

El flujo real de la carga en un circuito eléctrico se encuentra en la dirección del movimiento neto de los electrones, es decir, del polo negativo hacia el polo positivo, a través del alambre o material conductor. Sin embargo, por convención, se supone que la dirección de la corriente eléctrica en un circuito de corriente directa es en la cual se desplazarían los portadores de carga positiva. Así pues, la dirección de la corriente convencional es opuesta al flujo real de los electrones, es decir, se aleja de la terminal positiva de la fuente, ver figura 22.

La corriente convencional se basa en razones históricas. Según hemos visto, antiguamente se pensaba que la electricidad se debía a un "fluido" eléctrico, de tal forma que cuando un objeto acumulaba un exceso de fluido, se cargaba "positivamente", de modo que la "corriente" se concebía en términos del flujo del de mayor (+) al de menor (-) fluido.

Un foco conectado a una pila es un ejemplo de circuito simple, ver figura 23.

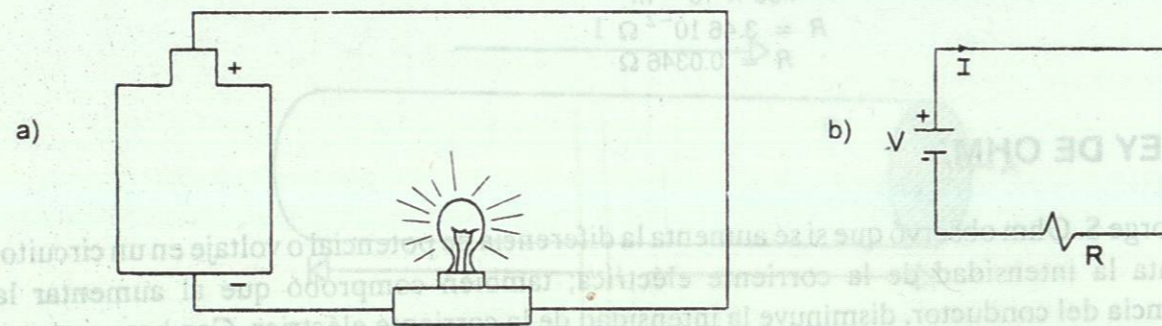


Fig. No. 23.

FIGURA 23 a) Circuito eléctrico simple que consta de una diferencia de potencial o voltaje, corriente eléctrica y una resistencia. b) Representación simbólica del voltaje, (V) la corriente eléctrica (I) y la resistencia (R).

En cualquier circuito eléctrico por donde se desplazan los electrones a través de una trayectoria cerrada, existe un voltaje (V), una corriente (I) y una resistencia (R). El circuito está cerrado cuando la corriente eléctrica circula en todo el sistema y abierto, cuando no circula por él.

Cualquier componente de un circuito de corriente directa que no sea una fuente de voltaje puede representarse como una resistencia. Incluso los alambres de conexión de un circuito tienen resistencias, pero éstas suelen considerarse despreciables.

Ejemplo 9.

Determinar la intensidad de la corriente eléctrica a través de una resistencia de 30 ohm al aplicarle una diferencia de potencial de 90 volts.

Datos:

$$R = 30 \Omega$$

$$V = 90 \text{ V}$$

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

$$I = \frac{90 \text{ V}}{30 \Omega} = 3 \text{ A}$$

Ejemplo 10.

Calcular la diferencia de potencial aplicada a una resistencia de 10 ohm, si por ella fluyen 5 ampere.

Datos:

$$R = 10 \text{ ohm}$$

$$I = 5 \text{ A}$$

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

$$V = IR$$

$$V = (5 \text{ A})(10 \Omega)$$

$$V = 50 \text{ V}$$

Los circuitos eléctricos pueden estar conectados en serie, en paralelo o en forma combinada. Un circuito está en serie cuando los elementos conductores están unidos uno a continuación de otro; es por ello que toda la corriente eléctrica debe circular por cada uno de los elementos del circuito, de forma tal que si se abre el circuito en cualquier parte, se interrumpe totalmente la corriente, ver figura 24.

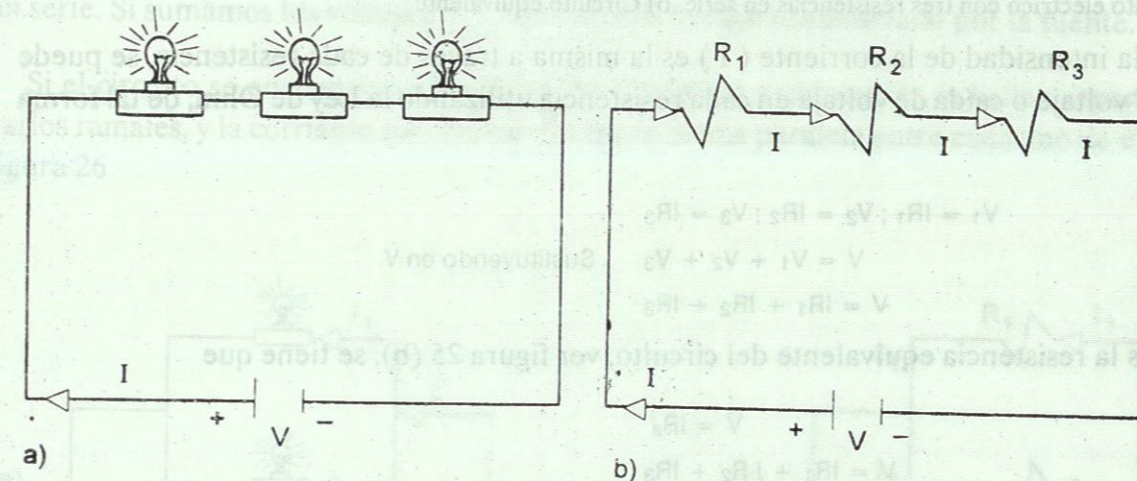


Fig. No. 24.

a) Circuito con todos sus elementos en serie. b) Diagrama del circuito.

Cuando las resistencias están conectadas en serie, se unen por sus extremos una a continuación de la otra, de tal forma que la corriente que pasa por una será la misma en las demás. Al conectar dos o más resistencias en serie, se puede calcular la resistencia equivalente (R_e), la cual presenta la misma oposición al paso de la corriente.

El voltaje (V) aplicado a un circuito en serie, ver figura 25 (a), formado por tres resistencias en serie R_1 , R_2 y R_3 , se divide entre los dispositivos eléctricos individuales en el circuito, de modo que la suma de las "caídas de voltaje" a través de cada una, es igual al voltaje total suministrado por la fuente. Esto se deduce del hecho de que el trabajo realizado para mover cada unidad de carga a través del circuito completo es igual a la suma de los trabajos realizados para mover cada unidad de carga a través de cada dispositivo eléctrico en sucesión. Es decir:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

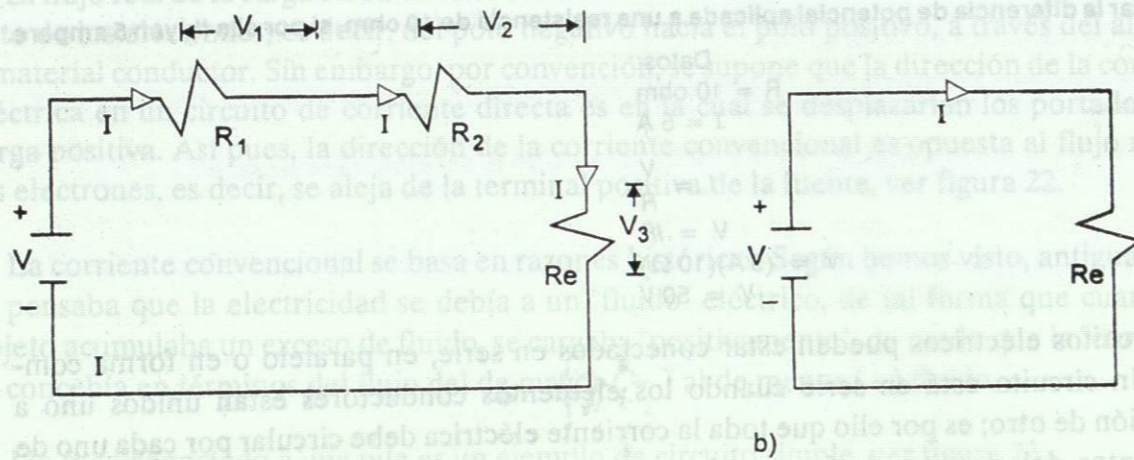


Fig. No. 25.

a) Circuito eléctrico con tres resistencias en serie. b) Circuito equivalente

Como la intensidad de la corriente (I) es la misma a través de cada resistencia, se puede calcular el voltaje o caída de voltaje en cada resistencia utilizando la Ley de Ohm, de tal forma que

$$V_1 = IR_1; V_2 = IR_2; V_3 = IR_3$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad \text{Sustituyendo en V.}$$

$$V = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

Si R_e es la resistencia equivalente del circuito, ver figura 25 (b), se tiene que

$$V = IR_e$$

$$V = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$IR_e = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 \quad R_e \text{ representa la resistencia equivalente de las tres resistencias en serie.}$$

Después de calcular la resistencia equivalente se puede calcular la corriente que circula por el circuito o el voltaje aplicado por la fuente al circuito. Veamos algunos ejemplos.

Ejemplo 11.

Dos focos uno de 70 ohm y otro de 80 ohm, se conectan en serie con una diferencia de potencial de 120V, como se muestra en el siguiente diagrama.

- a) Calcular la resistencia equivalente (R_e)
- b) Calcular la corriente eléctrica que circula por el circuito.
- c) Determinar la caída de voltaje en cada resistencia.

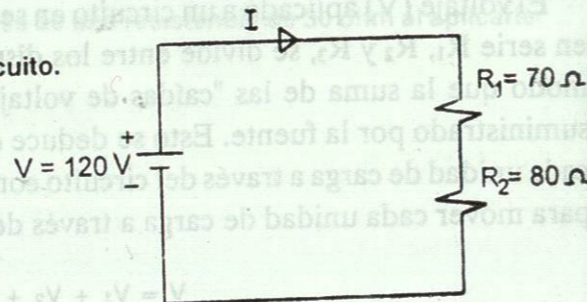
Datos:

$$V = 120 \text{ V}$$

$$R_1 = 70 \text{ ohm}$$

$$R_2 = 80 \text{ ohm}$$

$$R_e = R_1 + R_2$$



$$R_e = 70 \Omega + 80 \Omega$$

$$R_e = 150 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R_e}$$

$$I = \frac{120 \text{ V}}{150 \Omega}$$

$$I = 0.8 \text{ A}$$

$$V_1 = IR_1$$

$$V_1 = (0.8 \text{ A})(70 \Omega)$$

$$V_1 = 56 \text{ V}$$

$$V_2 = IR_2$$

$$V_2 = (0.8 \text{ A})(80 \Omega)$$

$$V_2 = 64 \text{ V}$$

En el cálculo de V_1 y de V_2 se utiliza la misma corriente (I), puesto que las resistencias están en serie. Si sumamos los voltajes V_1 y V_2 nos da el voltaje suministrado por la fuente.

Si el circuito se encuentra en paralelo, los elementos conductores se hallan separados en varios ramales, y la corriente eléctrica se divide en forma paralela entre cada uno de ellos, ver figura 26

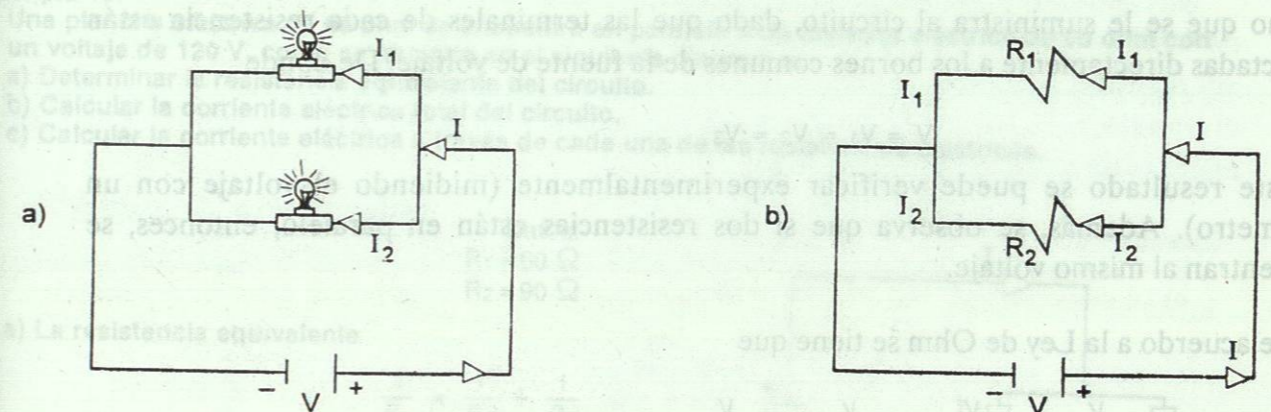


Fig. No. 26.

a) Conexiones de resistencias en paralelo. b) Diagrama del circuito con resistencias en paralelo.

Cuando las resistencias se encuentran en paralelo sus terminales se unen en dos bornes comunes que se enlazan a la fuente de energía o voltaje.

En esta conexión la corriente eléctrica se divide en cada uno de los ramales, como se muestra en la figura 27.

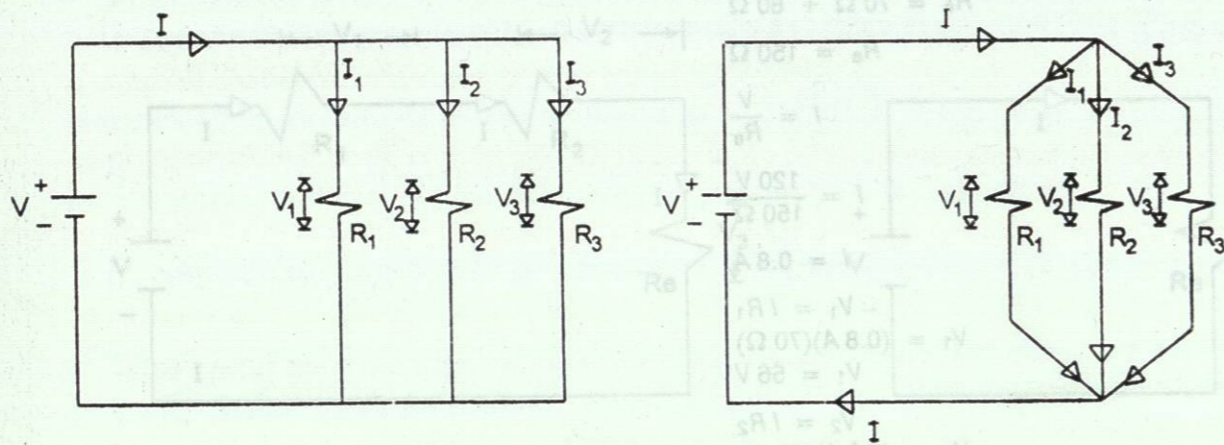


Fig. No. 27.

Resistencias conectadas en paralelo con la fuente de voltaje.

En la figura 27 tenemos tres resistencias R_1 , R_2 y R_3 conectadas en paralelo con las terminales de una fuente de energía. Si estas resistencias permiten que por ellas circulen las corrientes I_1 , I_2 , e I_3 , respectivamente, el valor de la intensidad de la corriente total será

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

respecto al voltaje aplicado a cada resistencia, su valor es igual para cada una de ellas y es el mismo que se le suministra al circuito, dado que las terminales de cada resistencia están conectadas directamente a los bornes comunes de la fuente de voltaje. De donde

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

Este resultado se puede verificar experimentalmente (midiendo el voltaje con un voltímetro). Además, se observa que si dos resistencias están en paralelo, entonces, se encuentran al mismo voltaje.

De acuerdo a la Ley de Ohm se tiene que

$$I = \frac{V}{R_e}; I_1 = \frac{V}{R_1}; I_2 = \frac{V}{R_2}; I_3 = \frac{V}{R_3}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{V}{R_e} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

es decir, el recíproco de la resistencia equivalente del circuito ($1/R_e$) es igual a la suma de los recíprocos de las resistencias componentes. Calculada la resistencia equivalente, podemos calcular el valor de la corriente eléctrica que circula en el circuito, aplicando la Ley de Ohm. Veamos algunos ejemplos.

Ejemplo 12.

Calcular la resistencia equivalente de cuatro resistencias cuyos valores son: $R_1 = 10 \text{ ohm}$, $R_2 = 20 \text{ ohm}$, $R_3 = 25 \text{ ohm}$, $R_4 = 50 \text{ ohm}$ conectadas en: a) serie y b) paralelo

Datos:

- $R_1 = 10 \Omega$
- $R_2 = 20 \Omega$
- $R_3 = 25 \Omega$
- $R_4 = 50 \Omega$

a) En serie: $R_e = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$

$$R_e = 10 \Omega + 20 \Omega + 25 \Omega + 50 \Omega$$

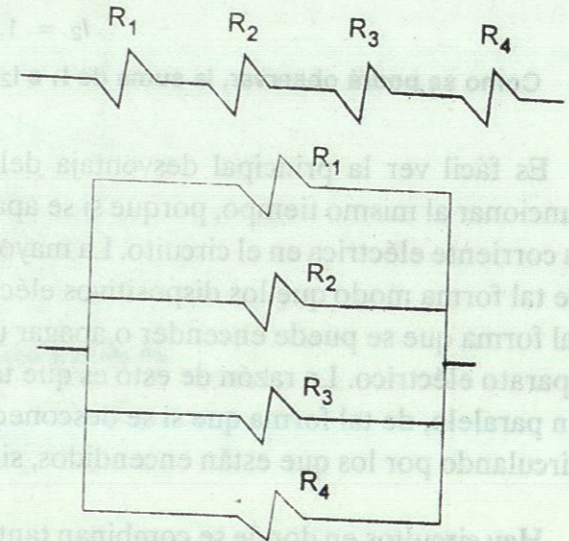
$$R_e = 105 \text{ ohm}$$

b) En paralelo: $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{10 \Omega} + \frac{1}{20 \Omega} + \frac{1}{25 \Omega} + \frac{1}{50 \Omega}$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{0.21}{\Omega}$$

$$R_e = 4.76 \Omega$$



Ejemplo 13.

Una plancha eléctrica de 60 ohm se encuentra en paralelo a un tostador eléctrico de 90 ohm con un voltaje de 120 V, como se muestra en el siguiente diagram a.

- a) Determinar la resistencia equivalente del circuito.
- b) Calcular la corriente eléctrica total del circuito.
- c) Calcular la corriente eléctrica a través de cada una de las resistencias eléctricas.

Datos:

- $R_1 = 60 \Omega$
- $R_2 = 90 \Omega$

a) La resistencia equivalente

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{60 \Omega} + \frac{1}{90 \Omega}$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{0.028}{\Omega}$$

$$R_e = 35.71 \Omega$$

b) La corriente total del circuito

$$I = \frac{V}{R_e}$$

$$I = \frac{120 \text{ V}}{35.71 \Omega}$$

$$I = 3.3 \text{ A}$$

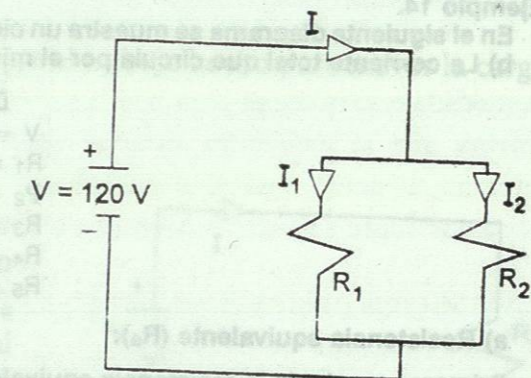


Fig. No. 28.

c) La corriente eléctrica que circula por cada resistencia.

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{120 \text{ V}}{60 \Omega}$$

$$I_1 = 2 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{120 \text{ V}}{90 \Omega}$$

$$I_2 = 1.3 \text{ A}$$

Como se podrá observar, la suma de I_1 e I_2 es igual a la corriente eléctrica total del circuito.

Es fácil ver la principal desventaja del circuito en serie; todos los aparatos deben de funcionar al mismo tiempo, porque si se apaga cualquiera de ellos, habrá una interrupción de la corriente eléctrica en el circuito. La mayor parte de los circuitos eléctricos están conectados de tal forma modo que los dispositivos eléctricos puedan funcionar independientemente. De tal forma que se puede encender o apagar una lámpara sin afectar el funcionamiento de otro aparato eléctrico. La razón de esto es que tales dispositivos no están conectados en serie sino en paralelo, de tal forma que si se desconecta o apaga un aparato, la corriente eléctrica sigue circulando por los que están encendidos, sin interrupción.

Hay circuitos en donde se combinan tanto resistencias en serie como en paralelo. La forma de resolver matemáticamente estos circuitos es calculando parte por parte, las resistencias equivalentes de cada conexión, ya sea en serie o en paralelo, de tal manera que se simplifique el circuito, hasta encontrar la resistencia equivalente de todo el sistema eléctrico. Veamos un ejemplo de resistencias combinadas.

Ejemplo 14.

En el siguiente diagrama se muestra un circuito. Calcular: a) La resistencia equivalente del circuito b) La corriente total que circula por el mismo.

Datos:

$$V = 40 \text{ V}$$

$$R_1 = 5 \Omega$$

$$R_2 = 4 \Omega$$

$$R_3 = 6 \Omega$$

$$R_4 = 2 \Omega$$

$$R_5 = 3 \Omega$$

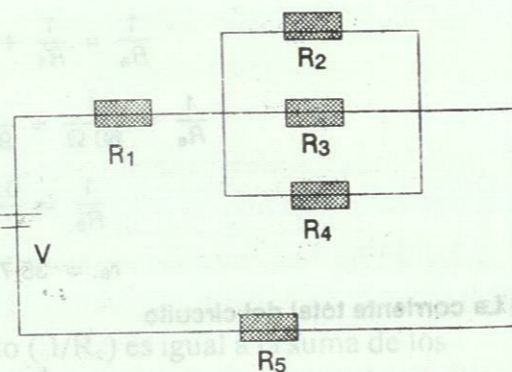
a) Resistencia equivalente (R_e):

Primero se calcula la resistencia equivalente (R_{e1}) de las resistencia R_2 , R_3 y R_4 , las cuales se encuentran en paralelo.

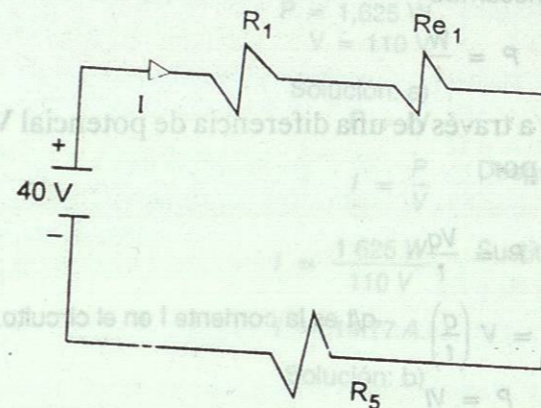
$$\frac{1}{R_{e1}} = \frac{1}{4\Omega} + \frac{1}{6\Omega} + \frac{1}{2\Omega}$$

$$\frac{1}{R_{e1}} = \frac{0.916}{\Omega}$$

$$R_{e1} = 1.09 \Omega$$



Al encontrar la resistencia equivalente (R_{e1}) de las resistencias en paralelo nuestro circuito se ha reducido a uno más simple con tres resistencias en serie:



en donde la resistencia total del circuito, representada por R_e es

$$R_e = R_1 + R_{e1} + R_5$$

$$R_e = 5 \text{ ohm} + 1.09 \text{ ohm} + 3 \text{ ohm}$$

$$R_e = 9.09 \text{ ohm}$$

b) La corriente total del circuito

$$I = \frac{V}{R_e} = \frac{40 \text{ V}}{9.09 \Omega}$$

$$I = 4.4 \text{ A}$$

14. POTENCIA ELÉCTRICA

Al analizar el circuito de la figura 27, se observa que el trabajo hecho para mover la carga eléctrica viene dado por

$$\text{Trabajo} = Vq$$

en donde se recordará que V nos representa el voltaje o diferencia de potencial, el cual equivale al trabajo por unidad de carga. La carga q recibe una energía Vq al llevarla del extremo de menor al de mayor potencial eléctrico. La carga pierde esta energía al generar calor mientras fluye por el circuito.

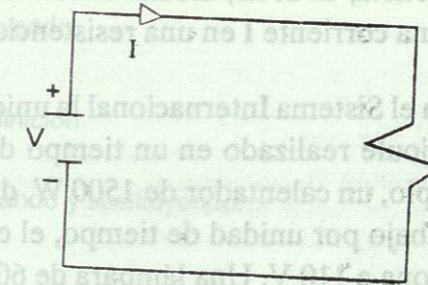


Fig. No. 28.

Potencia eléctrica.

La potencia de una batería cuando produce una corriente eléctrica (I) viene dada por

$$\text{Potencia} \equiv \frac{\text{Trabajo realizado}}{\text{tiempo transcurrido}}$$

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

como la batería transporta una carga q a través de una diferencia de potencial V , en un tiempo t , se tiene que la potencia viene dada por

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

$$P = V \left(\frac{q}{t} \right) \quad q/t \text{ es la corriente } I \text{ en el circuito, por lo cual}$$

$$P = VI$$

Esta expresión determina la potencia generada por una fuente de voltaje V al producir una corriente eléctrica I . Utilizando la Ley de Ohm, se tiene que

$$V = IR$$

$$P = VI = (IR)I$$

$$P = I^2 R$$

Además

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

$$P = VI = V \left(\frac{V}{R} \right)$$

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

A medida que la carga pasa por la resistencia cae de un potencial mayor a otro menor. De tal forma que la expresión anterior también nos da la potencia eléctrica disipada en la resistencia, es decir, mediante esta expresión se puede calcular la potencia eléctrica perdida por una corriente I en una resistencia R .

En el Sistema Internacional la unidad de potencia es el watt (W), el cual equivale al trabajo de 1 joule realizado en un tiempo de 1s. Esta unidad es muy utilizada en electricidad. Por ejemplo, un calentador de 1500 W, diseñado para un consumo de 110 V; como la potencia es el trabajo por unidad de tiempo, el calentador genera 1500 J. de calor cada segundo cuando funciona a 110 V. Una lámpara de 60 W, usa o disipa 60 J. de energía eléctrica cada segundo.

Ejemplo 15.

Una cafetera eléctrica tiene 1,625 W a 110 V. a) ¿Cuánta corriente consume la cafetera? b) ¿Cuál es su resistencia?

Datos:

$$P = 1,625 \text{ W}$$

$$V = 110 \text{ V}$$

Solución: a)

$$P = IV$$

$$I = \frac{P}{V} \quad \text{Despejando.}$$

$$I = \frac{1,625 \text{ W}}{110 \text{ V}} \quad \text{Sustituyendo.}$$

$$I = 14.77 \text{ A.}$$

Solución: b)

$$R = \frac{V^2}{P} \quad \text{Despejando.}$$

$$R = \frac{(110 \text{ V})^2}{1,625 \text{ W}} \quad \text{Sustituyendo.}$$

$$R = 7.44 \Omega$$

Si en lugar de esta expresión de potencia, usamos la Ley de Ohm, nos resulta

$$V = IR$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{110 \text{ V}}{14.77 \text{ A}}$$

$$R = 7.44 \Omega$$

Ejemplo 16.

Calcular la potencia eléctrica de un foco que recibe una diferencia de potencial de 120 V, si por su filamento circula una corriente de 0.5 A. ¿Cuál es el valor de la resistencia del foco?

Datos:

$$V = 120 \text{ V}$$

$$I = 0.5 \text{ A}$$

a) $P = IV$

Por definición.

$$P = (0.5 \text{ A})(120 \text{ V})$$

Sustituyendo.

$$P = 60 \text{ W}$$

$$b) I = \frac{V}{R}$$

Por definición.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{120 \text{ V}}{0.5 \text{ A}}$$

Despejando y sustituyendo.

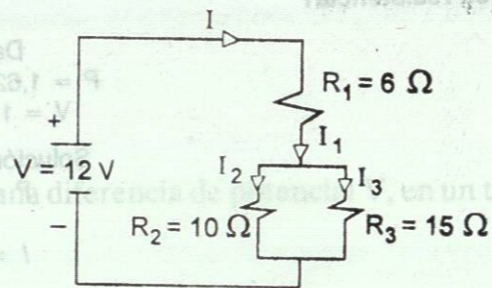
$$R = 240 \Omega$$

Ejemplo 17.

Dado el siguiente circuito :

- a) ¿Cuál es la corriente eléctrica que fluye por cada una de las resistencias del circuito?
b) ¿Cuánta potencia consume cada una?

Datos:
 $V = 12\text{ V}$
 $R_1 = 6\ \Omega$
 $R_2 = 10\ \Omega$
 $R_3 = 15\ \Omega$



- a) Vamos a calcular la resistencia equivalente del circuito, para luego calcular la corriente de la fuente y analizar cómo se distribuye en R_2 y R_3

Sea R_{e1} la resistencia equivalente de R_2 y R_3 en paralelo, entonces

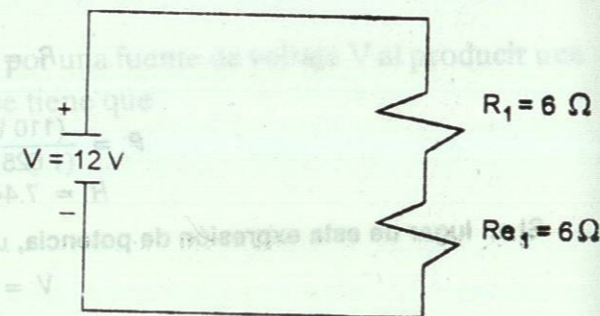
$$\frac{1}{R_{e1}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{e1}} = \frac{1}{10\ \Omega} + \frac{1}{15\ \Omega}$$

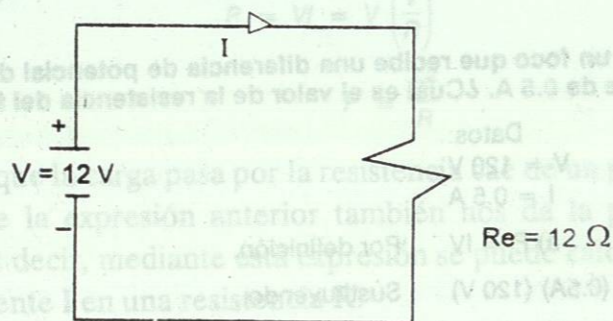
$$\frac{1}{R_{e1}} = \frac{0.1}{\Omega} + \frac{0.066}{\Omega}$$

$$\frac{1}{R_{e1}} = \frac{0.166}{\Omega}$$

$$R_{e1} = 6\ \Omega$$



Si sustituimos R_{e1} en lugar de R_2 y R_3 se tiene que



de este circuito se puede calcular la resistencia equivalente (R_e) del circuito, considerando a R_1 y a R_{e1} , en serie, de tal forma que

$$R_e = R_1 + R_{e1}$$

$$R_e = 6\ \Omega + 6\ \Omega$$

$$R_e = 12\ \Omega$$

Al sustituir esta resistencia en lugar de R_1 y de R_{e1} , nos resulta el circuito

De donde, la corriente del circuito será

$$I = \frac{V}{R_e} = \frac{12\text{ V}}{12\ \Omega}$$

$$I = 1\text{ A}$$

Como se puede observar, por la resistencia R_1 pasa una corriente de 1A.

Los circuitos anteriores son equivalentes. Tomando el segundo circuito se tiene que la corriente $I = 1\text{ A}$ pasa por R_1 y R_{e1} , de tal forma que

$$V_1 = IR_1 = (1\text{ A})(6\ \Omega) = 6\text{ V}$$

$$V_{e1} = IR_{e1} = (1\text{ A})(6\ \Omega) = 6\text{ V}$$

Nótese que se satisface el hecho de que el voltaje aplicado por la fuente es igual a la suma de las caídas de voltaje, es decir

$$V = V_1 + V_{e1}$$

$$V = 6\text{ V} + 6\text{ V}$$

$$V = 12\text{ V}$$

Las resistencias R_2 y R_3 se encuentran al mismo voltaje V_{e1} , por estar en paralelo, de tal forma que

$$I_2 = \frac{V_{e1}}{R_2} = \frac{6\text{ V}}{10\ \Omega}$$

$$I_2 = 0.6\text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V_{e1}}{R_3} = \frac{6\text{ V}}{15\ \Omega}$$

$$I_3 = 0.4\text{ A}$$

De estos resultados se puede ver que $I = I_1 + I_2 + I_3$

b) La potencia que consume cada una de las resistencias viene dada por

$$P = I^2 R$$

$$P_1 = I_1^2 R_1 = (1\text{ A})^2 (6\ \Omega) = 6\text{ W}$$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = (0.6\text{ A})^2 (10\ \Omega) = 3.6\text{ W}$$

$$P_3 = I_3^2 R_3 = (0.4\text{ A})^2 (15\ \Omega) = 2.4\text{ W}$$

15. LEYES DE KIRCHHOFF

A partir del análisis que se ha hecho de los diferentes circuitos eléctricos, se pueden enunciar las dos Leyes de Kirchhoff, una en relación a la corriente eléctrica y la otra con el voltaje.

La Ley de las corrientes (o de los nodos) establece:

La corriente que entra a una unión o nodo es igual a la que sale de él.