

1. DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD MAGNETICA DEL AIRE

1.1. Objetivo

El propósito de esta práctica es determinar el valor de la permeabilidad magnética μ_a del aire. Para ello, se usan dos bobinas; la bobina 1 (inductora) de radio R , se conecta un variac el cual suministra una señal alterna de la forma $V = V_0 \sin 2\pi f$, siendo V_0 la amplitud, y $f = 60$ Hz. La bobina 2 de radio r ($r < R$) se dispone concéntricamente con la bobina 1, y se mide el voltaje V_{ef} eficaz inducido generado por la corriente eficaz I_{ef} que circula por la bobina inductora. A partir de la mediciones de V_{ef} e I_{ef} se determina el valor de μ_a .

1.2. Materiales

- Una bobina¹ (inductora) con radio $R \approx 10.5$ cm y 200 vueltas ó $R \approx 6.5$ cm y 320 vueltas.
- Una bobina con radio $r \approx 13$ mm y 2000 vueltas
- Dos multímetros.
- Cables de conexión.
- Una regla graduada.

1.3. Resumen teórico

Las corrientes eléctricas son las fuentes de campo magnético. El campo magnético creado por una distribución de corriente se calcula a partir de la ley de Biot-Savart. Para el caso de una espira circular de radio R y con corriente i , el valor del campo magnético en un punto P a una distancia x de su centro y a lo largo de un eje que pasa perpendicularmente al plano que contiene la bobina es dado por

$$\vec{B} = \frac{\mu_a i R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \hat{u}$$

donde \hat{u} es una vector unitario en la dirección del eje. Si el valor de la corriente es $i = I_0 \sin(\omega t)$ y si en lugar de una sola espira se tienen N , el valor de campo magnético en el punto x es

$$\vec{B} = \frac{\mu_a I_0 N R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \sin(\omega t) \hat{u}$$

Ahora, si en el punto P se coloca una bobina de radio r y n espiras con $R > r$ concéntrica con la primera, el flujo magnético a través de ésta es aproximadamente dado por

$$\Phi = \frac{\mu_a I_0 N \pi n r^2 R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \sin(\omega t)$$

Como el flujo cambia con el tiempo, entonces la fuerza electromotriz inducida de acuerdo a la ley de Faraday es

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\mu_a I_0 N \pi n r^2 R^2 \omega}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \cos(\omega t)$$

Haciendo uso de los valores eficaces², que es lo que miden los multímetros, entonces el valor eficaz del voltaje inducido es

$$\varepsilon_{ef} = \frac{\mu_a I_{ef} N \pi n r^2 R^2 \omega}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} = B_{ef} r^2 n \omega \pi \quad (1)$$

¹El laboratorio cuenta con dos conjuntos de bobinas: unas con radio $R \approx 10.5$ cm y 200 vueltas y otras con radio $R \approx 6.5$ cm y 320 vueltas. En cada grupo encontrará bobinas de un solo radio, las del otro radio las utiliza el segundo grupo.

²Recuerde que si una señal de corriente o voltaje depende del tiempo de la forma $i = i_0 \sin(\omega t)$, el valor que mediría un amperímetro o voltímetro sería su valor eficaz dado por $i_{ef} = \frac{i_0}{\sqrt{2}}$ ó $v_{ef} = \frac{v_0}{\sqrt{2}}$, la cual es una cantidad constante

donde hemos definido

$$B_{ef} = \frac{\mu_a I_{ef} N R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (2)$$

La ecuación (1) se puede reescribir como

$$\varepsilon_{ef} = K I_{ef} \quad (3)$$

donde

$$K = \frac{\mu_a N n \pi r^2 R^2 \omega}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (4)$$

1.3.1. Métodos de medir μ_a

1. De la ecuación (3) se sigue que para una distancia x fija entre las bobinas, la relación entre el voltaje inducido ε_{ef} en la bobina 2 y la corriente I_{ef} en la bobina 1 es lineal, y por tanto el valor de la pendiente m de la línea recta es K (ver figura 1). Determinado el valor de la pendiente m , el valor de la permeabilidad magnética del aire de la ecuación (4), (con $\omega = 2\pi f$, siendo $f = 60$ Hz) es dado por

$$\mu_a = \frac{m(R^2 + x^2)^{3/2}}{n N \pi^2 r^2 R^2 f} \quad (5)$$

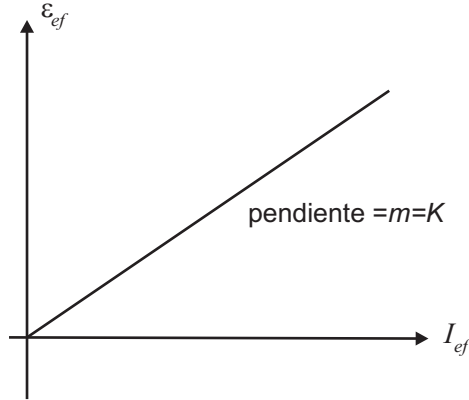


Figura 1: Relación entre ε_{ef} y I_{ef} para una distancia fija x entre las dos bobinas.

2. De las ecuaciones (1) y (2) se sigue que

$$B_{ef} = \frac{\varepsilon_{ef}}{n r^2 2 \pi^2 f} = \mu_a X \quad (6)$$

donde

$$X = \frac{I_{ef} N R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (7)$$

Así, si la corriente en la bobina 1 se mantiene constante entonces la relación entre B_{ef} y X es lineal y la pendiente de ésta línea recta es μ_a (ver figura 2). Note que X es una función de la coordenada x del punto P , que es el lugar donde se encuentra la bobina 2.

1.4. Montaje experimental

El arreglo experimental para determinar la permeabilidad magnética del aire (ver figura 3) consiste esencialmente de dos bobinas ubicadas de modo que los planos que las contienen son paralelos y sus centros están a lo largo del eje x . La bobina 1 ó bobina inductora tiene radio $R \approx 10.5\text{cm}$ y

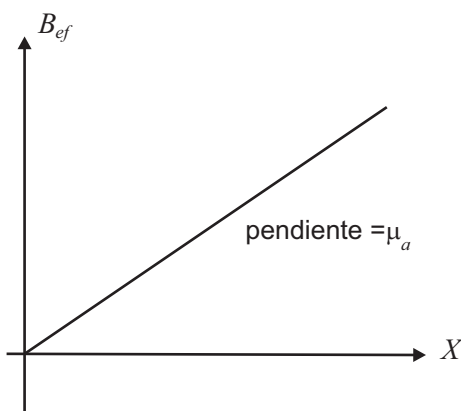


Figura 2: Relación entre el campo magnético efectivo B_{ef} a lo largo del eje x para una corriente I_{ef} fija en la bobina 1.

200 vueltas ó $R \approx 6.5\text{cm}$ y 320 vueltas, y la bobina 2 tiene radio $r \approx 13\text{mm}$ y 2000 vueltas. La bobina 1 se conecta al variac³ cuya tensión o voltaje de salida se puede variar. La corriente a través de la bobina inductora depende de la tensión del variac y se mide con un multímetro conectado en serie. En la bobina 2 se mide el voltaje inducido eficaz mediante el voltímetro en el rango AC.

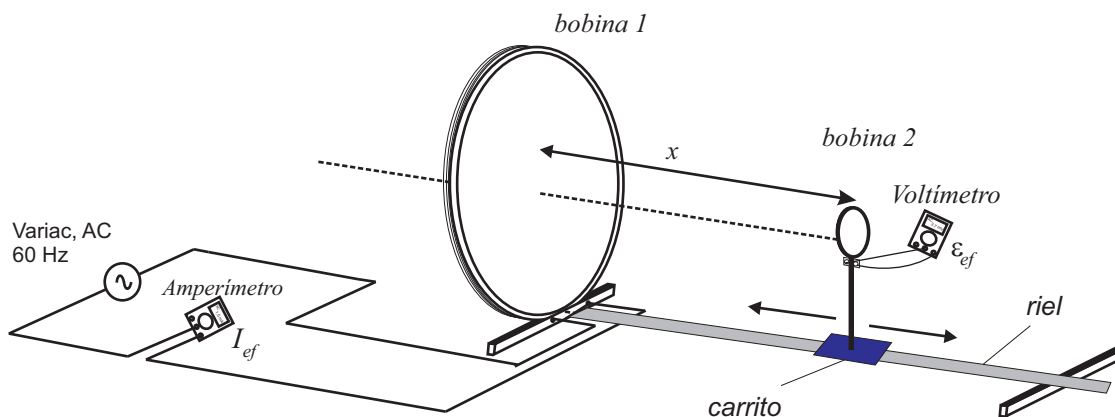


Figura 3: Arreglo experimental para determinar μ_a .

1.5. Mediciones

1. Arme el montaje experimental de la figura 3 y fije la distancia entre las bobinas en cero, es decir $x = 0$. Se sugiere que construya la tabla 1. Grafique ε_{ef} en función de I_{ef} y utilice la ecuación (3) para determinar μ_a .
2. Determine el valor efectivo del campo magnético de la bobina 1 como función de x . Para ello, se sugiere que complete la tabla 2 manteniendo la corriente constante en la bobina 1 igual a 1.7 A. Grafique B_{ef} en función de x y compare sus resultados con los predichos por la ecuación (2).
3. Con los datos obtenidos en la tabla 2 grafique B_{ef} como función de X , donde X es dado por la ecuación (7). De la gráfica obtenga de nuevo μ_a . Compare los resultados obtenidos para μ_a y compárelos con el valor teórico $\mu_a = 1.25663753 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$. Discuta sus resultados.

³El Variac es un transformador con varios devanados reductores conectados a un interruptor rotativo, con el fin de reducir el voltaje AC desde el devanado primario.

Corriente I_{ef} (A)	Voltaje ε_{ef} (V)
0.0	
0.1	
0.2	
0.3	
0.4	
0.5	
0.6	
0.7	
0.8	
0.9	
1.0	
1.1	
1.2	
1.3	
1.4	
1.5	
1.6	
1.7	

Tabla 1: Datos para determinar μ_a

Referencias

- [1] Yuste.M, *Revista Española de Física*, Volumen 10, Numero 1, 1996.
- [2] Serway, R., *FISICA para ciencias e ingeniería*, McGraw-Hill, Tomo 2, México, 2000.

Distancia x (cm)	Voltaje ε_{ef} (V)	$B_{ef} = \frac{\varepsilon_{ef}}{2n\pi^2 f} (\mu T)$
0.0		
0.5		
1.0		
1.5		
2.0		
2.5		
3.0		
3.5		
4.0		
4.5		
5.0		
5.5		
6.0		
6.5		
7.0		
7.5		
8.0		
8.5		
9.0		
9.5		
10.0		
10.5		
11.0		
11.5		
12.0		
12.5		
13.0		
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
25.0		

Tabla 2: Datos para determinar la dependencia del campo magnético efectivo B_{ef} de la posición x , medida a lo largo del eje de la bobina 1. La corriente I_{ef} en la bobina 1 se mantiene fija e igual a 1.7 A.