

### Guía de Electrodinámica

*Objetivo:*

- Reconocer la fuerza eléctrica, campo eléctrico y potencial eléctrico generado por cargas puntuales.
- Calcular la fuerza eléctrica entre cargas puntuales
- Relación entre la fuerza eléctrica y el campo eléctrico
- Aplican las condiciones a la solución de problemas y en el análisis de configuración de cargas puntuales

Cuando se produce el movimiento de cargas eléctricas, ya sea positiva o negativa, entre dos puntos del espacio, se dice que existe una corriente eléctrica. Por otra parte, si aplicamos un campo eléctrico en un conductor metálico, se produce el movimiento de los electrones libres en el conductor metálico, ver figura 1a, este movimiento de cargas eléctricas en el conductor corresponde a la corriente real y el caso de una solución líquida o en un gas, la corriente real se debe al movimiento de iones positivos, negativos e inclusive de electrones libres. En consecuencia, el sentido convencional de la corriente eléctrica se relaciona con el movimiento de cargas positivas (o el contrario de las cargas negativas), ver figura 1b. Por lo tanto, el sentido de movimiento de la corriente eléctrica es el mismo sentido del campo eléctrico establecido, o dicho de otra forma, las cargas positivas se mueven desde potenciales mayores a potenciales menores.

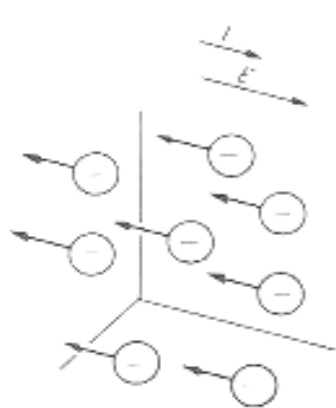


Figura 1a

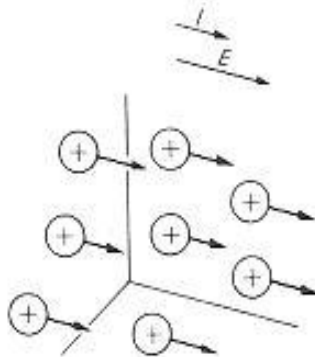


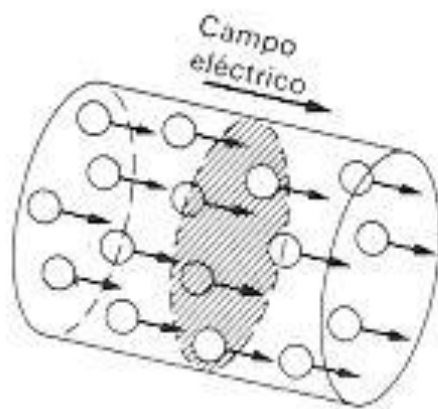
Figura 1b

### INTENSIDAD DE CORRIENTE ELECTRICA

La intensidad de corriente eléctrica o simplemente corriente eléctrica es la cantidad de carga que cruza una sección transversal de un conductor en un intervalo de tiempo. Ver figura 2.

$$\text{corriente electrica} = \frac{\text{carga electrica}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1)$$



La unidad de medida de la corriente eléctrica en el S. I, es:

$$[i] = \frac{[\Delta q]}{[\Delta t]}, \quad \text{Ampere} = \frac{\text{Coulomb}}{\text{segundo}}$$

$$[i] = A$$

De acuerdo con la definición de corriente eléctrica, hemos considerado que la corriente es constante, o dicho de otra forma que las cargas se mueven con rapidez constante en un conductor, independiente de la fuerza eléctrica que genera el campo en el medio. Esto se debe a que la estructura cristalina en los conductores no es perfecta, y esto produce que los electrones libres al moverse en un conductor interactúan con los iones del conductor produciendo que su rapidez no aumente, como deberíamos esperar

### LEY DE OHM

A partir de sus experimentos con diversos materiales, George Simón Ohm, logro deducir que al aplicar una diferencia de potencial a un conductor metálico en este se produce una corriente eléctrica, y si se varía la diferencia de potencial a otro valor, la intensidad de corriente también se modifica, lo anterior se puede describir de la siguiente manera:

$$\Delta V_1 \text{ -----} \rightarrow i_1$$

$$\Delta V_2 \text{ -----} > i_2$$

$$\Delta V_3 \text{ -----} > i_3$$

Pero esto no lo es todo, referido al trabajo de Ohm, él se dio cuenta que el cociente entre la diferencia de potencial y la corriente establecida en el conductor es constante y este valor constante se relaciona con una propiedad del material conductor que le llamaremos resistencia eléctrica.

En consecuencia la relación entre las variables, la podemos escribir de la siguiente forma

$$\frac{\Delta V_1}{i_1} = \frac{\Delta V_2}{i_2} = \frac{\Delta V_3}{i_3} = cte$$

De forma general, la ley de Ohm tiene la forma:

$$\frac{\Delta V}{i} = R, \quad \Delta V = I \cdot R \quad (2)$$

En donde la unidad de medida de la resistencia en el sistema internacional es:

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Dif de Potencial}}{\text{intensidad de corriente}}$$

$$\Omega = \frac{\text{Volt}}{\text{Ampere}}$$

De acuerdo con lo dicho anteriormente y con la deducción de Ohm, la resistencia es una propiedad asociada con los materiales y se debe a la estructura cristalina que poseen algunos materiales, estructura que está relacionada con la falta de iones y a lo no perfección en la ubicación de algunos iones que forman parte de un sólido.

### RESISTENCIA EN LOS CONDUCTORES

Se ha comprobado que la resistencia de un conductor de longitud  $L$  y sección  $A$  es:

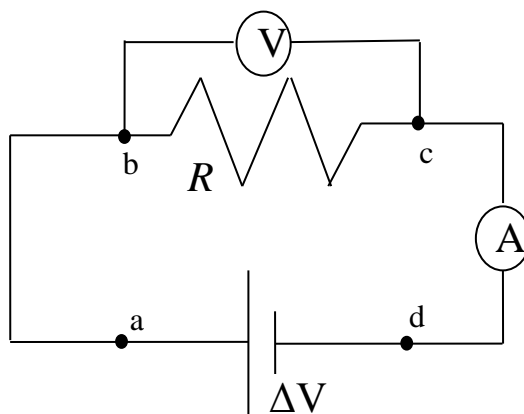
$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3)$$

Donde  $\rho$  es un coeficiente característico de cada material llamado *resistividad* eléctrica. Esta expresión se justifica porque, al aumentar la longitud del conductor, aumenta el camino que deben recorrer los electrones bajo una diferencia de potencial aplicada con lo que la resistencia; y al aumentar la sección se dispone de más electrones que pueden moverse a lo largo del conductor, aumentando la corriente, lo que equivale a disminuir la resistencia del material. De la relación (3), se deduce que la resistividad de un material es igual a la resistencia de un alambre de dicho material que tiene la unidad de longitud (1 m) y la unidad de sección (1 m<sup>2</sup>). La resistividad se expresa en ohm – metro, o sea  $\Omega \cdot m$ . La siguiente tabla muestra la resistividad de algunas sustancias.

Sustancia	$\rho$ (en $\mu\Omega$ cm)
Aluminio	3,21
Cobre	1,69
Plata	1,63

### CIRCUITO SIMPLE

El siguiente esquema eléctrico, tiene por finalidad estudiar cómo se comporta el potencial eléctrico en diferentes partes de un circuito simple, circuito que está compuesto, por un resistor una fuente un amperímetro un voltímetro y cables para contactos. De acuerdo con el circuito mostrado en la figura, las letras a, b, c y d representan puntos del circuito. En consecuencia, si aplicamos la ley de Ohm entre los diversos puntos del circuito, nos queda:



Entre los puntos a y b, el cable conductor tiene una resistencia despreciable, en consecuencia, al aplicar la ley de Ohm, nos queda:

$V_a - V_b = i \cdot R_{a-b}$  pero la resistencia entre los puntos a y b es nula, lo que nos lleva a concluir que  $V_a - V_b = 0$ . Entonces  $V_a = V_b$  y de acuerdo con lo anterior, el potencial entre estos puntos no varía o es constante.

$V_b - V_c = i \cdot R_{b-c}$  en donde la resistencia entre los puntos b y c corresponde a la resistencia del dispositivo resistor y vale R. En consecuencia,  $V_b - V_c > 0$ . Entonces el potencial en el punto b,  $V_b$  es mayor que el potencial en el punto c,  $V_c$ . Lo que no ayuda a concluir que un resistor produce una caída de potencial entre sus extremos.

$V_c - V_d = i \cdot R_{c-d}$  en donde la resistencia entre los puntos c y d es despreciable, lo que nos lleva a concluir que  $V_c - V_d = 0$ . Entonces  $V_c = V_d$  y de acuerdo con lo anterior, el potencial entre estos puntos no varía o es constante.

Por otra parte, los instrumentos considerados, voltímetro y amperímetro, se conectan entre los extremos de un resistor en el caso de un voltímetro, ya que lo que mide el instrumento es una diferencia de potencial entre los extremos del resistor, dado que estos producen una caída de potencial entre sus extremo. Y en el caso del amperímetro, para medir la intensidad de corriente, se debe conectar, considerando que la corriente circule por el amperímetro, esto es, “cortando” el circuito y conectando sus extremos en los extremos desconectados del circuito.

### AGRUPACION DE RESISTORES

- Resistores conectados en Serie.

Dos o más resistores están agrupados en serie, cuando estos se conectan uno seguido de otro, ver figura 3, ó cuando circula la misma corriente por cada uno de los resistores agrupados en serie.

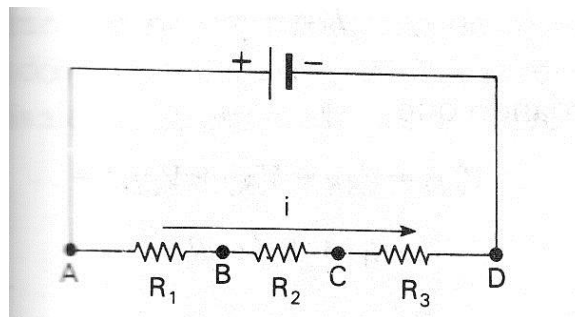


Fig. 3 Circuito Serie

Las leyes de la agrupación de resistores en serie, las clasificaremos en función de las variables eléctricas en el circuito:

Ley de la corriente: La corriente que circula por cada uno de los resistores agrupados en serie tiene el mismo valor, esto es:

$$i_1 = i_2 = i_3 = i_{tot}$$

Ley de Voltaje: Si designamos por  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$  y  $V_{CD}$  los voltajes en  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ , respectivamente, es fácil observar que:

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

Como el valor de  $i$  es igual en los tres resistores, podemos escribir:  $V_{AB} = R_1 \cdot i$ ,  $V_{BC} = R_2 \cdot i$  y  $V_{CD} = R_3 \cdot i$ . Entonces es posible concluir fácilmente que en la resistencia de *mayor* valor se observará la *mayor caída de potencial*.

Resistencia Equivalente: De la figura 3, es posible observar que puede sustituirse el conjunto de los resistores  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ , por un solo  $R$ , capaz de reemplazar al agrupamiento. Este resistor proporciona la *resistencia equivalente* de la conexión de elementos.

De la figura anterior, se tiene:

$$R_{eq} = \frac{V_{AD}}{i},$$

Además, sabemos que:  $V_{AD} = V_{AB} + V_{BC} + V_{CD} = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + R_3 \cdot i$ , por lo tanto, al reemplazar en la relación anterior nos queda:

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

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (4)$$

De la relación (4), podemos concluir que la resistencia equivalente a un conjunto de resistores agrupados en serie, está dado por la suma de las resistencias que están conectadas en serie. La resistencia equivalente es *mayor* que cualquiera de las resistencias individuales.

- Resistores conectados en Paralelo

Dos o más resistores están conectados en paralelo cuando los extremos de estos resistores se conectan entre sí, tal como muestra la Figura 4, o cuando los resistores están sometidos a la misma diferencia de potencial.

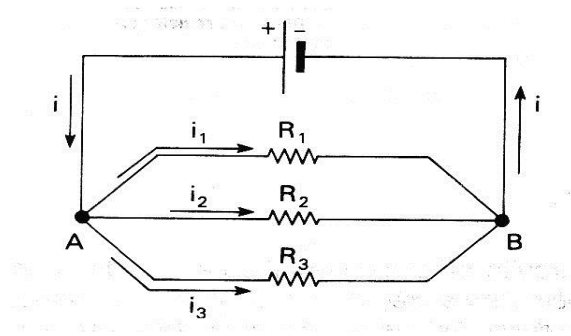


Fig. 4: Circuito Paralelo

Las leyes de la agrupación de resistores en paralelo, las clasificaremos en función de las variables eléctricas en el circuito:

Ley de Voltaje: Los diferencia de potencial a la que está sometido cada resistor agrupado en paralelo tiene el mismo valor.

$$V_{R1} = V_{R2} = V_{R3} = V_{AB}$$

Ley de Corriente: Antes de definir la ley de la corriente, denominaremos un “nodo” a un punto de un circuito en donde confluyen o convergen tres o mas conductores a un mismo punto, en nuestro caso, los nodos del circuito mostrado en la figura 4, son los puntos A y B. Lo que produce que la corriente se divida en cada conductor, dependiendo de la resistencia que presente el conductor. La corriente que circula por cada resistor, es inversamente proporcional al valor del resistor que encuentre en su camino y la suma de las corrientes parciales que circula por cada resistor es igual a la corriente total en el circuito, considerando la figura 4, se tiene:

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

Resistencia Equivalente: Sean las corrientes en los tres resistores  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$ . Entonces, dados que  $I = V/R$ ,

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

En general, la corrientes en diferente en cada resistor. Puesto que no se acumulan ni se pierde carga por el punto  $a$ , la corriente  $i$  debe ser igual a las tres corrientes de los resistores:

$$i = i_1 + i_2 + i_3 = V_{AB} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

O bien,

$$\frac{i}{V_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Pero por definición de la resistencia equivalente  $R_{eq}$ ,  $i/V_{AB} = 1/R_{eq}$ , de modo que:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (5)$$

También en este caso es fácil generalizar a cualquier número de resistores en paralelo:

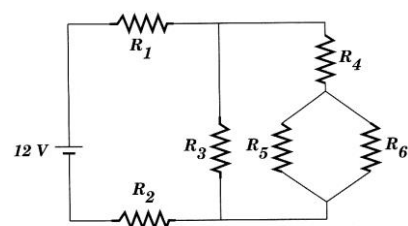
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

La resistencia equivalente siempre es menor que cualquiera de las resistencias individuales.

- Conexión mixta de resistores

Además de la conexión de resistores en serie y en paralelo que ya conocemos, podemos encontrar combinaciones de resistencias de los dos tipos en un mismo circuito, como lo ilustra la figura

Los circuitos con resistencias conectadas en serie y en paralelo se denominan redes, y se analizan aplicando las expresiones para las resistencias equivalentes en serie y en paralelo



## Potencia Eléctrica

De manera muy general puede decirse que los aparatos eléctricos son dispositivos que transforman la energía. Por ejemplo, en un motor eléctrico la energía eléctrica se transforma en la energía mecánica de rotación de la maquina; en un calentador, la energía eléctrica se transforma en calor, en una lámpara de vapor de mercurio, al energía eléctrica se transforma ene energía luminosa, etc...

En el circuito de la figura 5, una batería mantiene la corriente eléctrica continua  $i$  en el circuito. En los extremos A y B de la resistencia  $R$  se establece una diferencia de potencial  $V_{AB}$ . Como el extremo A de la resistencia está conectado al borne positivo de la batería, entonces está a un potencial mayor que el extremo B de la resistencia.

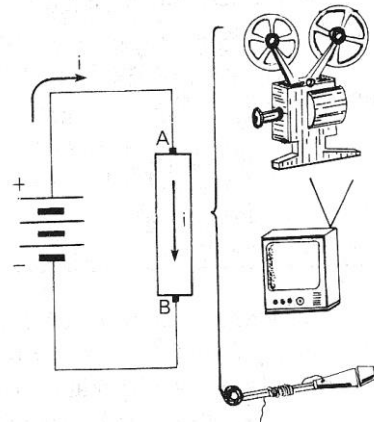


Fig. 5: Potencia Eléctrica

En el capítulo anterior, vimos que cuando una partícula con carga  $q$  se mueve entre dos puntos que están a una diferencia de potencial  $V$ , su energía potencial eléctrica varía en  $q \cdot V$  unidades. En el

circuito de la figura, cuando una carga eléctrica  $q$  se mueve a través de la resistencia desde el punto A hasta el punto B, su energía potencial eléctrica disminuye en  $q \cdot V_{AB}$ . Esta energía se transfiere al elemento que se conecta al circuito entre los punto A y B

En un intervalo de tiempo  $t$ , la energía  $E$  transferida al elemento se expresa por:

$$E = q \cdot V_{AB} = i \cdot t \cdot V_{AB}$$

En donde

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

La energía transferida por unidad de tiempo al elemento en cuestión, que se conoce como potencia  $P$ , es:

$$P = \frac{E}{t} = i \cdot V_{AB} \quad (6)$$

Encontremos una expresión para la potencia, o energía disipada por unidad e tiempo en una resistencia, como  $R = V/i$ , entonces  $V = R \cdot i$ , reemplazando en la relación (6), obtenemos la expresión:

$$P = i^2 \cdot R \quad (7)$$

O si reemplazamos  $i$  por  $\frac{V}{R}$ , obtenemos:

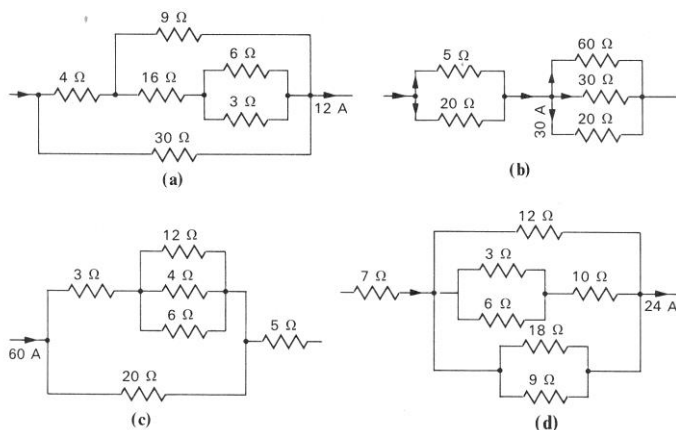
$$P = \frac{V^2}{R} \quad (8)$$

La unidad de medida de la potencia en el S. I es:  $[P] = [i][V]$  es el watt, W.

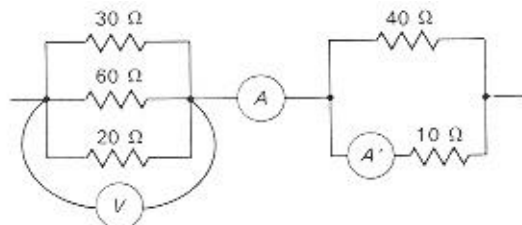
$$1\text{volt} \cdot \text{ampere} = 1 \frac{\text{joule}}{\text{coulomb}} \cdot 1 \frac{\text{coulomb}}{\text{segundo}} = 1 \frac{\text{joule}}{\text{segundo}} = 1\text{watt}$$

## EJERCICIOS

- Una lámpara de 60 W trabaja a 115 V. Calcular la intensidad de la corriente y la resistencia de la lámpara.
- Hallar la sección de un conductor de cobre de 100 m de longitud que tiene una resistencia de  $20 \Omega$
- ¿Qué calor desprende en un minuto una plancha eléctrica de 500 W? ( $1 \text{ J} = 0,24 \text{ cal}$ )
- Calcular la resistencia eléctrica de un conductor de cobre de  $4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  de sección y 20 m de longitud
- Un alambre de 10 m de longitud y 1 mm de diámetro tiene una resistencia de  $1 \Omega$ . Hallar la resistencia de otro alambre del mismo material que tiene: (a) un diámetro cuatro veces mayor; (b) una longitud 10 veces mayor; (c) es cuatro veces más largo y tiene doble diámetro.
- ¿Cuál debe ser la relación entre los diámetros de dos alambres, uno de aluminio y otro de cobre, de igual longitud, para que tengan la misma resistencia?
- ¿Cuál debe ser la relación entre las longitudes de dos alambres, uno de aluminio y otro de cobre, de igual sección, para que tengan la misma resistencia?
- Se conectan en serie tres resistencias de  $6 \Omega$ ,  $8 \Omega$  y  $12 \Omega$ . La diferencia de potencial aplicada al conjunto es de 10 V. Calcular: (a) la resistencia total; (b) la corriente si la total; (c) la corriente en cada resistencia; (d) la caída de potencial en cada resistor
- Resolver el problema anterior si las resistencias se conectan en paralelo.
- Una resistencia de  $2 \Omega$  se conecta en paralelo con otra de  $4 \Omega$  por la que pasa una corriente de 10 A. Hallar la diferencia de potencial a través del conjunto, la corriente en la primera y la resistencia total.
- ¿Cuántas lámparas, de  $200 \Omega$  cada una, pueden conectarse en paralelo a través de una diferencia de potencial de 100 V si la máxima corriente permisible es de 10 A?
- En la combinación de resistores dibujados a continuación, determinar la resistencia total y la corriente en cada conductor



- En la figura siguiente, V es un voltímetro y A y A' son dos amperímetros. Hallar: (a) las indicaciones de A y A' cuando V marca 20 V; (b) las indicaciones de V y A' cuando A indica 5 A; (c) las indicaciones de V y A cuando A' indica 20 A.

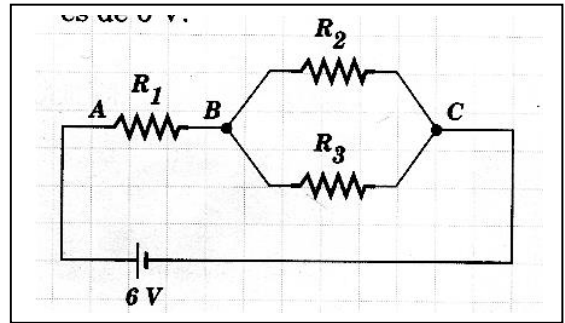




14. En el circuito de la figura  $R_1 = 5 \Omega$ ,  $R_2 = 6 \Omega$ ,  $R_3 = 4 \Omega$ , la diferencia de potencial aplicada al circuito es de 6 V.

Calcula:

- La resistencia equivalente  $R$  entre los puntos B y C.
- La resistencia equivalente  $R_{eq}$  de todo el circuito.
- La intensidad de corriente total del circuito.
- La diferencia de potencial  $V_{BC}$ , Entre los puntos B y C.
- La intensidad de corriente en cada una de las resistencias.

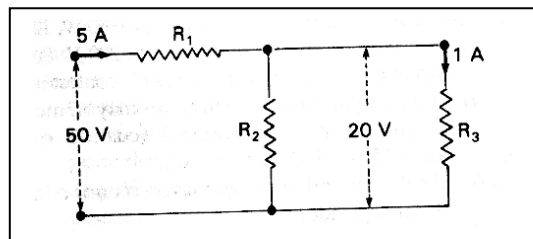


15. Un alambre de 150 m de longitud, 0,8 mm de diámetro y resistividad  $\rho = 1,69 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$  tiene sus extremos conectados a una fuente de poder de 20 V.

Calcula:

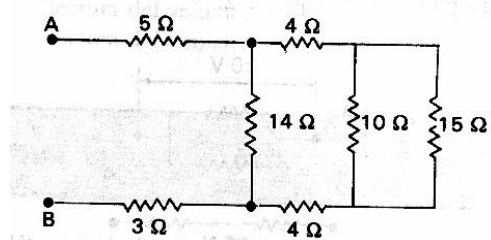
- La resistencia eléctrica del alambre
- El número de electrones que atraviesa cada sección transversal del alambre en un minuto.

16. En el circuito mostrado en la figura de este problema, determine los valores de las resistencias  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ .

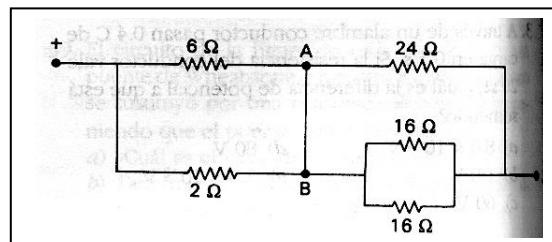


17. Considere el circuito que se presenta en la figura de este problema.

- ¿Cuál es el valor de la resistencia equivalente de ese circuito entre los puntos A y B?
- Si un voltaje  $V_{AB} = 60 \text{ V}$  se aplicara A los puntos A y B, ¿Cuál sería la corriente En la resistencia de  $10 \Omega$ .



18. Determine la resistencia equivalente del circuito siguiente:



Bibliografía:

Física: Campos y Ondas: Capítulo 7 - 8