

Corriente eléctrica continua

En los problemas puramente electrostáticos, tales como los considerados en los capítulos anteriores, nos hemos ocupado principalmente de las fuerzas ejercidas entre las cargas, el estado final estacionario de distribución de carga producido por estas fuerzas, y el movimiento de las partículas cargadas en el espacio vacío. Vamos a tratar a continuación del movimiento de la carga en un conductor cuando se mantiene un campo eléctrico dentro del mismo. Este movimiento constituye una *corriente*.

Se recordará que un conductor es un cuerpo en cuyo interior hay cargas *libres* que se mueven por la fuerza ejercida sobre ellas por un campo eléctrico. Las cargas libres en un conductor *metálico* son electrones negativos. Las cargas libres en un *electrólito* son iones, positivos o negativos. Un gas en condiciones adecuadas, como el de un anuncio luminoso de neón o el de una lámpara fluorescente, es también un conductor, y sus cargas libres son iones positivos y negativos, y electrones negativos.

Hemos visto que cuando un conductor aislado se coloca en un campo eléctrico, las cargas dentro del conductor se reagrupan de modo que el interior del conductor sea una región libre de campo, en toda la cual el potencial es constante. El movimiento de las cargas en el proceso de reagrupación constituye una corriente; pero es de corta duración y se denomina corriente *transitoria*. Si deseamos que circule una corriente permanente en un conductor, hemos de mantener continuamente un campo, es decir, un gradiente de potencial dentro de él. Si el campo tiene siempre el mismo sentido, aunque pueda variar de intensidad, la corriente se denomina *continua*. Si el campo se invierte periódicamente, el flujo de carga se invierte también, y la corriente es *alterna*.

Propiedades generales de los materiales

Analizaremos en forma breve las propiedades de los materiales, con referencia al comportamiento de los mismos en la conducción eléctrica. En el capítulo anterior, hemos visto que existían materiales que eran capaces de conducir los campos eléctricos, y que por ello se denominan conductores, y otros que no lo eran y que se denominan dieléctricos.

En general, los conductores pertenecen al grupo metálico, y desde el punto de vista de la estructura de sus respectivos átomos, tienen sus capas muy incompletas, y por lo tanto están en condiciones de ceder fácilmente electrones, que están pocos ligados a sus respectivos núcleos. Esos electrones son responsables de la conducción eléctrica.

En el caso de los dieléctricos, la situación es diferente. Sus capas están completas, y por lo tanto no ceden electrones para la conducción.

Veamos ahora a qué velocidad se mueven los electrones. En primer lugar, debemos remarcar que los electrones en un conductor, se dice que están tan poco ligados que se los denomina « libres ». Estos conforman lo que se denomina un gas de electrones libres. La **teoría cinética de los gases** nos proporciona una expresión de la energía cinética media en un gas, que permite calcular la velocidad a la cual se mueven los electrones. En el caso del gas de electrones en un sólido es razonablemente aproximada.

$$U = \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT$$

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$ (cte. de Boltzmann) y $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

De ella se obtiene que la velocidad propia de los electrones es

$$v \approx 10^5 \text{ m/s}$$

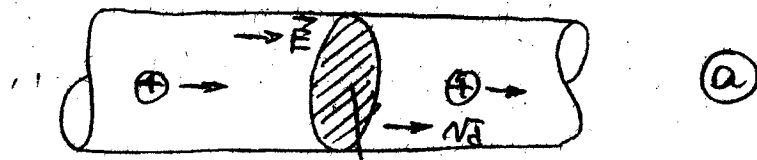
La idea que se tiene del comportamiento del metal, es modelizada como una red, donde los nudos son los átomos, que están "**danzando**". Algunos electrones ligados se sueltan y están disponibles para la conducción. Si la temperatura T aumenta, las vibraciones también aumentan, por lo cual los electrones encuentran menos espacio para moverse. Ello implicará que la conductividad del metal es menor.

Para el Cu, la densidad de electrones de conducción por unidad de volumen es: $n = 8,48 \cdot 10^{28}$ electrones/ m^3 . La velocidad hallada es la que genera una corriente aleatoria llamada **Ruido de Johnson**; presente en todos los dispositivos electrónicos, y como se observa, es $f(T)$.

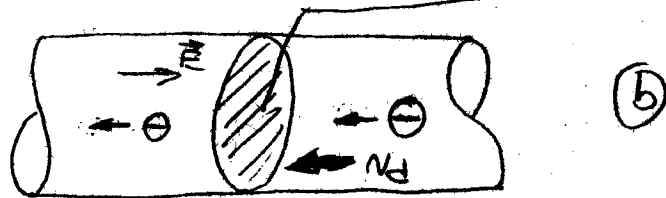
Debe tenerse en cuenta que la velocidad hallada **no es** la velocidad con que se propaga la señal, o sea la velocidad de propagación de la información: ésta obedece a la velocidad con que se establece el campo, la que, si el dieléctrico es aire o vacío, es de $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Supongamos un alambre conductor en dos situaciones:

Con portadores de carga \oplus :



Con portadores de carga \ominus :



(a) representa un conductor con portad. de carga \oplus moviéndose hacia la derecha.

Llamamos dQ a la carga que atraviesa la sección TS del alambre en un tiempo dt

Definimos la corriente eléctrica I en el alambre como la rapidez con que pasa carga a través de S :

$$I = \frac{dQ}{dt} \left[\frac{C}{s} = A \right] \quad \text{André-Marie Ampère (1775/1836)}$$

I es una mag. escalar (pero le asignamos un sentido, indicando la dirección en que fluyen los portadores de carga \oplus \therefore en la fig (a) es hacia la derecha.

⑥ representa los portadores de carga \ominus que se mueven hacia la izquierda.

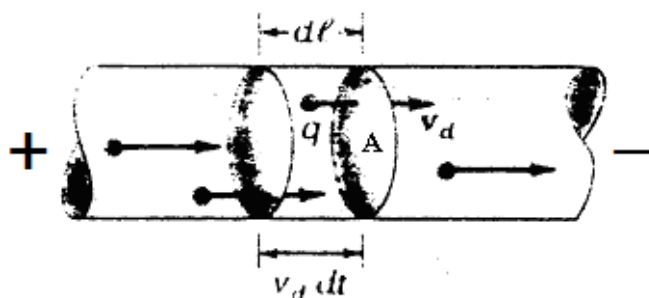
Nótese: En la fig ④ los portadores \oplus se mueven hacia la derecha y tienden a hacer que la parte derecha del cable sea más positiva que la izq.

En la fig ⑤ los portadores \ominus se mueven hacia la izq y tienden a hacer que la parte derecha del cable sea más positiva que la izq.

Es decir: el movimiento de portadores en ambos casos producen el mismo resultado y, x lo tanto, el sentido de la I es en los dos el mismo \Rightarrow hacia la derecha \therefore a los efectos externos de I , da lo mismo para portadores \oplus o \ominus .

Velocidad de arrastre

Cuando se aplica a un conductor un campo eléctrico externo, este ejerce una fuerza sobre cada uno de los portadores de carga del conductor produciendo su movimiento a través del material. (Las partículas que no son portadoras se desplazan ligeramente, pero continúan ligadas en sus posiciones de la red iónica.) Si sobre los portadores de carga no actuaran otras fuerzas, un campo eléctrico constante produciría sobre ellos una aceleración constante. Sin embargo, los portadores de carga interaccionan con las demás partículas del material, y el efecto combinado de estas interacciones y el campo eléctrico aplicado hace que los portadores se muevan a velocidad cte. llamada **velocidad de arrastre** v_d .



Suponemos que todos los portadores de carga tienen la velocidad de arrastre v_d ; llamamos A a la sección del alambre y n al número de portadores por unidad de volumen y q a la carga del portador

El cilindro tiene longitud $dl = v_d \cdot dt$

El número de portadores de carga que hay en el cilindro es: $n A dl$

La carga que hay en el cilindro es:

$$dq = n A dl |q| = n A v_d \cdot dt |q|$$

$$\text{como } I = \frac{dq}{dt} \quad \boxed{I = n A v_d |q|}$$

En un conductor dado, I es proporcional a v_d

Hallemos la v_d en un cable de Cu de 1 mm de radio para una corriente $I = 1.5 \text{ A}$, suponiendo que hay un portador de carga (electrón) x átomo de Cu;

$$n = 8,48 \cdot 10^{28} \frac{\text{electrones}}{\text{m}^3}$$

$$v_d = \frac{I}{n A e} \approx \frac{1.5 \text{ A}}{8,48 \cdot 10^{28} \frac{\text{electr.}}{\text{m}^3} \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}}$$

$$v_d = 1,2 \text{ km/h}$$



Densidad de corriente eléctrica: \vec{J}

Describe el flujo de carga en puntos del interior del conductor; es una mag. vectorial

Si \vec{J} es uniforme, su módulo será: $J = \frac{I}{A} \left[\frac{A}{m^2} \right]$

De la ec: $I = n A v_d |q| \Rightarrow J = \frac{n A v_d |q|}{A}$

$$\boxed{J = n v_d q}$$

Notese que en la expresión de J desaparece el valor absoluto de q , ya que la densidad de corriente J apunta en la misma dirección que v_d para portadores $+$ y en contra de v_d para portadores $-$
 \Rightarrow la dirección de \vec{J} coincide con el sentido de la corriente I en el alambre

Si tuviéramos presente portadores de carga $+$ y $-$ simultáneamente (por ejemplo):

$$J = n_+ q_+ v_{d+} + n_- e v_{d-}$$

Si la velocidad de arrastre v_d varía punto a punto en el alambre (x ej. variando su sección) \rightarrow J variará de la misma forma. \therefore la corriente I a través de una sup. (sección del alambre) dada será:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

Sentido de la corriente

Por razones históricas, el sentido de I es = al sentido del campo.

Posteriormente se descubrió que los electrones se desplazaban en sentido inverso al campo... etc.

Resistencia eléctrica y el Lema de Ohm (Georg Simon Ohm 1787/1854)

Si aplicamos una diferencia de potencial entre los extremos de un trozo de conductor, tal como un alambre metálico, se producirá una corriente I en el conductor. El valor de la diferencia de potencial necesaria para producir una corriente dada depende de una propiedad del trozo de conductor particular que utilicemos. Esta propiedad es su *resistencia eléctrica*. La resistencia eléctrica R se define como

$$R = \frac{V}{I} \left[\frac{V}{A} = \Omega \right]$$

