

## PRÁCTICA N° 7

### TORQUE EN UN CAMPO MAGNÉTICO

#### Objetivos

- Medir el torque magnético que se presenta en espiras con corriente ubicadas en un campo magnético y realizar el análisis de todos sus parámetros.
- Identificar la presencia de campos magnéticos con ayuda de una brújula.
- Definir la orientación del campo magnético producido por bobinas que llevan corriente.

#### 1. INTRODUCCIÓN

Si un conjunto de cargas se mueve a lo largo de un conductor y éste a su vez se encuentra en una región del espacio donde existe un campo magnético con componentes no paralelas al desplazamiento de las cargas, el conductor experimentará una fuerza.

La corriente  $i$  en un conductor es transportada por los electrones libres del conductor. La magnitud de la fuerza media que actúa en cada uno de estos electrones está dada por  $F = q_0 B v \sin \theta$ , donde  $q_0$  es la carga del electrón,  $B$  es la magnitud del campo magnético,  $v$  es la velocidad del electrón a lo largo del conductor y  $\theta$ , es el ángulo formado entre los vectores campo magnético y velocidad del electrón. Ahora, si el desplazamiento del electrón es perpendicular al campo magnético, entonces  $F = q_0 v_d B$ , siendo  $v_d$  la velocidad de arrastre de los electrones. Para encontrar la fuerza total sobre todas las cargas móviles de un conductor rectilíneo se debe considerar el número de electrones por unidad de volumen  $n$ , es decir, en un segmento de conductor de longitud  $L$  y sección transversal  $A$  y, por tanto, de volumen  $AL$ , el número de electrones es igual a  $nAL$ . De este modo, la fuerza sobre el conductor es:

$$F = (nAL)(qv_d B) = (nqv_d A)(LB) \quad (1)$$

Ahora bien, siendo la densidad de corriente  $J = nqv_d$ , y el producto  $JA$  la corriente total  $i$ , se reescribe la ecuación (1) como:

$$F_B = iLB_{\perp} \quad (2)$$

donde  $i$  es la corriente que pasa por el conductor y  $B_{\perp}$  es la componente perpendicular del campo magnético externo al conductor rectilíneo, y la única que ejerce fuerza [1,2].

### 1.1 Momento sobre una espira de corriente

Tal como se muestra en la Figura 1 (a), una espira rectangular de dimensiones  $a \times b$  ubicada en una región del espacio donde existe un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$ , experimentará los siguientes efectos de las fuerzas. En un momento dado el vector área  $\mathbf{A}$  (normal al plano de la espira), forma un ángulo  $\theta$  con el campo magnético  $\mathbf{B}$ . Los lados (1) y (3) de la espira son perpendiculares al campo y la fuerza neta sobre la espira, es la resultante de las fuerzas sobre cada uno de sus cuatro lados.

De acuerdo con la ecuación (2), para los lados (2) y (4) se tiene  $\mathbf{F}_2 = \mathbf{F}_4 = i\mathbf{aB}$ , puede verse que tienen la misma magnitud y sentido contrario, por lo tanto, su efecto total será nulo ( $\mathbf{F}_2$  y  $\mathbf{F}_4$  tienen la misma línea de acción). En los lados (1) y (3) se tiene  $\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_3$ , pero  $\mathbf{F}_1 = ibB\text{Sen}(90^\circ - \theta) = ibB\text{Cos}\theta$ , es decir tienen dirección y sentido contrario, pero no tienen la misma línea de acción, originándose un momento neto o *torque* que tiende a hacer girar la espira alrededor de un eje paralelo al plano que subtiende, perpendicular al punto  $O$  de la figura 1 (b).

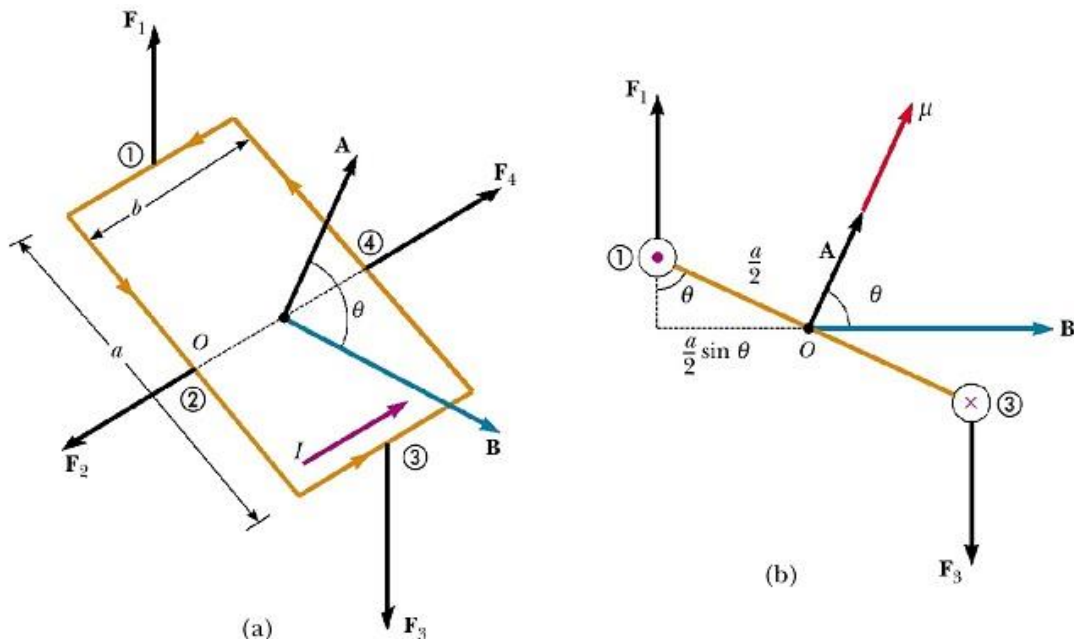


Figura 1. Espira conductora en presencia de un campo magnético  
(Tomada de <http://www.kshitij-iitjee.com>)

El brazo de palanca para las fuerzas  $F_1$  y  $F_3$  es  $(a/2)\text{sen}\theta$ , así que el momento debido a cada fuerza será  $F(a/2)\text{sen}\theta$ , y la magnitud del momento neto:

$$\tau = iabB\sin(\theta) \quad (3)$$

donde  $ab = A$ , es el área de la espira. Si hay  $N$  espiras, el torque será:

$$\tau = NiabB\sin(\theta) \quad (4)$$

Esta expresión también es válida para espiras circulares.

Ahora, para producir un campo magnético aproximadamente uniforme se hace uso de las bobinas de Helmholtz, que consta de dos espiras de alambre coaxial. Para calcular este campo se utiliza la expresión:

$$B = \mu_0 \times 0.715 \times M \times \left(\frac{I}{R}\right) \quad (5)$$

donde  $M$  es el número de espiras de una de las bobinas de Helmholtz ( $M = 154$ ),  $R$  es el radio medio de la bobina  $R = 0.2m$ ,  $\mu_0 = 1.256 \times 10^{-6} \frac{V \cdot s}{A \cdot m}$ , e  $I$  es la corriente que circula por las espiras de las bobinas de Helmholtz ( $< 3A$ ) [1,2,3].

### Bibliografía

- [1] Sears Y Zemansky. Física Universitaria. Pearson Vol.2, 13ª Ed. Pg 889-905.
- [2] Bauer W., Westfall G., Física para ingeniería y ciencias con física moderna Vol.2. MacGraw Hill, 2ª. Ed. Pág. 933-938.
- [3] <http://www.kshitij-iitjee.com/Torque-on-a-current-loop-in-a-uniform-magnetic-field>

### Equipo

- ☒ Fuente de voltaje 0-32 Voltios.
- ☒ Dinamómetro de Torsión de 0.01 N.
- ☒ 2 Bobinas de Helmholtz.
- ☒ Juego de espiras de prueba.
- ☒ 2 Pies.
- ☒ Brújula.
- ☒ Soporte de espiras de prueba.
- ☒ Nuez doble.
- ☒ Nuez de mesa.
- ☒ Varilla de 25 cm.
- ☒ 5 Conectores.

## 2. PROCEDIMIENTO E INFORME

1. Alineación del sistema: Familiarizarse con el montaje del experimento, como se muestra en la Figura 2.

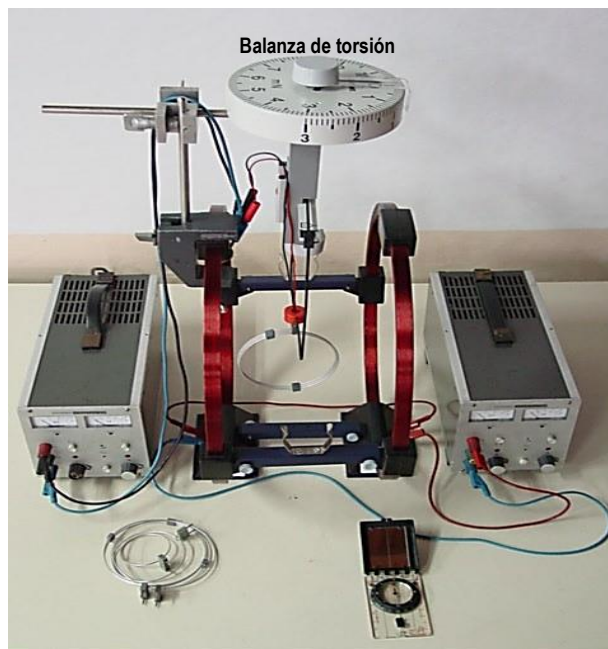


Figura 2. Montaje para la medida del torque producido en una espira.

2. Ajustar la **corriente  $I$  (de las bobinas de Helmholtz)** a **2A**. Con ayuda de una brújula notar la presencia de un campo magnético en el interior de la bobina. Con los

parámetros fijados y con la expresión de Helmholtz (5), calcular la intensidad del campo magnético.

3. Apagar las fuentes y colocar en la balanza de torsión una bobina de prueba de  $N_3 = 3$  espiras, de tal forma tal que el ángulo entre el campo magnético y la normal a la bobina de prueba sea  $\theta = 90^\circ$ . Con las dos fuentes apagadas, ajustar la posición de la balanza de torsión en cero.

- Encender y ajustar las fuentes para que circule una corriente  $i = 0.5A$  por la bobina de prueba de tres vueltas y establecer  $I = 2A$  por las bobinas de Helmholtz.
- Volver a equilibrar la balanza y medir este desplazamiento; esto es, la fuerza aplicada en el brazo del dinamómetro  $\tau_E = F \cdot d$ , donde  $d = 0.11m$  y  $F$  es la lectura del dinamómetro (en miliNewtons).
- Repetir los pasos anteriores con las corrientes que se muestran en la tabla siguiente:

$i(A)$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$F(m\ N)$						
$\tau_E(N\ m)$						
$\tau_T(N\ m)$						

Donde  $\tau_T$  se obtiene de la ecuación 4.

- Graficar  $\tau$  vs  $i$ , teórico y práctico en un mismo plano cartesiano y encontrar la pendiente. Además, describir el significado físico de esta pendiente.
4. Utilizar los siguientes parámetros:  $i = 2A$ ,  $N_3 = 3$ ,  $\theta = 90^\circ$ . Apagar las fuentes y ajustar la balanza a su posición de cero.

- Variar la corriente  $I$  de acuerdo a los valores de la siguiente tabla:

$I(A)$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$F(m\ N)$						
$\tau_E(N\ m)$						
$\tau_T(N\ m)$						
$B(T)$						

- Calcular el campo magnético  $B$  con cada valor de corriente y graficar  $\tau$  vs  $B$ , tanto teórica como experimentalmente en un mismo plano cartesiano y encontrar la pendiente. Además, identificar el significado físico de esta pendiente.

5. Ajustar  $I = i = 2A$  y  $\theta = 90^\circ$ . Apagar las fuentes y conectar bobinas de prueba de 3, 2, 1 espiras de igual área y en cada caso hacer medidas de torque.

$N$	3	2	1
$F(\text{m N})$			
$\tau_E(\text{N m})$			
$\tau_T(\text{N m})$			

**Nota:** Al colocar cada espira con las fuentes apagadas se debe ajustar la balanza en la posición de cero.

- Graficar  $\tau$  vs  $N$  teórico y práctico en un mismo plano cartesiano, obtener la pendiente y especificar su significado físico.
6. Similar al literal anterior, conectar bobinas de 1 espira y diferente área, en cada caso calcular el área y medir el torque. Ajustar  $I = i = 2A, N = 1$  y  $\theta = 90^\circ$ .

$A(\text{m}^2)$			
$F(\text{m N})$			
$\tau_E(\text{N m})$			
$\tau_T(\text{N m})$			

- Graficar  $\tau$  vs  $A$ , teórico y práctico sobre un mismo plano cartesiano, obtener la pendiente y especificar su significado físico.
7. Agregar en su informe comentarios, sugerencias, causas de error y conclusiones.

**LABORATORIO DE FÍSICA II: PRÁCTICA 7**

**HOJA DE RESPUESTAS: PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

**MESA No.** \_\_\_\_\_ **INTEGRANTES** : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**MONTAJE 1**

1. Coloque en la balanza de torsión una bobina de prueba de  $N_3 = 3$  espiras, de tal forma tal que el ángulo entre el campo magnético y la normal a la bobina de prueba sea  $\theta = 90^\circ$ . Con las dos fuentes apagadas, ajustar la posición de la balanza de torsión en cero.

1.1. Encienda y ajuste las fuentes para que circule una corriente  $i = 0.5A$  por la bobina de prueba de tres vueltas y establecer  $I = 2A$  por las bobinas de Helmholtz.

1.2. Vuelva a equilibrar la balanza, mida y reporte este desplazamiento; esto es, la fuerza aplicada en el brazo del dinamómetro  $\tau_E = F \cdot d$ , donde  $d = 0.11m$  y  $F$  es la lectura del dinamómetro (en miliNewtons).

1.3. Repita los pasos anteriores con las corrientes que se muestran en la tabla siguiente y reporte los valores requeridos:

$i(A)$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$F(mN)$						
$\tau_E(N\ m)$						
$\tau_T(N\ m)$						

Donde  $\tau_T$  se obtiene de la ecuación 4.

1.4. Grafique  $\tau$  vs  $i$ , teórico y práctico en un mismo plano cartesiano y encontrar la pendiente. Describa el significado físico de esta pendiente.

**MONTAJE 2**

2. Utilice los siguientes parámetros:  $i = 2\text{ A}$ ,  $N_3 = 3$ ,  $\theta = 90^\circ$ . Apague las fuentes y ajuste la balanza a su posición de cero.

2.1. Varíe la corriente  $I$  de acuerdo a los valores de la siguiente tabla:

$I(\text{A})$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$F(\text{m N})$						
$\tau_E(\text{N m})$						
$\tau_T(\text{N m})$						
$B(\text{T})$						

- 2.2. Calcule el campo magnético  $B$  con cada valor de corriente y grafique  $\tau$  vs  $B$ , tanto teórica como experimentalmente en un mismo plano cartesiano y encuentre la pendiente. Describa el significado físico de esta pendiente.



### MONTAJE 3

3. Ajuste a los siguientes valores  $I = i = 2A$  y  $\theta = 90^\circ$ . Apague las fuentes y conecte las bobinas de prueba de 3, 2, 1 espiras de igual área y en cada caso realice las medidas de torque.

$N$	3	2	1
$F(\text{m N})$			
$\tau_E(\text{N m})$			
$\tau_T(\text{N m})$			

**Nota:** Recuerde que al colocar cada espira con las fuentes apagadas se debe ajustar la balanza en la posición de cero.

- 3.1. Grafique  $\tau$  vs  $N$  teórico y práctico en un mismo plano cartesiano, obtenga la pendiente y describa su significado físico.

### MONTAJE 4

4. Conecte bobinas de 1 espira y diferente área, en cada caso calcule el área y mida el torque. Ajuste  $I = i = 2A$ ,  $N = 1$  y  $\theta = 90^\circ$

$A(\text{m}^2)$			
$F(\text{m N})$			
$\tau_E(\text{N m})$			
$\tau_T(\text{N m})$			

- 4.1. Grafique  $\tau$  vs  $A$ , teórico y práctico sobre un mismo plano cartesiano, obtenga la pendiente y describa su significado físico.

5. Escriba comentarios, sugerencias, causas de error y conclusiones.