

Ciencia de los materiales

Propiedades magnéticas de los materiales

Medida del ciclo de histéresis

Gabriel Simón López

Indice

- Introducción teórica

Tipos de reacción a un campo magnético aplicado

Histéresis

- Montaje Experimental

- Datos y Resultados

Medidas

Análisis Datos

- Preguntas

- Adendas

- Bibliografía

Introducción teórica

Tipos de reacción a un campo magnético aplicado

Fenomenológico

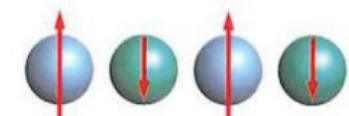
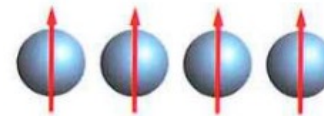
Diamagnetismo

Paramagnetismo

"Ferromagnetismo"

Ferromagnetismo

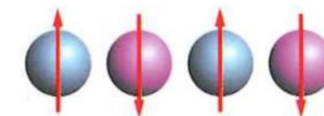
Ferrimagnetismo



1936

1948

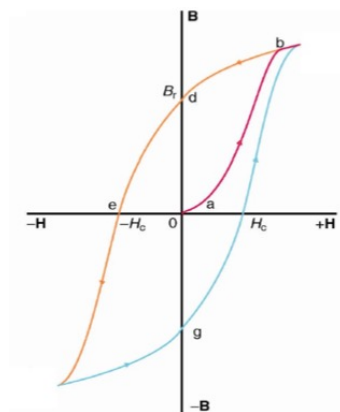
Antiferromagnetismo



Introducción teórica

Ciclo de Histéresis

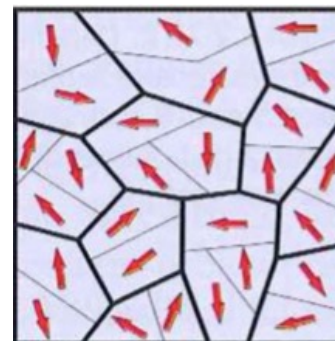
¿Qué es un ciclo de histéresis?



Resistencia de los dominios a ser rotados y/o desplazados



¿Qué son los dominios?



Regiones orientadas al azar compuestas por dipolos atómicos

Limitadas por balance energético

¿Qué información del material nos aporta?

Estrecho



Blandos



Transformadores

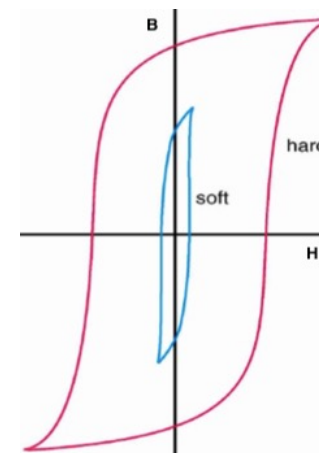
Ancho



Duros

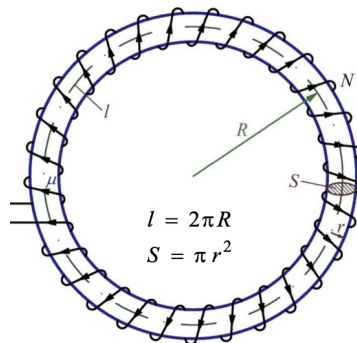
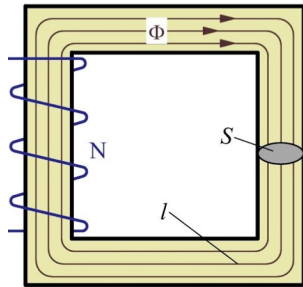


Imanes permanentes



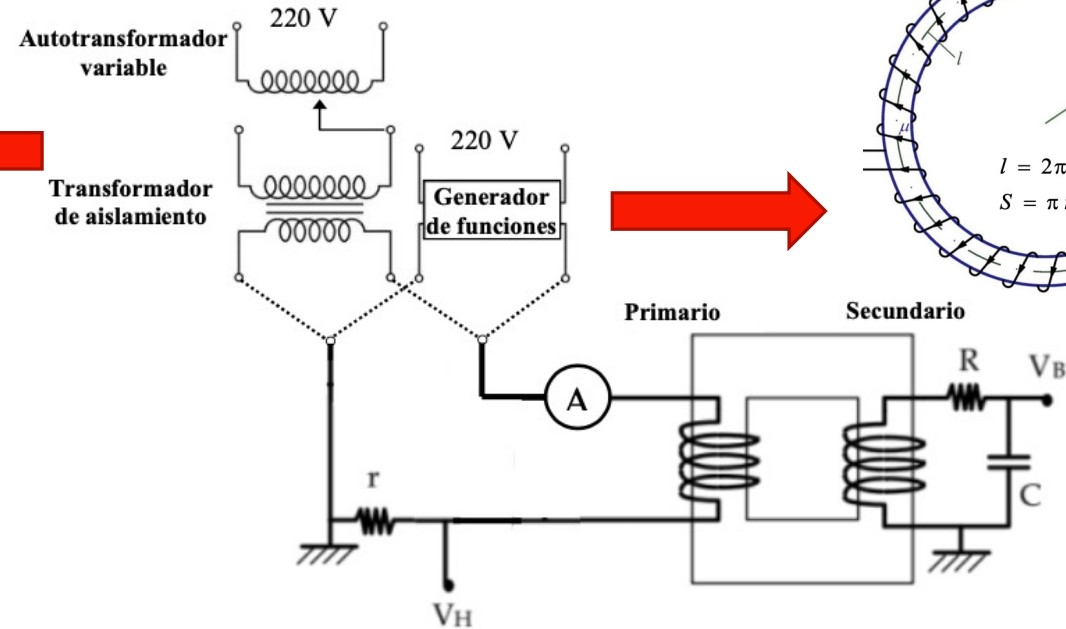
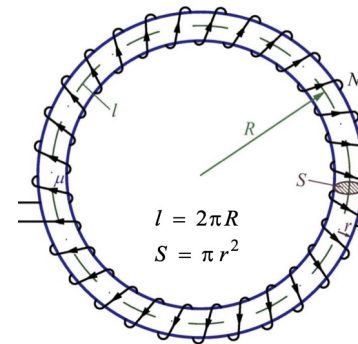
Montaje Experimental

Núcleo Fe en U



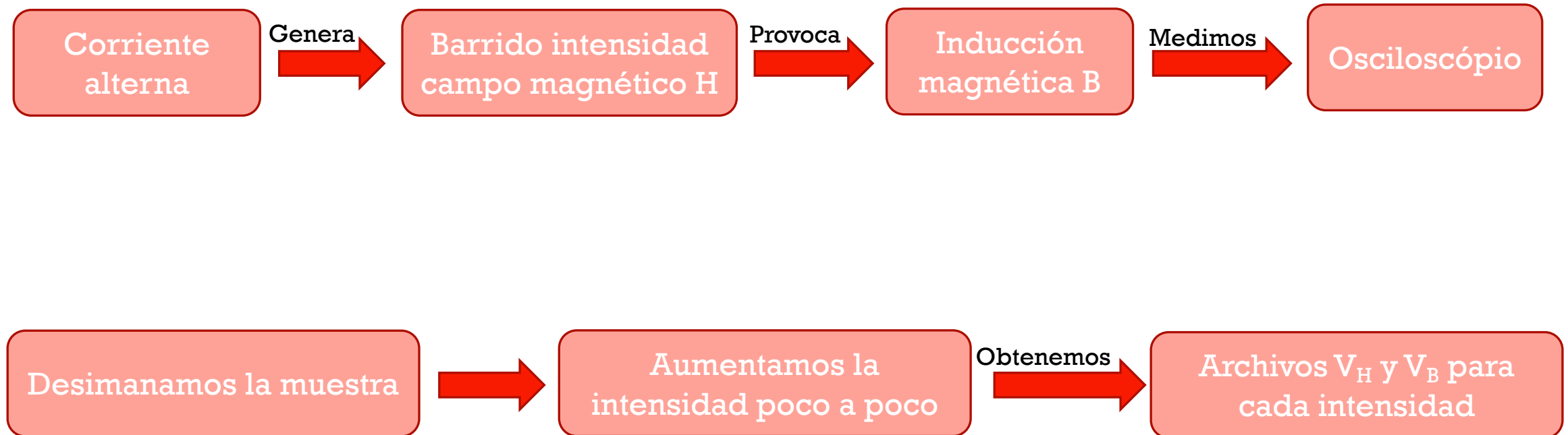
Anillo Toroidal Fe

Anillo Toroidal Ferrita 800



Datos y Resultados

Medidas



Análisis de muchos datos



Txt Toroide Fe



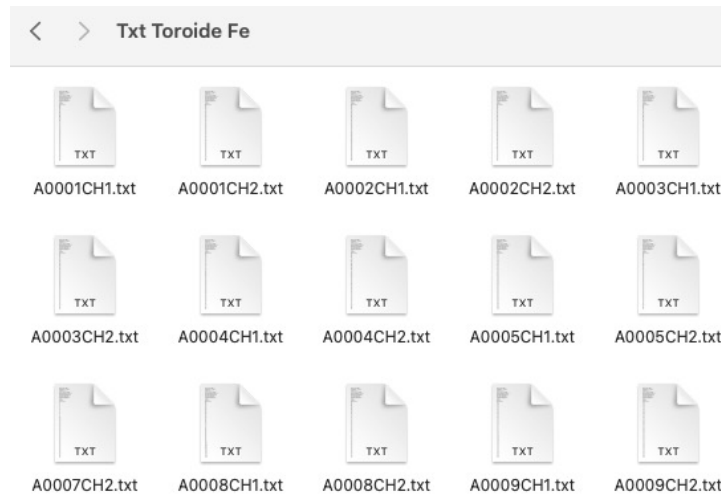
Txt Ferrita 4000



Txt Ferrita 800



Txt U



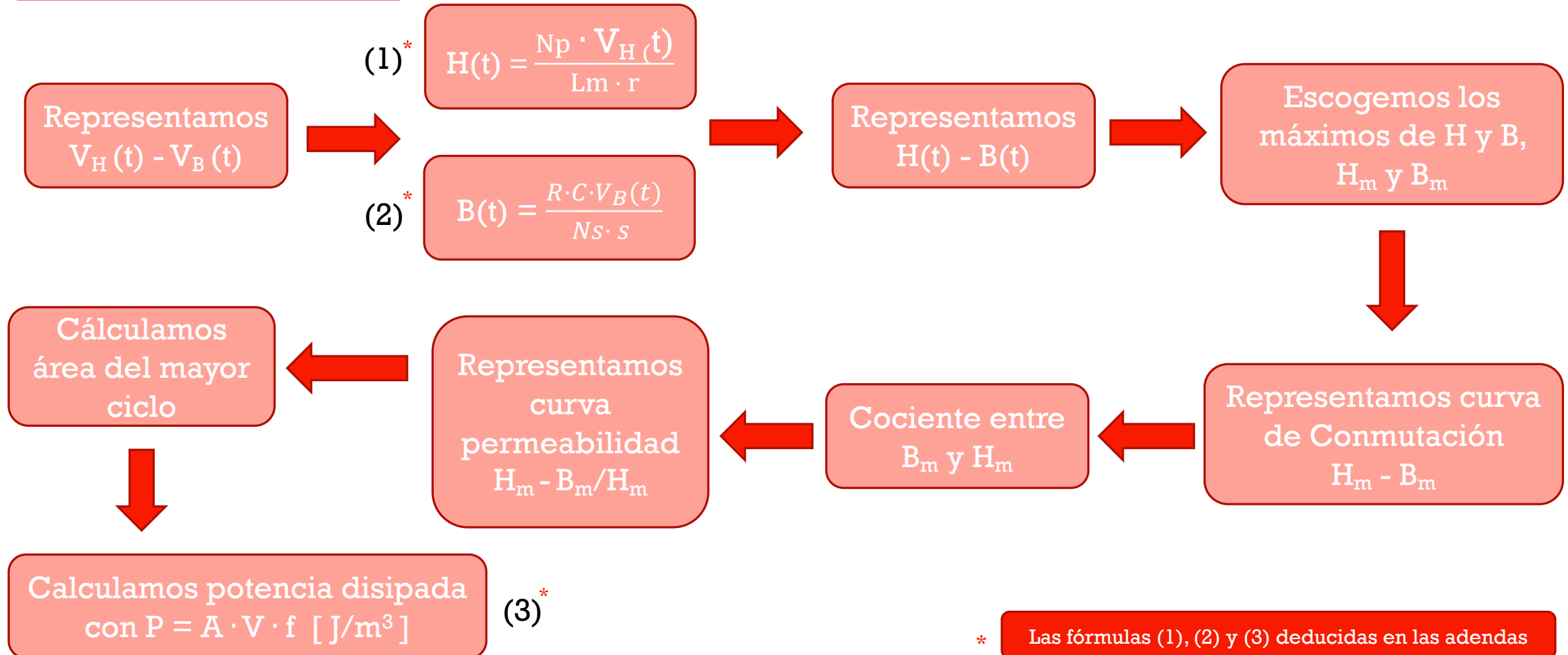
Salvación



```
24 def recolector(nombre):
25     with open('{}.txt'.format(nombre), 'r') as f:
26         # Leer el contenido del archivo
27         lines = f.readlines()
28
29         # Encontramos en que punto esta alguna informacion interesante
30         Encabezado = [i for i, line in enumerate(lines) if "Waveform Data" in line]
31         irho = [i for i, line in enumerate(lines) if "Vertical Scale" in line]
32         nrho = 0
33         if irho != []:
34             partes = lines[irho[0]].split(',')
35             valor, potencia = partes[-2].split('E')
36             nrho = float(valor) * pow(10, int(potencia))
37         # sacamos los valores de la tabla
38         inicio = Encabezado[0] + 1
39         primera = []
40         for line in lines[inicio:-1]:
41             partes = line.split()
42             for j in range(len(partes)):
43                 numero = float(partes[j].replace(',', '.'))
44                 if j == 0:
45                     primera.append(numero)
46         return np.array(primera) * (nrho/25) |
```

Datos y Resultados

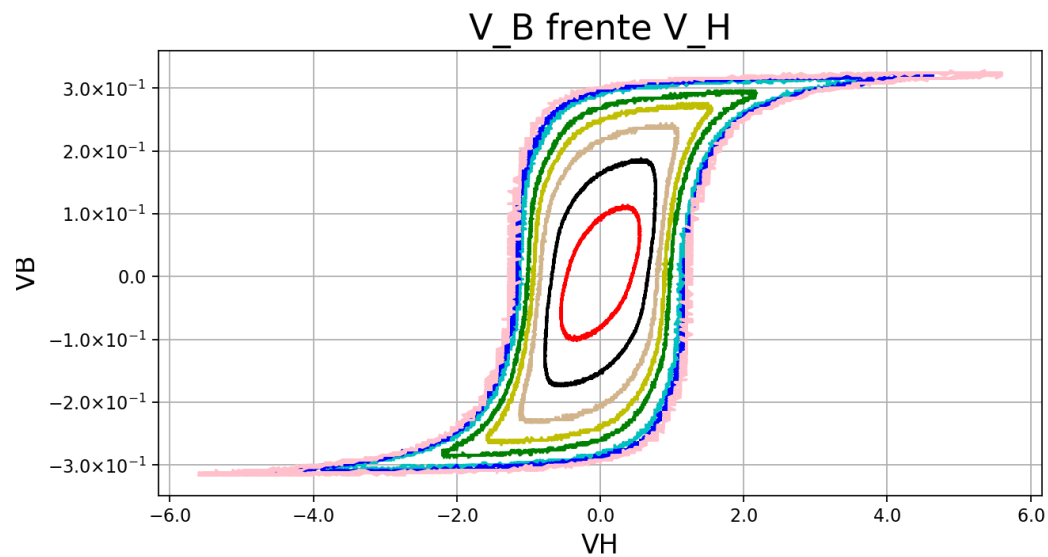
Análisis datos- Resumen



Datos y Resultados

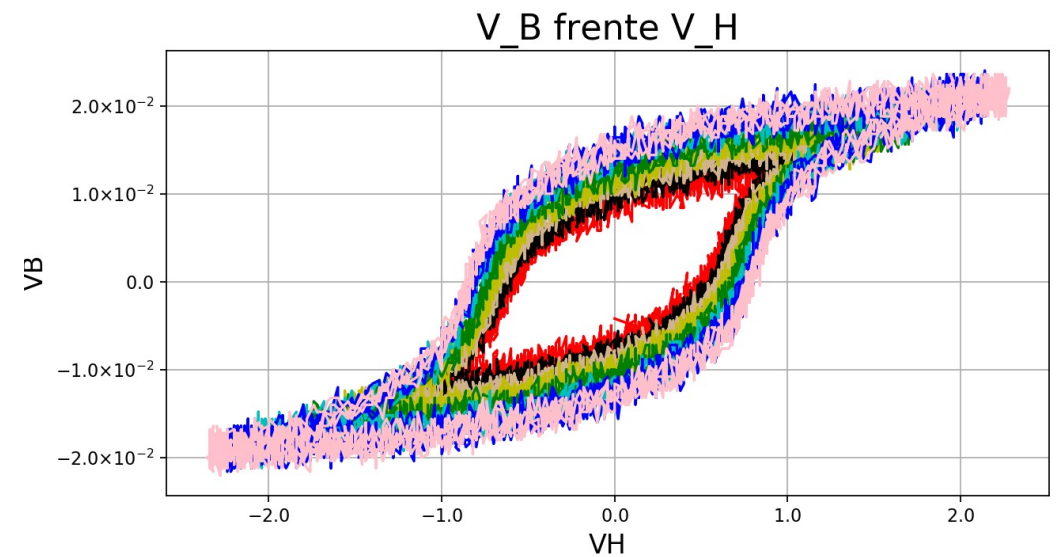
Análisis datos- Voltajes

Anillo Toroidal Fe



Ciclo histéresis en formación

Anillo Toroidal Ferrita

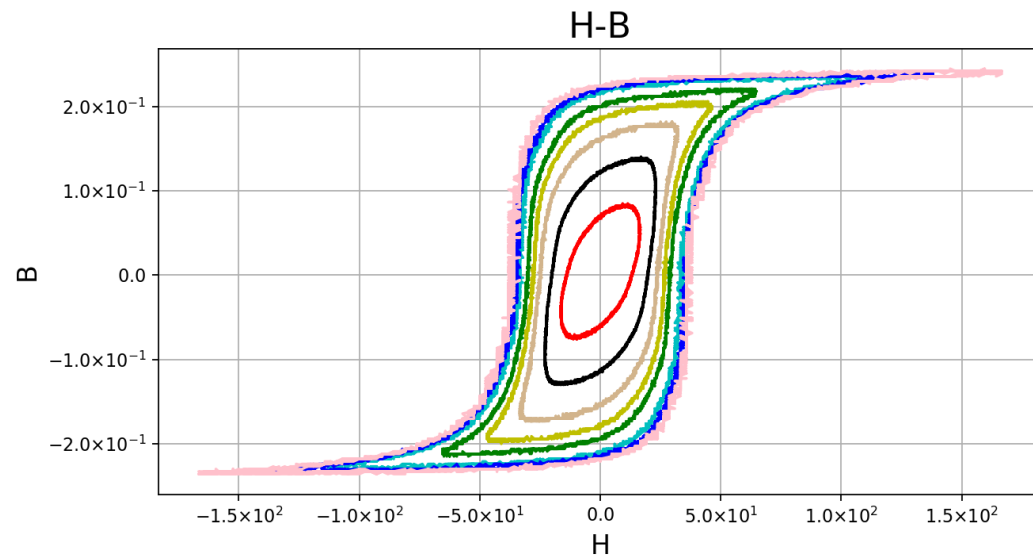


Ciclo histéresis ya formado

Datos y Resultados

Análisis datos- Campos H-B

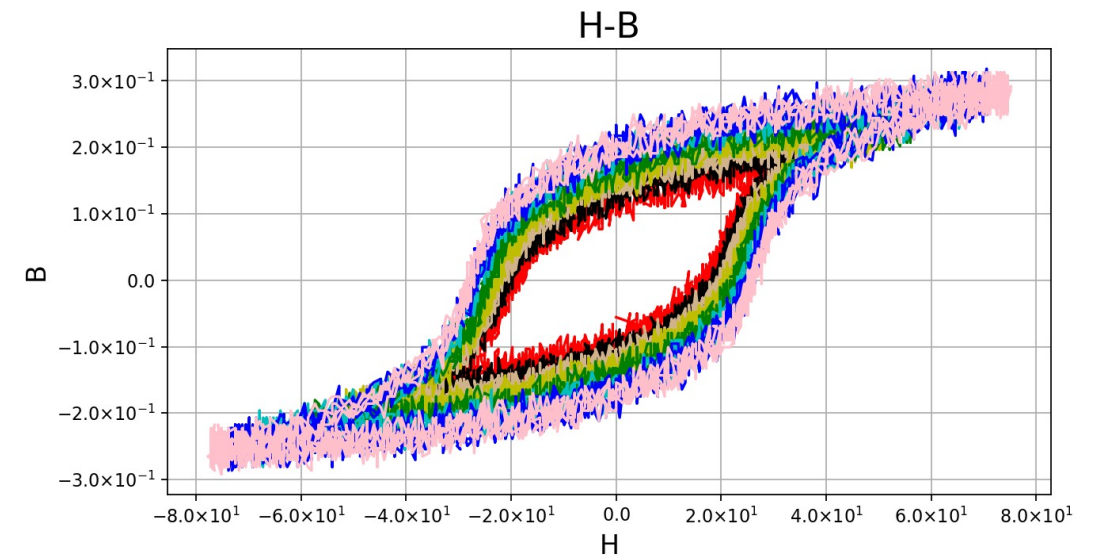
Anillo Toroidal Fe



Campo remanencia $B_{OR} \approx 0.22$ [T]

Campo coercitivo $H_{C0} \approx 35$ [A/m]

Anillo Toroidal Ferrita



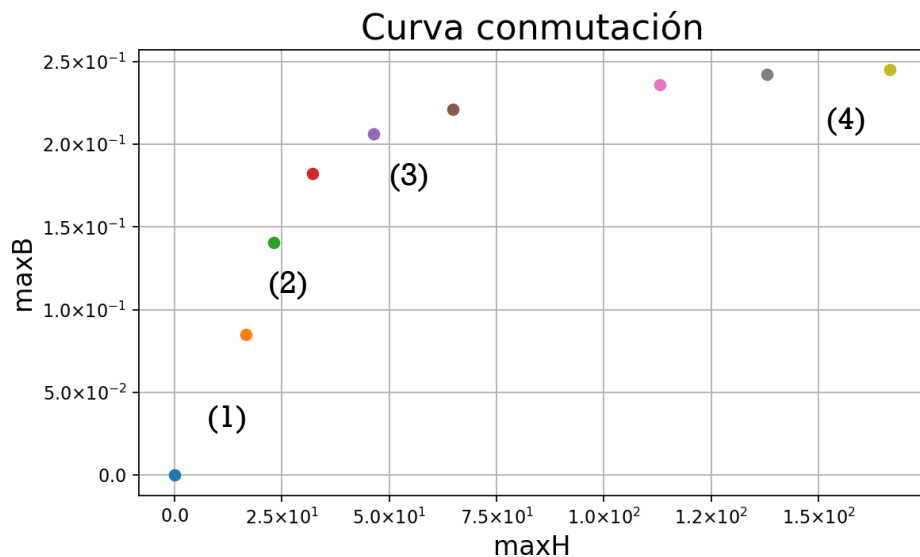
Campo remanencia $B_{OR} \approx 0.25$ [T]

Campo coercitivo $H_{C0} \approx 25$ [A/m]

Datos y Resultados

Análisis datos- Curva Conmutación

Anillo Toroidal Fe

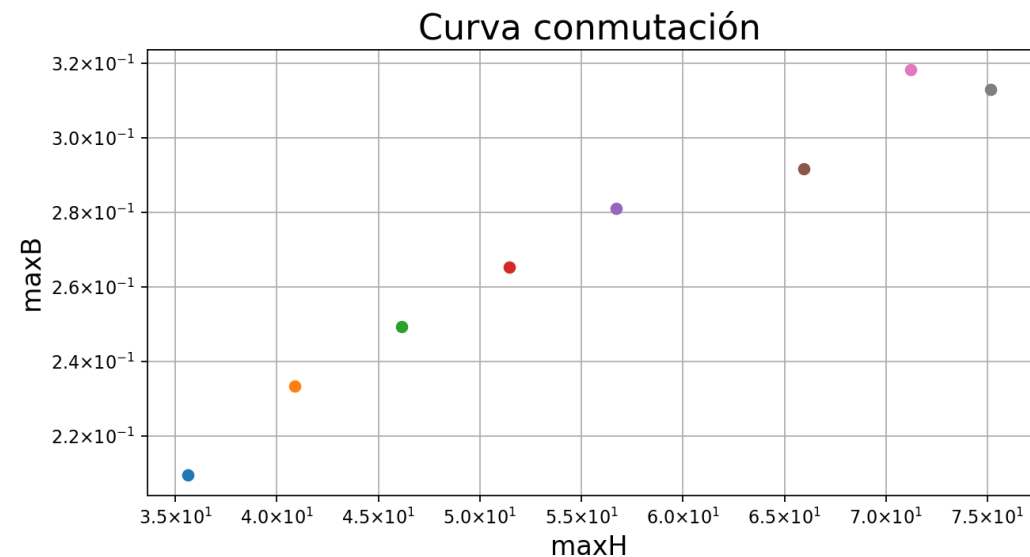


Curva conmutación completa



Parabólico (1)
Lineal (2)
Codo (3)
Saturada (4)

Anillo Toroidal Ferrita



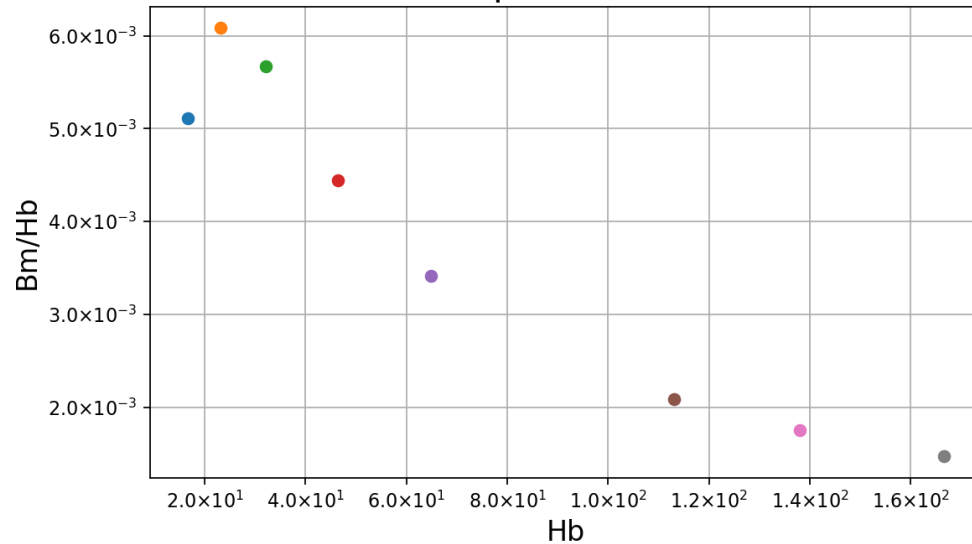
Parte Codo curva conmutación

Datos y Resultados

Análisis datos- Curva Permeabilidad

Anillo Toroidal Fe

Curva permeabilidad



Perm. Mag. 0 = 0.0051

$\frac{1}{\mu_0}$

4056.45 [SI]

Perm. Mag. Max. = 0.0061

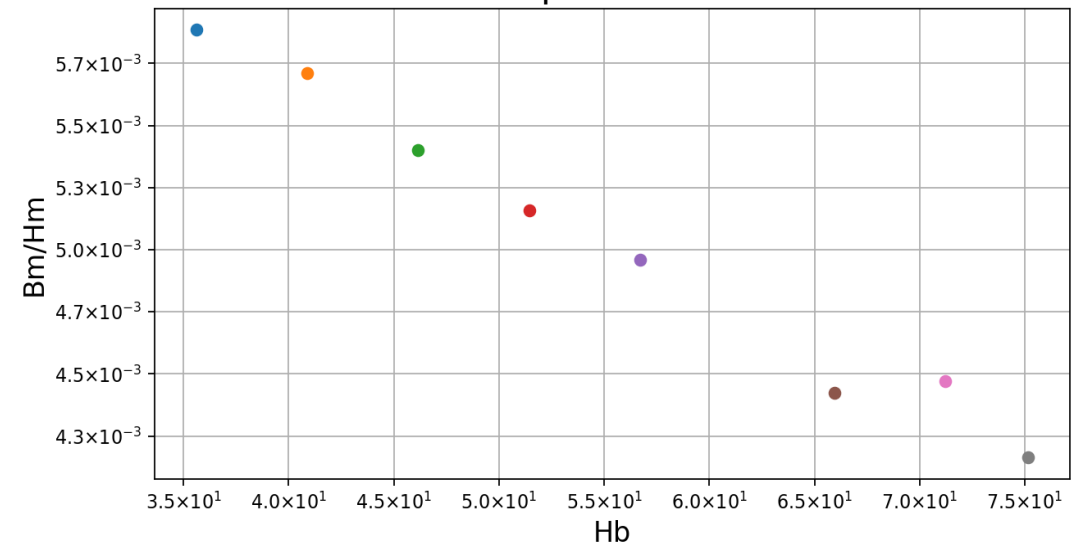
4854.23 [SI]

Real

5000 [SI]

Anillo Toroidal Ferrita

Curva permeabilidad



Perm. Mag. 0 = 0.0058 [SI]

$\frac{1}{\mu_0}$

4615.49 [SI]

Por solo tomar la parte saturada solo podemos determinar la "inicial"

Datos y Resultados

Análisis datos- Potencia disipada

```
133 def area_encerrada(x_coords, y_coords):
134
135     '''
136     Calcula el área encerrada por una gráfica dadas dos listas
137     de coordenadas (x,y) utilizando el método del trapecio.
138     '''
139     area = 0.0
140     n = len(a15)
141
142     for i in range(n-1):
143         x1, y1 = a15[i], a16[i]
144         x2, y2 = a15[i+1], a16[i+1]
145
146         # Área del trapecio
147         a = (x2 - x1) * (y1 + y2) / 2.0
148         if a > 0:
149             area += a
150         else:
151             area -= a
152
153     return abs(area)
```

Área Ciclo
Toroide Fe [m²]

$$A_{\text{Fe}} = 34.78$$



$$P_{\text{Fe}} = 0.41$$

Área Ciclo Toroide
Ferrita [m²]

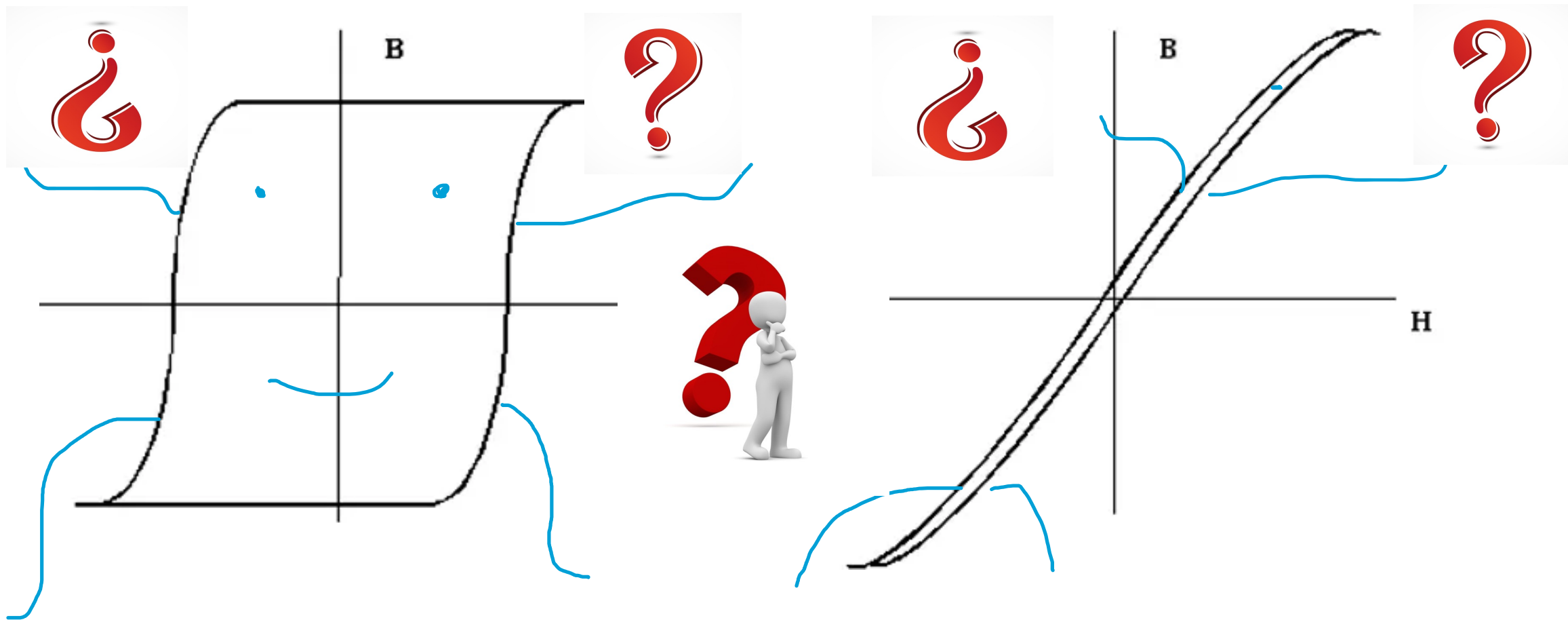
$$A_{\text{Ferrita}} = 0.73$$



$$P_{\text{Ferrita}} = 0.01$$

$$P = A \cdot V \cdot f \text{ [J/m}^3 \text{]}$$

Dudas y Preguntas



Adenda 1

Deducción (1)

H(t) proporcional
a las corrientes
circuito por Ley
Ampère

$$\oint H(t) \cdot dl = Np I(t)$$

Despreciamos la I_B dado
que la impedancia
suministrada a B es muy
grande, y entonces $I = I_H$

$$H(t) = \frac{Np \cdot V_H(t)}{Lm \cdot r}$$

Medimos una onda
proporcional a H(t)

H(t) será proporcional a I_H
Y midiendo la diferencia de
potencial de R

Adenda 2

Deducción (2)

Partimos de $\Phi(t) = \oint B(t) \cdot dS$

B es uniforme y tiene la misma dirección de que el vector de superficie

$$\Phi(t) = B \cdot S$$

$$\varepsilon(t) = - Ns \cdot S \cdot \frac{dB(t)}{dt}$$

Despreciando las pérdidas y aplicando Ley de Faraday

$\Phi(t)$ tiene una forma sinusoidal
 $\Phi(t) = \Phi_{\max} \cdot \cos(\omega t)$

Suponiendo que $I_B(t) = \varepsilon(t) / R$ y planteando la ec. del diferencia de potencial

$$B(t) = \frac{R \cdot C \cdot V_B(t)}{Ns \cdot S}$$

Adenda 3

Deducción (3)

Suponiendo que el circuito que disponemos varía sinusoidalmente con el tiempo

La energía comunicada por la fuente al solenoide en dt será:
 $dE = V(t) \cdot I(t) dt$

Con $V(t) = N \cdot S \cdot dB/dt$

Si se realiza un ciclo de histéresis completo, el área encerrada por este será la energía acumulada en el material por unidad de volumen y de ciclo

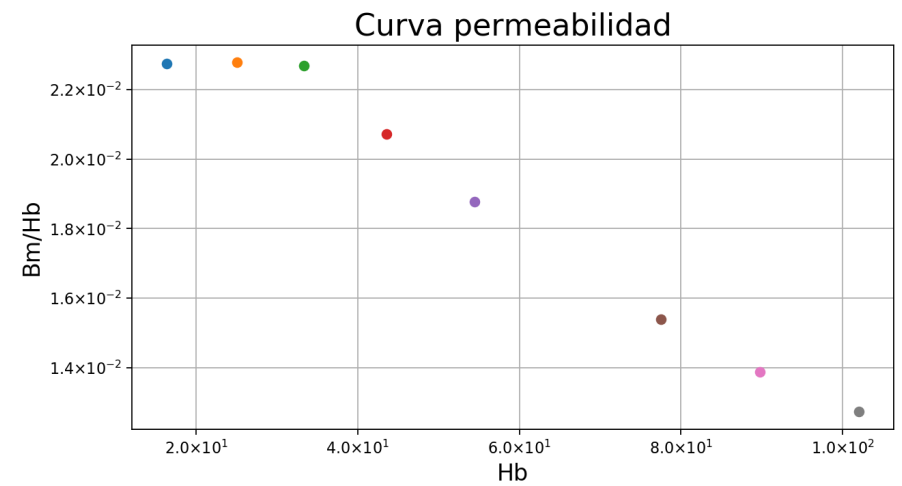
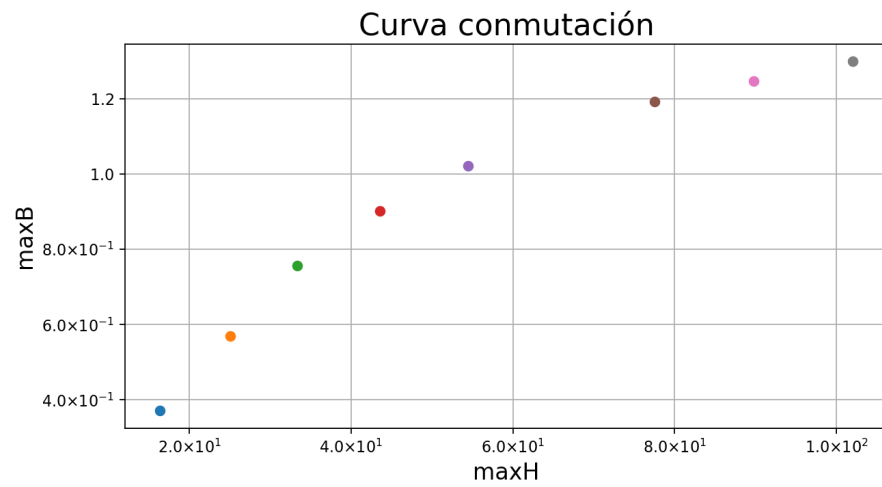
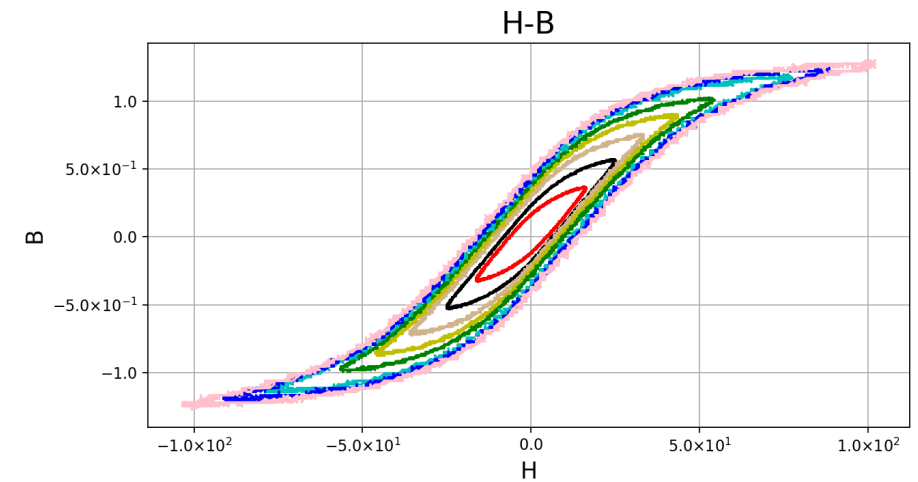
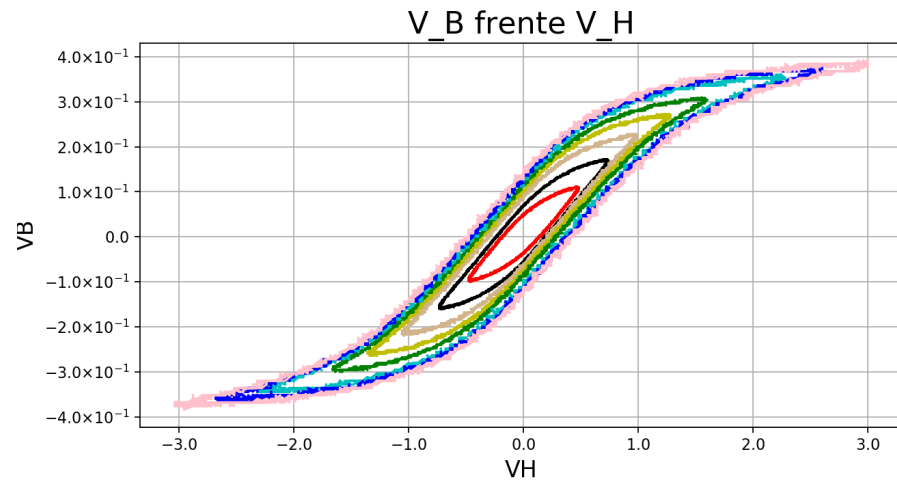
$$V(t) \cdot I(t) dt = S \cdot L \cdot H dB$$

Teniendo en cuenta las dos ec. anteriores y la Ley de Ampère para el solenoide

$$P = f \cdot S \cdot L \cdot (\text{área BH}) = A \cdot V \cdot f$$

Adenda 4

Núcleo Fe en U



Bibliografía

- [1] <https://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Circuitos%20magn.pdf>
- [2] https://www.fisicarecreativa.com/informes/infor_em/HisteresisUF2007.pdf
- [3] <https://fhuesogonzalez.mgh.harvard.edu/carrera/3o/teem/p8histeresistransformadores.pdf>
- [4] https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/E/E04/es_IEA_E04_Contenidos/website_2_permeabilidad_magntica.html
- [5] Guión Prácticas Ciencia de los Materiales 2022/2023
- [6] Apuntes Propiedades Magnéticas de los Materiales Tema 2- Magnetismo