



## ELECTRICIDAD II

En esta guía analizaremos fenómenos eléctricos relacionados con cargas en movimiento, es decir, principiaremos el estudio de la corriente y de los circuitos eléctricos. Esta parte recibe el nombre de Electrodinámica.

### Intensidad de corriente

Se denomina intensidad de corriente eléctrica, a la carga eléctrica que pasa a través de una sección de un conductor en un intervalo de tiempo (figura 1), es decir:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

En el S.I, la corriente se mide en u n i d a d que se denomina Ampere (A). Algunos: submúltiplos son: miliampere = mA =  $10^{-3}$ A y el microampere =  $\mu$ A =  $10^{-6}$  A.



Fig. 1

### Efectos de la corriente eléctrica

El paso de la corriente eléctrica a través de los conductores tiene diferentes efectos dependiendo de la naturaleza de los conductores y de la intensidad de la corriente.

**Efecto fisiológico.** Se produce al pasar corriente por organismos vivos. Dicha corriente actúa directamente sobre el sistema nervioso provocando contracciones nerviosas. Cuando esto ocurre se habla de un shock eléctrico.

**Efecto térmico.** También conocido como Efecto Joule es causado por los choques de los electrones libres contra los átomos de los conductores. Producto de estos choques los átomos incrementan su energía de vibración y el material se calienta. Este efecto se aprovecha en estufas, anafres, secadores de pelo, etc.

**Efecto químico.** Se manifiesta cuando ciertas reacciones químicas que ocurren cuando la corriente eléctrica atraviesa las soluciones electrolíticas. Se utiliza en el recubrimiento de metales (galvanoplastias) por ejemplo: niquelado, plateado, cromado, etc.

**Efecto magnético:** Se manifiesta a través del campo magnético que aparece en las cercanías de un conductor por el cual circula la corriente. Este efecto es quizás el más importante desde el punto de vista de la tecnología.



## Corriente eléctrica convencional

Supongamos una carga negativa que se desplaza con cierta velocidad y está dirigida, por ejemplo, hacia la izquierda. Se observa que este movimiento equivale al de una carga positiva, de igual valor, que se desplaza con la misma rapidez, pero en sentido contrario.

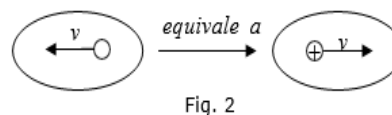


Fig. 2

Lo anterior, permite establecer la convención siguiente, que facilita el estudio de las corrientes y los circuitos eléctricos: *una carga negativa en movimiento siempre se deberá imaginar como una carga positiva que se mueve en sentido contrario*. Debido a esta convención, cuando consideremos una corriente eléctrica cualquiera, tendremos que sustituir las cargas negativas imaginarias que se mueven en sentido contrario. De modo que se puede suponer que cualquier corriente eléctrica está constituida únicamente por cargas positivas. Dicha corriente imaginaria, la cual equivale a la corriente real, se denomina corriente convencional.

## Resistencia de un material

El valor de la resistencia de un conductor, depende de su longitud y del área de su sección transversal.

Al realizar mediciones cuidadosas se observa que la resistencia  $R$  del conductor es directamente proporcional a su longitud  $L$  (figura 3). Por otro lado, se observa también que la resistencia del conductor es inversamente proporcional al área  $A$  de su sección.

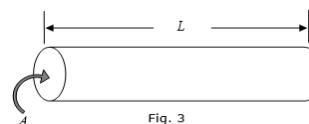


Fig. 3

Vemos entonces que, si quisiéramos tener un conductor de baja resistencia, entonces deberá ser de pequeña longitud y poseer una gran sección transversal (alambre grueso). Si introducimos una constante de proporcionalidad apropiada, podemos transformar lo dicho anteriormente en una igualdad. Esta constante (que se representa por la letra griega  $\rho$ ), se denomina resistividad eléctrica. Por consiguiente,

$$R = \rho \frac{L}{A} [\Omega]$$

La resistividad es una propiedad característica del material que constituye el conductor, es decir, cada sustancia posee un valor diferente de resistividad  $\rho$ .

En la tabla se presentan los valores de resistividad eléctrica de algunas sustancias.

| Resistividad eléctrica a la temperatura ambiente |                             |           |                             |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|
| Material                                         | $\rho$ ( $\Omega \cdot m$ ) | Material  | $\rho$ ( $\Omega \cdot m$ ) |
| Aluminio                                         | $2,6 \times 10^{-8}$        | Fierro    | $10 \times 10^{-8}$         |
| Cobre                                            | $1,7 \times 10^{-8}$        | Mercurio  | $94 \times 10^{-8}$         |
| Níquel – cromo                                   | $100 \times 10^{-8}$        | Plata     | $1,5 \times 10^{-8}$        |
| Plomo                                            | $22 \times 10^{-8}$         | Tungsteno | $5,5 \times 10^{-8}$        |



## Variación de la resistencia con la temperatura

En la mayor parte de los metales, la resistividad aumenta con la temperatura. Podemos entender esta correlación como sigue. A medida que la temperatura del material aumenta, los átomos que lo constituyen vibran con amplitud cada vez mayor. Así como es más difícil abrirse paso a través de una habitación donde hay mucha gente cuando las personas están en movimiento que cuando permanecen inmóviles, del mismo modo, los electrones encuentran más dificultad para pasar entre los átomos que se mueven con mayor amplitud. En la mayor parte de los metales, la resistividad aumenta de forma aproximadamente lineal con la temperatura en un intervalo de temperatura limitado, según la expresión

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(t - t_0)]$$

donde  $\rho$  es la resistividad a cierta temperatura,  $t$  (en grados Celsius);  $\rho_0$  es la resistividad a una temperatura de referencia,  $t_0$  (que por lo común es de  $20^\circ\text{C}$ ); y  $\alpha$  es un parámetro conocido como coeficiente de temperatura de la resistividad. En la tabla siguiente se incluyen los coeficientes de temperatura de diversos materiales.

Puesto que la resistencia de un conductor con sección transversal uniforme es proporcional a la resistividad, de acuerdo con la ecuación ( $R = \rho \cdot L / A$ ), la variación de la resistencia con la temperatura se puede escribir como

$$R = R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]$$

| MATERIAL | $\alpha(^{\circ}\text{C}^{-1})$ | MATERIAL | $\alpha(^{\circ}\text{C}^{-1})$ |
|----------|---------------------------------|----------|---------------------------------|
| Plata    | $3,8 \times 10^{-3}$            | Platino  | $3,92 \times 10^{-3}$           |
| Cobre    | $3,9 \times 10^{-3}$            | Plomo    | $3,9 \times 10^{-3}$            |
| Oro      | $3,4 \times 10^{-3}$            | Carbono  | $-0,5 \times 10^{-3}$           |
| Aluminio | $3,9 \times 10^{-3}$            | Germanio | $-48 \times 10^{-3}$            |
| Hierro   | $5,0 \times 10^{-3}$            | Silicio  | $-75 \times 10^{-3}$            |

## LEY DE OHM

Considere el resistor de la figura 4 mantenido a temperatura constante, recorrido por una corriente eléctrica  $i$  cuando entre sus extremos es aplicada una diferencia de potencial  $V_{AB}$ .

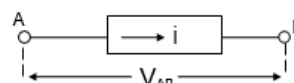


Fig. 4

Aumentando sucesivamente la diferencia de potencial a valores  $V_1, V_2, V_3, \dots$  el resistor pasa a ser recorrido por corrientes de intensidades  $i_1, i_2, i_3, \dots$ . Ohm verificó experimentalmente que: "El cociente entre la  $V_{AB}$  aplicada y la respectiva intensidad de corriente es una constante característica del resistor".

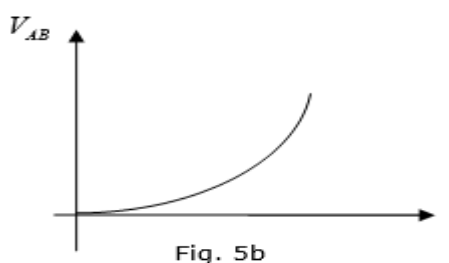
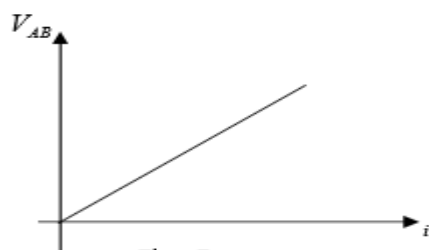
$$V_{AB} = i \cdot R$$



Este enunciado se conoce como la ley de Ohm, en honor a Georg Simon Ohm (1787 - 1854), quien fue el primero en llevar a cabo un estudio sistemático de la resistencia eléctrica.

Los conductores que cumplen con esta ley reciben el nombre de *conductores óhmicos*. No debemos olvidar que existen materiales que no obedecen a la ley de Ohm, es decir, al variar el voltaje que se aplica a un conductor determinado, hecho de un material de este tipo, se modifica el valor de la resistencia de dicho conductor (la resistividad del material se altera).

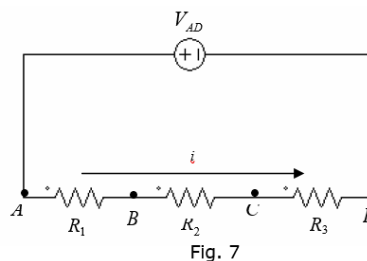
La ley de Ohm es una relación empírica válida sólo para ciertos materiales. Los materiales que obedecen la ley de Ohm y que, por tanto, tienen una resistencia constante en una amplia gama de voltajes, se califican como *óhmicos* (figura 5a). Los materiales que no obedecen la ley de Ohm son no *óhmicos* (figura 5b). En nuestro curso, a menos que se diga lo contrario, trataremos únicamente de conductores que obedecen a la ley de Ohm.



## Conexión de resistores (o resistencias)

### Resistores conectados en serie

Muchas veces, en los circuitos eléctricos se observan resistencias conectadas una después de la otra, como se muestra en la figura 7. Cuando esto sucede, decimos que tales elementos están *conectados en serie*. Por ejemplo, los focitos que emplean para adornar los árboles de Navidad, generalmente se hallan conectados de esta manera



Si entre los extremos A y D del agrupamiento que se muestra en la figura 7, se aplicará una diferencia de potencial, por los resistores de esta conexión pasaría una corriente eléctrica. La intensidad  $i$  de esta corriente, tendría el mismo valor en cualquier sección del circuito y, por lo tanto, las resistencias  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  serían recorridas por la misma corriente (esto es cierto, aunque  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  tengan diferente valor).

Al designar por  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$  y  $V_{CD}$  los voltajes en  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ , respectivamente, es fácil observar, por la figura, que.

$$V_{AB} + V_{BC} + V_{CD} = V_{AD}$$



Como el valor de  $i$  es igual en los tres resistores, podemos escribir:

$$V_{AB} = R_1 \cdot i$$

$$V_{BC} = R_2 \cdot i$$

$$V_{CD} = R_3 \cdot i$$

Entonces es posible concluir fácilmente que en la resistencia de mayor valor se observará la mayor caída de potencial.

*La resistencia equivalente es la suma de las resistencias individuales*

$$R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \sum R_k$$

Resistores conectados en paralelo

Las resistencias eléctricas también se pueden conectar en un circuito, como el mostrado en la figura 8. En este tipo de agrupación decimos que los elementos están conectados en paralelo. Los faros de un automóvil y las lámparas de una casa son un ejemplo de resistencias conectadas en paralelo.

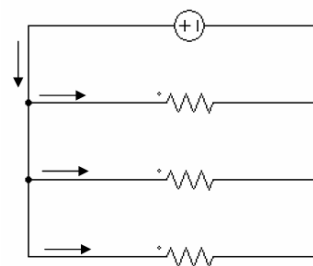


figura 8

Por la figura 8 vemos que los resistores  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  están conectados, cada uno, a los mismos puntos. De manera que la misma diferencia de potencial  $V_{AB}$  estará aplicada a cada una de estas resistencias. Por ejemplo, si el voltaje  $V_{AB}$  proporcionado por la batería de la figura 8, vale 12 [V], tenemos que tanto  $R_1$  como  $R_2$  y  $R_3$  se encuentran sometidas a este voltaje. Observamos que la corriente total  $i$  proporcionada por la batería, se distribuye entre resistencias, pasando una corriente  $i_1$  por  $R_1$ , una  $i_2$  en  $R_2$  y una  $i_3$  en  $R_3$ . Es claro que  $i_1 + i_2 + i_3 = i$ , y además (recordemos la relación  $i = V_{AB}/R$ ), tenemos que

$$i_1 = \frac{V_{AB}}{R_1} \quad i_2 = \frac{V_{AB}}{R_2} \quad i_3 = \frac{V_{AB}}{R_3}$$

La resistencia equivalente es tal, que su valor recíproco es la suma de los valores recíprocos de las resistencias individuales.

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

## POTENCIA Y ENERGÍA ELÉCTRICA

Recordando que la diferencia de potencial  $V$  entre dos puntos es  $V = W/q$  y que la



potencia es  $P = W/t$ , la cual representa el trabajo en la unidad de tiempo o energía eléctrica en la unidad de tiempo, esta podrá ser escrita como

$$P = \frac{qV}{t}$$

Como  $q/t$  es la corriente eléctrica  $i$ , la expresión anterior puede ser escrita como

$$P = V * i$$

Por otro lado, usando la ley de Ohm, se encuentra,

$$P = i^2 * R = \frac{V^2}{R}$$

Cuando un Coulomb pasa a través de un conductor, consume una energía igual a la diferencia de potencial aplicada. La pregunta es, ¿qué le pasa a esta energía? Si no hay un motor o algún otro aprovechamiento de la energía, ésta se convierte en calor. Aunque el calentamiento de un conductor es a veces indeseable, tiene aplicaciones útiles siendo la más importante, las parrillas, radiadores, planchas, estufas eléctricas; las ampolletas, cuyo filamento eleva tanto su temperatura que su incandescencia es tal que sirve para el alumbrado, etc.