

CAMPO MAGNÉTICO EN EL INTERIOR DE UNA BOBINA, AUTOINDUCCIÓN Y TRANSFORMADOR.

(Práctica nº 18: Inducción electromagnética)

CARLOS HUERTAS BARRA
FERNANDO HUESO GONZÁLEZ
1º DE FÍSICA Grupo B. L1/2
Práctica realizada el 5-III-08
Informe entregado el 2-IV-08

ÍNDICE

ÍNDICE	- 2 -
RESUMEN.....	- 3 -
CAMPO MAGNÉTICO DE UNA BOBINA	- 3 -
Según la corriente que circula	- 3 -
Según la distancia al centro	- 7 -
TRANSFORMADOR	- 10 -
CONCLUSIÓN.....	- 14 -

RESUMEN

En este experimento se han estudiado algunos fenómenos relacionados con el electromagnetismo tales como campos magnéticos creados por una bobina según la corriente que circula en ella y según la distancia al centro de la misma. Para ello se han observado y estudiado los fenómenos de inducción (mediante la ley de Faraday) creados por las bobinas utilizadas, con el fin de comparar los valores obtenidos experimentalmente con los valores predichos por las expresiones teóricas. Asimismo se ha estudiado el comportamiento de un transformador funcionando con corriente alterna, observando cómo van variando los valores de la bobina primaria y secundaria por el efecto de auto-inducción gracias a la estructura ferromagnética que las une.

CAMPO MAGNÉTICO DE UNA BOBINA

Según la corriente que circula

Para determinar el campo magnético en el interior de una bobina según la corriente que circula se emplea el siguiente montaje experimental:

Se conecta una bobina a una fuente de alimentación de corriente alterna. Se introduce en ella una sonda: un cilindro de aluminio en cuya punta están arrolladas 32 espiras de cobre, que constituyen una nueva bobina. Mediante dos multímetros se mide la intensidad que circula por el circuito y la diferencia de potencial en la sonda. Dicha fuerza electromotriz ha sido inducida debido al campo magnético cambiante en el interior de la bobina, causado a su vez por la corriente alterna. Mediante el control de la fuente de alimentación se puede ir subiendo punto a punto el voltaje suministrado al circuito, con lo que podemos tomar valores de la intensidad y la f.e.m. inducida, ajustando dichos datos mediante mínimos cuadrados a una recta, dependencia lineal que predicen las fórmulas teóricas:

$$\mathcal{E} = \left(N_{sonda} S_{sonda} \omega \frac{B}{l} \right) I$$

La sonda debe colocarse en el eje central y exactamente a media altura, coincidiendo ambos centros. Esto es necesario para aplicar posteriormente la fórmula de validación de los datos obtenidos comparando la medida directa del radio de la bobina y el valor calculado mediante la fórmula teórica.

Para realizar estos cálculos necesitamos conocer el número de espiras de la sonda N_{sonda} , indicada en el guión de prácticas, que consideramos exacto y sin error. También se mide su diámetro d_{sonda} (con el pie de rey). La medida podría ser algo inexacta al estar recubiertas las espiras, y no saber su grosor, por lo que es difícil decidir si estás tomando un valor demasiado grande y cómo reducirlo. Por tanto, asignaremos un error mayor (el doble de la sensibilidad) a dicha medida. El radio efectivo d_{bobina} de la bobina de 2000 espiras (número que también consideramos exacto y sin error) lo aproximamos: al no ser circular no hay manera de determinar qué distancia medir. Optamos por medir un lado de dicha espira y suponemos que ese es el “radio medio” aproximado, aunque sea un absurdo buscar el radio de algo que no es circular. La longitud de la bobina L_{bobina} se mide también con el pie de rey. Podría haber algún error en dicha longitud pues las espiras estaban algo sueltas, con lo que varía la distancia. Sin embargo, se está haciendo una aproximación de una bobina ideal (espiras en contacto perfecto), con lo que añadimos el error de la longitud a dicha aproximación, incorporándose al error sistemático que podría presentarse debido a la suposición de que se trata de una bobina perfecta. La frecuencia que marca el aparato la asumimos como la real y con error despreciable.

$$N_{sonda} = 32$$

$$d_{sonda} = 15,45 \pm 0,10 \text{ mm}$$

$$N_{bobina} = 2000$$

$$d_{bobina} = 39,40 \pm 0,10 \text{ mm}$$

$$L_{bobina} = 43,50 \pm 0,05 \text{ mm}$$

$$v = 50 \text{ Hz}$$

Calculamos S_{sonda} con su error:

$$S_{sonda} = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4} = 0,0001875m^2 \quad \delta(S_{sonda}) = \frac{\pi d}{2} \delta(d) = 0,0000012m^2$$

$$S_{sonda} = 18,75 \pm 0,12 \text{ mm}^2$$

La frecuencia (angular) de la corriente alterna es:

$\omega = 2\pi\nu = 314,2 \text{ s}^{-1}$, con error desconocido al no saber con qué precisión y fiabilidad marca el aparato la frecuencia. Esto podría ser fuente de un error sistemático, al no haber verificado con algún aparato dicho valor. (La fiabilidad del dato también se pone en duda al comprobar posteriormente que el voltaje que marcaba no correspondía con el real, aunque podemos aceptar que la frecuencia sea 50 Hz al ser ésta también la frecuencia de la red normal.)

A continuación se detallan los datos obtenidos siguiendo el procedimiento experimental:

Tabla 1 – Medidas de la intensidad en un circuito conectado a una bobina y la f.e.m inducida ε en una sonda colocada en el interior de la bobina.

1ª medida		2ª medida	
I (mA)	$\varepsilon \pm 1$ (mV)	I (mA)	$\varepsilon \pm 1$ (mV)
27,5	$\pm 0,1$	17	28,0
49,6		31	50,3
77,0		49	77,7
98,8		63	100,0
126,4		80	127,9
148,3		94	149,9
180,5		115	183,0
205		± 1	131
232	149		235
254	163		257
281	181		285
303	195		307
	129		147

Nota: La precisión en la medida de la corriente varía al cambiar de la escala de 200mA a 2A. El voltaje se mide siempre en la escala de 200mV.

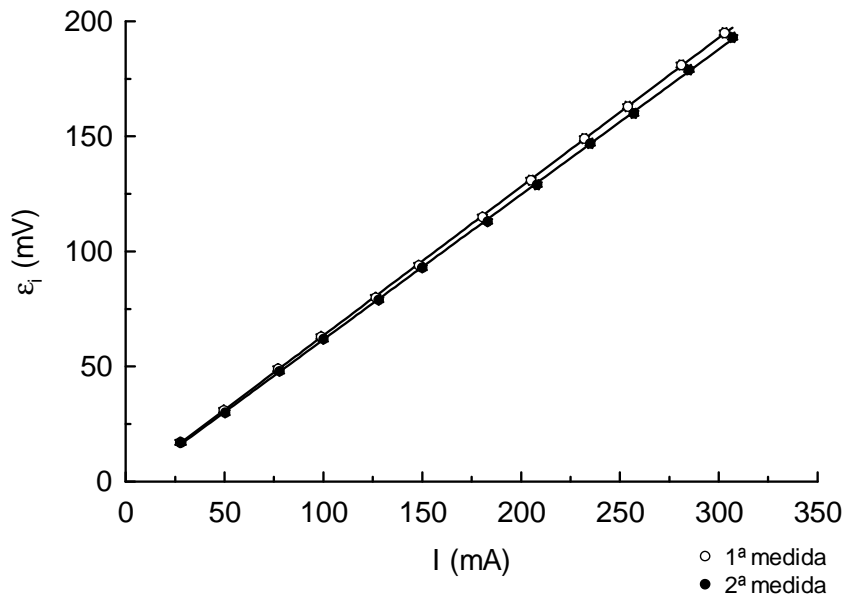


Figura 1 - Proporcionalidad entre la corriente (alterna) que circula en un circuito y la f.e.m. inducida en una sonda en el interior de una bobina conectada.

Nota: La sonda es, a su vez, una bobina no conectada al circuito en la que se induce (al ser corriente alterna) una f.e.m. debido al campo magnético variable de la bobina.

Se obtienen dichos valores a partir del ajuste por mínimos cuadrados:

Tabla 2 -. Ecuaciones de las rectas. Pendiente A, ordenada en el origen B y coeficiente de correlación lineal r.

	$\varepsilon = \mathbf{A \cdot I + B [V]}$	r
1ª medida	$\varepsilon = (0,6465 \pm 0,0015) \cdot I + (-1,2 \pm 0,3)$	0,99998
2ª medida	$\varepsilon = (0,631 \pm 0,002) \cdot I + (-1,4 \pm 0,4)$	0,99995

Se observa, por tanto, que la f.e.m. inducida en la sonda varía según la intensidad que circula por el circuito al que está conectado la bobina. Dicha bobina crea un campo magnético variable con el tiempo, al tratarse de corriente alterna, provocando dicha f.e.m. inducida, que es registrada por el multímetro. En efecto, se comprueba una dependencia lineal entre la corriente y la f.e.m. inducida a partir de la gráfica y apoyándonos en el coeficiente de correlación lineal, que es muy cercano a uno. Esta escasa dispersión se debe a que los aparatos de medida son muy precisos y no existe apenas dispersión entre una y otra medida (como es común en medidas de Electricidad, a diferencia de medidas relacionadas con la Mecánica). El error del experimentador en las medidas con el multímetro es nulo, a diferencia de en la medida de distancias, por ejemplo. En consecuencia, sólo cabe contemplar un posible error sistemático del aparato en las medidas de la corriente y el voltaje.

Las dos medidas, que se tomaron al dudar si en la primera la sonda estaba colocada correctamente en el eje central, son compatibles entre sí, aunque la pendiente de la primera es ligeramente mayor que la segunda. Con toda seguridad se debe a que recolocamos la posición de la sonda, con lo que se aprecia una variación al cambiar las condiciones según la posición de la sonda dentro de la bobina. Por tanto, hay que evitar siempre el cambiar las condiciones de un experimento dentro de una misma toma de medidas. Pensamos que la segunda medida es más fiable, con lo que trabajaremos sólo con los segundos datos.

Es destacable que hay algún error sistemático (comprobado en las dos medidas), que provoca que, en ambos casos, la ordenada en el origen sea menor a cero. Esto podría ser debido a algún error sistemático del multímetro, a haber despreciado algún efecto o resistencia en el circuito del montaje, o a no haber situado la sonda exactamente en el eje central al ser esta colocación “a ojo”, con lo que existe un error humano no contemplado en los cálculos.

El valor de B/I es, siguiendo las ecuaciones del guión de prácticas:

$$\frac{B}{I} = \frac{A}{N_{sonda} S_{sonda} \omega} = 0,3430 \frac{T}{A}$$

$$\delta\left(\frac{B}{I}\right) = 0,3430 \cdot \sqrt{\delta_r(A)^2 + \delta_r(S_{sonda})^2} = 0,0005 \frac{T}{A}$$

$$\mathbf{B/I = 0,3430 \pm 0,0005 T/A}$$

A partir de la pendiente, podemos comprobar y hallar el valor del radio efectivo de la bobina de 2000 espiras:

$$a^2 = \left(\frac{\mu_0 N_{bobina}}{2 \frac{B}{I}} \right)^2 - \left(\frac{L}{2} \right)^2, \text{ donde } \mu_0 \text{ es la permeabilidad magnética.}$$

$$\delta_r(a^2)^2 = 4\delta_r\left(\frac{B}{I}\right)^2 + 4\delta_r\left(\frac{L}{2}\right)^2 \qquad \delta_r(a) = \frac{1}{2} \delta_r(a^2)$$

Sin embargo, al realizar los cálculos posteriormente al experimento, no obtuvimos ninguna solución al tener que tomar la raíz de un número negativo. La explicación al respecto quedó clara al

revisar los fundamentos teóricos relacionados con la fórmula teórica empleada. La bobina debía no sólo estar en el eje central, sino que el punto central de la sonda debía coincidir con el punto central de la bobina. Esta fue la condición que pasamos por alto al no haber suficiente tiempo en el experimento para revisar toda la teoría y estar preocupados más de los montajes eléctricos, con lo que nos equivocamos e introdujimos la sonda completamente, dejando su centro en la parte inferior de la bobina en el eje central. Esta afirmación se ve apoyada si contemplamos a posteriori los datos obtenidos en los siguientes aparatos, a los que haremos referencia ahora (**Figura 5 y 6**).

En efecto, encontramos el valor de B/I obtenido en nuestro ajuste a 1,6cm del centro de la bobina (aproximadamente), es decir, prácticamente al final de la bobina. Esto explica claramente el por qué no conseguimos obtener el valor del radio de la bobina. La solución a este problema es simple: repetir la toma de medidas en el laboratorio centrando correctamente la sonda y realizar de nuevo el ajuste. No obstante, podemos comprobar nuestra tesis sobre la causa del error y aproximar un valor del radio empleando los datos de los siguientes apartados, a modo ilustrativo. (Como se observa en la **Figura 3**, los valores de B/I son mayores cuando más cerca del centro estemos). Obtenemos el valor en el centro de la bobina ($z=0$) interpolando en la tabla.

$$B/I_{(z=0)} = 0,4367 \pm 0,0018 \text{ V/A.}$$

Con todos estos cambios, nos sigue dando la raíz de un número negativo. Esto nos hace pensar en un error sistemático del multímetro, siendo éste mucho más influyente que el haber colocado la sonda en el centro de la bobina o no. En el posterior apartado se comprobará que los datos son sistemáticamente diez veces mayores respecto a lo esperado. Al final del experimento descubrimos que el multímetro que estábamos empleando marcaba 10 veces más voltaje del real, lo cual explicaría la desviación sistemática y el hecho de que no podamos obtener un valor para el radio efectivo. No podemos estar seguros completamente de que la causa del error sea la citada: la forma de comprobar la hipótesis de que en este apartado influye el mismo error que en el último (se multiplica por un factor diez aproximadamente) es repitiendo de nuevo las medidas, comparando los datos y medidas con el multímetro con mal funcionamiento y uno en buen estado.

En efecto, si dividimos la pendiente entre diez (suponiendo que tenemos el mismo error que en el apartado de los transformadores, donde marcaba diez veces más voltaje del real), obtenemos valores compatibles con lo esperado (Tabla 2). Si calculamos el radio efectivo de la bobina siguiendo esta transformación (dividir por 10) a partir de la interpolación en la tabla ..., se obtiene un valor aceptable:

$$a = 1,88484 \pm 0,00007 \text{ cm.}$$

Este valor es compatible con lo esperado, dado que el radio medido directamente es:

$$a_{\text{exp}} = 1,970 \pm 0,005$$

La desviación relativa es del 4,5%. La desviación entre ambos valores se debe seguramente a la incertidumbre en cuanto a la medida directa del radio efectivo. Al no ser circular la bobina, dicho valor varía considerablemente según que parte midamos, si la diagonal o un lado. Por tanto no es necesario hablar de compatibilidad entre medidas, basta con que sean aproximadamente iguales. En cuanto al error, cabe señalar que la precisión con que se obtiene el primer valor es excesiva y que no responde a la verdadera limitación del método experimental, con lo que se han subestimado algunos errores (no se han tenido en cuenta algunos efectos que podrían ser influyentes). Por tanto no podemos asegurar cuál es el valor real del radio, ni siquiera haciendo una media ponderada, además de que carece de sentido encontrar un radio de algo que no es circular, con lo que es absurdo compararlo también con un valor medido, pues no puedes decidir qué medir, sólo aproximar y compararlo.

Independientemente de este análisis, es preciso señalar que este cálculo ha sido hecho a posteriori, suponiendo que la causa del error fuese la misma que en el posterior apartado, pero podría ser que no, que se debiese a otro error no considerado. Por tanto, a modo ilustrativo, se calcula dicho valor y lo que aporta es un indicio de la posible causa del error, que no asegura nada pero que debe animar a repetir la toma de medidas con el multímetro adecuado y con la experiencia adquirida.

Según la distancia al centro

En esta parte del experimento, se estudia la variación del campo magnético en el interior de una bobina al desplazarse respecto del centro a lo largo de su eje central. Cabe esperar que el campo magnético sea mayor en el centro que en los extremos, y se podrá determinar a partir de la representación gráfica si la variación del campo magnético es lineal o no. Según la fórmula teórica se espera observar una parábola curvada hacia abajo y por tanto un valor máximo al representar el campo magnético en función de la distancia al centro de la bobina. En el máximo, la densidad de líneas será mayor, mientras que en los extremos de la bobina, la densidad será menor al llegar a la abertura.

Para llevar a cabo estas medidas, se emplea de nuevo la sonda y la bobina anteriormente descritas y se va midiendo la f.e.m. inducida en la sonda para cada distancia en el eje central de la bobina para un voltaje y corriente determinados y constantes en el circuito. Se toman ocho valores uniformemente distribuidos a lo largo del eje central y se anotan los valores de la f.e.m. medida con el multímetro para cada distancia. Hay que señalar que la medida de la distancia es algo complicada, para lo cual se emplea una regla situada verticalmente. Además, es difícil mantenerla perfectamente centrada y vertical, error que podría provocar que los datos estén sistemática o aleatoriamente desviados del valor esperado. Este fallo del experimentador y esta incertidumbre del centrado no se ha tenido en cuenta en los cálculos.

Decidimos suministrar el voltaje máximo al circuito para que sean claramente apreciables las f.e.m. inducidas en los extremos de la bobina, donde se supone que el campo magnético será menor. El voltaje que marca la fuente es de 12V, mientras que la intensidad medida es de 288 ± 1 mA. En el último apartado se comprobará que el voltaje no es realmente 12V, sino mayor, aunque para este apartado es indiferente.

Un efecto observado tras un tiempo del experimento es que la bobina se había calentado. Esto pone de manifiesto el efecto Joule, la disipación de energía en forma de calor al circular una corriente a través de la resistencia siempre existente en un circuito. Suponemos que ese efecto no hace variar las medidas al ser el período de tiempo de la toma corto, aunque previsiblemente los datos obtenidos a una determinada temperatura de la bobina se diferencien de los valores a una temperatura distinta.

Una vez medidos los valores de ϵ según la distancia z al centro de la bobina sobre el eje central, calculamos B/I mediante la siguiente ecuación (resultante de una integración entre los extremos de la bobina):

$$\frac{B}{I_{teo}} = \frac{\mu_0 N_{bobina}}{2L} \left[\frac{z + \frac{L}{2}}{\sqrt{a^2 + \left(z + \frac{L}{2}\right)^2}} - \frac{z - \frac{L}{2}}{\sqrt{a^2 + \left(z - \frac{L}{2}\right)^2}} \right]$$

donde a es el radio efectivo de la bobina y L la longitud de la bobina.

El error de dicha expresión es, dividido en subecuaciones:

$$\delta\left(\frac{B}{I}\right)_{teo} = \left(\frac{B}{I}\right)_{teo} \sqrt{\delta_r(L)^2 + \delta_r([\])^2}$$

$$\delta_r([\])^2 = 2\delta_r\left(\frac{z + \frac{L}{2}}{\sqrt{a^2 + \left(z + \frac{L}{2}\right)^2}}\right)^2 = 2\left[\delta_r\left(z + \frac{L}{2}\right)^2 + \frac{1}{4}\delta_r\left(a^2 + \left(z + \frac{L}{2}\right)^2\right)^2\right] = 2\left[2\delta_r(z)^2 + 2\delta_r(L)^2 + \delta_r(a)^2\right]$$

Los valores experimentales para cada z son:

$$\frac{B}{I} = \frac{1}{N_{sonda} S_{sonda} \omega I} \varepsilon$$

$$\delta\left(\frac{B}{I}\right) = \frac{B}{I} \sqrt{\delta_r(S_{sonda})^2 + \delta_r(\varepsilon)^2 + \delta_r(I)^2}$$

A continuación se representa la tabla y la gráfica con los valores obtenidos, donde se comprueba que los valores obtenidos teóricos comparados con los experimentales son sistemáticamente superiores:

Tabla 3 – Valores de B/I teóricos y experimentales según la distancia de la sonda al centro de la bobina. Proporción entre los valores teóricos y experimentales.

$z \pm 0,1\text{cm}$	$\varepsilon \pm 1 \text{ (mV)}$	$B/I \text{ (T/A)}_{\text{exper.}}$	$B/I \text{ (T/A)}_{\text{teór.}}$	Exp./Teór.
-1,9	168	0,310	$0,0300 \pm 0,0016$	10,3
-1,4	198	0,365	$0,0359 \pm 0,0016$	10,2
-0,9	220	0,405	$0,0400 \pm 0,0015$	10,1
-0,4	233	0,429	$0,0423 \pm 0,0015$	10,2
0,1	238	0,438	$0,0428 \pm 0,0015$	10,2
0,6	232	0,427	$0,0416 \pm 0,0015$	10,3
1,1	220	0,405	$0,0386 \pm 0,0015$	10,5
1,6	189	0,348	$0,0337 \pm 0,0016$	10,3
2,1	150	0,276	$0,0273 \pm 0,0016$	10,1

Nota: La intensidad que circula por el circuito es $288 \pm 1 \text{ mA}$

Cabe señalar que la última medida podría quedar algo desviada de lo esperado, pues estaba ya fuera de la bobina. Sería interesante estudiar cómo varía el campo magnético en el exterior de la bobina según la distancia, aunque para ello se necesitan otras fórmulas. También es destacable un error mucho menor al emplear la fórmula teórica frente al de los datos experimentales.

Como se puede observar, existe un error sistemático claramente, pues los valores son aproximadamente diez veces mayores. Esto nos recuerda que el multímetro aquí utilizado puede presentar el mismo error que el del transformador. En efecto, si dividimos el voltaje entre diez, los valores se hacen compatibles.

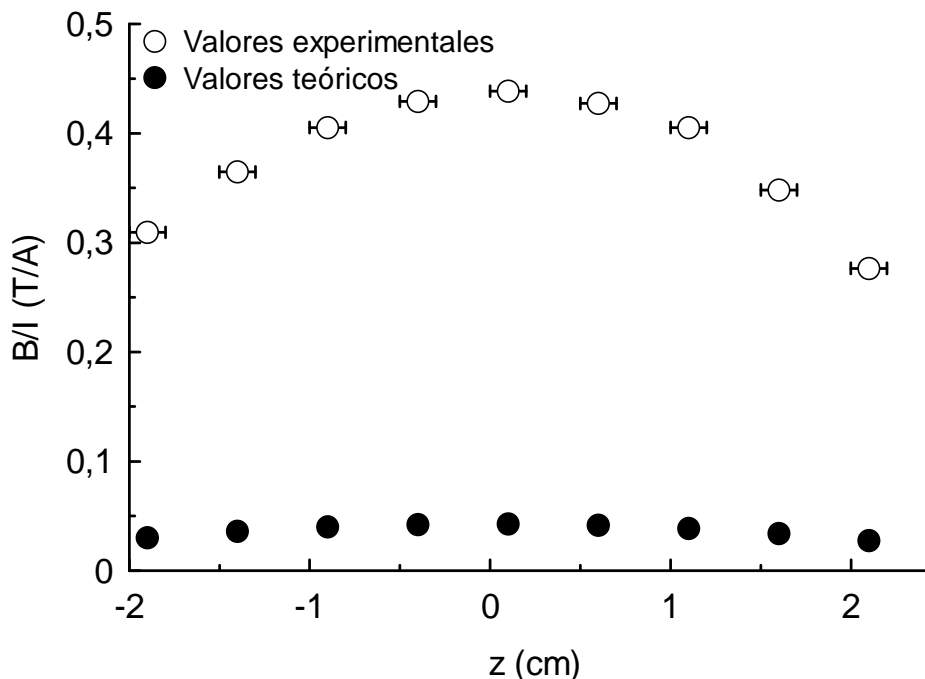


Figura 2 - Campo magnético en el interior de una bobina en función de la distancia al centro de la misma a lo largo de su eje central.

En efecto, una vez representada la gráfica conjunta, se observa claramente que ambas tienen un recorrido parecido, pero que están separadas enormemente. Esto sustenta visualmente la hipótesis del error sistemático. (La transformación de dividir por diez es aproximada, por lo que se puede esperar que esté algo por encima o debajo de lo esperado).

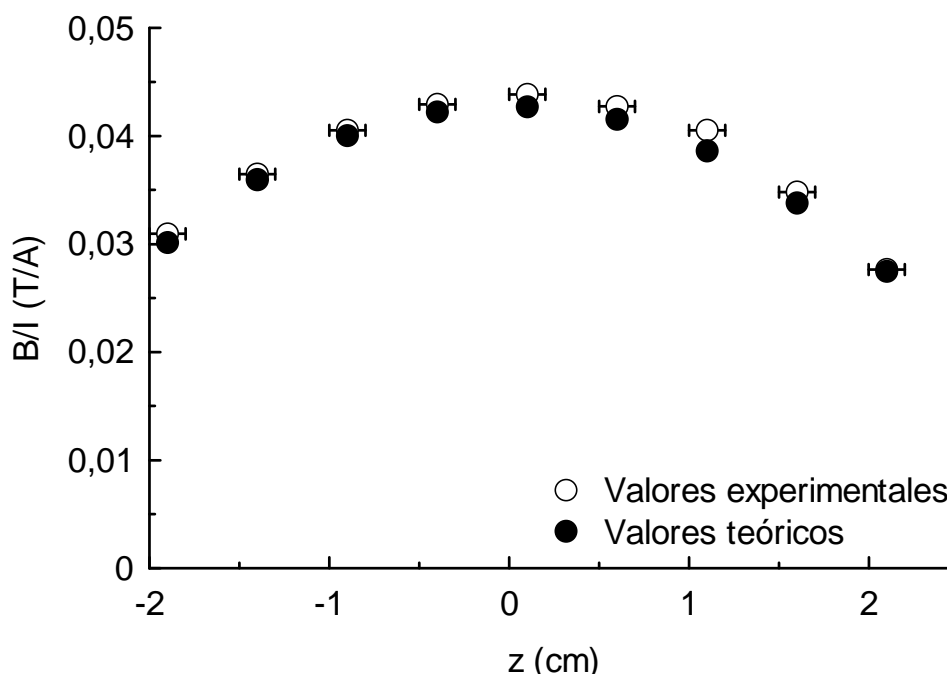


Figura 3 - Campo magnético en el interior de una bobina en función de la distancia al centro de la misma a lo largo de su eje central. Transformación según un posible error sistemático.

Nota: Esta transformación de la gráfica no debe ser concluyente, pues no verificamos que en la escala utilizada (distinta de la usada en el apartado del transformador), el voltaje fuese efectivamente diez veces mayor del real). Sólo sustenta la hipótesis del error sistemático y debe ser comprobada con una nueva toma de medidas.

En efecto, si la transformación ha sido legítima, se comprueba que los valores sí que se ajustan a lo esperado teóricamente, siguiendo la línea de puntos imaginaria el mismo recorrido curvo en ambos casos. Esta trayectoria se debe a que cuanto más cerca se está del centro de la bobina más densidad de campo magnético hay, mientras que cuando más a los extremos te desplazas, más dispersas están las líneas de campo al tener una abertura próxima en la que saldrán al “exterior” de la bobina.

Asimismo, se comprueba que la estimación experimental del cero (midiéndolo directamente) coincide casi perfectamente con los valores obtenidos para el campo magnético. En efecto, el máximo de la línea imaginaria que uniría los puntos formando una parábola estaría sobre $z = 0$ aproximadamente.

Los valores teóricos son sistemáticamente más bajos debido a que la división entre diez es una aproximación en base a los valores obtenidos en el apartado posterior del transformador.

Visualmente se observa que apenas hay dispersión, como viene siendo la tónica de este experimento: apenas hay fluctuación de datos, las rectas tienen un coeficiente de correlación alto y hay bastante precisión (poca incertidumbre) en todas las medidas. Tan sólo cabe tener en cuenta seriamente los errores sistemáticos que hemos observado a lo largo del experimento, comprobado en el último apartado del transformador y transformado los apartados anteriores para obtener valores compatibles con la predicción teórica.

TRANSFORMADOR

En este apartado del experimento se ha comprobado el comportamiento físico de los transformadores, así como el valor de la transformación N_s / N_p para el transformador utilizado en éste experimento con el fin de hacer una comparación con los valores teóricos.

Recordemos brevemente el concepto físico de un transformador.

Los transformadores tienen como fundamento la inducción mutua y son dispositivos utilizados para cambiar la tensión de la corriente alterna.

Un transformador consiste en dos bobinas arrolladas al mismo núcleo de hierro y aisladas entre sí (**Figura 4**). Todo flujo que pasa a través de una bobina (primario) pasa a través de la otra (secundario).

El flujo del campo magnético creado por la corriente eléctrica de entrada en el interior de la bobina de “conduce” casi sin pérdidas a través del núcleo de hierro (ya que éste tiene una permeabilidad magnética muy superior al aire que lo rodea) y, al ser variable (ya que lo es la corriente del primario), crea una corriente eléctrica inducida en la bobina del secundario que es la corriente de salida. El valor de la fem alterna inducida es:

$$\xi_s = -N_s \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

donde $\Delta\phi$ es la variación de flujo producido en el primario por la tensión:

$$\xi_p = -N_p \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Dividiendo miembro a miembro las dos expresiones anteriores, se obtiene:

$$\frac{\xi_s}{\xi_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

ecuación que relaciona la tensión en los bornes del primario y secundario con el número de de espiras.



Figura 4 – Montaje experimental de un transformador alimentado a partir de una corriente AC Para determinar la relación de transformación de éste.

Para realizar este apartado del experimento se ha usado el mismo montaje de los demás apartados del experimento, excepto el amperímetro, que es sustituido por un voltímetro en paralelo en la bobina primaria. Se emplean dos bobinas de 2000 (bobina primaria) y 3200 (bobina secundaria) espiras cada una y se han introducido en un núcleo de hierro dulce de mar tal y como muestra la **Figura 4**.

Una vez introducidas, se ha conectado la bobina primaria a una fuente de corriente alterna, con 12 niveles de tensión y se ha procedido a la medición de la tensión en la bobina secundaria para cada una de las intensidades de la fuente.

- En la primera toma de medidas se observó que a partir del nivel de intensidad 7 de la fuente, el valor en de la ξ_s daba un “salto” muy brusco, casi 10 veces más de lo que debería darnos, por lo que procedimos a hacer una segunda toma medidas para verificar tal comportamiento.
- En la segunda toma obtuvimos resultados muy parecidos a los obtenidos en la primera, pero al finalizar la segunda toma nos dimos cuenta de que la escala con la que estábamos trabajando sobre el multímetro podría ser demasiado pequeña, por lo que dedujimos que seguramente ese supuesto “salto” en las medidas tomadas tanto en la primera toma como en la segunda eran a causa de trabajar con la escala incorrecta, por lo que se procedió a una tercera toma de medidas para verificar la hipótesis de estos supuestos “saltos”.
- En la tercera toma, al ajustar “correctamente” la escala en el multímetro obtuvimos valores que sí se ajustaban a una recta. No obstante, con estos valores se obtenía que la espira secundaria tenía un número de espiras diez veces mayor del real. En consecuencia, se decidió cambiar el multímetro que nos proporcionaba los valores de ξ_s bajo sospecha de un error sistemático del aparato utilizado. Se procedió a realizar una cuarta toma de medidas con un multímetro nuevo.
- En la cuarta toma, inmediatamente al conectar el nuevo multímetro, se observó que los valores obtenidos para el voltaje eran diez veces menores y que ya no producía ese “salto” como en las tomas anteriores, por lo que los valores obtenidos ahora sí que tenían sentido. En consecuencia, el multímetro que se estaba utilizando en las tres primeras tomas estaba estropeado, dando valores erróneos y haciendo aparecer ese sospechoso “salto” en las medidas. Probablemente se tratase de un error electrónico en el cálculo de la escala adecuada.

En estas condiciones, pensamos que no podíamos asegurar si los apartados anteriores y las medidas realizadas en apartados anteriores eran correctas, con lo que si el error sistemático era el mismo en los anteriores, deberíamos dividir el voltaje en todos los casos entre diez. Esta transformación es una pequeña “trampa”: lo ideal hubiese sido repetir las medidas, aunque no se disponía de tiempo suficiente.

A continuación se muestra una gráfica con todos los valores obtenidos en las tres primeras tomas de medidas:

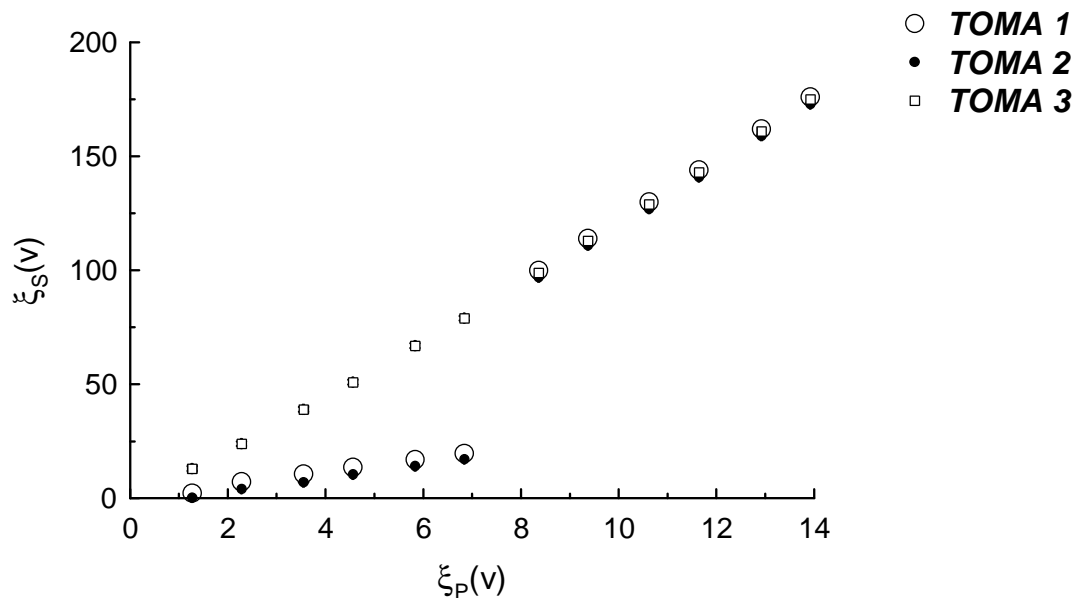


Figura 5- Valores obtenidos en las tres primeras tomas de medidas, para un transformador de AC.

Nota: Los valores de la gráfica que aparecen muy juntos, en realidad son el mismo valor, pero debido a que unos datos tapaban a otros, se ha hecho fluctuar un valor por arriba y dos por abajo en las tomas 1 y 2 respectivamente, con el fin de poder visualizar todos los datos obtenidos en dichas medidas.

Como se puede observar en la **Figura 5** los valores que se aproximan a 99V aparece en la gráfica como un pequeño salto donde faltan medidas, en cambio en la tercera toma debido al cambio de escala en el multímetro y a que no variamos dicha escala en la octava medida, aparecen todos los valores como una recta. Bien podríamos pensar que éste resultado es bueno, puesto que nos sale una dependencia lineal, pero como en las tres tomas a partir de la 7^o nivel en el generador la ξ_S siempre nos daba el mismo salto (en las dos primeras) y exactamente los mismos valores para las tomas, sospechamos que había algún error, además de que nos daban valores totalmente incompatibles. Al poner en la cuarta toma el nuevo aparato y darnos valores coherentes y no producirse ese salto, se deduce que el multímetro que se estaba utilizando estaba estropeado.

A continuación se presenta la tabla con los resultados para la cuarta toma:

Tabla 4 – Valores obtenidos para la ξ_P y ξ_S , en cada uno de los 12 niveles de tensión de una Fuente de corriente AC.

$\xi_P \pm 0,01(V)$	1,27	2,28	3,55	4,56	5,83	6,84	8,36	9,37	10,62	11,64	12,92
$\xi_S \pm 0,01(V)$	1,32	2,45	3,92	5,14	6,72	8,02	9,99	11,32	13,03	14,4	16,13

Como se puede observar, en ésta última toma de datos no aparece el “salto” en la medida 7, que es donde en las dos primeras tomas aprecia, como bien se muestra en la **Figura 5**.

A continuación se presenta la gráfica para esta última toma, donde se observa la dependencia lineal originada por la autoinducción del transformador debido a las dos bobinas que lo constituyen.

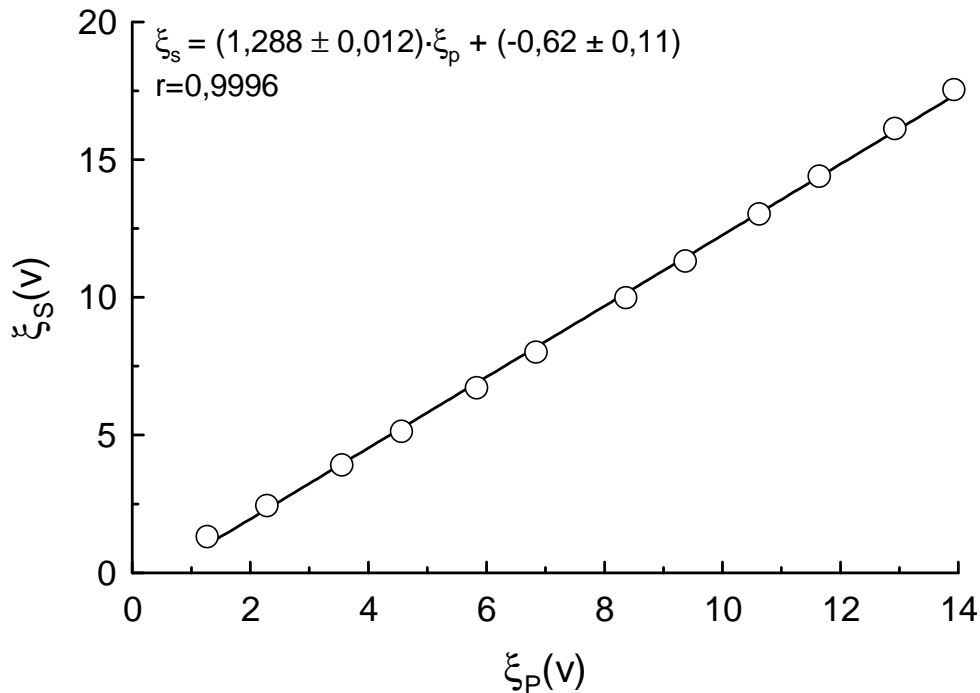


Figura 6- Dependencia lineal entre la ξ_P y la ξ_S para un transformador alimentado mediante una fuente de corriente alterna.

Fijándonos ahora en la ecuación de la recta obtenida (**Figura 6**), la pendiente de esta nos proporciona la relación entre N_S / N_P que es justo el objetivo de este apartado del experimento.

Así pues:

$$\frac{\xi_S}{\xi_P} = \left[\frac{N_S}{N_P} \right]_{REAL} = \text{Pendiente de la recta.}$$

A continuación se presenta los valores obtenidos para la relación de transformación obtenido experimentalmente y el valor predicho por la expresión teórica.

Valor teórico	1,6	Error relativo
Valor experimental	$1,288 \pm 0,012$	20%

Tabla 5- Valor teórico y experimental para la relación de transformación de un transformador Alimentado mediante una corriente AC.

Como se puede observar el valor obtenido es comparable al valor teórico, por lo que se puede decir que efectivamente había un error sistemático en el primer multímetro utilizado. Con todo, el valor obtenido no es compatible y el error relativo es mayor del 20%. Esto puede deberse a un error sistemático añadido y no contemplado, como suponer que todo el campo se “conduce” a través del núcleo ferromagnético sin pérdidas o el tomar el número de espiras sin error. Nos creemos que ése es su número, pero no tenemos forma de comprobarlo. En realidad, lo que se está comprobando es si la proporción entre los números corresponde con la medida experimentalmente, pero no podemos asegurar si esos números son correctos. En cualquier caso, debe de haber un error sistemático, pues en la ecuación de la recta se observa que la ordenada en el origen sale algo alejada del cero. Esto podría deberse a que se está suponiendo que toda la potencia del circuito primario se transfiere al secundario, cuando en realidad no es así y las pérdidas son apreciables. Para confirmar esta suposición con vendría tomar más medidas y ver si los valores están sistemáticamente por debajo o simplemente están dispersos aleatoriamente por encima y debajo de lo esperado.

CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta todo lo expuesto, se puede decir que el experimento ha salido bien aunque algo accidentado, ya que ha habido algunos percances en cada parte. Aun así, los resultados obtenidos son bastante buenos. Por ejemplo, en el primer apartado, campo magnético según la corriente que circula, aunque hay muchas aproximaciones (suponer que la espira era circular, suponer correcto el número de espiras de la bobina, etc.) se ha podido dar un valor orientativo del radio efectivo de la bobina. Y en el segundo apartado, campo magnético según la distancia al centro, los valores obtenidos experimentalmente son una estimación muy ajustada a los valores predichos por las expresiones teóricas, tras aplicar la transformación del voltaje según el error sistemático. En el último apartado se ha comprobado el principio del transformador y cómo el núcleo ferromagnético es capaz de conducir el campo magnético, que induce una corriente en la bobina secundaria. Se ha comprobado que, o bien hay un error sistemático en la medida, o bien que la potencia no se conserva íntegramente en el paso del circuito primario al secundario, lo que sería una explicación lógica (siempre existen pérdidas) al obtener una ordenada en el origen en la **Figura 6** levemente inferior a cero.

Sin duda alguna, el último apartado, transformadores, es la parte del experimento que más juego ha dado, debido a que se ha descubierto el error sistemático del multímetro, proceso algo costoso, llegando a hacer hasta tres tomas de medidas no válidas. Esto revela la importancia de calibrar bien los aparatos y revisar si los valores que marcan son adecuados. Estos errores son bastante difíciles de detectar, pues no se espera que el aparato funcione mal: es más corriente pensar en un error en los cálculos o en el montaje que no en el aparato. Además, los valores pueden cumplir la proporcionalidad buscada, por lo que puedes creer tener el resultado correcto, cuando realmente estás sufriendo un error sistemático no detectado. Se pone de manifiesto, por tanto, la importancia, presencia e influencia de los errores sistemáticos en la experimentación física y la dificultad en la detección de dichos errores, lo que conlleva una inevitable incertidumbre en toda medida. Es importante comparar con otros aparatos alternativos los valores que se obtienen para descartar los errores sistemáticos. De lo contrario, puedes perder mucho tiempo tomando medidas equivocadas, como un caminante que camina confiado hacia el Norte con una brújula estropeada y que no descubre el error hasta que llega al destino equivocado.

Un último aspecto relevante y posiblemente el más enriquecedor de este experimento ha sido el que no se supiese exactamente cómo debía realizarse al ser los primeros del grupo en hacerlo. Por tanto, no se sabía exactamente cómo se debía proceder, (de hecho acabamos de comprenderlo posteriormente), ni qué resultados íbamos a obtener. Como se ha explicado anteriormente, las dificultades experimentales han sido varias y ha habido bastante improvisación en general. La experiencia adquirida en el experimento es el primer paso; ahora deberían tomarse de nuevo las medidas para eliminar los errores sufridos y obtener los valores adecuados para poder obtener resultados concluyentes.

Pero el hecho de que en el experimento las cosas no estuviesen premeditadas, como en otros experimentos más comunes, nos ha hecho vivir más de cerca el verdadero mundo experimental, donde entre el planteamiento de un problema y su solución (muchas veces desconocida e imprevisible), hay todo un mundo de dificultades e incertidumbres donde el experimentador debe saber manejarse con astucia y tener intuición para lograr el mejor resultado posible.

Bibliografía consultada:

- Tena, Ballester (2002): *Guión de prácticas, Técnicas experimentales en Física General*