

Inducción electromagnética

1. Ley de Faraday

De entre todas las leyes del electromagnetismo, una de las más importantes es la conocida como **ley de inducción de Faraday**, denominada a veces ley de Lenz-Faraday. Es una ley fundamental porque relaciona el campo eléctrico con el campo magnético. La ley nos relaciona la variación de flujo magnético en un circuito, una bobina, o una espira con la diferencia de potencial que en ella se genera en función del tiempo. Matemáticamente se expresa como

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi_M}{\Delta t} \quad (1)$$

donde ε (epsilon) se denomina fuerza electromotriz o *fem*, Φ_M es el flujo magnético y t es el tiempo. La Δ se refiere a la variación o incremento de estas magnitudes.

Hay que hacer varias puntualizaciones. La fuerza electromotriz, se llama así por tradición, no es una *fuerza* en el sentido físico (no son newtons), es una **diferencia de potencial** y por lo tanto se mide en **voltios (V)**, como el potencial electrostático. Y el flujo magnético recordemos que se podía poner, si el campo magnético es constante a lo largo de la superficie como

$$\Phi_M = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \varphi \quad (2)$$

donde φ es el ángulo que forma el vector superficie perpendicular al plano, con el campo magnético. Si la bobina tiene un número N de espiras, el flujo es ahora

$$\Phi_M(\text{bobina}) = \vec{B} \cdot \vec{S} = NBS \cos \varphi \quad (3)$$

La ecuación 1 se puede reescribir, si tenemos en cuenta los incrementos como

$$\varepsilon = -\frac{\Phi_{Mf} - \Phi_{Mi}}{t_f - t_i} \quad (4)$$

Así pues la fuerza electromotriz inducida depende de la variación de flujo con el tiempo. El flujo depende de tres magnitudes: del valor del campo magnético, del área del circuito y del ángulo que forma la superficie del circuito con el campo magnético. Puede ocurrir pues que en un circuito el campo magnético sea variable con el tiempo, o puede moverse la espira o girar, con lo que todo ello dará lugar a una variación del flujo magnético. En las figuras 1 y 2 vemos algunos ejemplos.

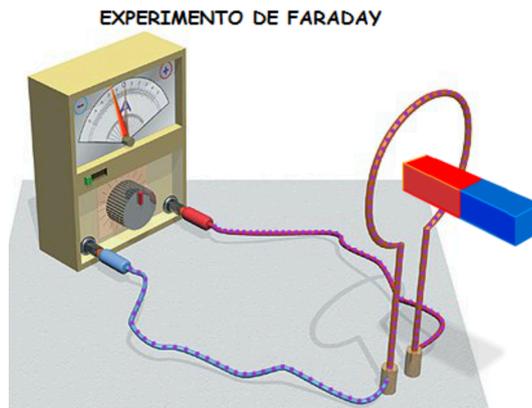


Figura 1: Ley de inducción de Faraday. Al acercar un imán a una espira, varía el flujo magnético, y se induce o genera una diferencia de potencial que da lugar a una corriente que se puede medir con un amperímetro.

2. Fuerza electromotriz de movimiento

La *fem* de movimiento aparece cuando dentro de un circuito conductor una de sus partes se mueve. El ejemplo que se suele poner es el de una barra conductora que se desplaza sobre un conductor, como indica la siguiente figura.

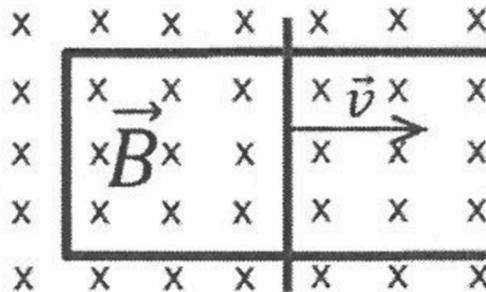


Figura 2: Circuito en el interior de un campo magnético \vec{B} dirigido hacia el interior del papel. La barra vertical se desplaza hacia la derecha con velocidad constante \vec{v} .

La superficie que ofrece el circuito al campo magnético va aumentando con el tiempo porque la barra se desplaza hacia la derecha y el área es cada vez mayor. $S = L \cdot x$, donde L es la longitud de la barra y x la longitud del lado. El campo magnético y el vector superficie van dirigidos hacia el interior del papel y su ángulo es 0. El flujo magnético resulta ser

$$\Phi_M = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \varphi = BLx \cos 0 = BLx \quad (5)$$

Como la barra se mueve a velocidad constante v , tenemos que $x = v \cdot t$, por lo tanto el flujo de la fórmula 5 es ahora

$$\Phi_M = BLvt \quad (6)$$

Para hallar la *fem* inducida aplicamos la ley de Faraday en forma diferencial (haciendo derivadas respecto del tiempo)

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_M}{dt} = -\frac{d}{dt}(BLvt) = -BLv \quad (7)$$

ya que el B , la L y la v son constantes. Así pues la fuerza electromotriz de movimiento inducida en el circuito de la figura 2 es

$$\varepsilon = -BLv \quad (8)$$

Se puede tomar en valor absoluto ya que el menos se conoce como la ley de Lenz y es lo que se explica en la siguiente sección. $|\varepsilon| = BLv$. Recordemos que ε se mide en voltios.

3. Ley de Lenz

La ley de Lenz es el signo negativo que aparece en la ley de inducción de Faraday, fórmulas 1 y 7. Es una ley experimental y permite saber el sentido que tiene la corriente eléctrica inducida en el circuito. La ley de Lenz dice que el sentido de la corriente inducida es tal que su efecto magnético compensa a la variación de flujo magnético. Vamos a explicarlo de nuevo con la figura 2.

Si nos fijamos, vemos en la figura que al moverse la barra hacia la derecha aumenta el área y por lo tanto el flujo magnético. Así pues el sentido de la corriente en el circuito ha de compensar o anular ese aumento. La forma de hacerlo sería haciendo que la corriente circulara hacia la izquierda, en sentido contrario a las agujas del reloj. De esa manera el campo magnético creado por esa corriente inducida iría hacia fuera del papel y compensaría el aumento del flujo magnético. Eso es lo que nos dice la ley de Lenz.

Deduzcamos ahora cómo iría la corriente si la barra se desplazara ahora hacia la izquierda. La superficie disminuye y por lo tanto el flujo. Ahora pues por la ley de Lenz el sentido de la corriente ha de compensar esa disminución de flujo. Por lo tanto la corriente ha de hacia la derecha, en el sentido de las agujas del reloj, así el campo creado iría hacia el interior del papel y se compensaría el flujo. La ley de Lenz solo se usa en cuestiones para deducir el sentido de la corriente. Como ejercicio podéis intentar determinar en qué sentido va la corriente de la espira de la figura 1 cuando, primero, el imán se acerca a la espira y, segundo, cuando se aleja.