

# **GRADOS EN INGENIERÍA INFORMÁTICA Y COMPUTADORES**

## **LABORATORIO DE FÍSICA**

### **PRÁCTICA Nº 3**

### **LEY DE INDUCCIÓN DE FARADAY**

#### Relación de material:

Oscilador: Generador de señales de frecuencia variable  
Frecuencímetro u osciloscopio  
1 Solenoide de 485 espiras y 750 mm de longitud  
2 Solenoide de 300 espiras y diámetros 41 mm y 26 mm  
1 Solenoide de 150 espiras y diámetro 26 mm  
1 Solenoide de 75 espiras y diámetros 26 mm  
2 Multímetros  
Cables con bananas

#### **OBSERVACIONES:**

**1.-** Antes de comenzar el experimento comprobar que todo el material que aparece en la relación se encuentra en la mesa de trabajo. Al finalizar, dejar el puesto ordenado y limpio, volviendo a comprobar que todo el material está en su lugar y listo para ser utilizado de nuevo. Al finalizar, desconectar todos los aparatos.

**2.-** Se entregará solamente la parte final correspondiente a los resultados (a partir de la página 7).

# LEY DE INDUCCIÓN DE FARADAY

Con este experimento se pretende cumplir dos objetivos:

- 1) Comprender la ley de inducción de Faraday-Lenz.
- 2) Analizar la dependencia de la fem inducida en un solenoide con la intensidad de corriente y con la frecuencia de oscilación de dicha corriente

## 1.- INTRODUCCIÓN AL EXPERIMENTO

### 1.1.- Verificación de la ley de Faraday y determinación del coeficiente de inducción mutua

Realizar el montaje de la figura:

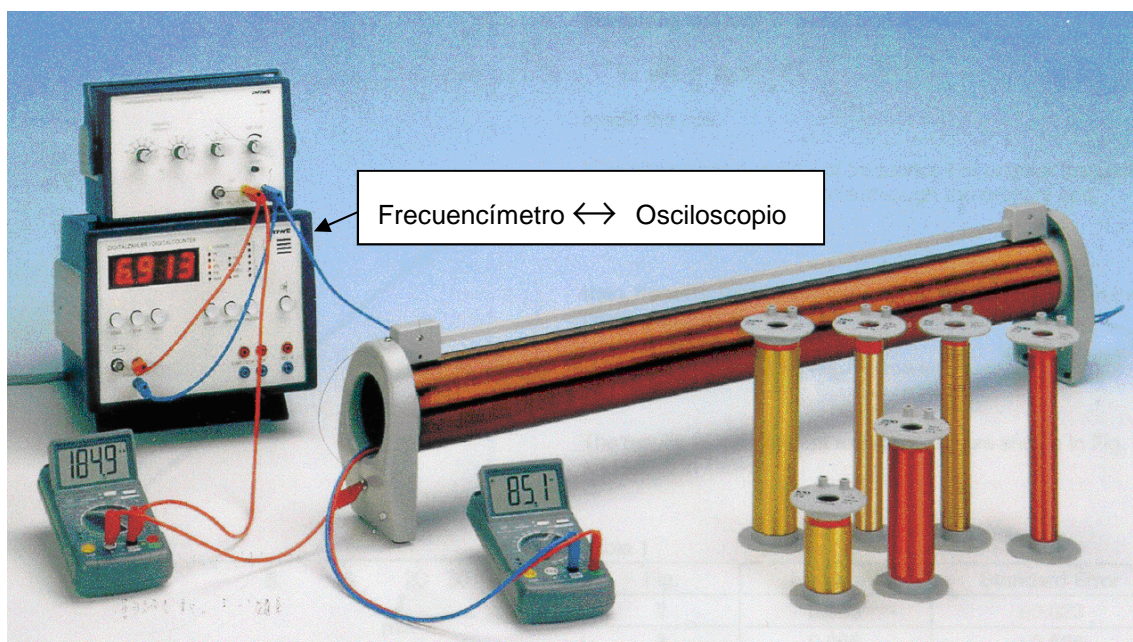


Fig.1

Si a un solenoide se alimenta con un voltaje que varía con el tiempo se genera una corriente eléctrica que da lugar a un campo magnético que varía con el tiempo y para puntos del interior del solenoide ese campo magnético depende de esa corriente  $I(t)$ , que pasa por el mismo, de la forma:

$$|B(t)| = \frac{\mu_0 N I(t)}{l} \quad (1)$$

donde  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética del vacío,  $N$  el numero de espiras del solenoide y  $l$  su longitud.

Si el campo magnético varía con el tiempo aparecerá un campo eléctrico inducido en toda la región. Así, si se coloca un segundo solenoide en su interior, se generará una f.e.m. inducida,  $\xi$ , debida a este campo eléctrico, como consecuencia de la variación de flujo magnético que soporta.

La ley de Faraday-Lenz predice dicho efecto según la expresión:

$$\xi = -\frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad \text{donde} \quad \xi = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (2)$$

donde  $\xi$  es la f.e.m. inducida en el solenoide pequeño,  $\vec{E}$  el campo eléctrico inducido sobre las espiras del solenoide pequeño y  $\vec{B}$ , el campo magnético que existe en el interior del solenoide pequeño.

La f.e.m. inducida en el solenoide pequeño, que se ha introducido en el solenoide grande, es debida a dos causas; una debida a la variación del campo magnético del solenoide grande y otra por la variación de su propio campo magnético. En este experimento la primera de las causas es la más importante y será la única que se tenga en consideración al realizar las previsiones teóricas.

Si el solenoide grande se alimenta con una señal de la forma  $V(t) = V_0 \sin(\omega t)$ , la corriente que le atraviesa será de la forma  $I(t) = I_0 \sin(\omega t + \phi)$ , por lo que en su interior se genera un campo magnético variable que sigue la ley expresada en (1), cuyo valor quedará determinado por la expresión:

$$|B(t)| = \frac{\mu_0 N_1 I_0 \sin(\omega t + \phi)}{l_1} \quad (3)$$

donde  $N_1$  es el número de espiras del solenoide grande,  $l_1$  la longitud del solenoide grande,  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética del vacío y  $\phi$  es el desfase que introduce el solenoide al que no se le puede obviar su carácter resistivo (circuito  $LR$ ).

Cuando en el interior del solenoide grande se coloca uno de los pequeños, como se muestra en la Fig.1 éste será atravesado por las líneas de este campo magnético variable y por tanto el flujo magnético que soporta estará variando en el tiempo y dará lugar a la aparición de una f.e.m. inducida que podremos medir con un voltímetro de corriente alterna.

Según la ley de Faraday, la f.e.m. inducida en el solenoide pequeño queda descrita por la siguiente expresión:

$$\xi = -\frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = -\frac{d}{dt} \left[ N_2 \left( \frac{\mu_0 N_1 I_0 \sin(\omega t + \phi)}{l_1} \right) \pi r_2^2 \right] = -\left( \frac{\mu_0 N_2 N_1 \pi r_2^2 \omega I_0}{l_1} \right) \cos(\omega t + \phi)$$

$$\xi = -M \omega I_0 \cos(\omega t + \phi),$$

$$\text{siendo } M = \frac{\mu_0 N_2 N_1 \pi r_2^2}{l_1} \quad \text{y} \quad V_0 = M \omega I_0 \quad (4),$$

donde:

$\xi$ : Voltaje inducido en el solenoide pequeño, siendo  $V_0$  la amplitud del voltaje inducido y será su valor eficaz ( $V_{\text{eficaz}}$ ), la medida que proporciona un voltímetro analógico de AC

$$V_{\text{eficaz}} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

$M$ : es el coeficiente de inducción mutua

$N_1$  y  $N_2$ : número de espiras de los solenoides grande y pequeño respectivamente

$r_2$ : radio de la sección del solenoide pequeño

$l_l$  : longitud del solenoide grande

$\omega = 2\pi\nu$ , donde  $\nu$  es la frecuencia de la señal de alimentación y que se mide con el contador digital, en la función frecuencímetro.

$I_0$  : Es la amplitud de la intensidad que atraviesa el solenoide grande, siendo su valor eficaz ( $I_{\text{rms}} \equiv I_{\text{eficaz}} \equiv I_e$ ) la medida que proporciona un amperímetro analógico

$$I_{\text{rms}} = I_{\text{eficaz}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

De la expresión (4) se deduce que la fem inducida en el solenoide pequeño, introducido en el solenoide grande, crece con la frecuencia de oscilación de la corriente, con su sección, con el número de espiras, con el módulo de la intensidad de la corriente de alimentación y decrece con la longitud del mismo.

## 2.- DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

### 2.1. GENERADOR DE FRECUENCIA VARIABLE: OSCILADOR

Es el instrumento que suministra la señal de alimentación al circuito. Tiene la posibilidad de proporcionar señales de corriente alterna de diferentes amplitudes y frecuencias. Suministra diferentes formas de señal, senoidal, cuadrada y triangular. En este experimento se utilizarán señales senoidales entre 1kHz y 12 kHz, por debajo y por encima de este intervalo no se garantiza la exactitud de los instrumentos de medida.

### 2.2.- FRECUENCÍMETRO

Es un instrumento que sirve para medir tiempos, frecuencias, frecuencias de impulsos y contar impulsos. Se utilizará en la función como frecuencímetro, para ello se pulsará la tecla FUNCTION hasta que se ilumine el LED que marca las unidades kHz. Para activar las mediciones pulsar la tecla START.

### 2.3.- EQUIPOS COMPACTOS

Hay equipos que integran en un mismo elemento el generador de funciones y el frecuencímetro; en el laboratorio, para la realización de esta práctica, los puestos vienen equipados con estos instrumentos donde se visualiza la frecuencia de trabajo.

### 2.4.- MULTÍMETROS

Son instrumentos que dependiendo de la posición en la que se coloque el cursor se comportan como voltímetros de DC o AC, como amperímetros de DC o AC o también como óhmetros. Disponen de diferentes escalas, se ha de seleccionar aquella en la que la medida a realizar se visualice de forma óptima (máxima deflexión de la aguja).

### 2.5. SOLENOIDES

Son bobinados de cobre de forma cilíndrica. Se dispone de solenoides de diferentes longitudes, secciones y número de espiras.

### 3.- MÉTODO EXPERIMENTAL

#### 3.1 Determinación de la f.e.m. inducida en un solenoide por una señal de corriente alterna de amplitud y frecuencia variable.

3.1.1.- Montar el circuito de la Fig.1

3.1.2.- Datos suministrados por el fabricante del solenoide grande

$$N_1 = 485 \text{ espiras} \quad l_1 = 750 \text{ mm}$$

3.1.3.- Elegir el solenoide pequeño de:

$$N_2 = 300 \text{ espiras} \quad D_2 = 2r_2 = 41 \text{ mm}$$

Dado que en una señal de alterna,  $I(t) = I_0 \sin(\omega t + \phi)$ , se pueden variar dos magnitudes, la amplitud  $I_0$  y la frecuencia angular  $\omega$ , se analizará la f.e.m. inducida en dos fases: primero se mantendrá constante la frecuencia angular  $\omega$  y se variará la amplitud y después se variará la frecuencia angular  $\omega$  y se mantendrá constante la amplitud.

3.1.4.- Elegir un valor de la frecuencia del oscilador entre 1kHz -12kHz

\*Variando la amplitud del voltaje de alimentación, tomar diez medidas de corriente  $I_{\text{eficaz}}$  (amperímetro) y las correspondientes fem inducidas  $V_{\text{eficaz}}$  (voltímetro) a frecuencia fija.

**Frecuencia elegida:**  $\nu =$                       Hz ;  $\omega = 2\pi\nu =$                       rad/s

$I_{\text{eficaz}}$ ( )	$V_{\text{eficaz}}$ ( )	$M$ ( )
-------------------------	-------------------------	---------

3.1.5.- Elegir un valor de la amplitud de la corriente de alimentación  $I_{\text{eficaz}}$

\*Variando la frecuencia en el intervalo 1kHz -12kHz, tomar para diez medidas de frecuencia las correspondientes f.e.m. inducidas  $V_{\text{eficaz}}$  (voltímetro) manteniendo constante  $I_{\text{eficaz}}$

**Intensidad elegida  $I_{\text{eficaz}} =$**

frecuencia $\nu$ ( )	$\omega = 2\pi\nu$ ( )	$V_{\text{eficaz}}$ ( )
----------------------	------------------------	-------------------------

3.1.6.- Elegir un valor de amplitud y frecuencia para la corriente de alimentación,  
 $I(t) = I_0 \sin(\omega t + \phi)$

**Intensidad elegida  $I_{\text{eficaz}} =$**                       **Frecuencia elegida:  $\nu =$**                       Hz

\* Ir introduciendo de uno en uno, cada uno de los solenoides disponibles en la práctica, que tienen la misma sección y longitud y diferente número de espiras y medir la f.e.m. inducida.

Nº de espiras (N )	$V_{\text{eficaz}}$ ( )
--------------------	-------------------------

## TRABAJO A DESARROLLAR.

3.2.1 Para la frecuencia elegida, determine el coeficiente de inducción mutua promedio y el error estándar asociado.

3.2.2.- El coeficiente de inducción mutua calculado, ¿cambia con la frecuencia utilizada?

3.2.3 Representar gráficamente  $V_{\text{eficaz}}$  frente a la frecuencia para el solenoide de 300 espiras para la amplitud de intensidad elegida. Explica a que curva se ajustan los datos.

3.2.4.-Determinar a partir de la pendiente el coeficiente de inducción mutua.

3.2.5. - Comparar los resultados obtenidos en los apartados 3.2.2 y 3.2.4. Justifica la respuesta.

3.2.6. - Representar gráficamente  $V_{\text{eficaz}}$  frente al número de espiras del solenoide. Explica a qué curva se ajustan los datos.



[illegible]



c.- Represente gráficamente  $V_{\text{eficaz}}$  frente a la frecuencia angular,  $\omega$ , para el solenoide de 300 espiras, utilizando papel milimetrado.

d.- ¿A qué función matemática se pueden ajustar los datos? ¿Coincide con lo esperado?

### Justificación de la expresión teórica de la f.e.m. inducida en un solenoide y determinación del coeficiente de inducción mutua $M$

e.- Determine la pendiente  $K$  de la gráfica

$$K =$$

f.- Determine el coeficiente de inducción mutua  $M = \frac{K}{I_{\text{eficaz}}}$

$$M =$$

g.- ¿Son coherentes este valor del coeficiente de inducción mutua y el  $\langle M \rangle$  obtenido anteriormente?

1.4.3- Elegir un valor de amplitud y frecuencia para la corriente de alimentación,  $I(t) = I_0 \sin(\omega t + \phi)$

Intensidad elegida  $I_{\text{eficaz}} =$  ; Error instrumental  $\Delta I_{\text{eficaz}} =$

Frecuencia elegida:  $\nu =$

Ir introduciendo de uno en uno, cada uno de los solenoides disponibles en la práctica, que tienen la misma sección, la misma longitud y diferente número de espiras y medir la f.e.m. inducida.

Nº de espiras del solenoide (N)	$V_{\text{eficaz}}$ ( )

a.- Represente la f.e.m. inducida en función del número de espiras, utilizando papel milimetrado.

b.- ¿A qué función matemática se pueden ajustar los datos? ¿Coincide con lo esperado? Si es una función lineal, ¿qué indica la pendiente? Compare el resultado con la previsión teórica.