

## 2. Leyes básicas del circuito eléctrico

### 2.1 La ley de Ohm



■ [www.simbologia-electronica.com](http://www.simbologia-electronica.com)  
■ [www.micropik.com](http://www.micropik.com)

## 2.1 La ley de Ohm

La **ley de Ohm** establece la relación existente entre las tres magnitudes eléctricas estudiadas: resistencia ( $R$ ), voltaje ( $V$ ) e intensidad ( $I$ ).

Si observamos en la figura 2.1 el símil hidráulico del circuito eléctrico, veremos que el volumen de líquido que pasa por la tubería será mayor cuanto más elevada sea la presión entre los dos extremos del tubo.

De la misma manera sucede en el circuito eléctrico, cuanto más grande sea la diferencia de potencial o voltaje entre los dos puntos, más grande será el campo eléctrico y, por lo tanto, más grande será la corriente o la intensidad que circule por el circuito. El voltaje y la intensidad son dos magnitudes directamente proporcionales.

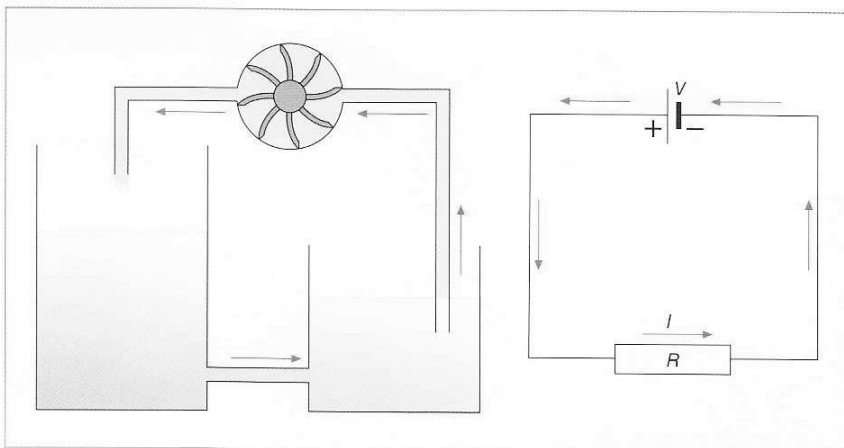


Fig. 2.1. *Símil hidráulico del circuito eléctrico.*

En cambio, si ahora nos fijamos en la dificultad o resistencia del conductor o tubería, podemos deducir que cuanto más resistencia ofrezca, menos circulación tendremos. La resistencia y la intensidad son dos magnitudes inversamente proporcionales.



La **intensidad** de la corriente eléctrica en un circuito es directamente proporcional a la diferencia de potencial o voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia entre estos dos puntos del circuito.

A partir de estos dos razonamientos podemos expresar la **ley de Ohm**, que como hemos visto fue enunciada por el físico alemán Georg Simon Ohm en 1827.

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

Experimentalmente podemos demostrar que al aumentar la diferencia de potencial aplicada a los extremos de una resistencia aumenta proporcionalmente la intensidad que circula por ella.

## 2. Leyes básicas del circuito eléctrico

### 2.1 La ley de Ohm



Si vamos variando el valor de la diferencia de potencial aplicado en el circuito de la figura 2.2 y medimos en cada caso el valor de la corriente, los valores que obtendremos serán los de la tabla 2.1:

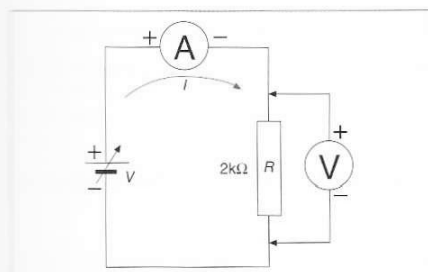


Fig. 2.2

$V$ [V]	$I$ [mA]
0	0
2	1
4	2
6	3
8	4
10	5

Tabla 2.1

Si calculamos la relación entre las dos magnitudes, veremos que es una constante que coincide con el valor de la resistencia. Representamos los valores obtenidos en una gráfica (figura 2.3).

La pendiente de la recta representa la inversa de la resistencia eléctrica. Cuanto mayor sea la pendiente de la recta, menor será el valor de la resistencia (figura 2.4).

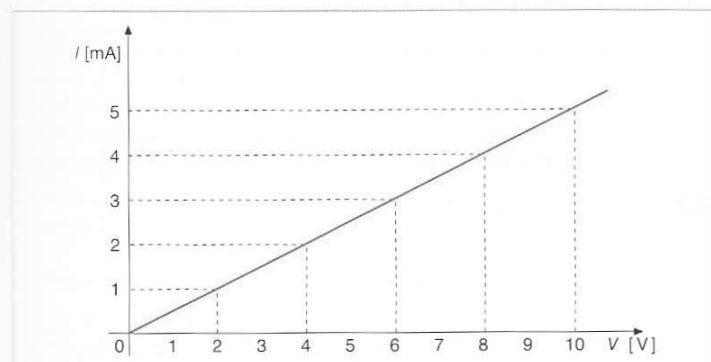


Fig. 2.3. Curva característica de una resistencia.

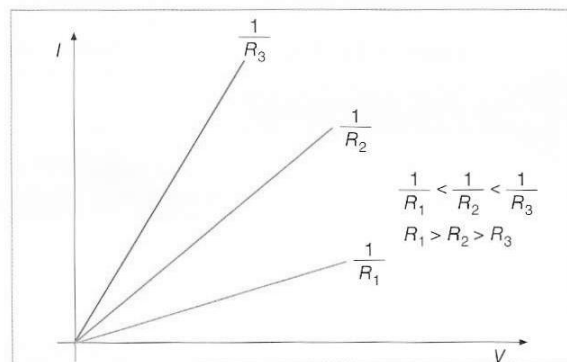


Fig. 2.4. La pendiente de la recta representa la inversa de la resistencia eléctrica.



La gráfica que relaciona la tensión aplicada y la corriente que circula por el componente se denomina **curva característica**.

## Actividades



1> Si al aplicar a un hilo conductor una ddp de 20 V circula una intensidad de 0,3 A, ¿qué resistencia tiene el conductor?

2> A un resistor fabricado con hilo de constantán de 0,1 mm<sup>2</sup> de sección y 2 m de longitud se aplica una ddp de 10 V. Calcula la intensidad que circula por el resistor.

## 2. Leyes básicas del circuito eléctrico

### 2.2 Energía eléctrica. Ley de Joule

## 2.2 Energía eléctrica. Ley de Joule

### ►► A. El efecto Joule

Hemos estudiado que para trasladar una carga eléctrica entre dos puntos es necesario realizar un trabajo. Hallamos este trabajo mediante la expresión:

$$W = Q (V_A - V_B)$$

Este trabajo es el que realiza el generador eléctrico, transformando algún tipo de energía en energía eléctrica.

Si llamamos  $V$  a la tensión o a la diferencia de potencial entre los bornes del generador y  $Q$  a la carga que hace circular, tenemos que la energía eléctrica equivale a  $W = Q V$

Si la intensidad es  $I = \frac{Q}{t} \rightarrow Q = I t$ ; al sustituir esta expresión en la anterior resulta:  $W = V I t$

Según la ley de Ohm  $V = R I$

$$W = R I^2 t \quad [\text{julios, J}]$$

Esta energía no se acumula en ninguno de los elementos del circuito, sino que se convierte en otras formas de energía. Por ejemplo: en un motor se transforma en energía mecánica, en una lámpara de incandescencia en energía luminosa y en calor, etcétera.

Cuando circula corriente por un conductor, éste se calienta y produce calor. Eso se produce porque los electrones libres chocan con los átomos o iones de la red y en el choque la velocidad de los electrones disminuye. Esta disminución comporta una pérdida de energía cinética que los electrones transfieren en los átomos o iones, y que hace aumentar la temperatura del conductor. Este fenómeno se conoce con el nombre de **efecto Joule**, porque este físico inglés fue quien primero lo estudió.

Por lo tanto, el calor ( $q$ ) desprendido por el efecto Joule para un conductor será:

$$q = 0,24 R I^2 t \quad [\text{calorías, cal}]$$

Podemos encontrar las aplicaciones más importantes en las lámparas de incandescencia y en los fusibles.

El **fusible** es un segmento de conductor, más delgado que el resto del circuito. Al pasar una determinada intensidad, ésta hace que el fusible llegue a la temperatura de fusión, se rompa e interrumpa el paso de la corriente por el circuito. El fusible es un elemento de protección que interrumpe la corriente de un circuito cuando ésta llega a un valor determinado, y evita, de esta manera, que algunos aparatos se estropeen.



### Ejemplo 1

Una instalación eléctrica está hecha con hilo de cobre de  $2 \text{ mm}^2$  de sección y tiene una longitud de 300 m. Calcula la energía que se pierde durante una hora si circula una intensidad de 2 A.

**Solución**

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m} \cdot \frac{300 \text{ m}}{2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 2,58 \Omega$$

$$W = R I^2 t = 2,58 \Omega \cdot (2 \text{ A})^2 \cdot 3600 \text{ s} = 37152 \text{ J}$$



En electricidad se utilizan otras unidades de energía derivadas del julio, como el vatio hora (Wh), ya que el julio a veces resulta muy pequeño.

$$\begin{aligned} 1 \text{ Wh} &= 3600 \text{ J} \\ 1 \text{ kWh} &= 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$



La relación existente entre la unidad de energía y la unidad de calor es:

$$1 \text{ julio} = 0,24 \text{ calorías}$$

## 2. Leyes básicas del circuito eléctrico

### 2.2 Energía eléctrica. Ley de Joule



## ►► B. Potencia eléctrica

Las resistencias se oponen al paso de la corriente eléctrica y transforman la energía eléctrica en calor. En algunos casos, este efecto es beneficioso, como en las resistencias calefactoras de estufas y cocinas, en las lámparas de incandescencia, etc. En otros casos, como en el paso de la corriente eléctrica por un conductor, es perjudicial, ya que malgastamos una energía en forma de calor, es decir, hay una pérdida de potencia.

La **potencia eléctrica** se define como la energía producida o consumida en la unidad de tiempo.

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

$$P = V \cdot I$$

La ley de Ohm nos permite expresar la potencia consumida en una carga como:

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

Para medir la potencia de un circuito se utiliza el **vatímetro**. Este aparato consta de un amperímetro que se intercala en serie y de un voltímetro que se conecta en derivación o en paralelo entre los dos puntos cuya potencia se quiere medir (figura 2.5).

La unidad de la potencia es el **vatio (W)**. A veces, esta unidad resulta muy pequeña; por ello se utiliza:

**Kilovatio (kW)** =  $10^3$  W

**Megavatio (MW)** =  $10^6$  W

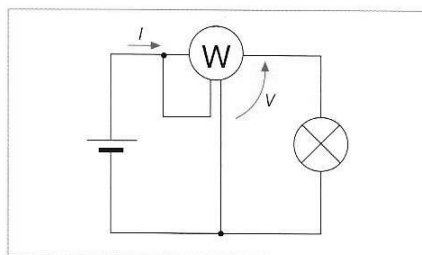


Fig. 2.5. Conexión de un vatímetro para medir la potencia.

## Ejemplo 2

Se dispone de una estufa eléctrica de 3 300 W/230 V. Calcula el valor de su resistencia interna y la intensidad que circula por ella. Si la estufa funcionase las 24 horas del día, calcula el importe de la energía consumida en el mismo período, sabiendo que el precio del kWh es de 0,08 €.

**Solución**

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3\,300\text{ W}}{230\text{ V}} = 14,35\text{ A} \quad R = \frac{V}{I} = \frac{230\text{ V}}{14,35\text{ A}} = 16,02\ \Omega$$

$$W = P t = 3\,300\text{ W} \cdot 24\text{ h} = 79\,200\text{ Wh} = 79,2\text{ kWh}$$

$$\text{Coste} = 79,2\text{ kWh} \cdot 0,08\text{ €/kWh} = 6,34\text{ €}$$

## Actividades

3> Una lámpara de incandescencia consume 100 W cuando se conecta a 230 V. Calcula la resistencia eléctrica del filamento y la intensidad de la corriente.

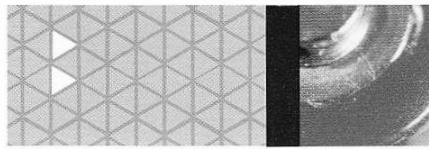
4> ¿Cuántos kilovatios por hora consume una lámpara de 100 W y 230 V si ha estado conectada durante un mes durante 6 horas diarias?

*Nota:* considera que el mes tiene 30 días.

5> Calcula el número de calorías que desprende la lámpara del ejercicio anterior durante una hora.

6> Una resistencia calefactora de 100  $\Omega$  está conectada a una ddp de 230 V. Calcula la energía que desprende cada hora.

7> ¿Qué cantidad de calor producirá un calentador de inmersión de 40  $\Omega$  de resistencia interna en un minuto, si se conecta a 230 V?



## 2.3 Asociación de resistencias

Normalmente, en un circuito eléctrico o electrónico encontraremos más de una resistencia. Para simplificar los cálculos sustituiremos todo el conjunto por una **resistencia equivalente**, de manera que no altere las propiedades del circuito. Las resistencias y otros elementos del circuito se pueden unir de dos maneras elementales: *asociación en serie* y *asociación en paralelo*.

### ►► A. Asociación en serie

En la asociación en serie (figura 2.6), la corriente tiene un único camino que recorrer y, por lo tanto, la intensidad es la misma en todos los puntos del circuito. En cambio, en cada resistencia hay una tensión y, lógicamente, la suma de todas las tensiones parciales es igual a la tensión total aplicada en el circuito.

$$I_T = I_{R1} = I_{R2} = I_{R3}$$

$$\mathcal{E} = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3}$$

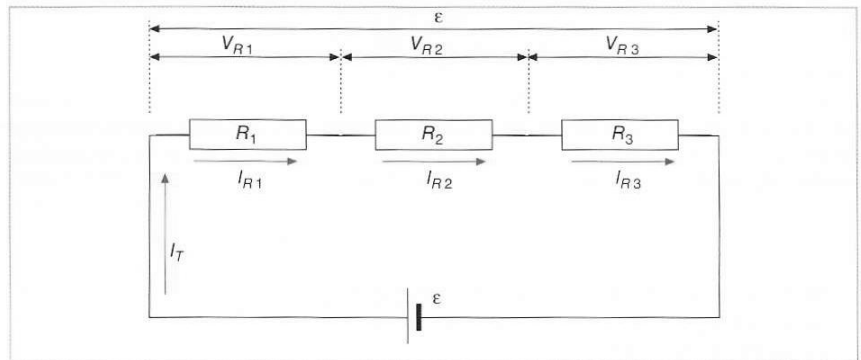


Fig. 2.6. Asociación en serie de resistencias.

Si aplicamos la ley de Ohm podemos calcular la tensión parcial en cada una de las resistencias:

$$V_{R1} = I_T R_1; \quad V_{R2} = I_T R_2; \quad V_{R3} = I_T R_3$$

$$\mathcal{E} = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} = I_T R_1 + I_T R_2 + I_T R_3$$

$$\mathcal{E} = I_T (R_1 + R_2 + R_3)$$

Si dividimos los dos miembros por  $I_T$ , tenemos:

$$\frac{\mathcal{E}}{I_T} = \frac{I_T (R_1 + R_2 + R_3)}{I_T} \quad R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

Si generalizamos:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$



La **resistencia equivalente** de un sistema de resistencias conectadas en serie es igual a la suma de todas ellas.

## 2. Leyes básicas del circuito eléctrico

### 2.3 Asociación de resistencias



Las tensiones parciales en un circuito pueden ser una tensión útil, cuando la tensión se aplica directamente a un aparato receptor y se busca la utilización de esta energía; o puede ser una caída de tensión, cuando no produce ningún efecto útil, por ejemplo, la caída de tensión que hay en los conductores eléctricos que transportan la energía eléctrica. En otros casos, esta caída de tensión está justificada porque nos interesa trabajar con tensiones más pequeñas.

### Ejemplo 3



Después de observar el circuito de la figura 2.7, calcula:

- La resistencia total equivalente.
- La intensidad total.
- La caída de tensión o ddp en cada resistencia.
- La potencia total absorbida.

#### Solución

- a) Resistencia total equivalente:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 4 \, \Omega + 1 \, \Omega + 5 \, \Omega = 10 \, \Omega$$

- b) Intensidad total:

$$I_T = \frac{\varepsilon}{R_T} = \frac{10 \, \text{V}}{10 \, \Omega} = 1 \, \text{A}$$

- c) ddp en cada resistencia:

$$V_{R1} = I_T R_1 = 1 \, \text{A} \cdot 4 \, \Omega = 4 \, \text{V}$$

$$V_{R2} = I_T R_2 = 1 \, \text{A} \cdot 1 \, \Omega = 1 \, \text{V}$$

$$V_{R3} = I_T R_3 = 1 \, \text{A} \cdot 5 \, \Omega = 5 \, \text{V}$$

- d) Potencia absorbida total:

$$P_{R1} = V_{R1} I_{R1} = 4 \, \text{V} \cdot 1 \, \text{A} = 4 \, \text{W}$$

$$P_{R2} = V_{R2} I_{R2} = 1 \, \text{V} \cdot 1 \, \text{A} = 1 \, \text{W}$$

$$P_{R3} = V_{R3} I_{R3} = 5 \, \text{V} \cdot 1 \, \text{A} = 5 \, \text{W}$$

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = 4 \, \text{W} + 1 \, \text{W} + 5 \, \text{W} = 10 \, \text{W}$$

$$\text{O bien, } P_T = \varepsilon I_T = 10 \, \text{V} \cdot 1 \, \text{A} = 10 \, \text{W}$$

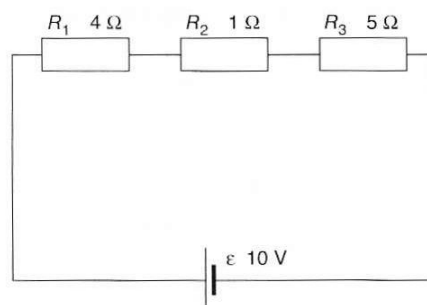


Fig. 2.7

## ►► B. Asociación en paralelo

Dos o más resistencias están conectadas en **paralelo** o en **derivación** cuando los extremos de todas ellas se encuentran unidos eléctricamente a dos puntos en común.

En la asociación en paralelo la caída de tensión en cada una de las resistencias es la misma, ya que todas están conectadas directamente a la tensión de alimentación. En esta asociación la corriente que sale del generador tiene diferentes caminos que recorrer.



## 2. Leyes básicas del circuito eléctrico

### 2.3 Asociación de resistencias

La suma de todas las intensidades parciales de cada una de las resistencias es igual a la intensidad total (figura 2.8).

$$\varepsilon = V_{R1} = V_{R2} = V_{R3} \quad I_T = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}$$

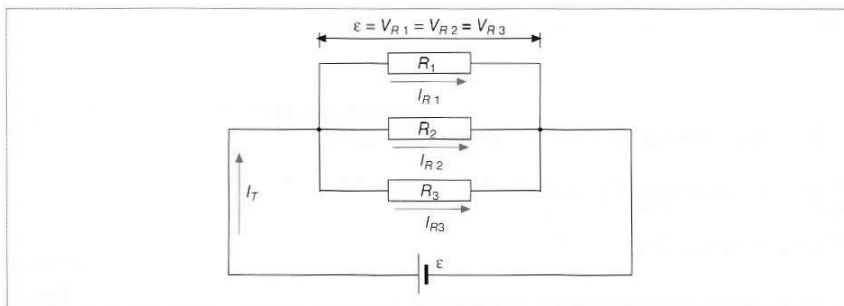


Fig. 2.8. Asociación en paralelo de resistencias.

Si calculamos las diferentes intensidades aplicando la ley de Ohm, obtenemos:

$$I_T = \frac{\varepsilon}{R_T}; \quad I_{R1} = \frac{\varepsilon}{R_1}; \quad I_{R2} = \frac{\varepsilon}{R_2}; \quad I_{R3} = \frac{\varepsilon}{R_3} \rightarrow \frac{\varepsilon}{R_T} = \frac{\varepsilon}{R_1} + \frac{\varepsilon}{R_2} + \frac{\varepsilon}{R_3}$$

Si dividimos los dos miembros por  $\varepsilon$ , obtenemos la fórmula de la resistencia equivalente en un circuito paralelo:

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

Si generalizamos:

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

Hay dos casos peculiares de asociación en paralelo que aparecen muchas veces: cuando hay dos resistencias en derivación o cuando todas las resistencias que están en derivación son iguales.

■ Dos resistencias en derivación:

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

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

■ Todas las resistencias en derivación son iguales:

$$R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n = R$$

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

$$R_T = \frac{R}{n}$$



## Ejemplo 4



Calcula la resistencia equivalente, las intensidades parciales, la intensidad total y la potencia total en el circuito de la figura 2.9.

**Solución**

a) Resistencia equivalente:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10 \, \Omega} + \frac{1}{6 \, \Omega} + \frac{1}{8 \, \Omega} = 0,391 \, \Omega^{-1}$$

$$R_T = \frac{1}{0,391 \, \Omega^{-1}} = 2,55 \, \Omega$$

O bien,

$$R_A = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \, \Omega \cdot 6 \, \Omega}{10 \, \Omega + 6 \, \Omega} = 3,75 \, \Omega$$

$$R_T = \frac{R_A R_3}{R_A + R_3} = \frac{3,75 \, \Omega \cdot 8 \, \Omega}{3,75 \, \Omega + 8 \, \Omega} = 2,55 \, \Omega$$

b) Cálculo de intensidades:

$$I_T = \frac{\varepsilon}{R_T} = \frac{10 \, \text{V}}{2,55 \, \Omega} = 3,92 \, \text{A}$$

$$I_{R1} = \frac{\varepsilon}{R_1} = \frac{10 \, \text{V}}{10 \, \Omega} = 1 \, \text{A}$$

$$I_{R2} = \frac{\varepsilon}{R_2} = \frac{10 \, \text{V}}{6 \, \Omega} = 1,67 \, \text{A}$$

$$I_{R3} = \frac{\varepsilon}{R_3} = \frac{10 \, \text{V}}{8 \, \Omega} = 1,25 \, \text{A}$$

$$I_T = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} = 1 \, \text{A} + 1,67 \, \text{A} + 1,25 \, \text{A} = 3,92 \, \text{A} \text{ (sirve como comprobación)}$$

c) Potencias parciales y totales:

$$P_{R1} = V_{R1} I_{R1} = 10 \, \text{V} \cdot 1 \, \text{A} = 10 \, \text{W}$$

$$P_{R2} = V_{R2} I_{R2} = 10 \, \text{V} \cdot 1,67 \, \text{A} = 16,7 \, \text{W}$$

$$P_{R3} = V_{R3} I_{R3} = 10 \, \text{V} \cdot 1,25 \, \text{A} = 12,5 \, \text{W}$$

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = 10 \, \text{W} + 16,7 \, \text{W} + 12,5 \, \text{W} = 39,2 \, \text{W} = \varepsilon I_T$$

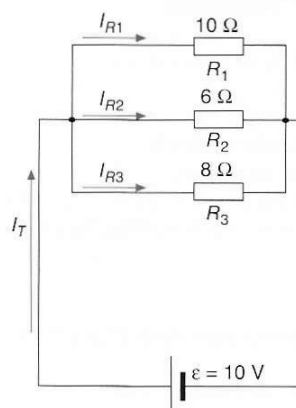
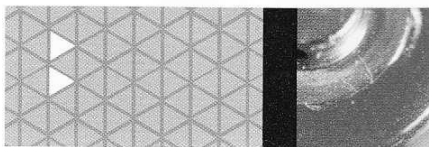


Fig. 2.9





## 2. Leyes básicas del circuito eléctrico

### 2.3 Asociación de resistencias

## ►► C. Asociación mixta

La **asociación mixta** es una combinación de agrupaciones en serie y en paralelo. Para resolver estos circuitos hay que resolver primero las agrupaciones en serie y en paralelo que estén claramente acopladas, hasta encontrar la resistencia total equivalente de todo el circuito. Para realizar este cálculo te recomendamos que dibujes los circuitos equivalentes que obtengas.



### Ejemplo 5

Dado el circuito de la figura 2.10, calcula:

- La resistencia equivalente.
- Las intensidades en cada resistencia.
- Las caídas de tensión en cada resistencia.
- Los potenciales en cada uno de los puntos respecto al punto F y las diferencias de potencial  $V_{AB}$ ,  $V_{DA}$  y  $V_{BD}$ .

#### Solución

- Cálculo de la resistencia equivalente (figura 2.11):

$$R_A = R_2 + R_3 = 1 \text{ k}\Omega + 470 \Omega = 1470 \Omega$$

$$R_B = \frac{R_A R_4}{R_A + R_4} = \frac{1470 \Omega \cdot 2200 \Omega}{1470 \Omega + 2200 \Omega} = 881,2 \Omega$$

$$R_C = R_B + R_1 = 881,2 \Omega + 680 \Omega = 1561,2 \Omega$$

$$R_T = \frac{R_C R_5}{R_C + R_5} = \frac{1561,2 \Omega \cdot 1500 \Omega}{1561,2 \Omega + 1500 \Omega} = 765 \Omega$$

- Cálculo de intensidades: para calcular las intensidades del circuito es conveniente que siempre las dibujes antes con su sentido correspondiente (figura 2.12).

$$I_T = \frac{\varepsilon}{R_T} = \frac{10 \text{ V}}{765 \Omega} = 13,07 \text{ mA}$$

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_5} = \frac{10 \text{ V}}{1500 \Omega} = 6,4 \text{ mA} = I_{R5}$$

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_5} = \frac{10 \text{ V}}{1500 \Omega} = 6,67 \text{ mA} = I_{R5}$$

$$V_{R1} = I_{R1} R_1 = 6,4 \text{ mA} \cdot 680 \Omega = 4,35 \text{ V}$$

$$V_{BD} = \varepsilon - V_{R1} = 10 \text{ V} - 4,35 \text{ V} = 5,65 \text{ V}$$

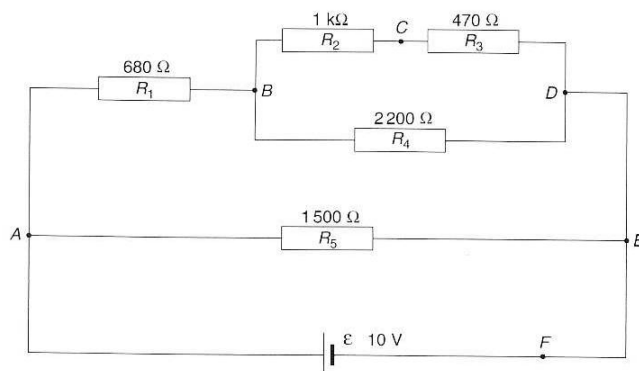


Fig. 2.10

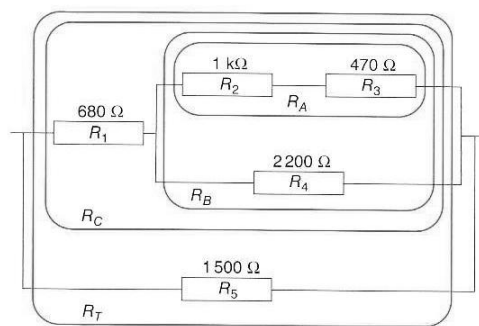


Fig. 2.11

## 2. Leyes básicas del circuito eléctrico

### 2.3 Asociación de resistencias

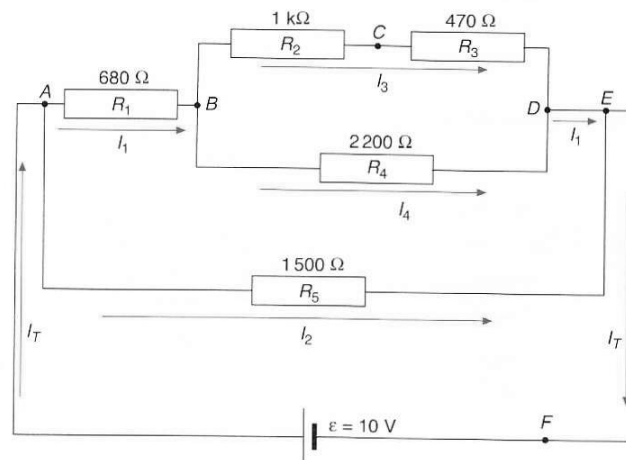
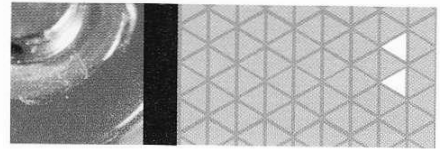


Fig. 2.12

$$I_3 = I_{R2} = I_{R3} = \frac{V_{BD}}{R_2 + R_3} = \frac{5,65 \text{ V}}{1470 \Omega} = 3,84 \text{ mA}$$

$$I_4 = I_{R4} = \frac{V_{BD}}{R_4} = \frac{5,65 \text{ V}}{2200 \Omega} = 2,56 \text{ mA}$$

c) Cálculo de las caídas de tensión en cada resistencia:

$$V_{R2} = I_{R2} R_2 = 3,84 \text{ mA} \cdot 1 \text{ k}\Omega = 3,84 \text{ V}$$

$$V_{R3} = I_{R3} R_3 = 3,84 \text{ mA} \cdot 470 \Omega = 1,81 \text{ V}$$

$$V_{R4} = I_{R4} R_4 = 2,56 \text{ mA} \cdot 2200 \Omega = 5,65 \text{ V}$$

$$V_{R5} = \varepsilon = 10 \text{ V}$$

d) Cálculo de los potenciales y las diferencias de potencial: para poder calcular los diferentes potenciales debemos tener un punto de referencia al que asignamos el potencial cero. En este caso llamamos al punto de referencia F.

$$V_A = \varepsilon = 10 \text{ V}$$

$$V_B = V_A - V_{R1} = 10 \text{ V} - 4,35 \text{ V} = 5,65 \text{ V}$$

$$V_C = V_B - V_{R2} = 5,65 \text{ V} - 3,84 \text{ V} = 1,81 \text{ V}$$

$$V_D = V_C - V_{R3} = 1,81 \text{ V} - 1,81 \text{ V} = 0 \text{ V}; \text{ o } V_D = V_B - V_{R4} = 5,65 \text{ V} - 5,65 \text{ V} = 0 \text{ V}$$

$$V_{BA} = V_B - V_A = 5,65 \text{ V} - 10 \text{ V} = -4,35 \text{ V}$$

$$V_{DA} = V_D - V_A = 0 \text{ V} - 10 \text{ V} = -10 \text{ V}$$

$$V_{BD} = V_B - V_D = 5,65 \text{ V} - 0 \text{ V} = 5,65 \text{ V}$$

## Actividades

8> Determina la resistencia total equivalente de los siguientes circuitos:

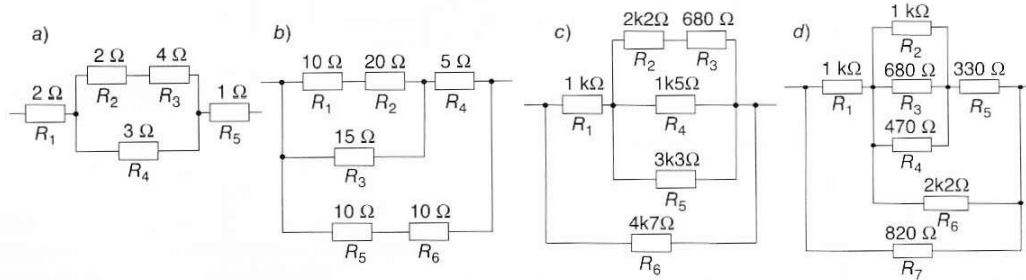


Fig. 2.13

9> Calcula la corriente, la caída de tensión y la potencia disipada en cada una de las resistencias de los siguientes circuitos:

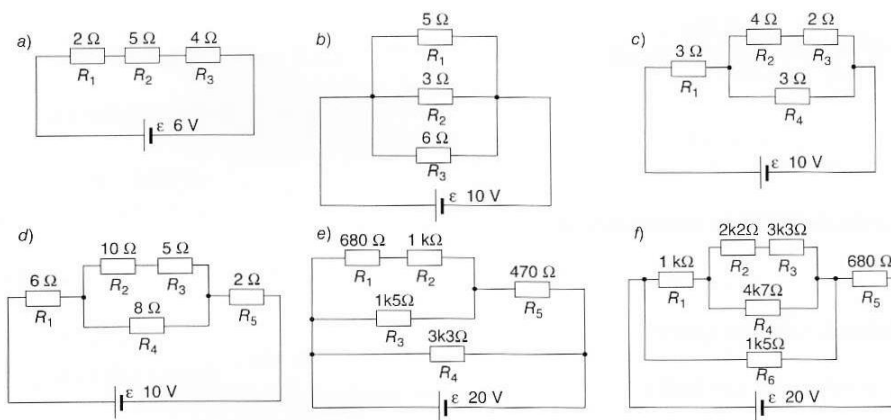


Fig. 2.14

10> Calcula la tensión de alimentación y la corriente que circula por las resistencias  $R_1$  y  $R_3$  en el circuito de la figura 2.15.

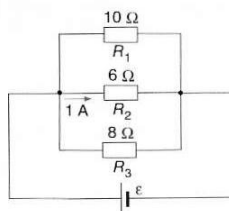


Fig. 2.15

11> Calcula el valor de las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  del circuito de la figura 2.16.

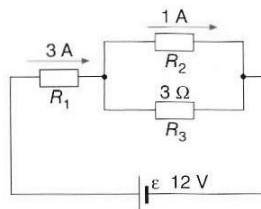


Fig. 2.16

12> Calcula, en el circuito de la figura 2.17, la corriente, la tensión y la potencia disipada en cada una de las resistencias, así como los potenciales en cada uno de los puntos respecto del punto G.

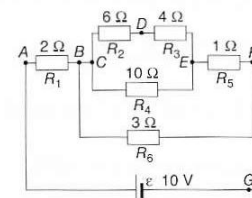
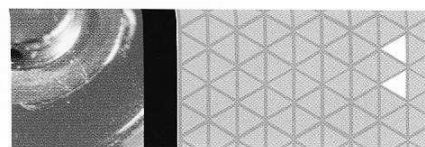


Fig. 2.17



## 2.4 Generadores de corriente continua (CC)

En la unidad anterior denominábamos fuerza electromotriz ( $\epsilon$ ) de un generador la energía que suministraba el generador para mover la unidad de carga por todo el circuito. Pero este valor no coincide con la diferencia de potencial en sus extremos, ya que parte de este potencial se pierde en su interior a causa de su **resistencia interna**.

### A. Resistencia interna

Todos los generadores de CC (pilas, acumuladores, dinamos, fuentes de alimentación, etc.) tienen una cierta resistencia interna ( $r$ ). En algunos casos, esta resistencia corresponde a la del electrolito o al contacto del electrolito con las placas, y en otros casos, a los conductores o componentes eléctricos o electrónicos con los que se ha diseñado el generador.

La gran conductividad de los materiales utilizados en su fabricación hace que esta resistencia interna sea muy pequeña y en muchos casos insignificante.

El circuito de la figura 2.18 representa un generador de FEM ( $\epsilon$ ) y resistencia interna ( $r$ ) conectado a un receptor o resistencia ( $R$ ). La caída de tensión en el interior del generador provocada por su resistencia interna es  $rI$ .

$$V_{AB} = \epsilon - rI; \quad \epsilon = V_{AB} + rI; \quad \epsilon = RI + rI$$

Ley de Ohm generalizada:

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

La FEM de un generador en funcionamiento es más grande que la ddp entre sus bornes; eso se debe a la caída de tensión en su resistencia interna.

Si el circuito es abierto, la FEM del generador coincide con la ddp.

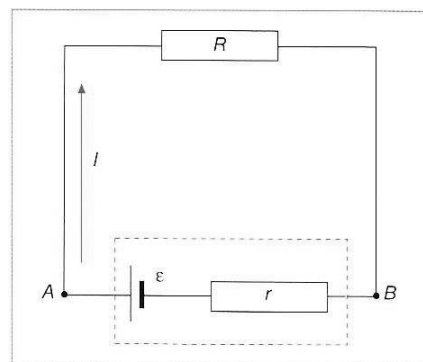


Fig. 2.18

### Ejemplo 6



Un voltímetro conectado a los bornes de un generador en un circuito abierto señala 1,7 V. Cuando le conectamos una resistencia externa entre los extremos, el voltímetro señala 1,5 V y la intensidad en el circuito es de 1,5 A. Calcula la FEM, la resistencia interna del generador y el valor de la resistencia externa.

**Solución**

$$\epsilon = 1,7 \text{ V}$$

$$\epsilon = V_{AB} + rI \rightarrow r = \frac{\epsilon - V_{AB}}{I} = \frac{1,7 \text{ V} - 1,5 \text{ V}}{1,5 \text{ A}} = 0,133 \Omega$$

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{V_{AB}}{I} = \frac{1,5 \text{ V}}{1,5 \text{ A}} = 1 \Omega$$

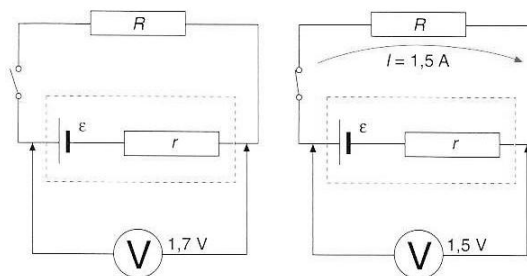


Fig. 2.19



## 2. Leyes básicas del circuito eléctrico

### 2.4 Generadores de corriente continua (CC)

#### ►► B. Rendimiento de un generador eléctrico

Si multiplicamos los dos miembros de la ecuación  $\varepsilon = V_{AB} + r I$  por  $I$  obtenemos una ecuación equivalente, denominada *ecuación de potencias*:

$$\varepsilon I = V_{AB} I + r I^2$$

donde  $\varepsilon I$  = potencia total suministrada por el generador ( $P_T$ )

$V_{AB} I$  = potencia útil al receptor o a los bornes del generador ( $P_U$ )

$r I^2$  = potencia que se pierde dentro del generador por la resistencia interna  $r$  ( $P_r$ )

En la asignatura de tecnología has estudiado que el rendimiento se define como la relación existente entre la potencia útil y la potencia total consumida. Por lo tanto, el rendimiento del generador será:

$$\eta = \frac{P_U}{P_T} = \frac{V_{AB} I}{\varepsilon I} = \frac{V_{AB}}{\varepsilon}$$

$$\eta = \frac{V_{AB}}{\varepsilon}$$

#### ►► C. Asociación de generadores

Muchas veces, para obtener una fuerza electromotriz o una intensidad superior a la que nos puede suministrar un único generador conectamos diversos generadores en *serie* o en *paralelo*.

##### ►►► Asociación en serie

Realizamos una asociación en serie cuando queremos obtener una fuerza electromotriz superior a la que nos suministra un único generador (figura 2.20).

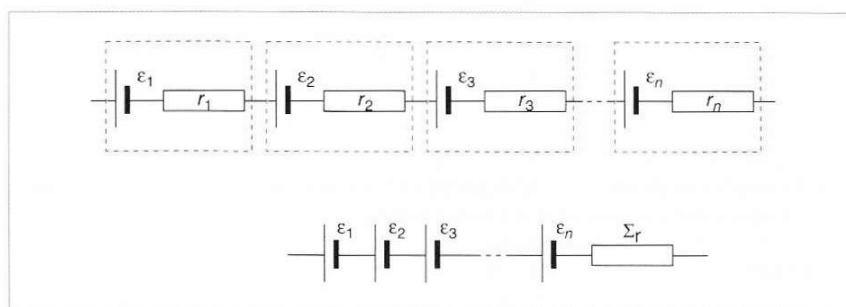


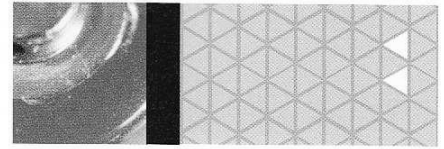
Fig. 2.20. Asociación en serie de generadores.

En este caso, la FEM total equivaldrá a la suma algebraica de cada una de las FEM de los diferentes generadores.

$$\varepsilon_T = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n = \Sigma \varepsilon$$

Si los generadores están en serie, sus resistencias internas también lo estarán.

$$r_T = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n = \Sigma r$$



#### ►►► Asociación en paralelo

La asociación en paralelo se utiliza para obtener intensidades superiores a las que puede suministrar un único generador (figura 2.21).

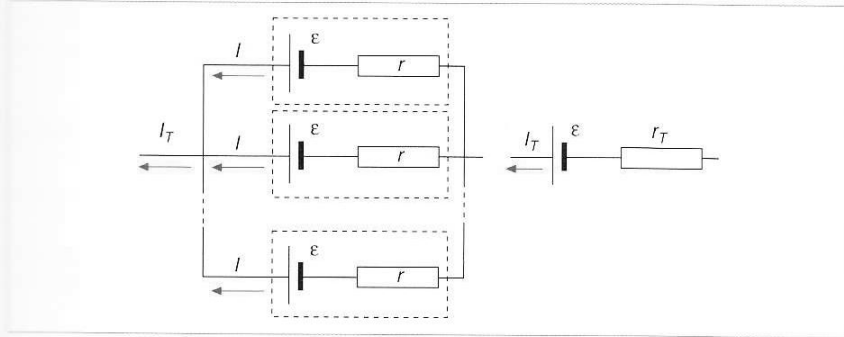


Fig. 2.21. Asociación en paralelo de generadores.

La fuerza electromotriz será igual a la de un generador y la intensidad máxima que puede suministrar será la suma de las intensidades máximas que puede suministrar cada uno de los generadores. La resistencia interna equivalente será la resultante del circuito, siempre que todos los generadores sean iguales.

$$r_T = \frac{r}{n}$$

#### ►► D. Fuerza contraelectromotriz

Uno de los receptores eléctricos más utilizados es el motor, que transforma la energía eléctrica que recibe en mecánica. Cuando circula la corriente eléctrica por un motor, las cargas realizan un trabajo; este trabajo es proporcional a la carga que circula por el motor (figura 2.22).



La **fuerza contraelectromotriz** ( $\epsilon'$ ) de un receptor se define como el trabajo que realiza por unidad de carga.

Es decir:  $\epsilon' = \frac{W}{Q}$

Por lo tanto, el trabajo desarrollado por el motor será  $W_M = \epsilon' Q = \epsilon' I t$

No toda la energía suministrada al motor se transforma en energía mecánica, ya que los motores, como pasa con los generadores, también tienen una resistencia interna. Si aplicamos el principio de la conservación de energía, tenemos:

Energía suministrada por el generador = Energía consumida

$$\epsilon I t = \epsilon' I t + R I^2 t + r I^2 t + r' I^2 t$$

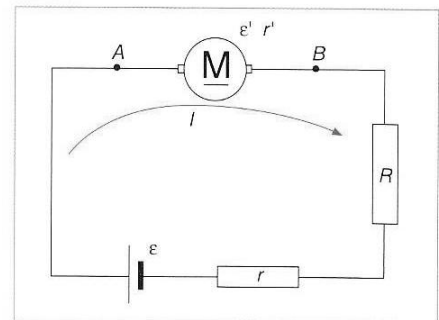


Fig. 2.22



## 2. Leyes básicas del circuito eléctrico

### 2.4 Generadores de corriente continua (CC)

Si simplificamos dividiendo por  $I t$ , obtenemos:  $\varepsilon = \varepsilon' + R I + r I + r' I$

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

La ddp que aparece en los extremos del motor será:

$$V_{AB} = \varepsilon' + r' I$$

Para calcular el rendimiento de un motor debemos tener en cuenta que:

$$\eta = \frac{W_U}{W_C} = \frac{\varepsilon' I t}{V_{AB} I t} = \frac{\varepsilon'}{V_{AB}}$$

$$\eta = \frac{\varepsilon'}{V_{AB}}$$



El **rendimiento del motor** es la relación del trabajo útil, es decir, el trabajo que realmente se transforma en energía mecánica, con el trabajo o energía consumida.



## Actividades

- 13> ¿Cuántas pilas (FEM = 1,8 V y  $r_i = 0,1 \Omega$ ) conectadas en serie se necesitan para obtener una corriente de 3 A a través de una resistencia de 3  $\Omega$ ?

- 14> Calcula la intensidad que señalará el amperímetro de la figura 2.23.

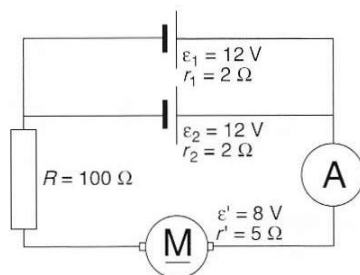


Fig. 2.23

- 15> Calcula la intensidad total del circuito de la figura 2.24, la caída de tensión y el rendimiento del motor y del generador.

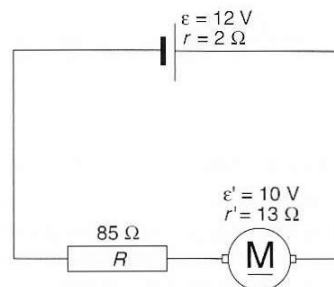


Fig. 2.24