pasan por un punto dado del patrón de interferencia para las barras de cobre y hierro, variando la corriente entre 0.15 A y 3.50 A.
4. Tomar datos de corriente aplicada sobre la bobina en función del número de mínimos que pasan por un punto dado del patrón de interferencia para la barra de níquel, variando la corriente entre  $-3.50$  A y 3.50 A.

# SESIÓN 01. ACTIVIDAD 01.

Algunos datos relevantes son

```
In [3]: datos_relevantes = pd.read_csv("Datos/DATOS RELEVANTES.csv", sep=";", decimal=".", encoding="utf-8")
datos_relevantes
```

```
Out[3]:
```

|   | lambda<br>[m] | sigma_lambda<br>[m] | L_Cu<br>[m] | L_Fe<br>[m] | L_Ni<br>[m] | L_bobina<br>[m] | L_diámetro_bobina<br>[m] | sigma_L<br>[m] | vueltas_bobina |
|---|---------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|--------------------------|----------------|----------------|
| 0 | 6.330000e-07  | 1.000000e-09        | 0.1425      | 0.1424      | 0.1423      | 0,0556          | 0.0471                   | 0.00005        | 1200.0         |
| 1 | NaN           | NaN                 | NaN         | NaN         | NaN         | NaN             | NaN                      | NaN            | NaN            |
| 2 | NaN           | NaN                 | NaN         | NaN         | NaN         | NaN             | NaN                      | NaN            | NaN            |
| 3 | NaN           | NaN                 | NaN         | NaN         | NaN         | NaN             | NaN                      | NaN            | NaN            |
| 4 | NaN           | NaN                 | NaN         | NaN         | NaN         | NaN             | NaN                      | NaN            | NaN            |
| 5 | NaN           | NaN                 | NaN         | NaN         | NaN         | NaN             | NaN                      | NaN            | NaN            |
| 6 | NaN           | NaN                 | NaN         | NaN         | NaN         |                 | NaN                      | NaN            | NaN            |

```
In [4]: lambda_ = float(datos_relevantes["lambda [m]"][0]) #Longitud de onda del láser He-Ne rep
sigma_lambda_ = float(datos_relevantes["sigma_lambda [m]"][0]) #La incertidumbre no fue

L_Cu = float(datos_relevantes["L_Cu [m]"][0]) #Longitud de la barra de cobre [m]
L_Fe = float(datos_relevantes["L_Fe [m]"][0]) #Longitud de la barra de hierro [m]
L_Ni = float(datos_relevantes["L_Ni [m]"][0]) #Longitud de la barra de níquel [m]

L_bobina = float(datos_relevantes["L_bobina [m]"][0].replace(",", ".")) #Longitud de la
D_bobina = float(datos_relevantes["L_diámetro_bobina [m]"][0]) #Diámetro de la bobina [m]
vueltas_bobina = float(datos_relevantes["vueltas_bobina"][0]) #Número de vueltas del cab

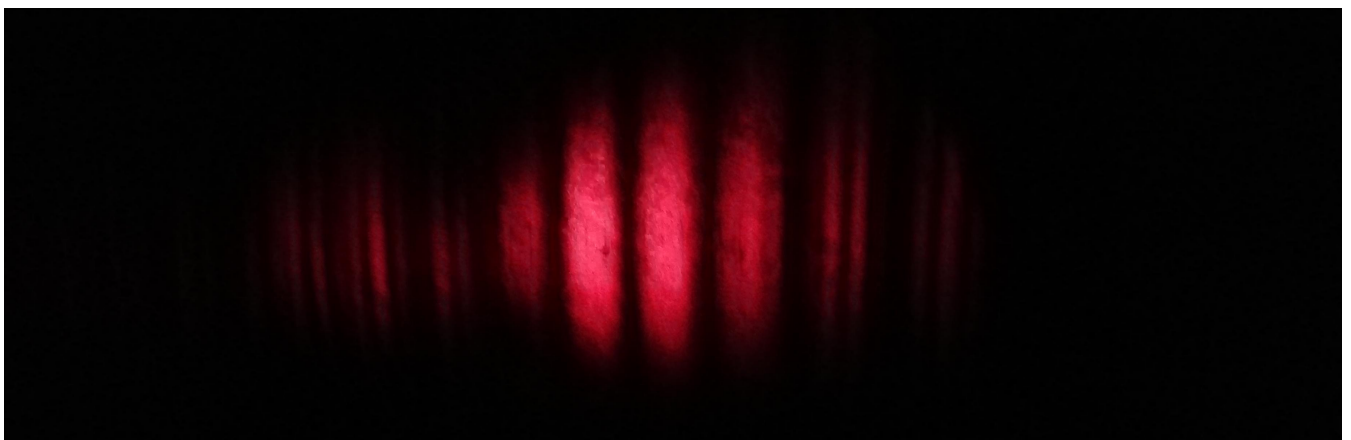
sigma_L = float(datos_relevantes["sigma_L [m]"][0]) #Incertidumbre de las mediciones de

lambda_, sigma_lambda_, L_Cu, L_Fe, L_Ni, L_bobina, D_bobina, vueltas_bobina, sigma_L
```

```
Out[4]: (6.33e-07, 1e-09, 0.1425, 0.1424, 0.1423, 0.0556, 0.0471, 1200.0, 5e-05)
```

# SESIÓN 01. ACTIVIDAD 02.

Se realizó la alineación del montaje exitosamente, obteniéndose el siguiente patrón de interferencia:



# SESIÓN 01. ACTIVIDADES 03 & 04.

Al hacer el barrido de corrientes con objetivo de evaluar el fenómeno de magnetostricción sobre el hierro, cobre y níquel, se encontraron los siguientes resultados:

```
In [5]: datos_magnetostricción = pd.read_csv("Datos/MÍNIMOS VS CORRIENTE.csv", sep=";", decimal=".",
datos_magnetostricción
```

Out[5]:

|     | I_Cu [A] | deltaN_Cu | N_Cu | I_Fe [A] | deltaN_Fe | N_Fe     | I_Ni [A] | deltaN_Ni | N_Ni | I_Ni [A].1 | deltaN_Ni.1 | N_Ni.1   | sign |
|-----|----------|-----------|------|----------|-----------|----------|----------|-----------|------|------------|-------------|----------|------|
| 0   | 0.15     | 0.0       | 0.0  | 0.15     | 0.000000  | 0.000000 | -3.42    | 0.00      | 0.00 | 3.41       | 0.000000    | 0.000000 | (    |
| 1   | 0.65     | 0.0       | 0.0  | 0.32     | 0.333333  | 0.333333 | -3.29    | 0.25      | 0.25 | 2.66       | 0.333333    | 0.333333 | ↑    |
| 2   | 1.15     | 0.0       | 0.0  | 0.42     | 0.333333  | 0.666667 | -2.93    | 0.25      | 0.50 | 2.02       | 0.333333    | 0.666667 | ↑    |
| 3   | 1.65     | 0.0       | 0.0  | 0.54     | 0.333333  | 1.000000 | -2.67    | 0.25      | 0.75 | 1.70       | 0.333333    | 1.000000 | ↑    |
| 4   | 2.15     | 0.0       | 0.0  | 0.66     | 0.333333  | 1.333333 | -2.30    | 0.25      | 1.00 | 1.53       | 0.333333    | 1.333333 | ↑    |
| ... | ...      | ...       | ...  | ...      | ...       | ...      | ...      | ...       | ...  | ...        | ...         | ...      | ...  |
| 87  | NaN      | NaN       | NaN  | NaN      | NaN       | NaN      | 2.04     | -0.25     | 3.75 | NaN        | NaN         | NaN      | ↑    |
| 88  | NaN      | NaN       | NaN  | NaN      | NaN       | NaN      | 2.21     | -0.25     | 3.50 | NaN        | NaN         | NaN      | ↑    |
| 89  | NaN      | NaN       | NaN  | NaN      | NaN       | NaN      | 2.50     | -0.25     | 3.25 | NaN        | NaN         | NaN      | ↑    |
| 90  | NaN      | NaN       | NaN  | NaN      | NaN       | NaN      | 2.89     | -0.25     | 3.00 | NaN        | NaN         | NaN      | ↑    |
| 91  | NaN      | NaN       | NaN  | NaN      | NaN       | NaN      | 3.28     | -0.25     | 2.75 | NaN        | NaN         | NaN      | ↑    |

92 rows × 13 columns

```
In [6]: I_Cu = (datos_magnetostricción["I_Cu [A]"].values) #Datos de corriente de la serie del c
N_Cu = (datos_magnetostricción["N_Cu"].values) #Datos del número de mínimos de la serie

I_Fe = (datos_magnetostricción["I_Fe [A]"].values) #Datos de corriente de la serie del h
N_Fe = (datos_magnetostricción["N_Fe"].values) #Datos del número de mínimos de la serie

I_Ni = (datos_magnetostricción["I_Ni [A]"].values) #Datos de corriente de la serie del n
N_Ni = (datos_magnetostricción["N_Ni"].values) #Datos del número de mínimos de la serie

sigma_I = (datos_magnetostricción["sigma_I [A]"][0]) #Incertidumbre de las corrientes me
```

A continuación se calculó el cambio de longitud para cada barra siguiendo la ecuación

$$d_N = N\lambda/2$$

```
In [7]: delta_L_Cu = N_Cu*lambda_/2
delta_L_Fe = N_Fe*lambda_/2
delta_L_Ni = N_Ni*lambda_/2
```

No se logró tomar las medidad del campo magnético producido al interior de la bobina. Estos datos se tomarán en la siguiente sesión.

# SESIÓN 02

**HORA:** 16:00

**EXPERIMENTALISTAS:** Juan Carlos Rojas Velásquez (jc.rojasv1@uniandes.edu.co) & Katherin A. Murcia S. (k.murcia@uniandes.edu.co)

**LABORATORIO:** B-103. Laboratorio de óptica.

### OBJETIVOS DE LA SESIÓN:

1. Tomar fotografías del montaje.
2. Tomar mediciones del campo magnético producido por la bobina en su componente axial.
3. Responder las preguntas de la guía.

## SESIÓN 02. ACTIVIDAD 01.

Se tomaron fotografías propias del montaje empleado. Se pueden ver en la sección de instrumentos al inicio de este documento.

## SESIÓN 02. ACTIVIDAD 02.

Se tomaron medidas del campo magnético al interior de la bobina en función de la corriente que circula por ella, obteniéndose los siguientes resultados:

```
In [8]: datos_B_vs_I = pd.read_csv("Datos/CAMPO MAGNÉTICO VS CORRIENTE.csv", sep=";", decimal=".",  
datos_B_vs_I
```

```
Out[8]:
```

|    | I [A] | sigma_I[A] | B [T]   | sigma_B [T] |
|----|-------|------------|---------|-------------|
| 0  | -3.10 | 0.01       | -0.0819 | 0.0001      |
| 1  | -3.00 | NaN        | -0.0796 | NaN         |
| 2  | -2.75 | NaN        | -0.0726 | NaN         |
| 3  | -2.50 | NaN        | -0.0674 | NaN         |
| 4  | -2.25 | NaN        | -0.0597 | NaN         |
| 5  | -2.00 | NaN        | -0.0530 | NaN         |
| 6  | -1.75 | NaN        | -0.0467 | NaN         |
| 7  | -1.50 | NaN        | -0.0397 | NaN         |
| 8  | -1.25 | NaN        | -0.0331 | NaN         |
| 9  | -1.00 | NaN        | -0.0265 | NaN         |
| 10 | -0.75 | NaN        | -0.0201 | NaN         |
| 11 | -0.50 | NaN        | -0.0127 | NaN         |
| 12 | -0.25 | NaN        | -0.0063 | NaN         |
| 13 | 0.25  | NaN        | 0.0075  | NaN         |
| 14 | 0.50  | NaN        | 0.0131  | NaN         |
| 15 | 0.75  | NaN        | 0.0207  | NaN         |

|    |      |     |        |     |
|----|------|-----|--------|-----|
| 16 | 1.00 | NaN | 0.0272 | NaN |
| 17 | 1.25 | NaN | 0.0338 | NaN |
| 18 | 1.50 | NaN | 0.0400 | NaN |
| 19 | 1.75 | NaN | 0.0468 | NaN |
| 20 | 2.00 | NaN | 0.0538 | NaN |
| 21 | 2.25 | NaN | 0.0601 | NaN |
| 22 | 2.50 | NaN | 0.0667 | NaN |
| 23 | 2.75 | NaN | 0.0736 | NaN |
| 24 | 3.00 | NaN | 0.0804 | NaN |
| 25 | 3.25 | NaN | 0.0861 | NaN |

```
In [9]: I_bobina = datos_B_vs_I["I [A]"].values #Valores de corriente que circula por la bobina
sigma_I = float(datos_B_vs_I["sigma_I[A]"][0]) #Incertidumbre de los valores de corrient

B = (datos_B_vs_I["B [T]"].values)*1000 #Valores del campo magnético en el eje axial de
sigma_B = (float(datos_B_vs_I["sigma_B [T]"][0]))*1000 #Incertidumbre de los valores de
```

A continuación, realizando una regresión lineal ponderada sobre estos datos, se obtiene:

```
In [10]: params = utils.linear_w_regression(I_bobina,B,np.ones_like(I_bobina)*sigma_I,np.ones_like(B)*sigma_B)

pendiente = params[0]
sigma_pendiente = params[1]

intercepto = params[2]
sigma_intercepto = params[3]

I_linspace = np.linspace(-3.5,3.5)
lineal_B = pendiente*I_linspace + intercepto

print("pendiente = " + str(pendiente) + "; sigma_pendiente = " + str(sigma_pendiente) + "; intercepto = " + str(intercepto) + "; sigma_intercepto = " + str(sigma_intercepto))

pendiente = 26.636865332745536; sigma_pendiente = 0.009929667292665454; intercepto = 0.2501719307726223; sigma_intercepto = 0.0196116971821229
```

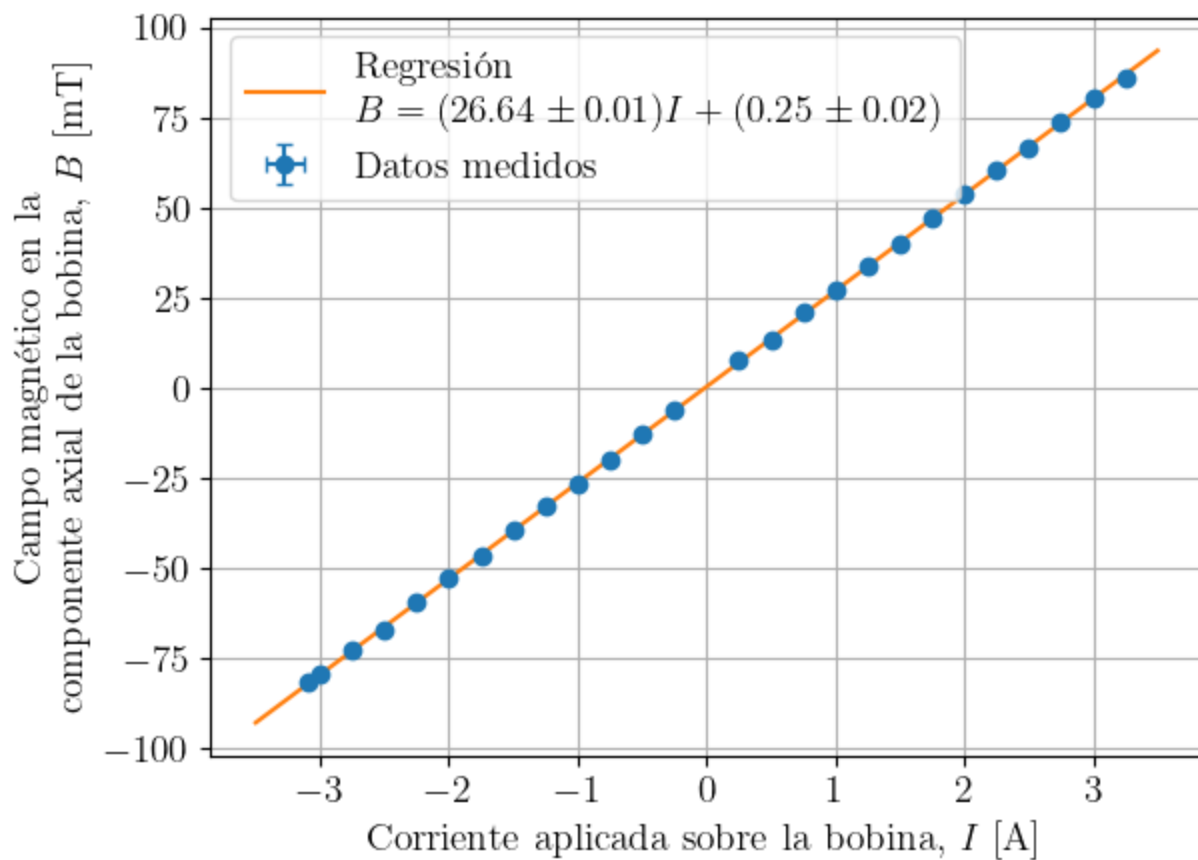
Así pues, se grafican los datos medidos junto con la regresión lineal ponderada realizada a continuación:

```
In [11]: plt.errorbar(I_bobina,B,yerr=sigma_B,xerr=sigma_I, fmt="o", capsize=3, label="Datos medidos")

plt.plot(I_linspace,lineal_B,label="Regresión \n $B = (26.64 \pm 0.01)I + (0.25 \pm 0.02)$")

plt.xlabel("Corriente aplicada sobre la bobina, $I$ [A]")
plt.ylabel("Campo magnético en la \n componente axial de la bobina, $B$ [mT]")
plt.legend()

plt.grid("--")
```



Donde las barras de error de cada dato son tan pequeñas que no se alcanzan a ver.

Adicionalmente, la gráfica de residuales de la regresión lineal,

```
In [12]: res = B - pendiente*I_bobina - intercepto

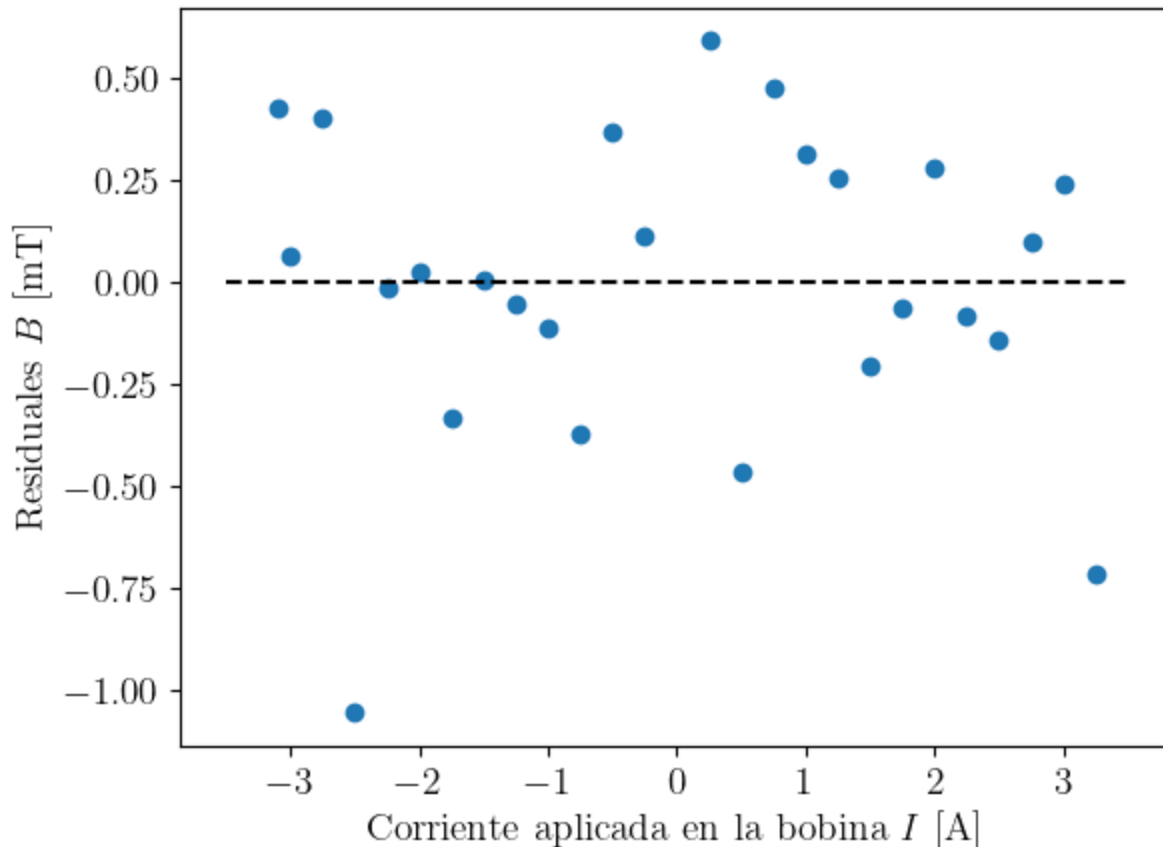
plt.scatter(I_bobina,res)

plt.ylabel(r"Residuales $B$ [mT]")
plt.xlabel(r"Corriente aplicada en la bobina $I$ [A]")

plt.hlines(0,-3.5,3.5,linestyle="--",color="black")

Out[12]: <matplotlib.collections.LineCollection at 0x1e3ede88550>
```





Demuestra que este modelo presenta un buen ajuste con los datos medidos del campo en el eje axial de la bobina en función de la corriente que la recorre.

```
In [13]: frac_Cu = delta_L_Cu/L_Cu
B_Cu = pendiente*I_Cu + intercepto

frac_Fe = delta_L_Fe/L_Fe
B_Fe = pendiente*I_Fe + intercepto

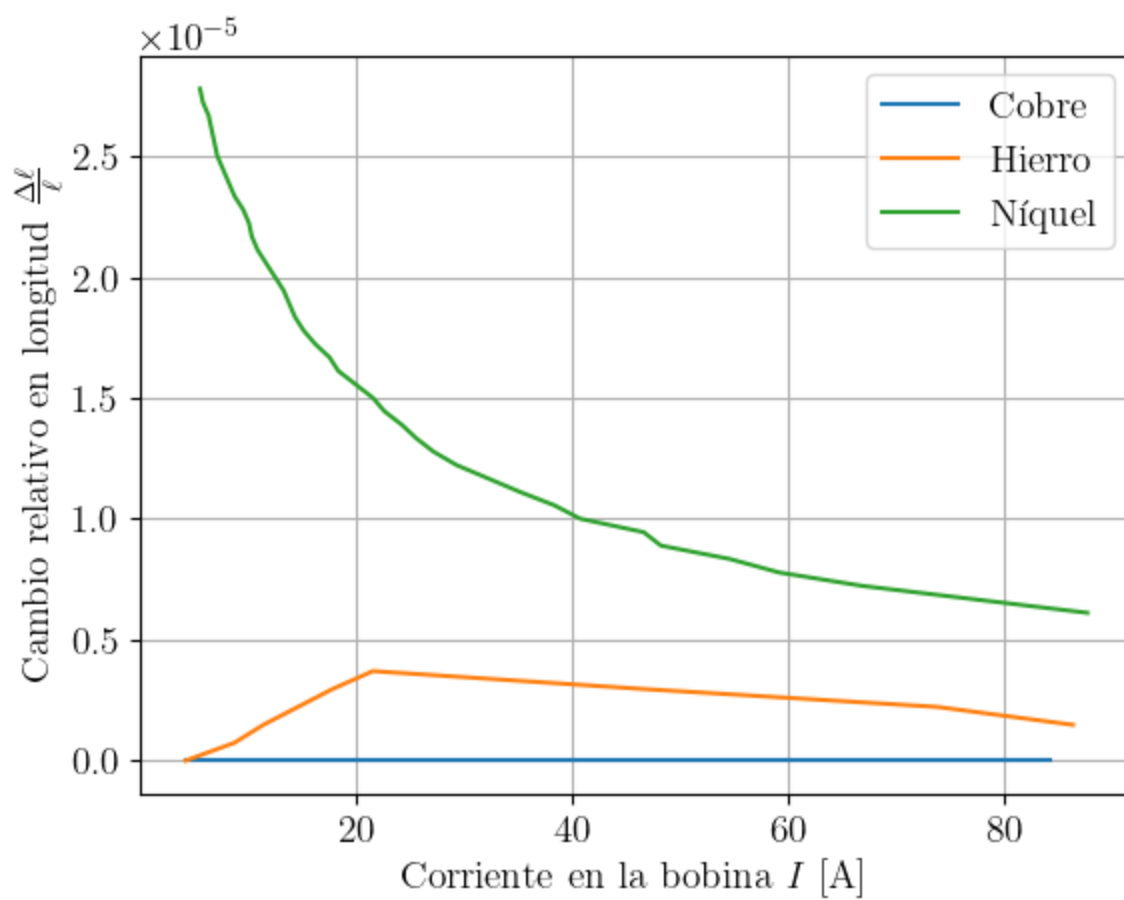
frac_Ni = delta_L_Ni/L_Ni
B_Ni = pendiente*I_Ni + intercepto
```

```
In [14]: plt.plot(B_Cu,frac_Cu,label="Cobre")
plt.plot(B_Fe,frac_Fe,label="Hierro")
plt.plot(B_Ni[52:],frac_Ni[52:],label="Níquel")

plt.grid("--")

plt.xlabel(r"Corriente en la bobina  $I$  [A]")
plt.ylabel(r"Cambio relativo en longitud  $\frac{\Delta \ell}{\ell}$ ")
plt.legend()
```

```
Out[14]: <matplotlib.legend.Legend at 0x1e3edf1e4f0>
```

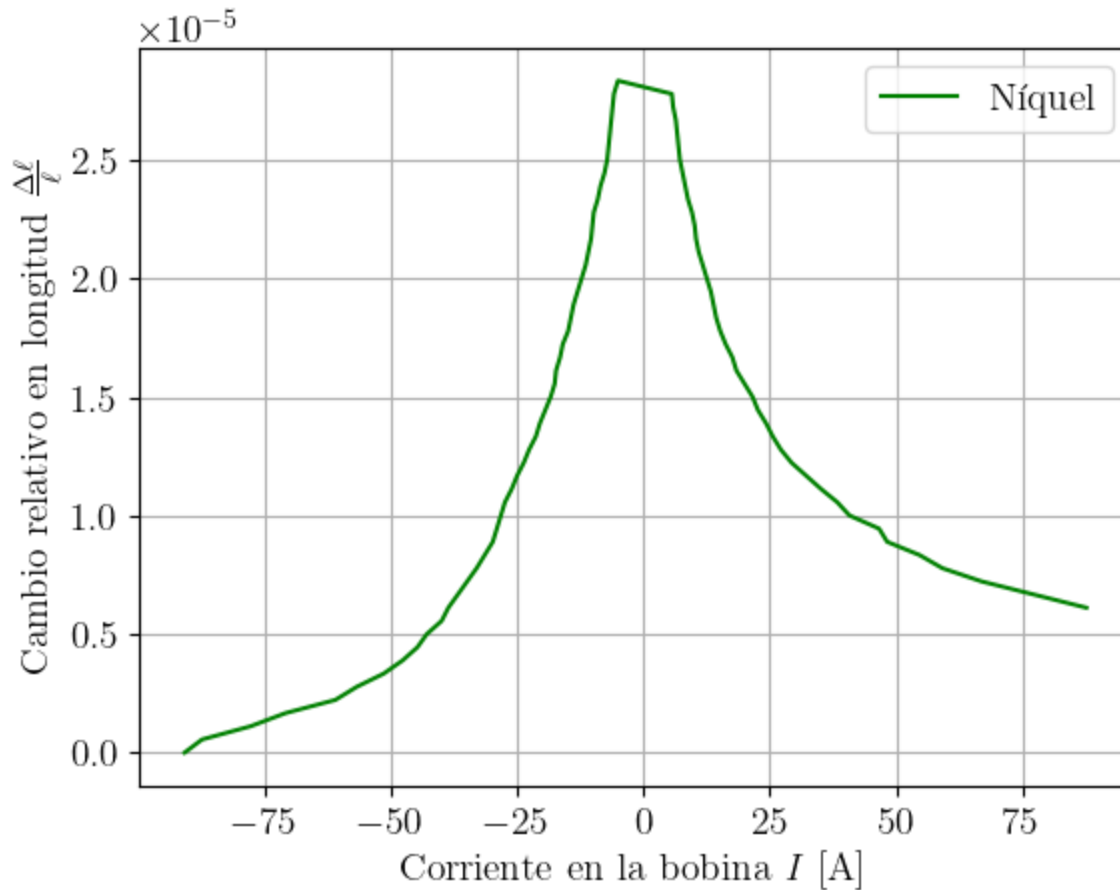


```
In [15]: plt.plot(B_Ni,frac_Ni,label="Níquel",color="green")

plt.grid("--")

plt.xlabel(r"Corriente en la bobina  $I$  [A]")
plt.ylabel(r"Cambio relativo en longitud  $\frac{\Delta \ell}{\ell}$ ")
plt.legend()
```

```
Out[15]: <matplotlib.legend.Legend at 0x1e3edfad640>
```



Mirando la gráfica, se puede ver que:

- El cobre exhibe el fenómeno de magnetostricción, lo que es acorde con lo esperado debido a que este material no es ferromagnético.
- El hierro exhibe el fenómeno de magnetostricción, lo que es acorde con lo esperado debido a que este material es ferromagnético. Para este material, hubo cierto punto en que el metal empezó a contrarse en vez de expandirse a medida que incrementa el campo magnético.
- El níquel exhibe el fenómeno de magnetostricción, lo que es acorde con lo esperado debido a que este material es ferromagnético. Este material se expande a medida que el campo magnético aumenta cuando su magnitud es negativa, y se contrae a medida que el campo magnético aumenta cuando su magnitud es positiva. La curva observada es consistente con una curva de histéresis.