

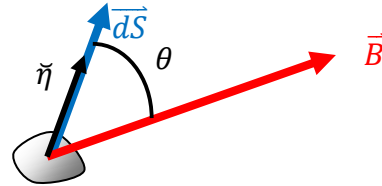
INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Flujo de inducción magnética

El flujo de inducción magnética elemental $d\Phi_B$ a través de una superficie infinitesimal $\vec{dS} = dS \cdot \vec{\eta}$ (donde $\vec{\eta}$ es el versor normal a la superficie), se define como el producto escalar del vector inducción magnética $\vec{B}$ en un punto de dicha superficie por el vector $\vec{dS}$:

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{dS}$$

$$d\Phi_B = |\vec{B}| \cdot |\vec{dS}| \cdot \cos\theta$$



El flujo de inducción magnética a través de una superficie finita S , se obtiene por integración:

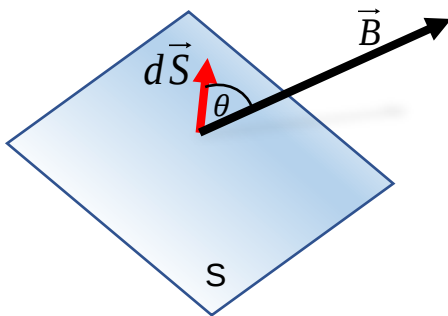
$$\Phi_B = \iint_S \vec{B} \cdot \vec{dS}$$

La unidad de flujo de inducción magnética es el producto de la unidad del módulo del vector inducción magnética por la unidad de área.

En el Sistema Internacional de Unidades es:

$$[\Phi_B] = \text{T} \cdot \text{m}^2 = \text{Wb (weber)} \text{ de donde surge que } \text{T} = \text{Wb/m}^2$$

Flujo magnético a través de una superficie plana finita dentro de un campo de inducción magnética uniforme:



$$\Phi_B = \iint_S \vec{B} \cdot \vec{dS} = \iint_S |\vec{B}| \cdot |\vec{dS}| \cdot \cos\theta$$

Por tratarse de un campo uniforme, su módulo se puede extraer del integrando. Como además, la superficie es plana, también se puede extraer $\cos\theta$.

$$\text{El flujo queda: } \Phi_B = |\vec{B}| \cdot \cos\theta \iint_S |\vec{dS}| \Rightarrow d\Phi_B = |\vec{B}| \cdot S \cdot \cos\theta$$

Interpretación geométrica

Al igual que en el caso del campo electrostático, el flujo del vector B a través de una superficie, puede interpretarse como una magnitud escalar aditiva relacionada con la cantidad de líneas de inducción que la atraviesan.

La densidad de dicho flujo (o la cantidad de esas líneas por unidad de área), representa la intensidad de la componente del vector B en la dirección normal a la superficie.

Si las líneas del campo uniforme son paralelas a la superficie plana, no generan flujo sobre ella.

El flujo de un campo B a través de una superficie dada es máximo si las líneas de B son perpendiculares a la superficie.

Ley de Gauss para el campo magnético

El flujo de inducción magnética a través de toda superficie cerrada es nulo.

En símbolos:

$$\iint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

El valor nulo de este flujo se debe a que, a diferencia del campo electrostático, el campo magnético no tiene fuentes ni sumideros, no hay monopolos magnéticos (o al menos, no hay evidencia experimental que lo demuestre).

Ley de Faraday-Lenz

Cuando un circuito conductor está dentro de un campo magnético cuyas líneas atraviesan la superficie que lo tiene como borde, se produce un flujo de inducción magnética.

Si dicho flujo varía en el tiempo, se induce una *fem* en el circuito. Además, si el circuito está cerrado, se produce la circulación de una corriente eléctrica inducida.

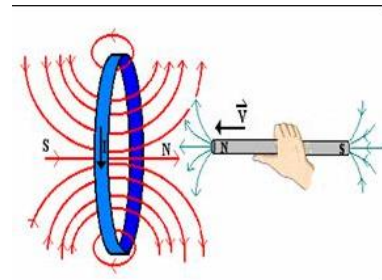
“La *fem* inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con la que cambia el flujo magnético a través de la superficie cuyo borde es el circuito. El sentido de la *fem* inducida es siempre opuesto a la variación que la genera”.

$$\varepsilon_{ind} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

En la figura, se acerca el polo N de un imán a una espira conductora.

El acercamiento provoca un aumento del valor absoluto del flujo magnético.

En la espira se induce una *fem* que provoca una corriente que origina un B inducido que trata de compensar la variación de flujo que originó la *fem*.



Si el polo norte se aleja de la espira, se invierten el sentido de la *fem* y el de la corriente inducida, de tal forma que el B inducido trata de compensar la disminución del valor absoluto del flujo magnético.

Observaciones:

- No debe confundirse el campo cuya variación de flujo produce la *fem* (al que podemos llamar campo inductor), con el campo producido por la circulación de la corriente inducida (campo inducido).
- Si el circuito (la espira en el ejemplo) es conductor, pero no está cerrado, no hay corriente inducida, pero hay *fem* inducida.
- Si el circuito no es conductor (espira de plástico, por ejemplo) igualmente hay *fem* inducida, pero no puede haber corriente inducida.
- La *fem* inducida representa trabajo eléctrico hecho por unidad de carga.
- Si dicho trabajo existe, existe una fuerza que lo hace.
- La fuerza por unidad de carga es un campo eléctrico.
- La circulación de este campo a lo largo del circuito es la *fem* inducida. En símbolos:

$$\mathcal{E}_{ind} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

- Este campo eléctrico no es conservativo (no es un campo electrostático).

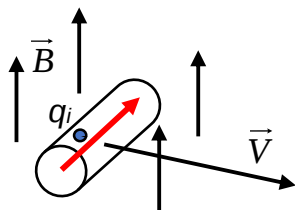
Otra observación:

El flujo de inducción magnética a través de la superficie cuyo borde es un circuito depende de:

- La intensidad del campo magnético,
- el área de la superficie
- y la orientación de la superficie en relación con el campo.

Toda variación de ese flujo induce una *fem* en el circuito. Las variaciones de flujo se pueden lograr mediante cambio en cualquiera de las tres variables de las que depende.

fem de movimiento



La fuerza que el campo ejerce sobre el portador de carga positiva q_i es:

$$\vec{F}_i = q_i \cdot \vec{V} \times \vec{B}$$

La fuerza por unidad de carga es un campo eléctrico:

$$\frac{\vec{F}_i}{q_i} = \vec{V} \times \vec{B} = \vec{E}$$

El producto escalar de este campo por $d\vec{\ell}$ es la *fem* inducida $d\mathcal{E}$:

$$d\varepsilon_i = (\vec{V} \times \vec{B}) \cdot d\vec{\ell}$$

Para un circuito cerrado es:

$$\varepsilon_{ind} = \oint (\vec{V} \times \vec{B}) \cdot d\vec{\ell}$$