

## PRÁCTICA # 3

### PRINCIPIOS DE ELECTROMAGNETISMO

#### OBJETIVO

- 1.- El alumno comprenderá los factores que intervienen en la formación de un campo magnético en una estructura ferromagnética.

#### INTRODUCCIÓN

Recordemos que las primeras fuentes de energía eléctrica que creó el hombre fueron las baterías (inventadas por Volta) por lo que los primeros estudios de los campos magnéticos se realizaron en corriente directa (C.D.). Los científicos de esa época descubrieron que al circular una corriente por un conductor se producía un campo magnético. Posteriormente observaron que si el conductor lo doblaban en forma de espiral el campo magnético se hacía más fuerte, sin embargo, la fuerza de atracción hacia objetos metálicos que contuvieran hierro era muy débil. En la búsqueda de fortalecer el campo magnético, enrollaron el conductor en varios tipos de materiales (núcleo), descubriendo que, los ahora denominados ferromagnéticos, favorecían dicho objetivo, creándose así los primeros electroimanes.

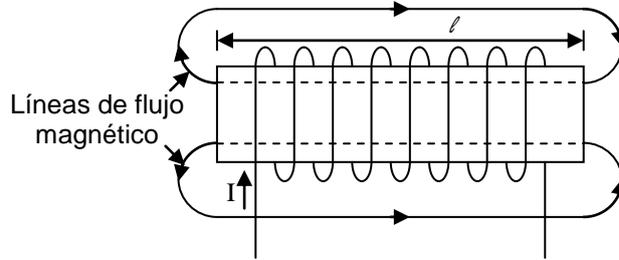


Figura 3.1

Analizando el solenoide de la figura 3.1, el cual está alimentado en C.D., tenemos que la densidad de flujo magnético **B** está definida por la ecuación:

$$B = \frac{\mu NI}{\ell} \dots (1)$$

Y la inductancia correspondiente es:

$$L = \frac{\mu N^2 A}{\ell} \dots (2)$$

Donde	L	Inductancia del solenoide
	I	Corriente a través del solenoide
	$\mu$	Permeabilidad del medio
	N	Número de vueltas o espiras del solenoide
	$\ell$	Longitud del solenoide
	B	Densidad de flujo magnético
	A	Área de la sección transversal del solenoide

De la ecuación (1) podemos deducir que dado un solenoide de N vueltas y longitud  $\ell$ , la densidad de flujo magnético dependerá directamente de la corriente I y la permeabilidad del medio  $\mu$  ó material del núcleo.

De la ecuación (2) observamos que dado un solenoide de N vueltas, longitud  $\ell$  y área A, la magnitud de la inductancia dependerá directamente de la permeabilidad del medio  $\mu$  ó material del núcleo.

Para entender mejor el comportamiento del campo magnético nos concentraremos en el estudio de los circuitos magnéticos. En la figura 3.2 se muestra un ejemplo sencillo de un circuito magnético. Se supone que el núcleo está compuesto de material ferromagnético cuya permeabilidad es mucho mayor que la del aire que lo rodea ( $\mu \gg \mu_0$ ). El flujo magnético está confinado casi enteramente al núcleo; las líneas de campo siguen la trayectoria cerrada que define el núcleo, y la densidad de flujo en el núcleo es esencialmente uniforme a través de una sección transversal, debido a que la superficie de dicha sección es uniforme.

La fuente del campo magnético en el núcleo es el producto ampere-vuelta  $NI$ , y recibe el nombre de fuerza magnetomotriz  $\mathcal{F}$ .

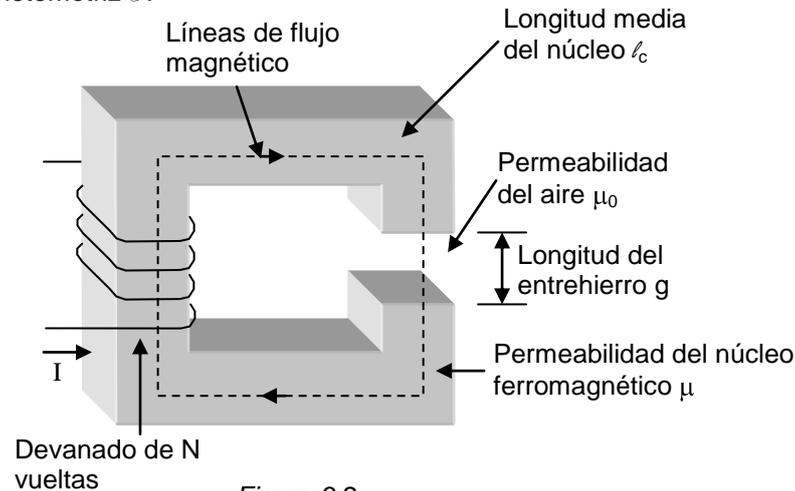


Figura 3.2

Se deja al estudiante investigar sobre los circuitos magnéticos, y corroborar que la ecuación del circuito magnético de la figura 3.2 es:

$$\phi = \frac{\mathcal{F}}{\frac{l_c}{\mu A_c} + \frac{g}{\mu_0 A_c}} \dots (3)$$

Donde  $\mathcal{F}$  Fuerza magnetomotriz  
 $\phi$  Flujo magnético  
 $A_c$  Área de la sección transversal del núcleo

La ecuación (3) nos muestra la relación que existe entre la fuerza magnetomotriz  $\mathcal{F}$ , el flujo magnético  $\phi$ , las longitudes de los elementos en donde se desarrolla el campo magnético ( $l_c$  y  $g$ ) y la permeabilidad de los mismos ( $\mu$  y  $\mu_0$ ). Debido a que la permeabilidad del núcleo ferromagnético es mucho mayor que la del aire, entonces  $\frac{l_c}{\mu A_c} \ll \frac{g}{\mu_0 A_c}$ , por lo que para una

fuerza magnetomotriz constante, la magnitud del flujo magnético estará ligada de manera inversa a la longitud del entrehierro  $g$ . Cabe recordar que el análisis anterior se hace bajo el supuesto de que la permeabilidad del núcleo ferromagnético es constante, lo cual es válido para ciertos valores de fuerza magnetomotriz (investigue el término saturación magnética).

Finalmente, debido a que el laboratorio no cuenta con un instrumento que pueda medir el flujo magnético, nos apoyaremos en la Ley de Faraday para sensar este parámetro. Esta Ley nos dice que cuando un conductor corta líneas de campo magnético, se inducirá en él una fuerza electromotriz (f.e.m.) o voltaje. La expresión matemática es:

$$e_{ind} = -\frac{d\phi}{dt} \dots (4)$$

Observe que la magnitud del voltaje inducido es directamente proporcional a la magnitud del flujo magnético, lo que implica que a mayor flujo magnético, mayor será el voltaje inducido.

## INSTRUMENTOS Y EQUIPO

- 1 Transformador desarmable
- 1 Brújula
- 1 Fuente de alimentación
- 1 Módulo de resistencias
- 1 Módulo de medición de C.D.
- 1 Módulo de voltímetros de C.A.
- 1 Módulo de amperímetros de C.A.
- Cables de conexión

## PROCEDIMIENTO

**ADVERTENCIA:** En esta práctica se manejan *altos voltajes*, por lo que **NO debe realizar ninguna conexión cuando la fuente esté encendida. La fuente se debe de desconectar después de cada medición.**

- 1.- Polarización del campo magnético de un solenoide con núcleo de aire.
- 1.1.- Observe el transformador desarmable, identifique sus partes importantes y desármelo.

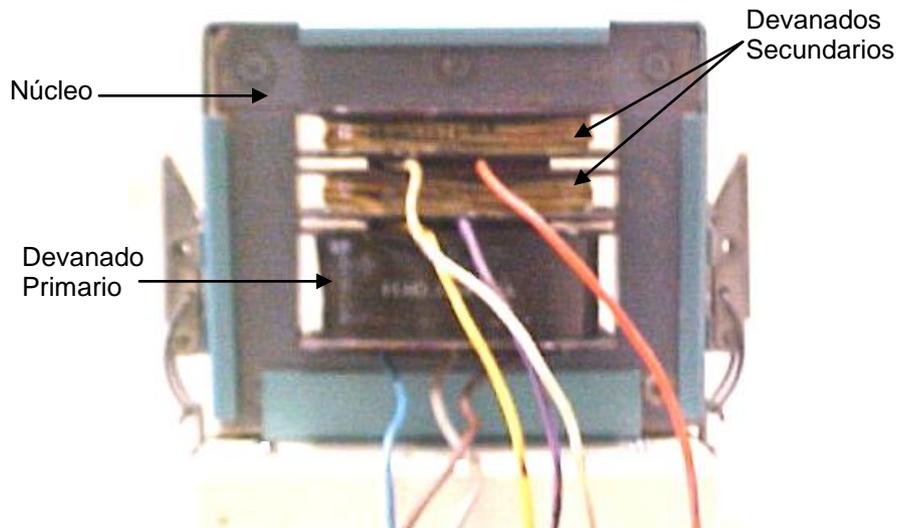


Figura 3.3

- 1.2.- Para verificar la polarización del campo magnético en un solenoide usaremos el devanado primario del transformador. Arme el circuito de la figura 3.4. Observe que la resistencia de  $200\ \Omega$  limitará la corriente que circula a través del circuito RL.

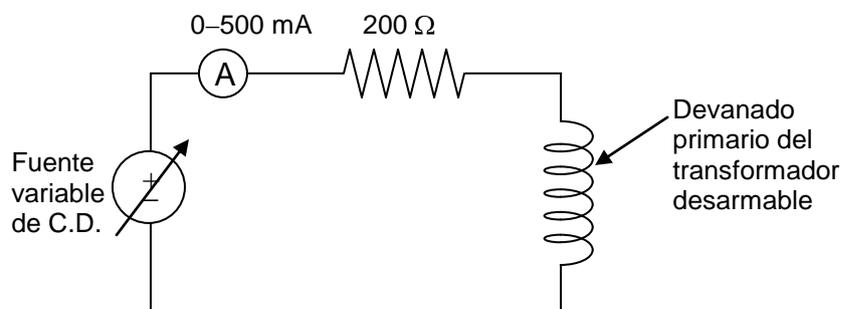


Figura 3.4

- 1.3.- Verifique que la perilla de la fuente variable esté en cero. Energice la fuente y varíe el voltaje de alimentación hasta que el amperímetro indique 400 mA.
- 1.4.- Tome la brújula y acérquela al centro del devanado y observe la orientación de la misma.

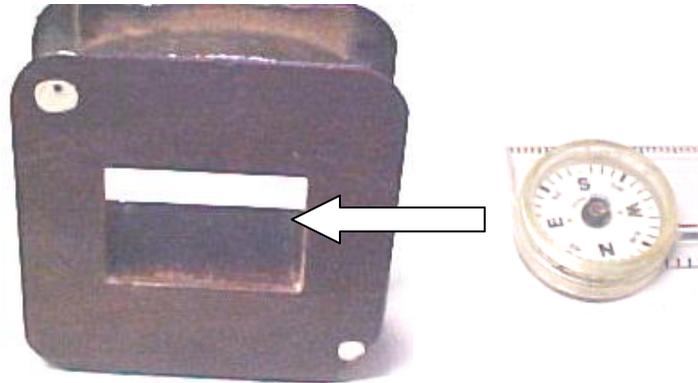


Figura 1.5

- 1.5.- Repita el punto número 3.4 variando la posición de la brújula.
- 1.6.- Reduzca el voltaje a cero y desenergice la fuente de alimentación.
- 1.7.- ¿Indicó la brújula la misma dirección? \_\_\_\_\_  
 Explique ¿por qué? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

- 2.- Relación del flujo magnético y el núcleo del solenoide.
- 2.1.- Coloque los devanados primario y uno de los devanados secundarios sobre la mesa plegable como se observa en la figura 3.6. Recuerde que el devanado secundario lo utilizaremos para sensar el flujo magnético.



Figura 3.6

- 2.2.- Conecte los devanados de acuerdo al circuito de la figura 3.7. Para hacer el campo magnético variable en el tiempo, utilizaremos ahora la fuente variable de C.A.. Recuerde que la inductancia está ligada a la permeabilidad del núcleo (ecuación 2), por lo que al ser éste de aire, su valor será muy pequeño y por lo tanto, la reactancia inductiva también tendrá un valor pequeño, es por ello que se le conecta la resistencia de 200  $\Omega$ , para limitar la corriente que demanda el solenoide.

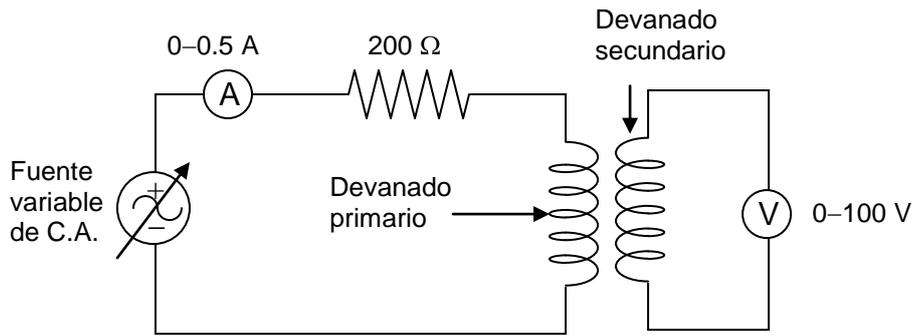


Figura 3.7

- 2.3.- Energice la fuente de alimentación y ajuste la corriente a 0.5 A. Mida y anote el voltaje inducido en el devanado secundario.

$$V_s = \text{_____ V}$$

- 2.4.- Reduzca el voltaje a cero y desenergice la fuente de alimentación.
- 2.5.- Sin desconectar el circuito coloque los devanados sobre el núcleo ferromagnético como se muestra en la figura 3.8.



Figura 3.8

- 2.6.- Energice la fuente de alimentación y ajuste la corriente a 0.5 A. Mida y anote el voltaje inducido en el devanado secundario.

$$V_s = \text{_____ V}$$

- 2.7.- Reduzca el voltaje a cero y desenergice la fuente de alimentación.
- 2.8.- ¿Por qué son diferentes los voltajes inducidos en el devanado secundario ( $V_s$ ) reportados en los pasos 2.3 y 2.6 si se hace circular la misma corriente sobre el solenoide?

---



---



---



---

3.- Circuitos magnéticos

- 3.1.- Coloque la pieza que complementa el núcleo ferromagnético (ver figura 3.9). Observe que no hay entrehierro y por lo tanto el flujo magnético se incrementará y con ello la magnitud de la inductancia.

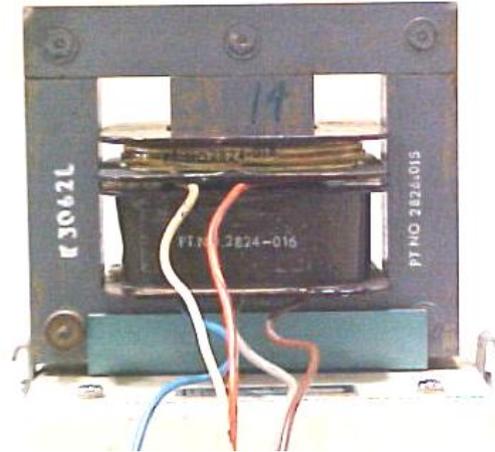


Figura 3.9

3.2.- Arme el circuito que se muestra en la figura 3.10.

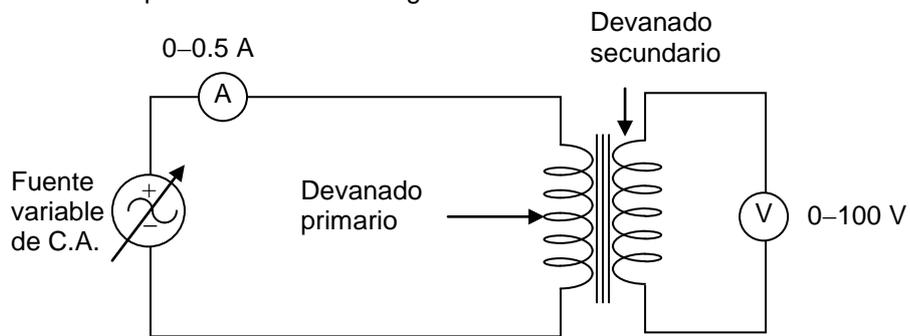


Figura 1.10

3.3.- Energice la fuente de alimentación y ajuste la corriente a 0.22 A. Mida y anote el voltaje inducido en el devanado secundario.

$$V_s = \text{_____ V}$$

3.4.- Reduzca el voltaje a cero y desenergice la fuente de alimentación.

3.5.- Sin desconectar el circuito, cambie la posición del devanado secundario, de acuerdo a lo mostrado en la figura 3.11.

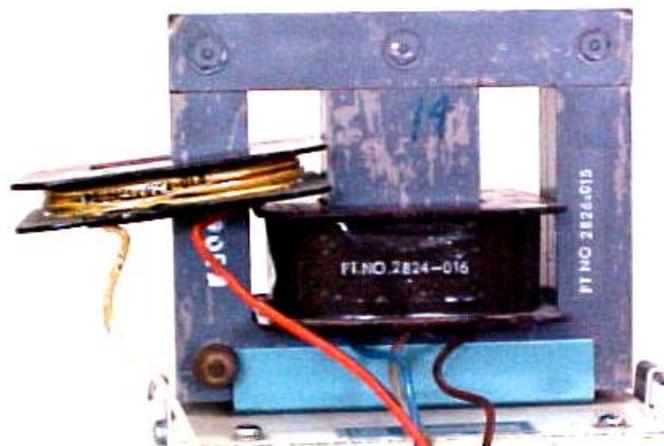


Figura 3.11

3.6.- Energice la fuente de alimentación y ajuste la corriente a 0.22 A. Mida y anote el voltaje inducido en el devanado secundario.

$$V_s = \text{_____} \text{ V}$$

3.7.- Reduzca el voltaje a cero y desenergice la fuente de alimentación.

3.8.- Compare los valores medidos de  $V_s$  en los puntos 3.3 y 3.6 y explique ¿por qué se redujo aproximadamente a la mitad el valor del voltaje inducido?

---

---

---

---

## CUESTIONARIO

1.- ¿Qué determina la polaridad del campo magnético producido por un solenoide alimentado en C.D.?

---

---

---

2.- ¿Qué es un material ferromagnético y para qué sirve?

---

---

---

3.- ¿De qué factores depende la magnitud del campo magnético producido por un solenoide?

---

---

---

4.- De acuerdo al circuito magnético mostrado en la figura 1.11, calcule el valor pico del flujo magnético que detectará el devanado secundario si el devanado primario tiene 100 vueltas y la permeabilidad relativa del núcleo es de  $\mu_r = 70\,000$ . En la figura 1.12 se muestran las dimensiones del núcleo ferromagnético

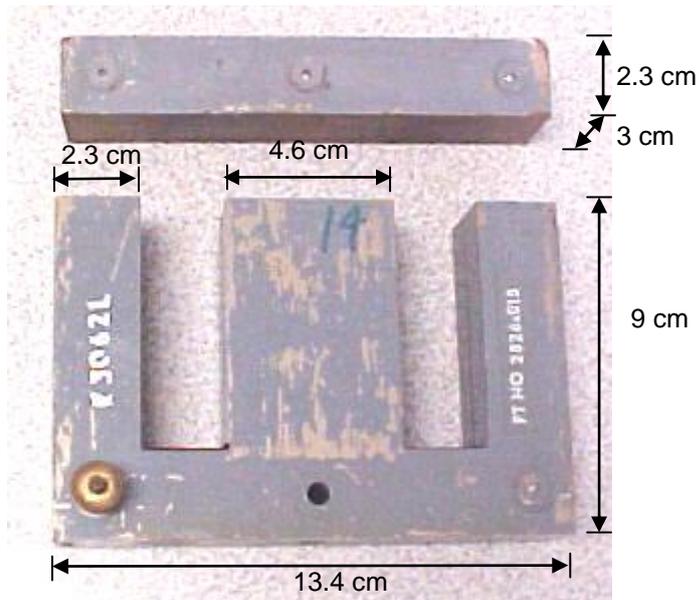


Figura 1.12