

# 1. Guía para el paquete ScienSolar: Fuerza magnética entre dos elementos de corriente (Modelo 26)

## 1.1. Objetivo

Analizar la fuerza magnética entre dos elementos diferenciales de corriente utilizando simulación computacional y verificar la dependencia vectorial establecida por la ley de Ampère diferencial.

## 1.2. Fundamento teórico

La fuerza magnética diferencial entre dos elementos de corriente está dada por:

$$d\vec{F}_{21} = K \frac{I_1 d\vec{l}_1 \times (I_2 d\vec{l}_2 \times \hat{r}_{21})}{r_{21}^2} \quad (1)$$

o equivalentemente,

$$d\vec{F}_{21} = \frac{K I_1 I_2}{r_{21}^3} d\vec{l}_1 \times (d\vec{l}_2 \times \vec{r}_{21}) \quad (2)$$

donde:

- $I_1$  e  $I_2$  son las corrientes eléctricas,
- $d\vec{l}_1$  y  $d\vec{l}_2$  son los elementos diferenciales de corriente,
- $\vec{r}_{21}$  es el vector que une el elemento 2 con el elemento 1,
- $K$  es la constante magnética del sistema.

La dirección de la fuerza depende de productos cruz y por tanto está determinada por la regla de la mano derecha. La constante magnética utilizada en el simulador es:

$$K = \frac{\mu_0}{4\pi}, \quad (3)$$

con

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2, \quad (4)$$

por lo que:

$$K = 10^{-7} \text{ N/A}^2. \quad (5)$$

## 1.3. Configuración del simulador

Magnitud	Celda
Constante magnética $K$	G10
Corriente $I_1$	G14
Corriente $I_2$	G15
Posición de $d\vec{l}_1$	A10, B10, C10
Componentes de $d\vec{l}_1$	A12, B12, C12
Posición de $d\vec{l}_2$	A28, B28, C28
Componentes de $d\vec{l}_2$	A30, B30, C30
Magnitud de $\vec{r}$	G18
Magnitud de $ d\vec{F}_{12} $	G19
Magnitud de $ d\vec{F}_{21} $	G20
Escala del sistema	E5

## 2. Actividad 1. Fuerza entre elementos paralelos

### Procedimiento

Configure:

- $K = 10^{-7}$
- $I_1 = 2$  A
- $I_2 = 3$  A
- Oprima varias veces el botón **Auto** en la celda **E5** hasta obtener una vista clara de los vectores  $\vec{dF}_{12}$  y  $\vec{dF}_{21}$  en el sistema de coordenadas (vectores grises).

Configure las componentes de los vectores elementos de corriente como:

$$d\vec{l}_1 = (0, 0, -1)$$

$$d\vec{l}_2 = (0, 0, 1),$$

y sus posiciones:

$$\vec{r}_1 = (3, 2, 0)$$

$$\vec{r}_2 = (3, 4, 0)$$

Oprima el botón XYZ (G2) para actualizar. Observe:

- La dirección de las fuerzas.
- La magnitud de  $|d\vec{F}_{12}|$  y  $|d\vec{F}_{21}|$ .
- El efecto de aumentar la distancia entre los elementos.

### Preguntas

1. ¿Cómo cambia la fuerza al duplicar la distancia?
2. ¿Qué ocurre cuando ambas corrientes tienen el mismo sentido?
3. ¿Qué ocurre cuando las corrientes tienen sentidos opuestos?
4. ¿La fuerza es paralela al vector  $\vec{r}$ ?

## 3. Actividad 2. Dependencia angular

### Procedimiento

Mantenga fijas las posiciones y corrientes anteriores.  
Ahora modifique el elemento:

$$d\vec{l}_2 = (1, 0, 0)$$

y posteriormente:

$$d\vec{l}_2 = (0, 1, 0)$$

Oprima el botón XYZ (G2) para actualizar. Observe cómo cambia la dirección de la fuerza.

## Ejemplo numérico

Para:

$$d\vec{l}_1 = (0, 0, -1), \quad d\vec{l}_2 = (1, 0, 0),$$

con:

$$\vec{r} = (0, 2, 0), \quad r = 2,$$

(Nota: el simulador calcula el radio automáticamente a partir de las posiciones de los elementos) la magnitud de la fuerza es:

$$|d\vec{F}| = K \frac{I_1 I_2}{r^2} = 10^{-7} \times \frac{(2)(3)}{2^2} = 10^{-7} \times \frac{6}{4} = 1,5 \times 10^{-7} \quad (6)$$

Compare este comportamiento con el valor mostrado en la simulación.

## 4. Actividad 3. Dependencia con la distancia

### Procedimiento

Mantenga:

$$d\vec{l}_1 = (0, 0, -1), \quad d\vec{l}_2 = (0, 0, 1)$$

y varíe únicamente la posición de  $d\vec{l}_2$ :

$$(3, 3, 0), \quad (3, 5, 0), \quad (3, 8, 0).$$

Complete la tabla.

Distancia $r$	Magnitud de la fuerza

### Preguntas

1. ¿La fuerza decrece como  $1/r$ ,  $1/r^2$  o  $1/r^3$ ?
2. ¿Qué término matemático controla esta dependencia?

## 5. Actividad 4. Configuración aparentemente incompatible con la tercera ley de Newton

### Introducción

En ciertos sistemas electromagnéticos, las fuerzas diferenciales entre elementos de corriente pueden aparentar violar la tercera ley de Newton cuando se analizan únicamente fuerzas locales instantáneas.

Sin embargo, al considerar el campo electromagnético completo y el momento transportado por el campo, la conservación total del momento se mantiene.

### Procedimiento

Configure:

$$d\vec{l}_1 = (1, 0, 0)$$

$$d\vec{l}_2 = (0, 1, 0)$$

Posiciones:

$$\vec{r}_1 = (0, 0, 0)$$

$$\vec{r}_2 = (0, 2, 1)$$

Corrientes:

$$I_1 = 2 \text{ A}, \quad I_2 = 3 \text{ A}$$

Observe cuidadosamente:

- La dirección de  $d\vec{F}_{12}$ .
- La dirección de  $d\vec{F}_{21}$ .
- Si ambas fuerzas son exactamente opuestas.

## Análisis

Discuta:

1. ¿Las fuerzas parecen cumplir la tercera ley de Newton?
2. ¿Por qué el análisis diferencial puede generar aparentes inconsistencias?
3. ¿Qué papel juega el campo electromagnético en la conservación del momento?

## 6. Conclusiones

Explique:

1. Cómo depende la fuerza magnética de:
  - la distancia,
  - la orientación,
  - las corrientes.
2. Diferencias entre interacción eléctrica y magnética.
3. Importancia del producto vectorial en la dirección de la fuerza magnética.
4. Por qué el análisis completo del electromagnetismo requiere considerar tanto partículas como campos.