

– **Flujo magnético.**

Habíamos definido el flujo de un vector a través de una superficie como el número de líneas de fuerzas que atraviesan dicha superficie. Matemáticamente esto se expresará:

$$\phi = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \oint_S B \cdot \cos \alpha \cdot dS \quad \text{siendo las unidades del flujo } (\phi) \text{ el Webber (Wb).}$$

Las líneas de fuerza del campo \vec{B} son cerradas sobre sí mismas, salen del Polo Norte y entran en el Polo Sur, cerrándose por dentro, en un imán. Esto lleva a una de las ecuaciones mejor establecida de la Física, siendo debida a Maxwell:

$$\phi = \oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

"El flujo del campo magnético \vec{B} a través de una superficie cerrada vale cero": las líneas del campo \vec{B} son cerradas sobre sí mismas, por tanto, no existen ni fuentes ni sumideros de dicho campo (no existen los polos magnéticos separados).

– **Relaciones de comparación entre \vec{E} y \vec{B} .**

Tanto la ley de Coulomb como el teorema de Gauss conducen a un mismo resultado, a saber, el campo \vec{E} es conservativo. Además, el flujo de \vec{E} a través de una superficie cerrada es igual a la carga que encierra por la inversa de la permeabilidad eléctrica (ϵ):

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{r} = 0 \implies \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q/\epsilon \implies \vec{E} = -\vec{\nabla} V$$

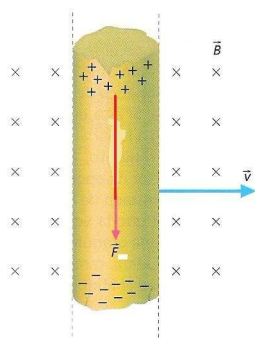
El campo magnético \vec{B} no es conservativo, por lo cual, este no deriva de un potencial escalar. Esto se expresa:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu \cdot I \implies \oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

– **Inducción electromagnética.**

Hemos visto como una corriente eléctrica puede crear un campo magnético. ¿Podría ocurrir el proceso inverso?, es decir, ¿podrán crear corrientes eléctricas los campos magnéticos?

Esto fue observado por Faraday y Henry, independientemente el uno del otro en 1831:



Al desplazar la barra conductora dentro del campo magnético se observa en ella la aparición de una fuerza electromotriz, fem, (potencia que debe consumir un circuito para que en él circule una corriente de un Amperio). Esta es la llamada **INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.**

El conductor posee electrones libres que en su movimiento en el campo se ven sometidos a la fuerza:

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) \implies F = q \cdot v \cdot B$$

Fuerza dirigida hacia la parte inferior del conductor, produciéndose una acumulación de carga (+) en la parte superior.

Vamos a conectar los extremos del conductor móvil a un bastidor metálico en forma de U:

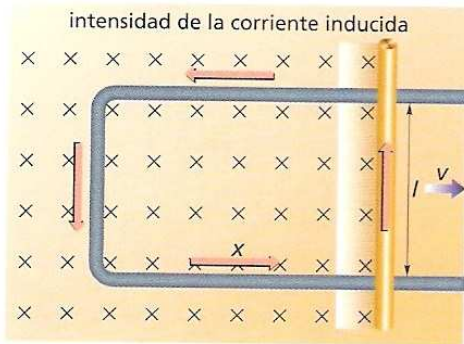


FIGURA 6.11. Al desplazarse el lado móvil hacia la derecha, aumenta el flujo magnético entrante en la superficie de la espira. La corriente que se induce debe circular en el sentido indicado por la regla de la mano derecha con el fin de oponer un flujo saliente (del plano del papel) al aumento de flujo entrante.

Aparece inmediatamente una corriente eléctrica que circulará por el sistema en sentido contrario de las agujas del reloj, tendiendo a disminuir el exceso de carga que existe en los extremos del conductor móvil. Mientras se desplaza el conductor se mantiene la corriente en el sentido indicado, es decir, entre sus extremos se ha inducido una fuerza electromotriz.

¿Como se calcula esta fem?

Veamos, para ello, el trabajo ejercido por la "fuerza magnética" al desplazar una carga q a lo largo de una longitud l :

$$W = F l = q v B l$$

$$\varepsilon = \frac{W}{q} = v B l \quad \implies \quad \boxed{\varepsilon = v B l}$$

Por otra parte, el flujo magnético producido en el tiempo δt al desplazar el conductor metálico sería:

$$d\phi = \vec{B} \cdot d\vec{S} = B \cdot dS \cdot \cos \alpha = B \cdot dS$$

$$\int d\phi = \int B \cdot dS \implies \Delta\phi = B \cdot \Delta S$$

$$\Delta\phi = B l v \Delta t \implies \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = B l v$$

Así llegamos al mismo resultado obtenido experimentalmente por Faraday-Henry:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt}$$

"La **tensión de la corriente eléctrica inducida** que tiene lugar en una espira o bobina, llamada incorrectamente fuerza electromotriz inducida o fem, debida a fenómenos de inducción electromagnética es igual a la variación respecto del tiempo del flujo magnético que atraviesa la espira, cambiada de signo."

El signo (-) tiene su origen en una ley inercial que rige el campo magnético y que se llama LEY de LENZ, según la cual el sentido de la corriente inducida es tal que tiende a oponerse a la causa que la produce.

Causas que originan variación de flujo magnético, y por tanto, se crea corriente inducida:

- 1) Imán acercándose o alejándose de una bobina y viceversa.
- 2) Imán girando en el interior de una bobina y viceversa.
- 3) Bobina recorrida por una corriente alterna en las proximidades de otra. Transformadores.