

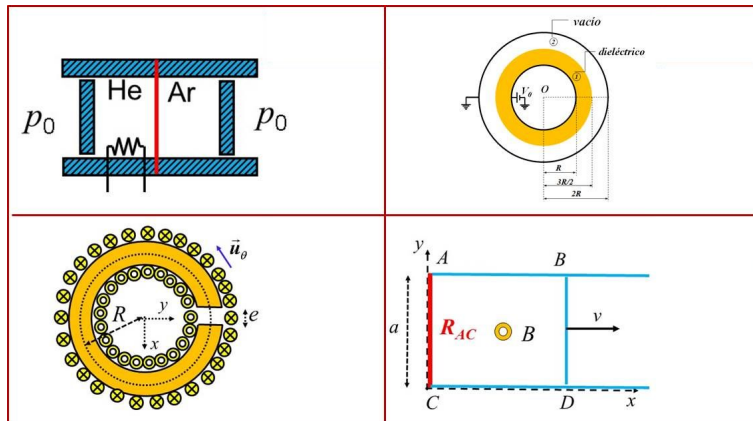


POLITÉCNICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
NAVALES

FÍSICA II

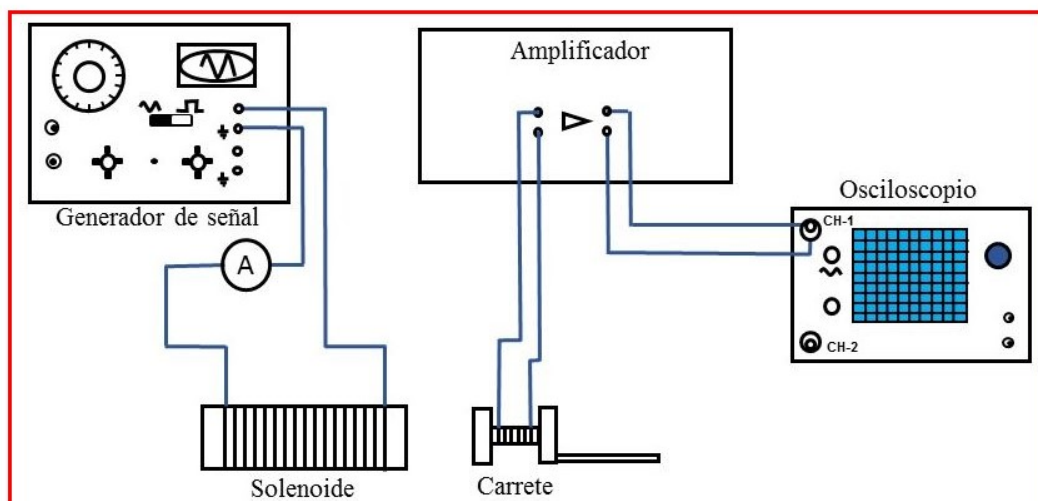
PRÁCTICAS DE LABORATORIO Electromagnetismo





POLITÉCNICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES



PRÁCTICA 2 CAMPO MAGNÉTICO Y F.E.M. INDUCIDA

Jesús GÓMEZ GOÑI

ÍNDICE CAMPO MAGNÉTICO Y F.E.M. INDUCIDA

2. Campo magnético y f.e.m. inducida	1
2.1. Objetivo de la práctica	1
2.2. Fundamentos teóricos	1
2.2.1. Introducción	1
2.2.2. Campo magnético en el interior de un solenoide indefinido	1
2.2.3. Campo en el interior de un solenoide no indefinido	2
2.3. Desarrollo de la práctica	4
2.3.1. Campo magnético en el interior de un solenoide no indefinido	4
2.3.2. Estudio de la variación de la f.e.m. con la frecuencia.	5
2.4. Informe del alumno	6

2

Campo magnético y f.e.m. inducida

2.1. Objetivo de la práctica

La práctica consiste en medir las fuerzas electromotrices (f.e.m.) inducidas en una bobina o carrete explorador al variar el flujo magnético del campo a través de la superficie limitada por dicho carrete. El campo será creado por otra bobina (solenoides) por la que circula una corriente alterna.

Se emplearán estos valores de f.e.m. inducida para medir el campo creado en distintos puntos del eje del solenoide, recorrido por una corriente alterna de frecuencia de unos 10 kHz. Igualmente, se medirá la influencia de la frecuencia sobre unas bobinas de distinta sección.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Introducción

Hacia 1830 Michael Faraday y Joseph Henry, trabajando independientemente, descubrieron que si el flujo del campo magnético a través de un circuito variaba con el tiempo aparecía una corriente mientras se producía la variación de flujo. El hecho de que aparezca la corriente en el circuito se debe a que la variación del flujo magnético del campo produce una f.e.m. en el mismo. La expresión de dicha f.e.m. es

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1)$$

donde Φ es el flujo de a través del circuito.

El signo menos es debido a que el sentido de la f.e.m. inducida es tal que se opone a la causa que lo produce (Ley de Lenz).

2.2.2. Campo magnético en el interior de un solenoide indefinido

En un solenoide como el que se muestra en la figura 2.1 el campo magnético en un punto del eje, como el P de la figura, viene dado por:

$$B = \frac{\mu_0 I N_s}{2L} (\cos \beta_2 - \cos \beta_1) \quad (2.2)$$

siendo I la intensidad de la corriente eléctrica que circula por el solenoide, N_s el número de espiras, L su longitud, β_1 y β_2 los ángulos que se muestran en la figura 2.1 y μ_0 la permeabilidad magnética del aire, muy próxima a la del vacío ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$).

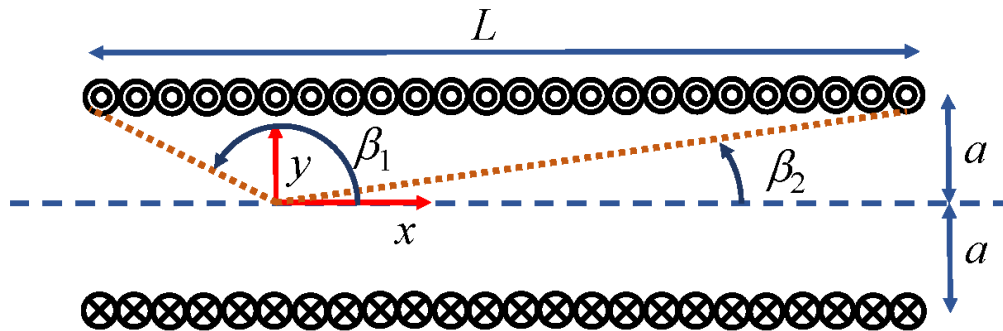


Figura 2.1: Esquema del campo magnético de un solenoide en puntos de su eje

Cuando el solenoide es largo comparado con su radio ($L \gg a$), entonces los ángulos β_1 y β_2 tienden a π y 0, respectivamente, por lo que el campo en el interior del solenoide es uniforme e igual a:

$$B = \frac{\mu_0 I N_s}{L} \quad (2.3)$$

Si alimentamos el solenoide con una corriente alterna $I = I_0 \text{ sen } \omega t$, el campo B será variable con el tiempo:

$$B = \frac{\mu_0 N_s I_0 \text{ sen } \omega t}{L} \quad (2.4)$$

Al tener un campo magnético variable, tendremos una f.e.m. inducida en el carrete, ya que el flujo será $\Phi = N_c A_c B$, siendo A_c la sección de la bobina y N_c el número de espiras de la bobina. Por tanto, la f.e.m. inducida será:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\mu_0 N_s N_c A_c \omega I_0}{L} \cos \omega t = -\mathcal{E}_0 \cos \omega t \quad (2.5)$$

2.2.3. Campo en el interior de un solenoide no indefinido

Si el solenoide no es indefinido, entonces es necesario aplicar la ecuación:

$$B = \frac{\mu_0 N_s I_0 \text{ sen } \omega t}{2L} (\cos \beta_2 - \cos \beta_1) \quad (2.6)$$

Si colocamos una bobina en los puntos del eje, con su eje coincidiendo con el del solenoide (ver figura 2.2), habrá una variación del flujo magnético que atraviesa dicho circuito y, por tanto, aparecerá en él una f.e.m. inducida.

En primera aproximación, considerando que el campo B es uniforme en toda la superficie del carrete (para lo cual sus dimensiones habrán de ser pequeñas comparadas con las del solenoide), el flujo que lo atraviesa es:

$$\Phi = A_C B N_C \quad (2.7)$$

donde A_C es el área encerrada por cada espira y N_C es el número de espiras del carrete.

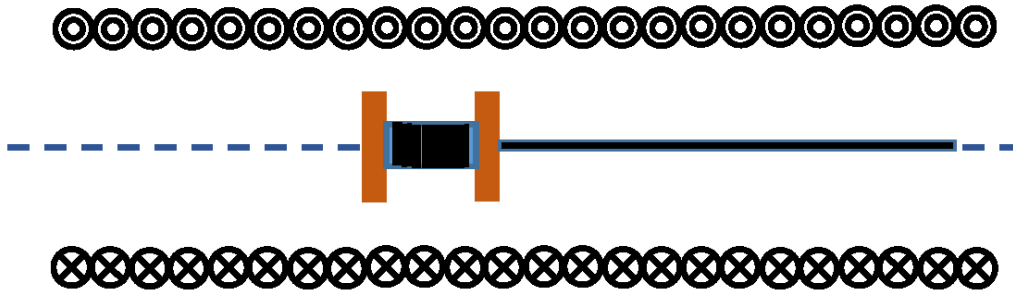


Figura 2.2: Esquema de la bobina colocada en puntos del eje del solenoide

Teniendo en cuenta las expresiones anteriores la f.e.m. inducida en el carrete es:

$$\mathcal{E} = -N_C A_C \omega B_0 \cos \omega t \quad (2.8)$$

donde B_0 se obtiene de 2.6 haciendo $I = I_0$

$$B_0 = \frac{\mu_0 N_s I_0}{2L} (\cos \beta_2 - \cos \beta_1) \quad (2.9)$$

tomando valores eficaces en la ecuación 2.8 resulta:

$$\mathcal{E}_{ef} = N_C A_C \omega B_{ef} \quad (2.10)$$

de donde

$$B_{ef} = \frac{\mathcal{E}_{ef}}{N_C A_C \omega} \quad (2.11)$$

Es decir, podemos calcular el valor eficaz del campo B en un punto del eje si conocemos la f.e.m. eficaz inducida y los valores de N_C , A_C y de la frecuencia angular $\omega = 2\pi f$.

Los valores así calculados no coincidirán exactamente con los teóricos de la expresión del campo en función de los ángulos β_1 y β_2 , debido a que hemos considerado el campo magnético B uniforme en todos los puntos del área encerrada por el carrete explorador, pero sí serán muy aproximados.

Como la f.e.m. inducida en el carrete explorador es muy pequeña, es necesario medirla utilizando un amplificador.

2.3. Desarrollo de la práctica

2.3.1. Campo magnético en el interior de un solenoide no indefinido

Se trata de comparar el valor del campo B_{ef} calculado teóricamente, mediante la ecuación 2.9, con el medido experimentalmente través de la f.e.m. inducida en el carrete explorador (ecuación 2.11). Ello se ha de hacer para distintos valores de x , siendo ésta la distancia del carrete explorador al centro del solenoide.

Hace falta conocer los valores de $\cos \beta_1$, $\cos \beta_2$, N_s y a (radio del solenoide). Este último se mide en el laboratorio y los valores de los cosenos, según se desprende de la figura 2.1, son

$$\cos \beta_1 = \frac{-\left(\frac{L}{2} - x\right)}{\sqrt{\left(\frac{L}{2} - x\right)^2 + a^2}} \quad (2.12)$$

$$\cos \beta_2 = \frac{\left(\frac{L}{2} + x\right)}{\sqrt{\left(\frac{L}{2} + x\right)^2 + a^2}} \quad (2.13)$$

Para medir experimentalmente el campo B_{ef} , se ha de medir la f.e.m. inducida en el carrete mediante el osciloscopio y aplicar la ecuación 2.9, recordando que

$$\mathcal{E}_{ef} = \frac{\mathcal{E}_{pp}}{2\sqrt{2}} \quad (2.14)$$

Igualmente, habrá que dividir este valor por el factor de amplificación elegido. De manera que la ecuación final es:

$$B_{ef} = \frac{\mathcal{E}_{ef}}{N_C A_C 2\pi f \alpha} \quad (2.15)$$

donde \mathcal{E}_{ef} es la f.e.m. inducida medida en el osciloscopio dividida por $2\sqrt{2}$, N_C es el número de espiras del carrete, A_C es el área del carrete, f es la frecuencia y α es el factor de amplificación.

Para realizar la medida del campo en el interior del solenoide se procede de la siguiente forma (ver figura 2.3 con el esquema de conexiones):

- Se conecta el generador al solenoide largo, junto con el amperímetro en serie. Por otro lado, se conecta el carrete al amplificador y éste al osciloscopio.
- A continuación se calibra la regla graduada que viene con el carrete, anotando la posición en la que el carrete está en el centro del solenoide. Esta posición será el origen de x , es decir 0 cm.
- Con el carrete en el centro del solenoide, se selecciona en el generador una frecuencia de unos 10 kHz y se aumenta la amplitud hasta que la señal sea visible en el osciloscopio, pero sin que sea distorsionada por el amplificador.

- Se toman valores para \mathcal{E}_{pp} variando la distancia x del carrete al centro del solenoide de 1 cm en 1 cm, hasta 5 cm y después de 0.5 cm en 0.5 cm, ajustando la amplitud del generador, para que la intensidad medida en el solenoide sea constante.

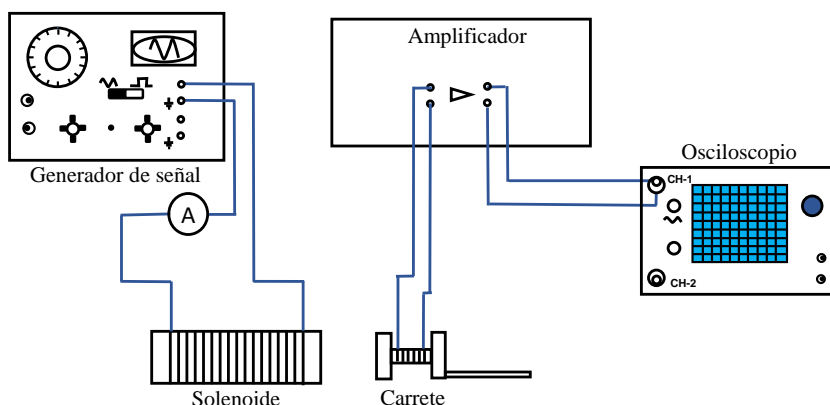


Figura 2.3: Esquema de conexiones

Para el informe de la práctica, se representan gráficamente los valores teórico y experimental de B_{ef} en función de x . El valor teórico viene dado por la ecuación 2.2, sustituyendo I por I_{ef} (que es la medida por el amperímetro). El valor experimental viene dado por la ecuación 2.15.

2.3.2. Estudio de la variación de la f.e.m. con la frecuencia.

Podemos ver una panorámica del equipo experimental en la figura 2.4:



Figura 2.4: Equipo para el estudio de la variación de la frecuencia

Para este estudio utilizaremos varias bobinas del mismo número de espiras, pero con distintas secciones. Con el carrete en el centro del solenoide (y en su interior) se ha de variar la frecuencia de la corriente que circula por el mismo, entre 1 y 10 kHz, teniendo cuidado de que **la intensidad en el solenoide se mantenga constante**, tomando valores para la f.e.m. inducida cada 1000 Hz.

El procedimiento que emplearemos será el siguiente:

- Conectaremos el generador al solenoide grande con el amperímetro en serie. A continuación conectaremos la bobina 1 a la entrada del amplificador y la salida del amplificador al osciloscopio.
- Anotaremos los datos del solenoide y de la bobina 1 en la hoja de datos.
- Situaremos la frecuencia del generador en 10 kHz. Es importante no subir por encima de 11 kHz, ya que el amperímetro funciona correctamente hasta ese valor de la frecuencia.
- Subiremos la amplitud del generador hasta un valor que nos asegure que éste no se satura.
- Anotaremos la intensidad en la hoja de datos y nos aseguraremos de que el valor permanece constante con la frecuencia, para lo que será necesario ajustar la amplitud en el generador.
- Anotaremos en la hoja de datos la frecuencia del generador, la lectura en divisiones del osciloscopio, así que como la escala utilizada y el producto de ambas será la f.e.m. pico a pico.
- Una vez terminadas las medidas de la bobina 1, haremos las medidas para las otras dos bobinas, que tienen el mismo número de espiras, pero distinta sección.

Para el informe de la práctica, hay que representar la f.e.m. inducida en función de la frecuencia, teniendo en cuenta las unidades y el factor de amplificación. Hay que ajustar a una línea la gráfica y sacar la pendiente y el error en la misma.

2.4. Informe del alumno

1. Presentación. Objetivos.
2. Aparatos y precisiones.
3. Campo magnético en el interior de un solenoide
 - a) Montaje experimental: conexiones, tipo de onda, frecuencia, etc.
 - b) Medidas de la fem inducida en el carrete, en función de la posición en el interior del solenoide, expresadas en una tabla, junto con el cálculo del campo magnético experimental y teórico.
 - c) Estimación de las incertidumbres asociadas.
 - d) Representación gráfica del campo magnético, tanto teórico como experimental, en función de la posición en el eje.
 - e) Comentarios.
4. Estudio de la variación de la fem y de la intensidad con la frecuencia
 - a) Montaje experimental.

- b) Medidas en tablas.
 - c) Cálculo de incertidumbres.
 - d) Representación gráfica de la f.e.m. eficaz en función de la frecuencia.
 - e) Ajustes por mínimos cuadrados. Estimación de incertidumbres.
 - f) Comentarios.
5. Conclusiones de la práctica.