

## 6.1 Acoplamiento de receptores en serie

Acoplar varios receptores en serie consiste en ir conectando el terminal de salida de uno con el de entrada del otro, sucesivamente.

En el esquema de la Figura 6.1 se han representado tres resistencias ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ) conectadas en serie. Al cerrar el interruptor, el conjunto de estas tres resistencias quedará sometido a la tensión  $V$  del generador, lo que hará que surja una corriente eléctrica  $I$ , que se establecerá por todas las resistencias por igual, provocando en cada una de ellas las tensiones  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$  y  $V_{CD}$ , respectivamente. De tal manera que la suma de dichas tensiones es igual a la aplicada al conjunto.

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

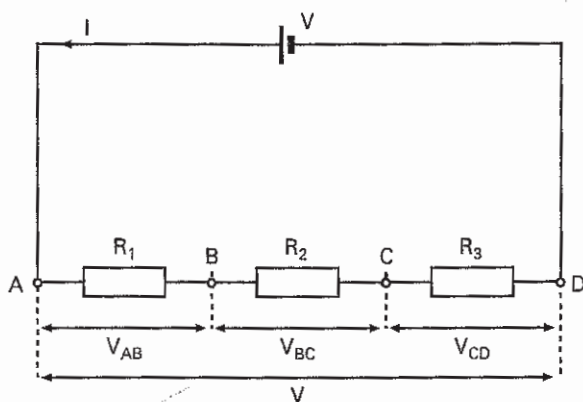


Figura 6.1. Circuito formado por tres resistencias en serie.

¿Por qué la intensidad que atraviesa todas las resistencias es la misma?

La corriente eléctrica es un flujo de electrones que, en este caso, se establece por el generador, el conductor, y las tres resistencias. Como los electrones no se quedan acumulados en ningún punto del circuito, los mismos que entran por el terminal de una resistencia, salen por otro terminal de la misma, para a continuación, entrar por el terminal de la siguiente resistencia, y así sucesivamente.

¿Por qué se reparte la tensión entre las resistencias?

La tensión que aparece entre dos puntos de un circuito surge gracias a la diferencia de cargas que existe entre los mismos. Sabemos que esta diferencia de cargas es la que produce la fuerza que impulsa a moverse a los electrones de un punto a otro del circuito. En un circuito serie la fuerza que provoca la tensión del conjunto irá perdiendo su efecto al realizar sucesivos trabajos en los receptores conectados en serie, y producirá lo que se conoce como caída de tensión en cada uno de los mismos. Lógicamente, cabe pensar que al ser igual la corriente para todos los receptores, necesitarán más fuerza de impulsión (más tensión) aquéllos que tengan mayor resistencia eléctrica.

¿Cómo se calculan estas caídas de tensión?

De la ley de Ohm tenemos que:  $V = R \cdot I$

**\*Nota importante:** La ley de Ohm siempre se aplica entre dos puntos concretos del circuito. Así, por ejemplo, para determinar el valor de la tensión  $V_{AB}$ , habrá que aplicar esta ley entre los puntos A y B. Como entre estos puntos la resistencia es  $R_1$  y la corriente  $I$ , tendremos que:

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

Por la misma razón:  $V_{BC} = R_2 \cdot I$

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

Por otro lado, como  $V = V_{AB} + V_{BC} + V_{CD}$  y sustituyendo los valores de  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$ , y  $V_{CD}$  en esta ecuación, nos queda la siguiente expresión:

$V = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I$ , operando:  $V = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot I$ ; despejando  $I$ :

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (I)$$

Esta expresión indica que para calcular la intensidad que se establece en un circuito de resistencias en serie, basta con dividir la tensión total aplicada al circuito entre la suma de resistencias conectadas en serie.

**Resistencia total o equivalente ( $R_T$ ):** se denomina así a la resistencia que produce los mismos efectos que todo el conjunto de resistencias (Figura 6.2).

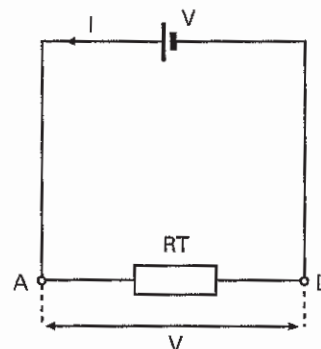


Figura 6.2. Resistencia total o equivalente.

En el circuito equivalente se cumple la ley de Ohm teniendo en cuenta toda la tensión y toda la resistencia:

$$\text{Luego: } I = \frac{V}{R_T} \quad (II)$$

Si comparamos la expresión (I) y la (II) podemos deducir que la resistencia total o equivalente es igual a la suma de las resistencias de cada uno de los receptores:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

**Potencia eléctrica de cada receptor:** Se aplica la expresión general de potencia eléctrica  $P = V \cdot I$ , teniendo en cuenta que, al igual que hicimos al aplicar la ley de Ohm, siempre

se hace sobre los dos puntos concretos del circuito donde queremos calcular la potencia. De esta forma, tenemos que:

$$P_1 = V_{AB} \cdot I; \quad P_2 = V_{BC} \cdot I; \quad P_3 = V_{CD} \cdot I$$

La potencia total la calculamos sumando cada una de las potencias parciales:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

O empleando la expresión de potencia y aplicando la tensión total aplicada:

$$P_T = V \cdot I$$

### Ejemplo: 6.1

Se conectan a una batería de acumuladores de 24 V dos resistencias en serie de  $20 \Omega$ ,  $10 \Omega$ , respectivamente (Figura 6.3). Se quiere determinar: la intensidad que recorre el circuito, la tensión a la que queda sometida cada resistencia, la potencia de cada una de las resistencias y la potencia total del circuito.

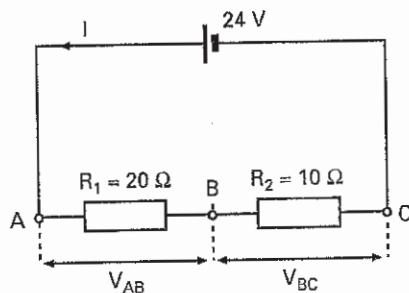


Figura 6.3

**Solución:** Primero, calculamos la resistencia total:

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots = 30 \Omega$$

La intensidad será entonces:

$$I = \frac{V}{R_T} = \dots = 0,8 \text{ A}$$

La tensión a que queda sometida cada resistencia, es:

$$V_{AB} = R_1 \cdot I = \dots = 16 \text{ V}$$

$$V_{BC} = \dots = \dots = 8 \text{ V}$$

Comprueba la igualdad:

$$V = V_{AB} + V_{BC} = \dots = 24 \text{ V}$$

La potencia de cada resistencia, es:

$$P_1 = V_{AB} \cdot I = \dots = 12,8 \text{ W}$$

$$P_2 = \dots = \dots = 6,4 \text{ W}$$

La potencia total, es:

$$P_T = V \cdot I = 24 \cdot 0,8 = 19,2 \text{ W}$$

Comprueba la igualdad:

$$P_T = P_1 + P_2 = \dots = 19,2 \text{ W}$$

### Ejemplo: 6.2

Se desea aprovechar unas lámparas de 110 V / 40 W para conectarlas a una red de 220 V, ¿Cuántas lámparas será necesario montar en serie? ¿Qué intensidad recorrerá el circuito? ¿Cuál será la potencia total consumida por el conjunto de lámparas? ¿Cuál será la resistencia de cada lámpara y la equivalente al conjunto de las mismas?

**Solución:** Como todas las lámparas son iguales y de la misma tensión, el número que hay que conectar en serie será (Figura 6.4):

$$\frac{220 \text{ V}}{110 \text{ V}} = 2 \text{ lámparas}$$

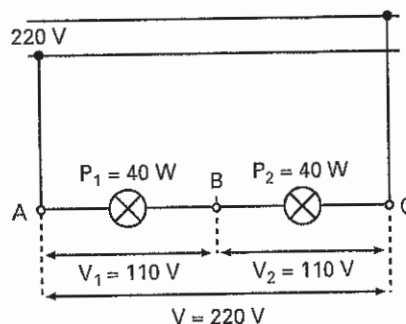


Figura 6.4

La potencia total será:  $P_T = 2 \cdot 40 = 80 \text{ W}$

La intensidad la podemos calcular así:  $P_T = V \cdot I$ , despejando:

$$I = \frac{P_T}{V} = \frac{80}{220} = 0,36 \text{ A}$$

Como todas las lámparas son iguales, sus resistencias también lo serán.

$$R_1 = \frac{V}{I} = \frac{110}{0,36} = 305 \Omega$$

$$R_T = 305 + 305 = 610 \Omega$$

### Ejemplo: 6.3

Para que una lámpara incandescente de 125 V / 40 W no se funda al conectarla a una red de 220 V se le conecta una resistencia en serie. Calcular el valor óhmico de esta resistencia, así como su potencia de trabajo.

**Solución:** Lo más importante para resolver este tipo de problemas es dibujar un esquema eléctrico donde se puedan ver las diferentes magnitudes del circuito eléctrico, como, por ejemplo, el que se muestra en al Figura 6.5.

Se puede deducir fácilmente que la tensión a que debe quedar la resistencia es  $V_{AB} = 220 - 125 = 95 \text{ V}$ .

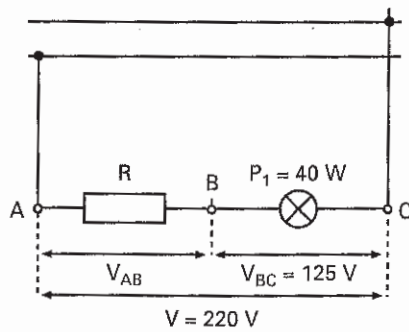


Figura 6.5

Aplicando la expresión de la potencia entre los bornes de la lámpara (puntos BC) determinamos la intensidad del circuito:

$$I = \frac{P_L}{V_{BC}} = \frac{40}{125} = 0,32 \text{ A}$$

Si aplicamos ahora la ley de Ohm entre los extremos de la resistencia (puntos AB) calculamos su valor óhmico.

$$R = \frac{V_{AB}}{I} = \frac{95}{0,32} = 297 \Omega$$

La potencia de esta resistencia es  $P = V_{AB} \cdot I = 95 \cdot 0,32 = 30 \text{ W}$

Es importante tener en cuenta este último dato, ya que nos indica que a la vez que la resistencia provoca una caída de tensión de 95 V, lo hace a costa de producir un consumo de 30 W, que se disipa en forma de calor como una potencia perdida.

### 6.1.1 Aplicaciones prácticas del acoplamiento en serie

En algunas instalaciones de iluminación, como por ejemplo las luces de un árbol de navidad, se conectan las lámparas en serie. El principal inconveniente que se presenta es que cuando se funde una lámpara el circuito se interrumpe y, por tanto, dejan de lucir todas las demás.

Otra aplicación consiste en la construcción de "reostatos". Éstos son resistencias variables que al ser acopladas en serie con un receptor provocan una caída de tensión que se modifica al variar la resistencia del reostato, consiguiendo así regular la intensidad, tensión y potencia de dicho receptor (Figura 6.6).

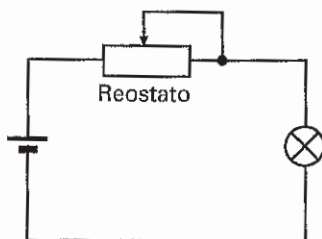


Figura 6.6. Al colocar una resistencia variable en serie con un receptor se consigue regular la intensidad, tensión y potencia del mismo.

#### Ejemplo: 6.4

Para regular la intensidad que recorre un receptor eléctrico de 10 ohmios de resistencia se conecta en serie con él un reostato. Determinar los valores óhmicos que habrá de tener dicho reostato para conseguir que la intensidad de corriente esté entre 1 y 10 A al aplicar al conjunto una tensión de 220 V.

*Solución:* Calcularemos primero la resistencia total del circuito serie formado por la resistencia R del receptor y  $R_r$  del reostato para que la corriente sea de 1 A al aplicar 220 V:

$$I = \frac{V}{R_T}, \text{ despejando } R_T = \frac{V}{I} = \frac{220}{1} = 220 \Omega$$

Como  $R_T = R + R_r$ , despejando  $R_r = R_T - R = 220 - 10 = 210 \Omega$

Para la corriente de 10 A tendremos que:

$$R_T = \frac{220}{10} = 22 \Omega \quad R_r = 22 - 10 = 12 \Omega$$

Por lo que el reostato deberá regular su resistencia entre 12 y 210  $\Omega$ .

La tensión y potencia que se dan en el receptor R entre estos dos valores será:

(a) Para  $I = 1 \text{ A}$

$$V_R = R \cdot I = 10 \cdot 1 = 10 \text{ V}$$

$$P_R = V_R \cdot I = 10 \cdot 1 = 10 \text{ W}$$

(b) Para  $I = 10 \text{ A}$

$$V_R = R \cdot I = 10 \cdot 10 = 100 \text{ V}$$

$$P_R = V_R \cdot I = 100 \cdot 10 = 1.000 \text{ W}$$

Por otro lado, al pasar corriente por el reostato éste produce una potencia P, que se pierde en forma de calor, y que será:

$$(a) \text{ Para } I = 1 \text{ A: } P_r = R_r \cdot I^2 = 210 \cdot 1^2 = 210 \text{ W}$$

$$(b) \text{ Para } I = 10 \text{ A: } P_r = R_r \cdot I^2 = 12 \cdot 10^2 = 1.200 \text{ W}$$

De este ejemplo se puede deducir que el reostato no es muy buena solución para regular corrientes de carga considerables, dado la elevada potencia perdida que se desarrolla en los mismos. En la práctica, hoy en día sólo se emplean reostatos o resistencias variables en aquellos circuitos en que las corrientes son muy pequeñas (del orden de algunos miliamperios), como es el caso de los potenciómetros, resistencias ajustables, etc, en aplicaciones de circuitos electrónicos. Las nuevas tecnologías han encontrado medios más eficaces de regulación a base de semiconductores.

## 6.2 Acoplamiento de receptores en paralelo

Acoplar varios receptores en paralelo (o derivación) es conectar los terminales de dichos terminales entre sí, tal como se muestra en la Figura 6.7.

En el esquema de la Figura 6.7 las resistencias están conectadas a los mismos puntos A y B. El montaje de receptores en paralelo se caracteriza porque todos ellos están sometidos a la misma tensión.

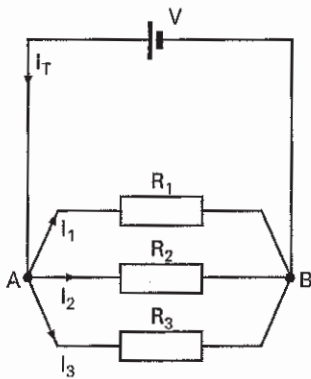


Figura 6.7. Esquema de conexión de tres resistencias acopladas en paralelo.

El generador suministra una corriente  $I_T$  que se reparte por cada una de las resistencias.  $I_1$  por  $R_1$ ,  $I_2$  por  $R_2$  e  $I_3$  por  $R_3$ . Cumpléndose que la corriente suministrada al circuito ( $I_T$ ) es igual a la suma de corrientes ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) que fluyen por cada uno de los receptores conectados en paralelo.

La razón de que se cumpla esta expresión es debido a que los electrones que entran en el nudo (A) no quedan acumulados en él, por lo que toda la intensidad  $I_T$  que entra al nudo tiene que salir, también de él.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

Para calcular las intensidades  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  basta con aplicar la ley de Ohm entre los puntos A y B y en cada una de las resistencias correspondientes.

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \quad I_2 = \frac{V}{R_2} \quad I_3 = \frac{V}{R_3}$$

¿Cómo se determina la resistencia total o equivalente?

Sabemos que  $I_T = I_1 + I_2 + I_3$ ; sustituyendo en esta expresión los valores de las intensidades parciales por su igualdad, tenemos que:

$$I_T = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \text{ y sacando factor común a V:}$$

$$I_T = V \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \text{ (I)}$$

Por otro lado, sabemos que para calcular la corriente eléctrica que suministra el generador al conjunto del circuito, tendremos que tener en cuenta la resistencia equivalente ( $R_T$ ), que es la que produce los mismos efectos que todas las resistencias acopladas en paralelo.

$$I_T = \frac{V}{R_T} \text{ (II)}$$

Si ahora comparamos las expresiones I y II, podemos llegar a la siguiente igualdad:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}, \text{ y despejando:}$$

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

Para un número n de resistencias la expresión quedaría así:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Para calcular las potencias se opera como ya conocemos:

$$P_1 = V \cdot I_1; \quad P_2 = V \cdot I_2; \quad P_3 = V \cdot I_3; \quad P_T = V \cdot I_T \text{ o } P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

### Ejemplo: 6.5

A una pila de 9 voltios se le conectan dos resistencias en paralelo de 6 y 2  $\Omega$ , respectivamente. Calcular: a) la resistencia total; b) la intensidad de cada resistencia y del conjunto; c) la potencia de cada una, así como la total cedida por la pila (Figura. 6.8).

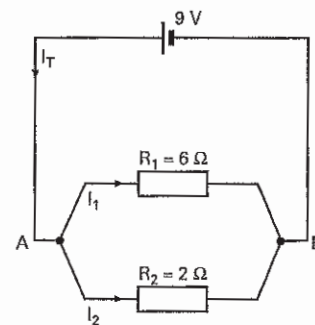


Figura 6.8.

Solución: a)

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{1+3}{6}} = \frac{6}{4} = 1,5 \Omega$$

**\*Nota:** Para sumar las fracciones  $1/6 + 1/2$  se las ha reducido al mismo denominador.

Es importante señalar que la resistencia total o equivalente da como resultado un valor inferior a la más pequeña de las resistencias conectadas en paralelo. Este resultado es el esperado, ya que cuantos más circuitos derivados existan, habrá también más caminos por donde pueda pasar la corriente eléctrica y, por tanto, menos dificultad para el establecimiento de la intensidad total.

$$b) I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{9}{6} = 1,5 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \dots = 4,5 \text{ A}$$

$$I_T = \frac{V}{R_T} = \frac{9}{1,5} = 6 \text{ A}$$

Comprueba si el resultado obtenido al calcular la intensidad total es el mismo que sumando las intensidades:

$$I_T = I_1 + I_2 = \dots + \dots = 6 \text{ A}$$

$$c) P_1 = V \cdot I_1 = 9 \cdot 1,5 = 13,5 \text{ W}$$

$$P_2 = \dots = \dots = 40,5 \text{ W}$$

$$P_T = V \cdot I_T = 9 \cdot 6 = 54 \text{ W}$$

Comprueba si se obtiene el mismo resultado empleando la expresión:

$$P_T = P_1 + P_2 = \dots + \dots = 54 \text{ W}$$

### Ejemplo: 6.6

Una línea eléctrica de 230 V alimenta a los siguientes receptores: una lámpara incandescente de 60 W, una cocina eléctrica de 3 KW y una estufa de 1 KW (Figura 6.9). Calcular: a) la intensidad que absorbe cada receptor de la red; b) resistencia de cada receptor; c) resistencia total.

**Solución:**

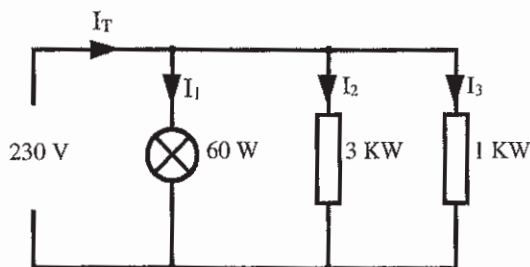


Figura 6.9.

a) Como todos los receptores están sometidos a la misma tensión se trata de un montaje en paralelo.

Como conocemos la potencia de cada receptor y la tensión a la que están sometidos, es fácil calcular la intensidad de cada uno.

$$I_1 = \frac{P_1}{V} = \frac{60}{230} = 0,26 \text{ A};$$

$$I_2 = \frac{P_2}{V} = \dots = 13,04 \text{ A}, \quad I_3 = \dots = \dots = 4,35 \text{ A}$$

La intensidad total la calculamos sumando estas intensidades:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 = 0,26 + \dots + \dots = 17,65 \text{ A}$$

d) Las resistencias de cada uno de los receptores las calculamos aplicando la ley de Ohm en los extremos de cada uno de los mismos:

$$R_1 = \frac{V}{I_1} = \frac{230}{0,26} = 884,6 \Omega;$$

$$R_2 = \frac{V}{I_2} = \dots = 17,6 \Omega; \quad R_3 = \dots = \dots = 52,9 \Omega$$

Como ya conocemos la intensidad total, para calcular la resistencia total o equivalente nos valdremos de la expresión:

$$e) R_T = \frac{V}{I_T} = \frac{230}{17,65} = 13 \Omega$$

Comprueba el resultado aplicando la expresión:

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

## 6.3 Circuitos mixtos

Al igual que es posible conectar receptores en serie o en paralelo, en ocasiones pueden aparecer circuitos con receptores acoplados en serie mezclados con receptores acoplados en paralelo. Estos circuitos son los denominados mixtos. En la Figura 6.10 se muestra un ejemplo de ellos. Aquí las resistencias  $R_2$  y  $R_3$  están claramente conectadas en paralelo entre sí y, a su vez, su resistencia equivalente se conecta en serie con  $R_1$ .

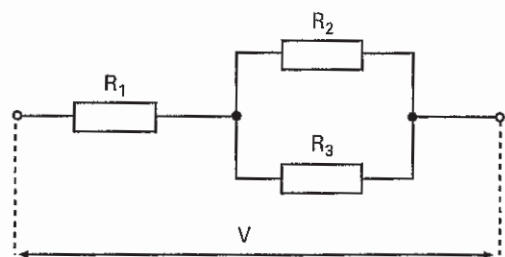


Figura 6.10. Receptores acoplados en forma mixta.

Para resolver este tipo de ejercicios hay que seguir los siguientes pasos:

a) Reducir a su circuito equivalente aquellas partes del circuito que estén claramente acopladas, bien en serie o en paralelo.

b) Dibujar sucesivamente los nuevos circuitos equivalentes obtenidos, indicando las magnitudes conocidas y desconocidas.

c) Calcular las magnitudes desconocidas del circuito desde los circuitos equivalentes más reducidos hasta el circuito original.

**Ejemplo: 6.7**

Determinar las tensiones, potencias e intensidades de cada una de las resistencias del circuito mixto de la Figura 6.11 si aplicamos entre los extremos AC del circuito una tensión de 24,8 V.

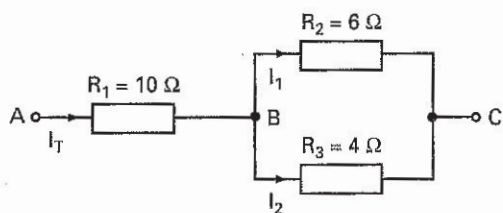


Figura 6.11

Como  $R_3$  y  $R_2$  están claramente conectadas en paralelo, determinamos su resistencia equivalente que llamamos  $R_{23}$ :

$$R_{23} = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{1}{4}} = 2,4 \Omega$$

Ahora dibujamos el circuito equivalente al anterior, en el que se ha sustituido  $R_2$  y  $R_3$  por  $R_{23}$  (Figura 6.12). Observa que  $R_1$  y  $R_{23}$  están conectados en serie.

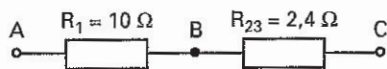


Figura 6.12

$$R_T = R_1 + R_{23} = 10 + 2,4 = 12,4 \Omega$$

Una vez reducidas todas las resistencias a su equivalente  $R_T$ , dibujamos el circuito final de la Figura 6.13 y calculamos con él la intensidad total del circuito.

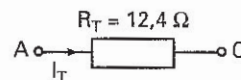


Figura 6.13

$$I_T = \frac{V}{R_T} = \frac{24,8}{12,4} = 2 \text{ A}$$

Aplicando la ley de Ohm en el circuito equivalente de la Figura 6.12 obtenemos las tensiones  $V_{AB}$  y  $V_{BC}$ :

$$V_{AB} = R_1 \cdot I_T = 10 \cdot 2 = 20 \text{ V}$$

$$V_{BC} = R_{23} \cdot I_T = 2,4 \cdot 2 = 4,8 \text{ V}$$

Una vez obtenidas estas tensiones, podemos calcular las intensidades  $I_1$  e  $I_2$  aplicando la ley de Ohm en el circuito original de la Figura 6.11.

$$I_1 = \frac{V_{BC}}{R_2} = \frac{4,8}{6} = 0,8 \text{ A}, \quad I_2 = \frac{V_{BC}}{R_3} = \frac{4,8}{4} = 1,2 \text{ A}$$

Por último indicamos la tensión, intensidad y potencia que le corresponde a cada una de las resistencias:

$$P = V \cdot I$$

$$R_1: (20 \text{ V}); (2 \text{ A}); \quad P_1 = 20 \cdot 2 = 40 \text{ W}$$

$$R_2: (4,8 \text{ V}); (0,8 \text{ A}); \quad P_2 = 4,8 \cdot 0,8 = 3,84 \text{ W}$$

$$R_3: (4,8 \text{ V}); (1,2 \text{ A}); \quad P_3 = 4,8 \cdot 1,2 = 5,76 \text{ W}$$

$$R_T: (24,8 \text{ V}); (2 \text{ A}); \quad P_T = 24,8 \cdot 2 = 49,6 \text{ W}$$

6