CAPÍTULO V
Electrocinética

Fundamento teórico

I.- La corriente eléctrica

Ia.- Densidad de corriente eléctrica

Dada una corriente eléctrica en la que los portadores tienen carga q, densidad volúmica n, y se mueven con velocidad promedio $\vec{v}$ (también llamada velocidad de arrastre), la densidad de corriente eléctrica es el vector (definido en cada punto de la corriente)

$$\vec{j} = q\,n\,\vec{v}$$

1) Si no hay movimiento de electrones en ninguna dirección privilegiada (sólo movimiento térmico), $\vec{v} = 0 \rightarrow \vec{j} = 0$ (figura *5-1*, izquierda).
2) Si los portadores tienen carga negativa, como ocurre en la conducción en conductores metálicos, $\vec{j}$ tiene la misma dirección pero sentido contrario a $\vec{v}$ (figura *5-1*, derecha).
3) El módulo de la densidad de corriente se interpreta como la carga que por unidad de tiempo atraviesa la unidad de área perpendicular a la dirección del movimiento de los portadores.

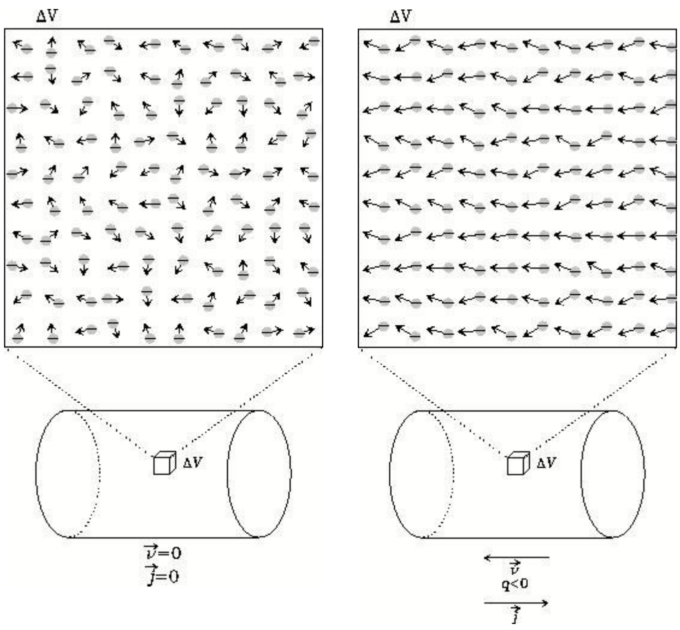


Figura 5-1

Ib.- Intensidad de corriente eléctrica

Dada una corriente eléctrica en la que los portadores tienen carga q, densidad volúmica n, y se mueven que velocidad promedio $\vec{v}$, la intensidad de corriente eléctrica a través de una superficie S viene dada por

$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = \int_S q\, n\, \vec{v} \cdot d\vec{S}$$

(figura *5-2*) y representa la carga neta que por unidad de tiempo atraviesa la superficie S.

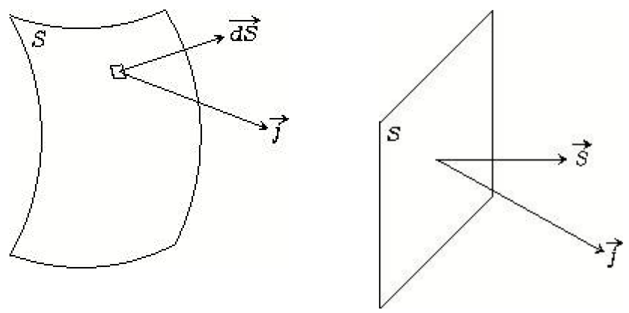


Figura 5-2

1) En el caso de que S sea una superficie plana de vector $\vec{S}$, y de que $\vec{j}$ sea uniforme en S,

$$I = \vec{j} \cdot \vec{S}\,.$$

2) Si S es la sección de un conductor metálico, I es la intensidad que circula por el circuito.
3) Si S es una superficie cerrada,

$$I = \oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

representa la carga neta que abandona el volumen V delimitado por S en la unidad de tiempo.

Ic.- Ecuación de continuidad

Si S es una superficie cerrada cualquiera,

$$\oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = -\frac{\partial q}{\partial t}\,,$$

donde q es la carga neta encerrada por la superficie S.
En régimen estacionario (las magnitudes son independientes del tiempo),

$$\frac{\partial q}{\partial t} = 0 \Rightarrow \oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = 0$$

y representa la ley de nudos en circuitos.

II.- La Ley de Ohm

IIa.- Conductores óhmicos y no óhmicos

En un conductor, con electrones como portadores, por el que circula una corriente eléctrica con densidad de corriente $\vec{j}$ bajo la acción de un campo eléctrico $\vec{E}$, se cumple (figura *5-3*)

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} = \frac{n e^2 \tau}{2m_e} \vec{E},$$

donde σ es la conductividad, n es la densidad volúmica de portadores, e es la carga del electrón, τ es el tiempo de relajación (tiempo medio entre colisiones) y m_e es la masa del electrón[1].

1) Si la conductividad $\sigma = \frac{n e^2 \tau}{2m_e}$ es independiente de $\vec{E}$, el conductor es óhmico (relación lineal entre $\vec{j}$ y $\vec{E}$).

2) Si la conductividad $\sigma = \frac{n e^2 \tau}{2m_e}$ es dependiente de $\vec{E}$, el conductor es no óhmico (relación no lineal entre $\vec{j}$ y $\vec{E}$).

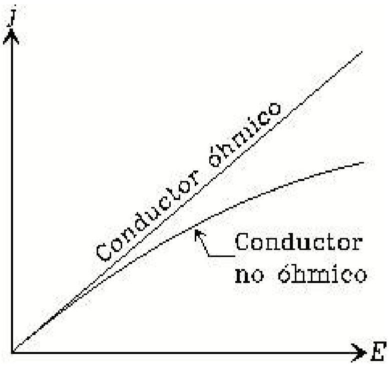


Figura 5-3

IIb.- Resistividad

La resistividad eléctrica es la inversa de la conductividad,

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{2m_e}{n e^2 \tau}$$

IIc.- Resistencia eléctrica

Dado un hilo conductor rectilíneo de longitud l, sección S y conductividad σ (resistividad ρ), su resistencia eléctrica viene dada por (figura *5-4*)

$$R = \frac{1}{\sigma}\frac{l}{S} = \rho \frac{l}{S}.$$

Si la conductividad y/o sección varían entre sus extremos A y B,

$$R = \int_A^B \frac{dl}{\sigma S}$$

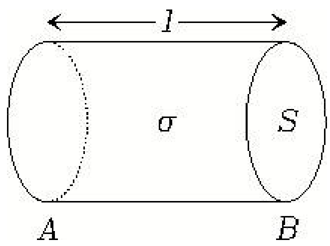


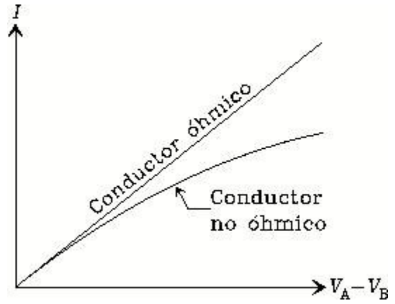
Figura 5-4

[1] m_e es la masa efectiva, que no coincide con la masa en reposo del electrón

IId.- Relación entre la intensidad y la diferencia de potencial

Dado un hilo conductor de resistencia eléctrica *R*, entre cuyos extremos *A* y *B* hay una diferencia de potencial $V_A - V_B$ (figura *5-5*), la intensidad *I* que circula por él es

$$I = \frac{V_A - V_B}{R}.$$



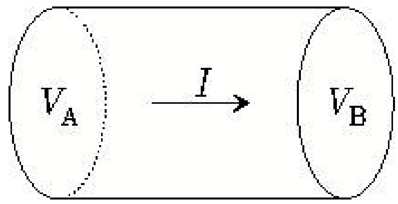


Figura 5-5

1) Si el conductor es óhmico, hay una relación lineal entre *I* y $V_A - V_B$.
2) Si el conductor es no óhmico, no hay una relación lineal entre *I* y $V_A - V_B$.

IIe.- Variación de la resistencia con la temperatura

Para materiales conductores, si R_0 es la resistencia a una temperatura T_0, la resistencia *R* a la temperatura *T* viene dada por

$$R = R_0\left[1 + \alpha\left(T - T_0\right)\right],$$

donde $\alpha > 0$ (la resistencia aumenta con la temperatura en conductores) es el llamado coeficiente de temperatura del material.

III.- Energía de la corriente eléctrica

IIIa.- Fuerza electromotriz

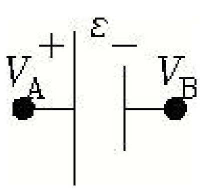


Figura 5-6

Dado un generador de corriente continua que establece una diferencia de potencial $V_A - V_B$ entre sus bornes en circuito abierto (figura *5-6*), a tal diferencia de potencial se le llama también fuerza electromotriz ε:

$$\varepsilon \equiv V_A - V_B$$

IIIb.- Diferencia de potencial en circuito cerrado

Si los bornes del generador se cierran a través de un conductor de resistencia R, la diferencia de potencial $V_A - V_B$ entre bornes viene dada por

$$V_A - V_B = \varepsilon - I\,r$$

donde I es la intensidad que circula por el circuito y r es la resistencia interna del generador (figura *5-7*).

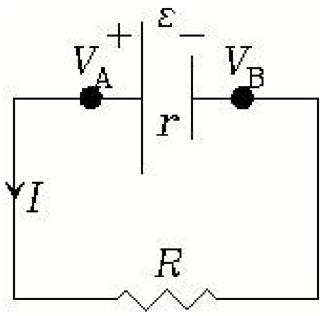


Figura 5-7

IIIc.- Energía y potencia suministrada por el generador

Si los bornes del generador se cierran a través de un conductor de resistencia R, la energía W suministrada por el generador al circuito es

$$W = I^2 (R + r) t\,,$$

donde I es la intensidad que circula por el circuito, r es la resistencia interna del generador y t representa el tiempo. La potencia suministrada (energía por unidad de tiempo)

$$P = I^2 (R + r)$$