

LA CORRIENTE ELÉCTRICA

1- MOVIMIENTO DE CARGAS LIBRES EN UN CAMPO ELÉCTRICO

La corriente eléctrica consiste en el desplazamiento de cargas libres. Hay distintas sustancias capaces de conducir la corriente eléctrica; se les denomina conductores. Las sustancias que no conducen se llaman aislantes. En este capítulo nos referiremos a conductores metálicos (metales). En ellos las cargas libres que se desplazan y transmiten la corriente eléctrica son electrones. Vamos a analizar hacia dónde se desplazan éstos.

Supongamos una carga positiva q de $1 \mu\text{C}$ situada en el vacío lejos de cualquier otra carga eléctrica. En un punto situado a 1 m de dicha carga positiva el potencial eléctrico vale:

$$V = K \cdot \frac{q}{r} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-6}}{1} = 9000 \text{ V}$$

Y en un punto situado a 2 m de la carga:

$$V = K \cdot \frac{q}{r} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-6}}{2} = 4500 \text{ V}$$

Por un cálculo semejante se obtiene que el potencial a 3 m de la carga es 3000 V .

Vemos, pues, que al acercarnos a una carga positiva el potencial eléctrico va creciendo. Por ello, un electrón (carga negativa) en un punto del campo creado por la carga positiva q anterior será atraído por ella y se acercará a la misma, dirigiéndose hacia potenciales crecientes.

Este resultado es de validez general y se puede enunciar de la siguiente forma: **Las cargas negativas libres (como los electrones) en un campo eléctrico se dirigen espontáneamente hacia potenciales crecientes.** O dicho de otro modo: Cuando entre dos puntos existe una diferencia de potencial eléctrico, las cargas negativas tienden a desplazarse hacia las zonas de mayor potencial.

2- LA CORRIENTE ELÉCTRICA. GENERADORES

Según se deduce de la explicación previa, cuando entre los extremos de un hilo metálico, como un hilo de cobre, se establece una diferencia de potencial, los electrones libres del metal se desplazan hacia la zona de mayor potencial, generando una corriente eléctrica.

Para que el flujo de electrones no se detenga, es necesario mantener la diferencia de potencial ya que aquéllos, al desplazarse hacia la zona de mayor potencial, acabarían acumulándose en un extremo del conductor; simultáneamente, el extremo opuesto se iría quedando sin electrones. Los dispositivos que mantienen la diferencia de potencial entre los extremos del conductor son los **generadores** de corriente o pilas, que se encargan de "devolver" los electrones que llegan al extremo del conductor con mayor potencial al extremo opuesto, donde el potencial es menor.

Este transporte de electrones que realiza el generador, desde la zona de mayor potencial hasta la zona de menor potencial, en sentido contrario al espontáneo, consume energía, que es aportada por la pila; normalmente es energía química que se transforma en energía eléctrica.

Cuando el campo eléctrico se mantiene siempre en el mismo sentido la corriente obtenida se denomina continua; si aquél varía periódicamente, los electrones no se mueven siempre en el mismo sentido y la corriente se denomina alterna. En este curso nos referiremos exclusivamente a la corriente continua.

3- INTENSIDAD Y RESISTENCIA. LEY DE OHM

La cantidad de carga que se desplaza por un conductor es proporcional al número de electrones que lo hacen.

Se define **intensidad** de la corriente eléctrica I (no confundir con intensidad del campo eléctrico \vec{E}) **como la cantidad de carga que atraviesa la sección transversal del conductor en la unidad de tiempo**, esto es:

$$I = \frac{q}{t}$$

La unidad de intensidad de la corriente eléctrica en el Sistema Internacional es el **Amperio** (A): $1 \text{ A} = 1 \text{ C} / 1 \text{ s}$

Todos los conductores metálicos no permiten con la misma facilidad el paso de la corriente eléctrica; así, para una determinada diferencia de potencial ΔV , hay conductores por los que circula más intensidad que por otros, esto es, I depende de cada conductor. Se dice que los conductores que permiten el paso de la corriente con más facilidad tienen menos resistencia que los que presentan más dificultad.

Por otra parte, se observa experimentalmente que para cada conductor el cociente entre la diferencia de potencial ΔV entre sus extremos y la intensidad I que circula es constante. A esta constante se la denomina **resistencia** R , que mide la dificultad que el conductor opone al paso de la corriente eléctrica.

$$\frac{\Delta V}{I} = R$$

Esta expresión constituye la ley de Ohm, que habitualmente se formula como:

$$\Delta V = I \cdot R$$

La unidad de resistencia en el sistema Internacional se llama ohmio (Ω).

La resistencia de un conductor metálico depende fundamentalmente de:

- el material: los materiales con mayor tendencia a presentar gran oposición al paso de la corriente se dice que tienen elevada resistividad (ρ)
- la longitud del conductor (L), ya que cuanto más largo sea éste, más difícil es el transporte de los electrones;
- la sección (superficie) transversal del conductor (S), pues la corriente se conduce con más facilidad cuanto más ancho es el hilo de conducción; es semejante a la conducción de agua por una tubería, cuanto más ancha y más corta es ésta, con mayor facilidad se transporta el agua. En el caso de la corriente eléctrica, la tubería es el conductor y el agua que circula son los electrones.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

La influencia de estos tres factores queda plasmada en la expresión:

que da la resistencia de un conductor metálico en función de la resistividad del material, la longitud y la sección del conductor.

4- ENERGÍA CONSUMIDA EN UNA RESISTENCIA. EFECTO JOULE

El desplazamiento de los electrones dentro de un conductor metálico hacia zonas de mayor potencial se ve dificultado por los cationes de la red metálica, que ejercen sobre ellos una "especie de rozamiento"; para vencerlo se ha de gastar cierta energía que se transforma en calor. La potencia consumida en un conductor de resistencia R viene dada por la expresión:

$$P = I^2 \cdot R$$

siendo I la intensidad de la corriente que lo recorre.

Sustituyendo en la ecuación anterior el valor de $I = \Delta V / R$ o $R = \Delta V / I$ obtenemos otras dos expresiones para la potencia, que son:

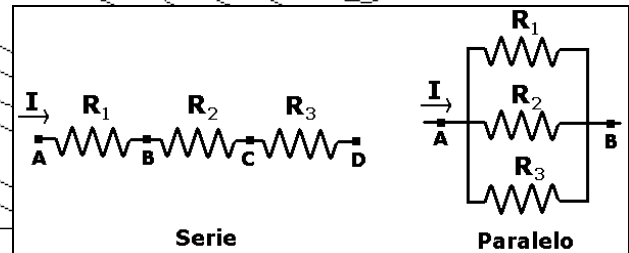
$$P = \frac{(\Delta V)^2}{R} = (\Delta V) \cdot I$$

El calor (energía calorífica) producido en la resistencia se calcula como $Q = P \cdot t$ siendo t el tiempo que la corriente está pasando por la resistencia.

Este efecto de producción de calor al pasar corriente por las resistencias se denomina **efecto Joule** y se utiliza en las estufas eléctricas, bombillas (el filamento de la bombilla se pone incandescente a consecuencia de la alta temperatura alcanzada) o planchas.

5- ASOCIACIONES DE RESISTENCIAS

Básicamente las resistencias pueden asociarse de dos formas, como indica la figura siguiente: en serie o en paralelo:



Las características de cada tipo de asociación son las siguientes:

En serie: - Por todas las resistencias circula la misma intensidad I

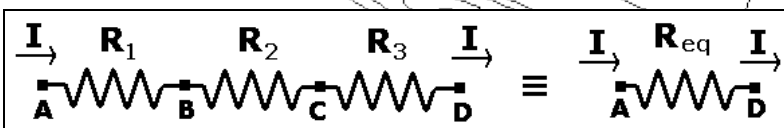
- La diferencia de potencial total ΔV_{AD} es la suma de las diferencias de potencial en cada una de las resistencias: $\Delta V_{AD} = \Delta V_{AB} + \Delta V_{BC} + \Delta V_{CD}$

En paralelo: - Entre los extremos de todas las resistencias hay la misma diferencia de potencial ΔV_{AB}

- La intensidad total que llega al conjunto en paralelo se distribuye entre todas las resistencias de forma que $I = I_1 + I_2 + I_3$

Se llama **resistencia equivalente** a una asociación de resistencias a una única resistencia que colocada en lugar de la asociación ejerciera el mismo efecto que ella sobre el resto del circuito eléctrico. Calcularemos a continuación la resistencia equivalente a un conjunto de resistencias en serie o en paralelo.

En serie:



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

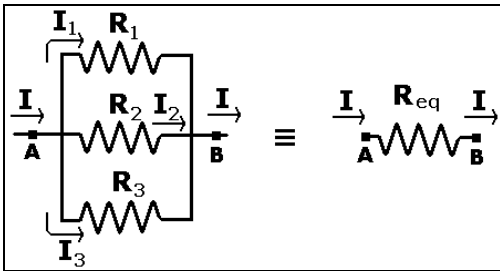
$$I \cdot R_{eq} = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

La resistencia equivalente a un conjunto de resistencias en serie es igual a la suma de

las resistencias.

En paralelo:



$$\Delta V = I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 = I_3 \cdot R_3$$

$$I_1 = \frac{\Delta V_{AB}}{R_1} \quad I_2 = \frac{\Delta V_{AB}}{R_2} \quad I_3 = \frac{\Delta V_{AB}}{R_3} \quad I = \frac{\Delta V_{AB}}{R_{eq}}$$

Ya que $I = I_1 + I_2 + I_3$

$$\frac{\Delta V_{AB}}{R_{eq}} = \frac{\Delta V_{AB}}{R_1} + \frac{\Delta V_{AB}}{R_2} + \frac{\Delta V_{AB}}{R_3}$$

Simplificando resulta:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

5- ELEMENTOS DE UN CIRCUITO: GENERADORES Y MOTORES.

En los circuitos de corriente continua, además de resistencias, pueden existir otros elementos. Para que fluya la corriente ha de haber algún elemento que suministre la energía necesaria; se trata de las pilas o generadores, que "generan" una potencia:

$$P = \varepsilon \cdot I$$

donde ε es una característica del generador denominada fuerza electromotriz que tiene dimensiones de potencial y se mide en voltios.

Los generadores situados en un circuito se calientan al cabo del tiempo. Ello se debe a que poseen una resistencia interna r en la cual consumen parte de la energía que generan. Por ello la potencia que el generador suministra al circuito no es la total, sino

$$P_{sum} = \varepsilon \cdot I - I^2 \cdot r$$

La potencia puede expresarse como $P = (\Delta V) \cdot I$. Por tanto, la potencia suministrada por un generador es igual a la diferencia de potencial entre sus extremos ΔV_g por la intensidad que circula a través de él, esto es:

$$P_{sum} = (\Delta V_g) \cdot I \quad \varepsilon \cdot I - I^2 \cdot r = (\Delta V_g) \cdot I$$

Simplificando I resulta:

$$\Delta V_g = \varepsilon - I \cdot r$$

Esto es, la diferencia de potencial entre los extremos de un generador es algo menor que la fuerza electromotriz a consecuencia de la "caída de potencial" en su resistencia interna $I \cdot r$.

En un generador ideal que no tuviese resistencia interna la fuerza electromotriz coincidiría con la diferencia de potencial entre sus extremos. También en la expresión anterior puede verse que la fuerza electromotriz coincide con la diferencia de potencial entre los extremos del generador en circuito abierto, o sea cuando no pasa corriente a

través de él e $I=0$.

Se denomina rendimiento de un generador al cociente entre su potencia útil (la que suministra al circuito, pues la consumida en la resistencia interna se transforma en calor) y la potencia total que genera multiplicado por cien:

$$\text{Rend}_{\text{generador}} = \frac{P_{\text{sum}}}{P} \cdot 100 = \frac{\varepsilon \cdot I - I^2 \cdot r}{\varepsilon \cdot I} \cdot 100$$

Otro elemento de un circuito eléctrico es un **motor** que se encarga de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Muchos aparatos domésticos constan de motores: lavadoras, frigoríficos, secadores de pelo, etc. Los motores deben recibir energía para poder girar (potencia útil que se convierte en energía mecánica) y además para que la corriente atraviese su resistencia interna r' . Así la energía total que recibe el motor puede escribirse como:

$$P = P_{\text{mec}} + I^2 \cdot r'$$

La potencia mecánica del motor es igual al producto de una característica del mismo denominada fuerza contraelectromotriz (ε'), con dimensiones de potencial, por la intensidad I que lo recorre:

$$P_{\text{mec}} = \varepsilon' \cdot I$$

por lo que la potencia total que el motor necesita para funcionar es:

$$P = \varepsilon' \cdot I + I^2 \cdot r'$$

La potencia total que recibe el motor es:

$$P = (\Delta V_m) \cdot I$$

Sustituyendo el valor anterior de la potencia resulta:

$$\varepsilon' \cdot I + I^2 \cdot r' = (\Delta V_m) \cdot I$$

simplificando I resulta:

$$\Delta V_m = \varepsilon' + I \cdot r'$$

Esto es, la diferencia de potencial total en los extremos (bornes) del motor es algo mayor que su fuerza contraelectromotriz ε' a consecuencia de su resistencia interna.

Por rendimiento del motor se entiende el cociente entre la potencia útil que transforma en potencia mecánica ($\varepsilon' \cdot I$) y la potencia total que recibe ($\varepsilon' \cdot I + I^2 \cdot r'$) multiplicado por cien:

$$\text{Rend}_{\text{motor}} = \frac{P_{\text{util}}}{P} \cdot 100 = \frac{\varepsilon' \cdot I}{\varepsilon' \cdot I + I^2 \cdot r'} \cdot 100$$

6- LEY DE OHM GENERALIZADA

Supongamos un circuito eléctrico que tiene en serie un generador de f.e.m. ε y resistencia interna r , una resistencia externa R y un motor de f.c.e.m. ε' y resistencia interna r' .

Se ha de cumplir que la potencia suministrada por el generador se consuma en la resistencia interna y en el motor, esto es:

$$P_{\text{sum}} = P_R + P_{\text{motor}}$$

Sustituyendo por su valor cada una de las potencias anteriores obtenemos:

$$\varepsilon \cdot I - I^2 \cdot r = I^2 \cdot R + \varepsilon' \cdot I + I^2 \cdot r'$$

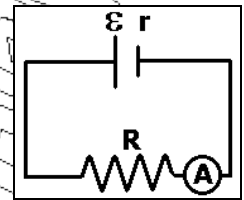
Simplificando I y reagrupando términos se llega a la expresión para un circuito de la ley de Ohm generalizada:

$$\varepsilon = I \cdot (R + r + r')$$

7- INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Para medir determinadas magnitudes eléctricas en un circuito, como la intensidad de la corriente, la diferencia de potencial entre dos puntos o la resistencia, se utilizan los siguientes dispositivos:

Amperímetro: Es un instrumento que mide la intensidad de la corriente. Para medir la intensidad que pasa por la resistencia R del circuito de la figura, debemos conectar un amperímetro A en serie con esta resistencia, de manera que pase por ella toda la corriente.



El amperímetro tiene cierta resistencia interna r_A , por lo que, al conectarlo, modifica la intensidad de la corriente en el circuito. Esto es, la conexión del aparato modifica la magnitud que queremos medir. Por ello el amperímetro debe tener una resistencia interna muy pequeña, para que haga variar lo mínimo la intensidad. Si aplicamos al circuito la ley de Ohm:

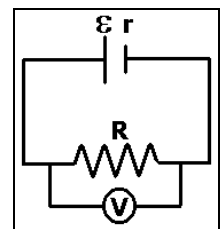
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r + r_A}$$

Si r_A es muy pequeña en comparación con $R+r$, se puede despreciar r_A y la expresión anterior resulta:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

que es la intensidad que circula cuando el amperímetro no está conectado.

Voltímetro: Es un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos puntos. Para medir la diferencia de potencial entre los extremos de una resistencia R el voltímetro debe conectarse en paralelo con esta resistencia.



Igual que el amperímetro, el voltímetro también modifica la diferencia de potencial que queremos medir. Al revés que el amperímetro, el voltímetro debe tener una resistencia interna r_V muy elevada para que este error sea mínimo.

Si aplicamos a ambas resistencias la ley de Ohm, deducimos que:

$$\Delta V = I_R \cdot R = I_V \cdot r_V$$

siendo I_R e I_V las intensidades que recorren la resistencia R y el voltímetro, respectivamente. Si r_V es muy grande en comparación con R , la intensidad que recorre el voltímetro es muy pequeña y la intensidad que recorre la resistencia es prácticamente la misma que si no está el voltímetro, y la diferencia de potencial ΔV también