



66.02 LABORATORIO

Trabajo Práctico Integrador: **Determinación del ciclo de histéresis en materiales ferromagnéticos**

Padrón	Alumno	Dirección de correo
102592	Gandolfo Mariet, Joaquín	jgandolfo@fi.uba.ar
101148	Feijoo, Sofia	sfeijoo@fi.uba.ar
103207	Viñas, Francisco Nicolás	fvinas@fi.uba.ar

Índice

1. Objetivo	2
2. Introducción teórica	2
2.1. Materiales ferromagnéticos	2
2.2. Tipos de Materiales Magnéticos	2
2.3. Ciclo de histéresis	3
3. Detalles experimentales	3
3.1. Transformadores	3
3.2. Circuito	4
3.3. Materiales	4
4. Simulación	5
5. Resultados y análisis	7
5.1. Mediciones con osciloscopio	7
5.2. Mediciones con multímetro	8
6. Conclusiones	10

1. Objetivo

El objetivo de este trabajo es reconstruir el ciclo de histéresis de un material ferromagnético no lineal mediante la utilización de algunos instrumentos.

2. Introducción teórica

2.1. Materiales ferromagnéticos

Los materiales ferromagnéticos están compuestos por moléculas que se comportan como pequeños imanes. Cada una de estas tienen sus correspondientes polos positivo y negativo. En un estado inicial podemos pensar que estas moléculas tienen una orientación aleatoria y como consecuencia sus campos magnéticos se cancelan entre sí de forma tal que el material parece no tener propiedades magnéticas. Una vez que se le aplica un campo externo a un material ferromagnético, las moléculas se orientan en el sentido del campo, provocando que los campos magnéticos de cada molécula se sumen y el material se comporte como un imán.

2.2. Tipos de Materiales Magnéticos

Se pueden clasificar los materiales según su comportamiento magnético. Observando la **permeabilidad magnética del vacío** (μ_0) del material podemos definir a los materiales diamagnéticos como aquellos tales que $\mu < \mu_0$ y los materiales paramagnéticos como aquellos tales que $\mu > \mu_0$.

Siendo \vec{M} la imantación del material, la ecuación de definición del magnetismo es:

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$$

Los materiales **ferromagnéticos** se caracterizan por su fuerte comportamiento no lineal entre \vec{B} y \vec{M} . Además, refuerzan al campo externo de una manera muy intensa, su permeabilidad es muy grande $\mu \gg \mu_0$. Una característica clave de estos materiales para explicar el fenómeno de histéresis es que pueden mantener la magnetización en ausencia de un campo externo.

Se llama **curva de imantación** a la curva que representa la inducción \mathbf{B} en función de \mathbf{H} (intensidad de campo magnético). En la figura 1 podemos ver esta curva cuando se aplica un campo \mathbf{H} creciente. En esta misma figura se pueden apreciar 3 zonas diferentes. Para poder obtener la curva de histéresis debemos alcanzar la zona de saturación.

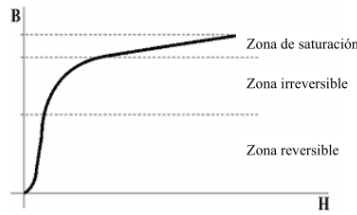


Figura 1: Curva de imantación o magnetización

2.3. Ciclo de histéresis

En los materiales ferromagnéticos la relación entre la magnetización y el campo externo aplicado no es lineal y depende de la historia previa del material. Este fenómeno se denomina histéresis.

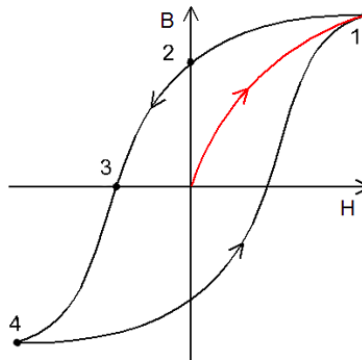


Figura 2: Curva histéresis

3. Detalles experimentales

3.1. Transformadores

Los transformadores se basan en la inducción electromagnética. Al aplicar una fuerza electromotriz en el devanado primario, es decir una tensión, se origina un flujo magnético en el núcleo de hierro. Este flujo viajará desde el devanado primario hasta el secundario. Con su movimiento originará una fuerza electromagnética en el devanado secundario.

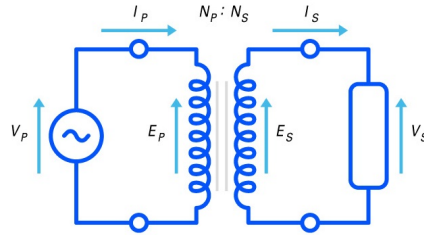


Figura 3: Esquema básico de funcionamiento de un transformador ideal

3.2. Circuito

El material a estudiar es un toroide que constituye el núcleo de un transformador de 220V a 12V. Este transformador cuenta con un bobinado primario y uno secundario, y por él circulan los campos B y H.

El circuito primario conectado al transformador está compuesto por un generador de corriente y una resistencia de 1Ω . El circuito secundario está compuesto por una resistencia de $320\text{K}\Omega$ y un capacitor de $1\mu\text{F}$. Ambas resistencias y el capacitor están conectados en serie con el circuito correspondiente del transformador, y el generador de corriente alimenta al circuito primario con una corriente alterna de 220V a 50Hz que produce una corriente en el circuito secundario.

Además, se conecta un canal de un osciloscopio a la resistencia primaria para medir la caída de tensión y el otro canal al capacitor.

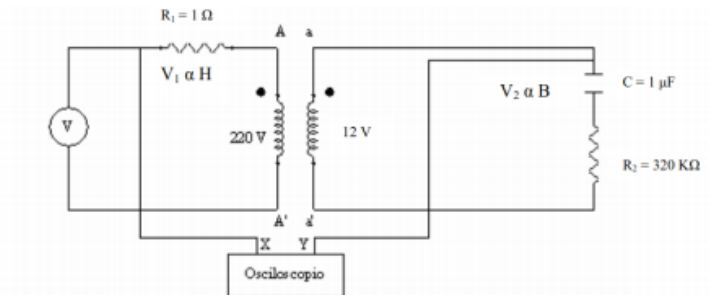


Figura 4: Circuito

3.3. Materiales

Para poder armar el circuito y realizar las mediciones correspondientes se necesitan los siguientes materiales:

- Osciloscopio

- Núcleo de hierro
- Generador
- Resistencias
- Capacitor
- Multímetro

4. Simulación

Se simuló el transformador utilizando el simulador TINA.

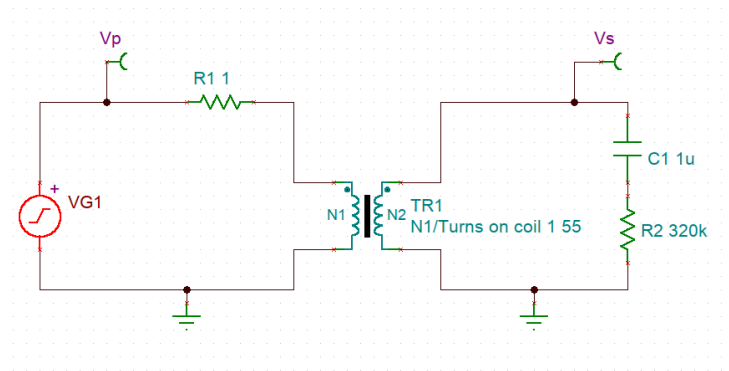


Figura 5: Simulación del circuito

Los valores de las resistencias y el capacitor, como indica la figura anterior, son los mismos que los mencionados en los detalles experimentales.

La fuente simulada es ideal y genera una señal sinusoidal con una amplitud de 220V y frecuencia de 50Hz.

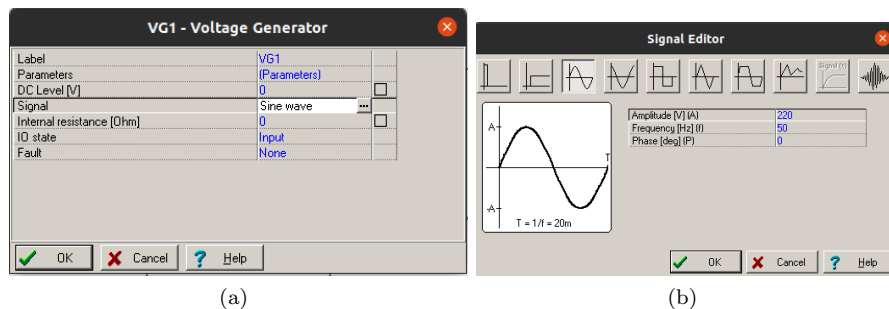


Figura 6: Configuración del generador de corriente

El transformador es de tipo no lineal y los valores de N1 y N2 fueron elegidos de modo que se cumpla la relación $\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$ siendo:

- N_p la cantidad de vueltas del bobinado del circuito primario
- N_s la cantidad de vueltas del bobinado del circuito secundario
- V_p el potencial del circuito primario
- V_s el potencial del circuito secundario

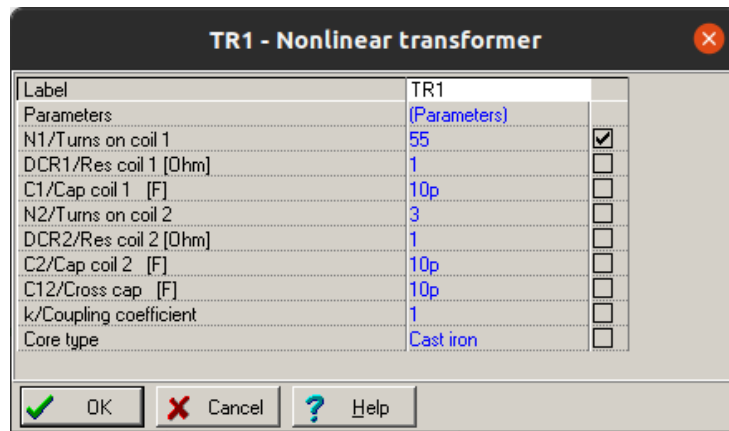


Figura 7: Configuración del transformador

El núcleo del transformador del cual obtenemos la curva de histéresis es de hierro fundido.

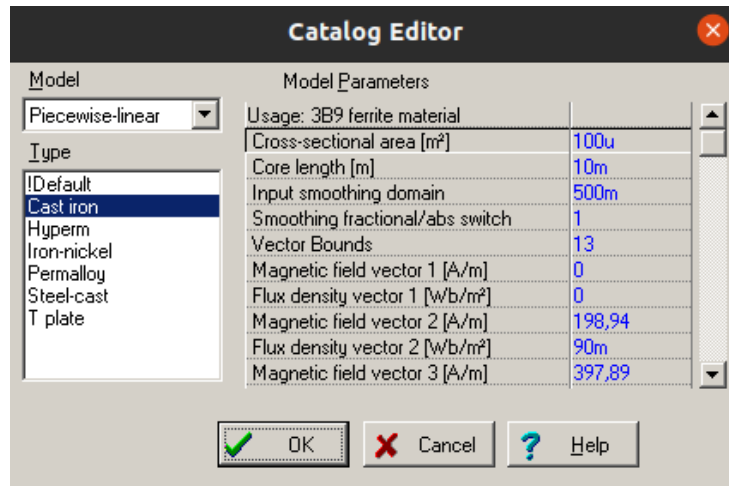


Figura 8: Características del núcleo

5. Resultados y análisis

5.1. Mediciones con osciloscopio

Con los canales del osciloscopio conectados a la resistencia R_1 y al capacitor C_1 podemos obtener las señales en V_p y V_s (ver las figuras 9 y 10)

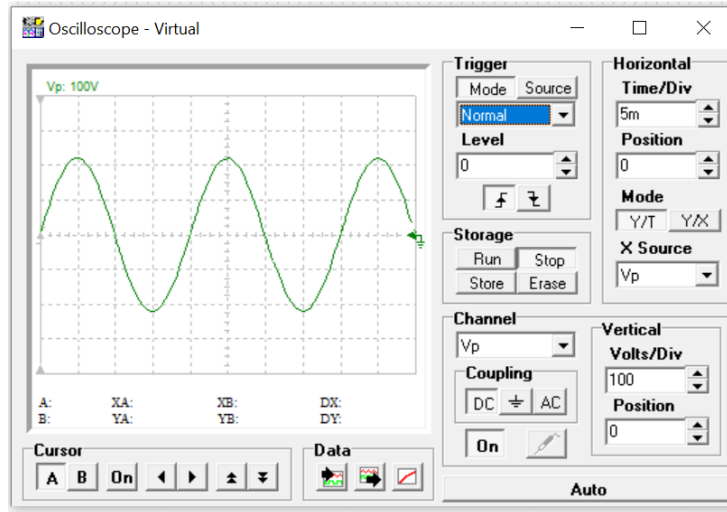


Figura 9: Señal en la salida V_p

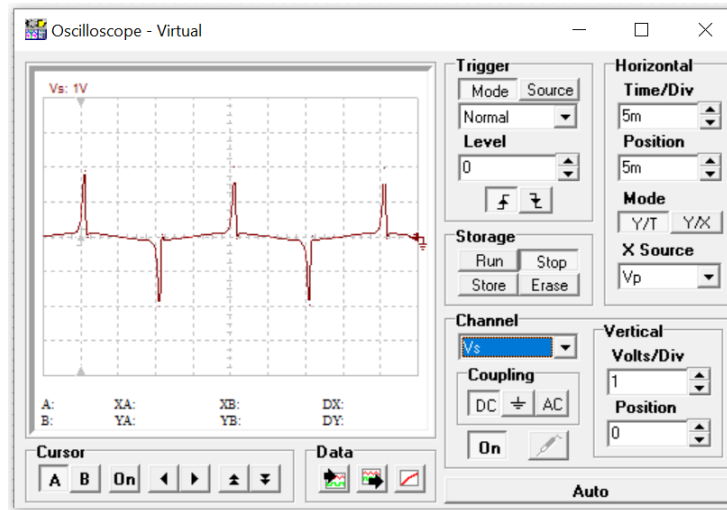


Figura 10: Señal en la salida V_s

Para obtener una curva proporcional a la curva de histéresis ponemos el osciloscopio en el modo XY, configurado como se muestra en la figura 11. Decimos que es proporcional ya que el gráfico que vemos en el osciloscopio es de V_p en función de V_s , siendo V_p proporcional a H y V_s proporcional a B , según la ley de Ampere.

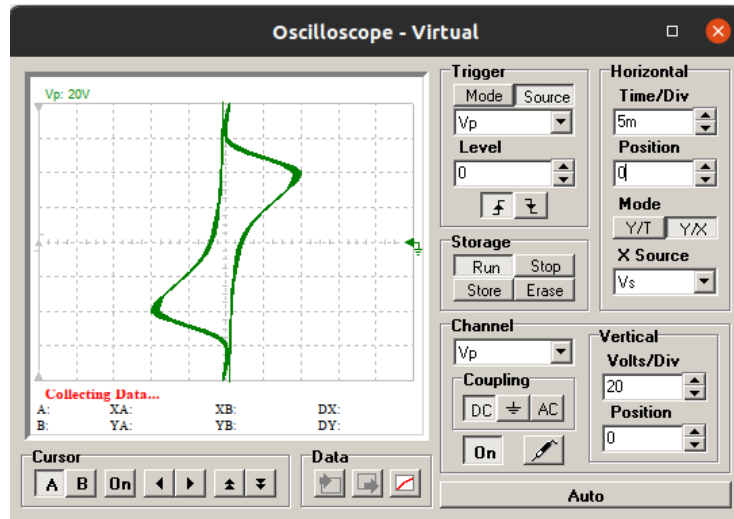


Figura 11: Curva de histéresis

5.2. Mediciones con multímetro

Para verificar que el transformador esté funcionando como esperabamos, realizamos algunas mediciones con un multímetro. En primer lugar, medimos la tensión en V_p y V_s con un multímetro digital. El instrumento mide 155,56V (ver figura 12) y 7,69V (ver figura 13) respectivamente.

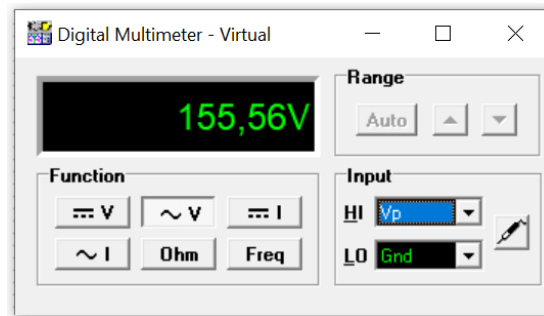


Figura 12: Medición de tensión con multímetro digital en V_p

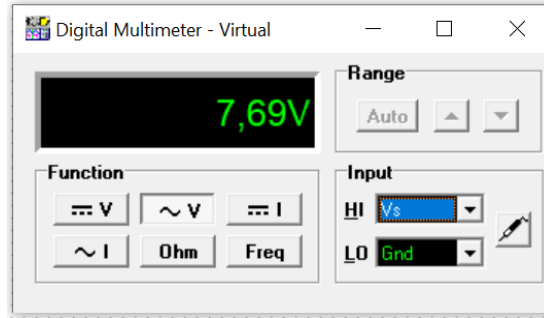


Figura 13: Medición de tensión con multímetro digital en V_s

La primera medición sobre V_p tiene sentido porque estamos midiendo directamente la tensión que sale del generador. La señal del generador es una senoidal de amplitud 220V. Para obtener teóricamente lo que mediría un multímetro digital de valor eficaz verdadero (AC) tenemos que rectificar la señal, elevarla al cuadrado y obtener el valor eficaz. Es decir, el valor observado por el instrumento está dado por la siguiente formula:

$$V_{RMS(AC)} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot Area[v^2(t)]}$$

La frecuencia es 50Hz entonces el periodo es $T = \frac{1}{50Hz} = 0,02s$

$$Area[v^2(t)] = \int_0^{T=0,02} = (220 \cdot \text{sen}(2\pi \cdot 50 \cdot x))^2 dx = 484$$

Entonces,

$$V_{RMS(AC)} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot Area[v^2(t)]} = \sqrt{\frac{1}{0,02} \cdot 484} = 155,56V$$

Esto es exactamente lo que obtuvimos a partir de la simulación.

En el segundo circuito medimos la tensión en V_s y obtuvimos que su valor es 7,69V. Este es el valor de la señal que se muestra en la figura 10. En este caso no es posible verificar de manera teórica este resultado obtenido experimentalmente ya que la señal no tiene forma senoidal, sino que está muy deformada producto de la saturación del núcleo. Si se modificara el valor pico y la frecuencia utilizados por valores más pequeños, observaríamos que las señales del circuito primario y secundario son ambas senoidales perfectas. El problema es que de utilizar estos valores pequeños, nunca se saturaría el núcleo y no podríamos construir la curva de histéresis.

También medimos las corrientes que circulan por R_1 y R_2 con un multímetro digital. Con el instrumento obtenemos 32,81A (ver figura 14) y 24,04μA (ver figura 15) respectivamente.

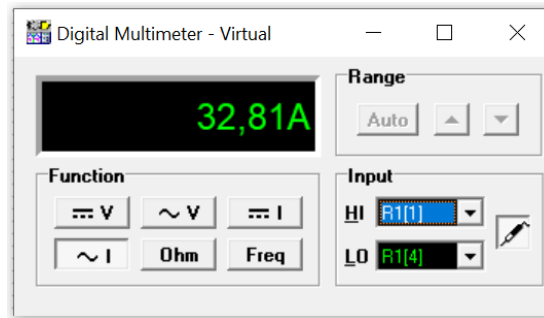


Figura 14: Medición de corriente sobre R_1

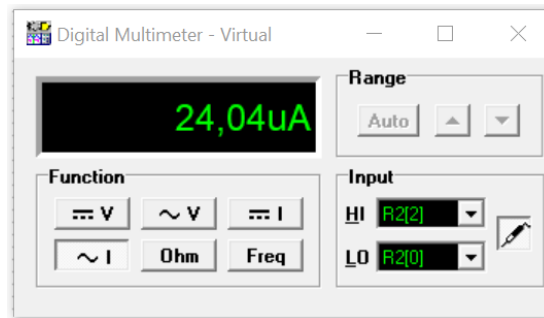


Figura 15: Medición de corriente sobre R_2

6. Conclusiones

Podemos concluir que la utilización de un osciloscopio para construir la curva de histéresis de un material ferromagnético no lineal es de suma utilidad. Este instrumento nos permitió construir el gráfico de una señal en función de otra de manera automática, mientras que de haber utilizado otro instrumento, como un voltímetro por ejemplo, deberíamos haber recolectado una gran cantidad de mediciones variando otros parámetros para luego construir la curva de manera manual. Sin embargo utilizamos voltímetro y amperímetro para realizar mediciones complementarias que verifiquen los resultados obtenidos con el osciloscopio.

También es importante destacar que el armado de la curva de histéresis fue posible ya que trabajamos con corriente alterna. De haber trabajado con corriente continua, no se habría generado una corriente inducida en el circuito secundario del transformador.