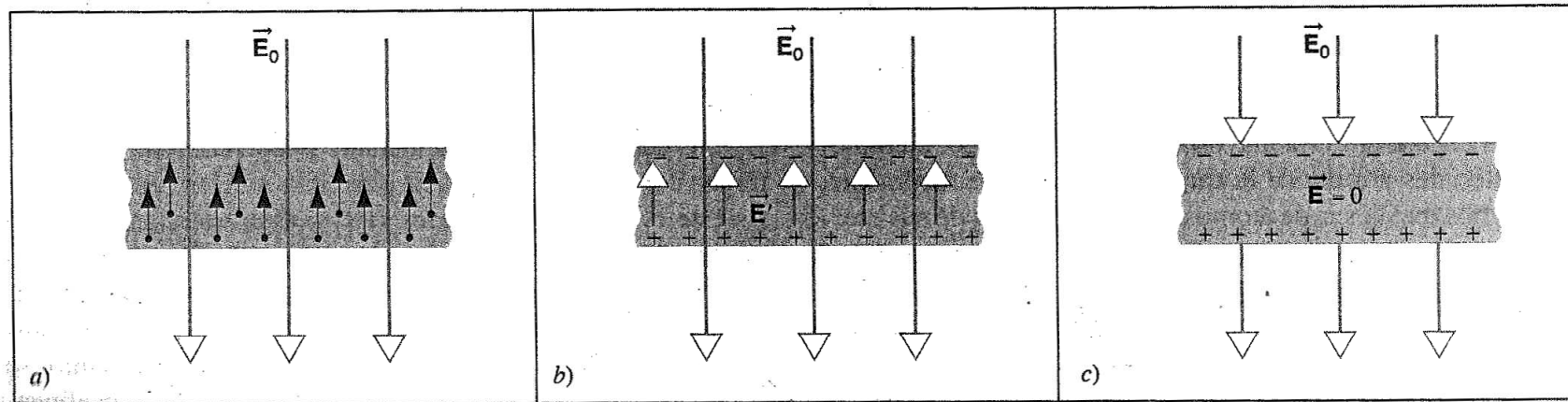


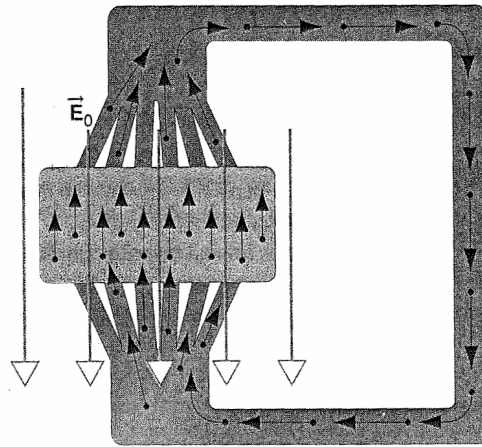
# Corriente eléctrica. Ley de Ohm.

# Un conductor en un campo eléctrico: condiciones dinámicas



**FIGURA 29-1.** *a)* Una plancha grande de conductor se pone en un campo eléctrico uniforme. Los electrones se desplazan hacia arriba en respuesta al campo. *b)* Los electrones se acumulan en la superficie superior, dejando iones positivos en el fondo. Estas cargas crean un campo  $\vec{E}$ . *c)* Dentro de la plancha el campo neto es cero.

# Un conductor en un campo eléctrico: condiciones dinámicas

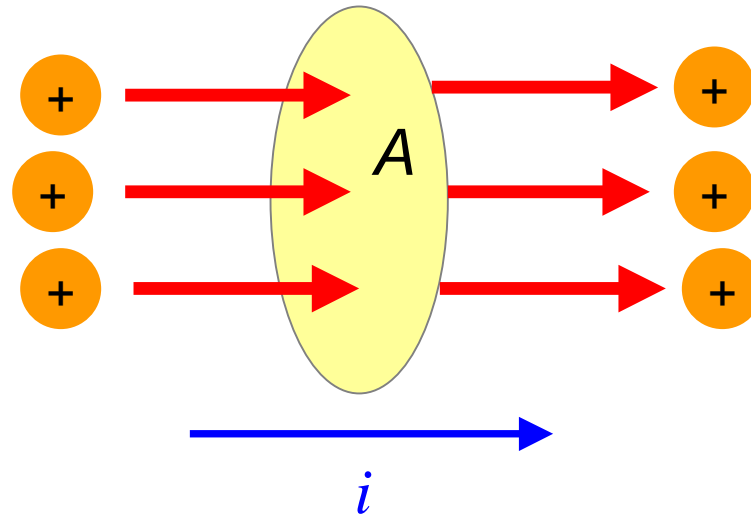


**FIGURA 29-3.** El campo eléctrico  $\vec{E}_0$  mueve a los electrones por la plancha de cobre. Podemos reunirlos en la parte superior de la plancha y transportarlos a lo largo de una trayectoria externa hasta el fondo de ella.

- $E \neq 0$  dentro del conductor.
- El ciclo continuo de electrones que fluye es una simple representación de un circuito eléctrico, y se da el nombre de *corriente eléctrica* al flujo de electrones (u otras partículas con carga).

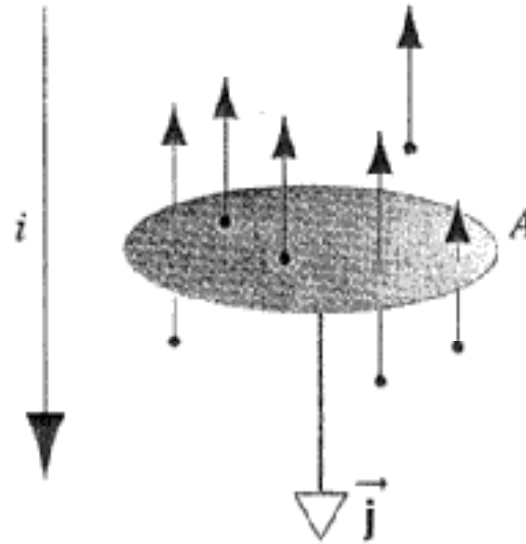
# Corriente eléctrica

$$i = \frac{dq}{dt}$$



- ❑ Para que exista corriente eléctrica debe haber un flujo neto de carga por la superficie.
- ❑ La corriente eléctrica tiene una dirección, definida como la dirección del flujo de carga positiva.
- ❑ La corriente es un escalar y no un vector (pues no cumple con las leyes de la adición vectorial).
- ❑ SI ampere (A),  $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ .

# Corriente eléctrica



**FIGURA 29-4.** Los electrones cruzan la superficie  $A$ . La dirección de la corriente  $i$  y la de la densidad vectorial de corriente  $\vec{j}$  es opuesta al movimiento de los electrones.

$$q = \int i dt$$

# Definición de densidad de corriente $\mathbf{j}$

Una magnitud vectorial relacionada es la densidad de corriente.

$$j = i / A$$

$\vec{j}$

Sentido el del un flujo de carga positiva

$$i = \int \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

# Densidad de corriente y velocidad de desplazamiento

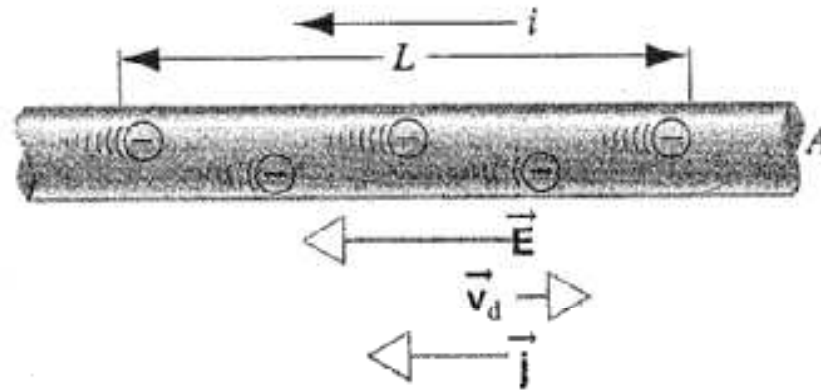


FIGURA 29-5. El campo eléctrico ocasiona que los electrones se desplacen a la derecha. La corriente convencional (la dirección hipotética del flujo de carga positiva) se dirige a la izquierda. También dibuja la densidad de corriente  $\vec{j}$  como si los portadores de carga fuesen positivos, de modo que  $\vec{j}$  y  $\vec{E}$  se hallen en la misma dirección.

$$\vec{j} = -en\vec{v}_d$$

# Materiales óhmicos

$$\vec{j} = -en\vec{v}_d$$

$$\vec{v}_d \propto \vec{E} \quad \longrightarrow \quad \vec{j} \propto \vec{E}$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

**Conductividad eléctrica del material**,  $\sigma$   
SI, siemens por metro (S/m)  
1 siemens = 1 A / V

$$\rho = 1 / \sigma \quad \vec{E} = \rho \vec{j}$$

Las unidades de resistividad son ohm.metro, 1 ohm = 1 V / A



# Materiales óhmicos

- Las ecuaciones anteriores son válidas sólo en los materiales isotrópicos, cuyas propiedades eléctricas son iguales en todas direcciones.

**TABLA 29-1 Resistividad de algunos materiales a temperatura ambiente (20°C)**

<i>Material</i>	<i>Resistividad</i> $\rho(\Omega \cdot m)$	<i>Coficiente la resistividad con la temperatura</i> $\alpha_{pro}$ (por C°)
<b>Metales comunes</b>		
Plata	$1.62 \times 10^{-8}$	$4.1 \times 10^{-3}$
Cobre	$1.69 \times 10^{-8}$	$4.3 \times 10^{-3}$
Aluminio	$2.75 \times 10^{-8}$	$4.4 \times 10^{-3}$
Tungsteno	$5.25 \times 10^{-8}$	$4.5 \times 10^{-3}$
Hierro	$9.68 \times 10^{-8}$	$6.5 \times 10^{-3}$
Platino	$10.6 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Magnanin <sup>a</sup>	$48.2 \times 10^{-8}$	$0.002 \times 10^{-3}$
<b>Semiconductores comunes</b>		
Silicio puro	$2.5 \times 10^3$	$-70 \times 10^{-3}$
Silicio tipo <i>n</i> <sup>b</sup>	$8.7 \times 10^{-4}$	
Silicio tipo <i>p</i> <sup>c</sup>	$2.8 \times 10^{-3}$	
<b>Aislante comunes</b>		
Agua pura	$2.5 \times 10^5$	
Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$	
Poliestireno	$> 10^{14}$	
Cuarzo fundido	$\approx 10^{16}$	

<sup>a</sup> Una aleación diseñada específicamente para que tenga un valor pequeño de  $\alpha$ .

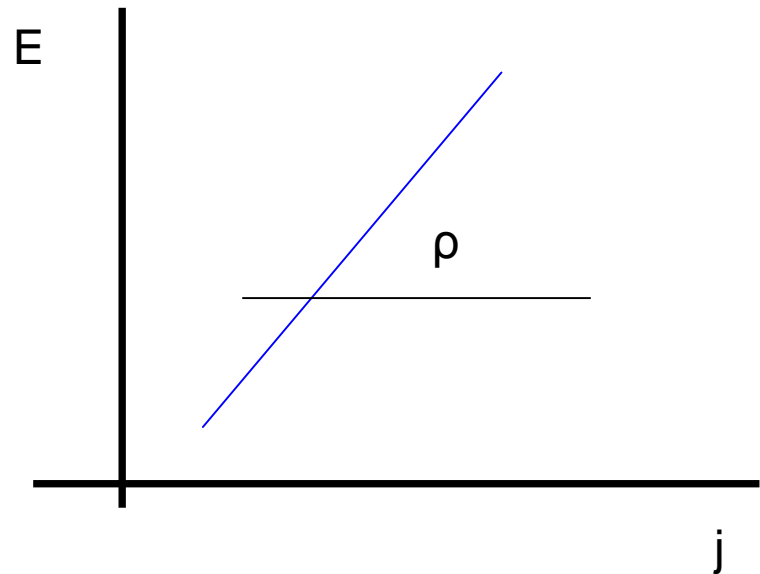
<sup>b</sup> Silicio puro "dopado" con impurezas de fósforo para una densidad de portadores de carga de  $10^{23} \text{ m}^{-3}$ .

<sup>c</sup> Silicio puro "dopado" con impurezas de aluminio para una densidad de portadores de carga de  $10^{23} \text{ m}^{-3}$ .

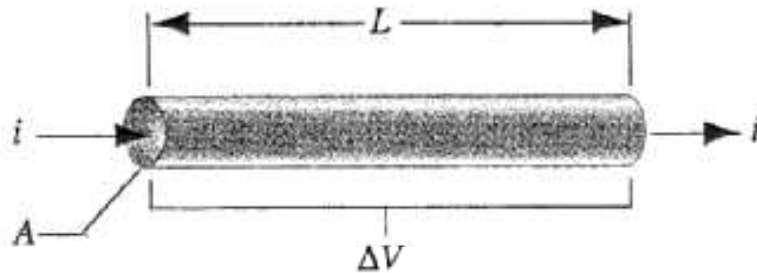
# Materiales óhmicos

- En algunos materiales, se comprueba que la resistividad no es constante, sino que depende de la intensidad del campo eléctrico.
- En otros se comprueba que la resistividad no depende de la intensidad del campo aplicado.
- **Materiales óhmicos.**
- Ley de Ohm:  
La resistividad (o conductividad) de un material no depende de la magnitud ni de la dirección del campo eléctrico aplicado.

$$\vec{E} = \rho \vec{j}$$



# Resistencia



**FIGURA 29-6.** Una diferencia de potencial  $\Delta V$  se aplica en un conductor cilíndrico de longitud  $L$  y en una superficie transversal  $A$ , creando una corriente  $i$ .

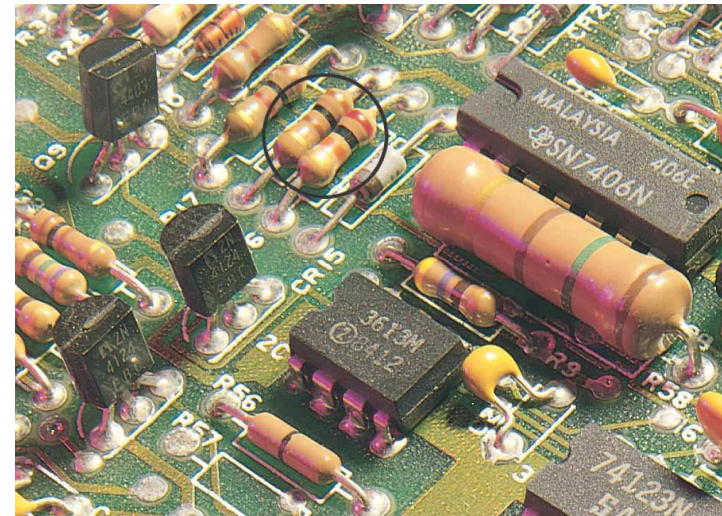
$$R = \rho \frac{l}{A}$$

# Resistencia

All (almost) materials have resistance

Those that are call ohmic if  
Ohm's Law  $R \equiv \frac{\Delta V}{I}$  holds.

A device made to have  
certain resistance value is  
call a resistor.



# Materiales óhmicos

- *La resistencia de un objeto no depende de la magnitud ni del signo de la diferencia de potencial aplicada.*

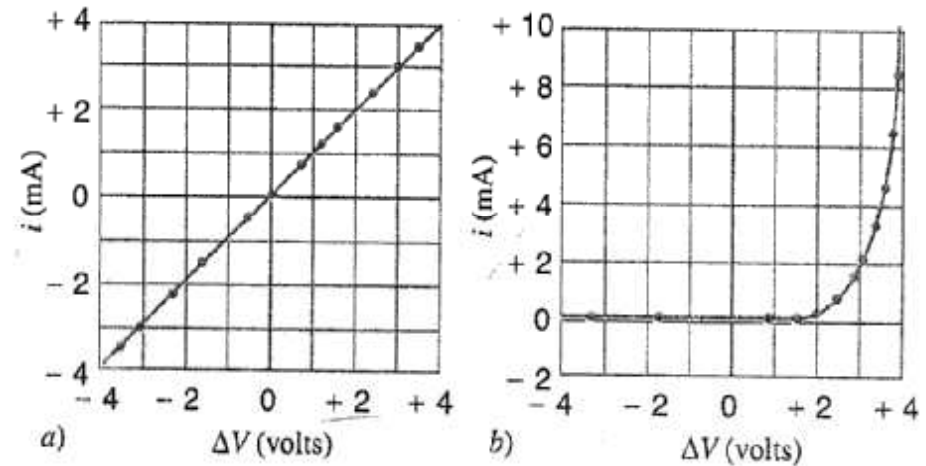


FIGURA 29-7. a) Diagrama de corriente-voltaje de un material que se sujeta a la ley de Ohm, en este caso un resistor de  $1000\text{-}\Omega$ . b) Diagrama de corriente-voltaje de un material que no se sujeta a la ley de Ohm, en este caso un diodo de unión  $pn$ .

La relación  $\Delta V=iR$  no es una formulación de la ley de Ohm.

Es una ec. que define la resistencia y se aplica tanto a objetos óhmicos como a no óhmicos

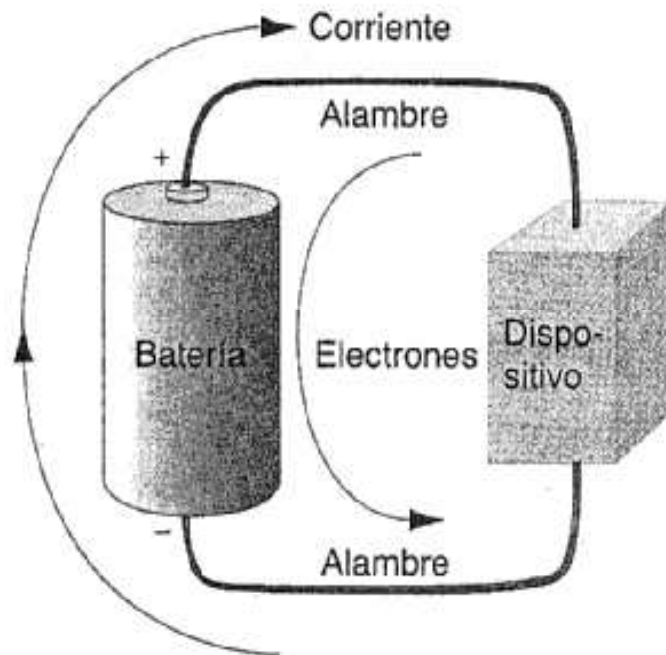
# Materiales óhmicos

- $\Delta V$ ,  $I$  y  $R$ : **magnitudes macroscópicas** (se aplican a un cuerpo o una región ampliada).
- Son de utilidad cuando se efectúan mediciones eléctricas en objetos conductores reales.
- Las **magnitudes microscópicas** correspondientes son:  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{j}$  y  $\rho$  (ó  $\sigma$ ); poseen valores en todos los puntos de un cuerpo.
- Son de gran importancia cuando se trata del comportamiento fundamental de la materia en la física del estado sólido.

# Circuitos de corriente directa



# Corriente eléctrica



*La dirección de la corriente es aquella que seguirían las cargas positivas, a pesar de que los portadores de carga sean negativos.*

**FIGURA 31-1.** Una batería está conectada a un dispositivo eléctrico por medio de dos alambres. La corriente sigue una dirección contraria a la del movimiento de los electrones.

La batería mantiene el terminal superior a un potencial  $V_+$  y el terminal inferior a un potencial  $V_-$ .

En una *batería ideal*, la diferencia de potencial  $V_+ - V_-$  entre sus terminales **no depende de la cantidad de corriente que suministra al circuito.**

# Conservación de la carga

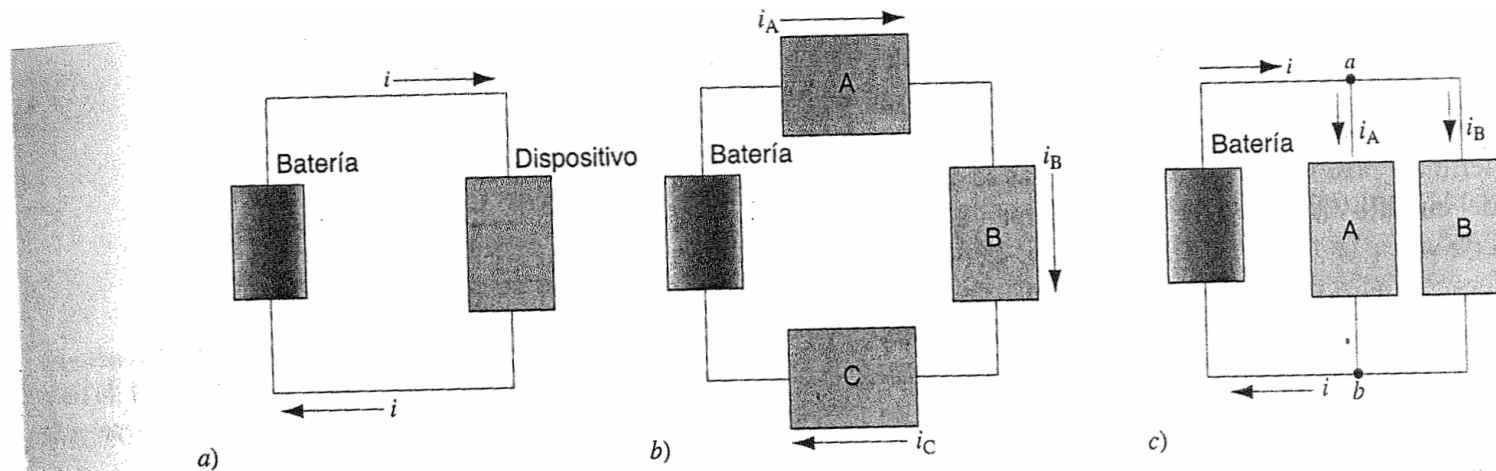


FIGURA 31-2. a) Circuito de la figura 31-1 en notación simbólica. b) La misma corriente fluye sucesivamente por los dispositivos A, B y C. c) La corriente se divide en la unión (nudo)  $a$  y se recombina en la unión (nudo)  $b$ .

- En condiciones estacionarias, suponemos que la carga no se acumula ni se fuga desde un punto cualquiera de nuestro alambre idealizado.
- La corriente eléctrica  $I$  es la misma en todas las secciones transversales de un conductor, aunque la superficie transversal puede ser distinta en varios puntos.
- La densidad de corriente  $\mathbf{j}$  cambiará al modificarse la sección transversal, pero la corriente  $i$  permanecerá inalterada.

# Conservación de la carga

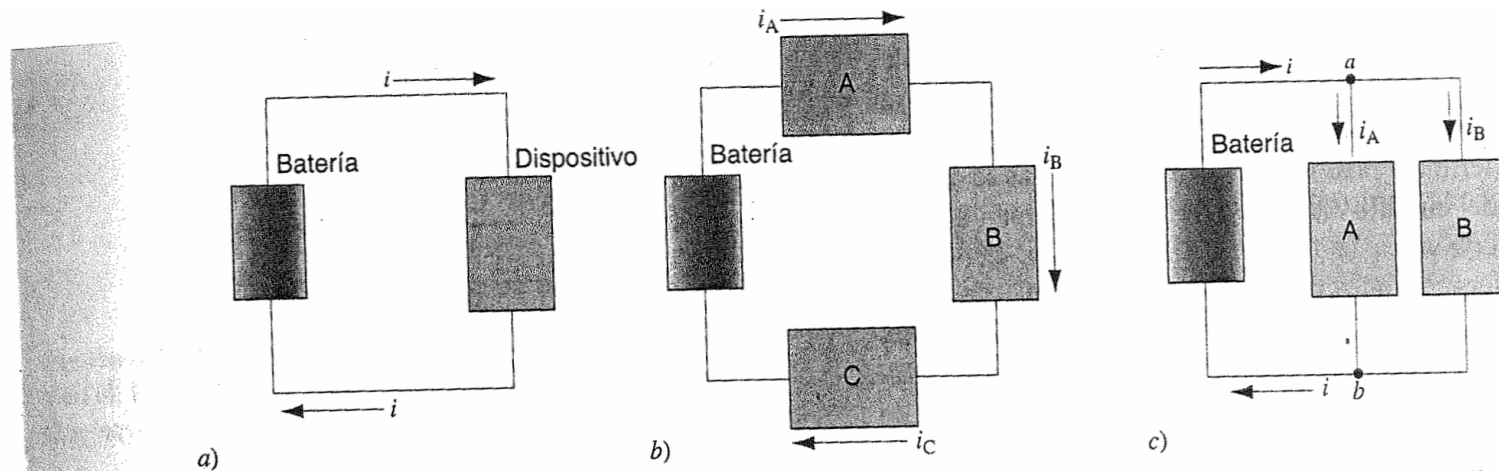


FIGURA 31-2. a) Circuito de la figura 31-1 en notación simbólica. b) La misma corriente fluye sucesivamente por los dispositivos A, B y C. c) La corriente se divide en la unión (nudo)  $a$  y se recombina en la unión (nudo)  $b$ .

- En una unión (nodo) cualquiera de un circuito eléctrico, la corriente total que entra en dicha unión tiene que ser igual a la corriente que sale.
- Primera Ley de Kirchhoff.

# Fuerza electromotriz

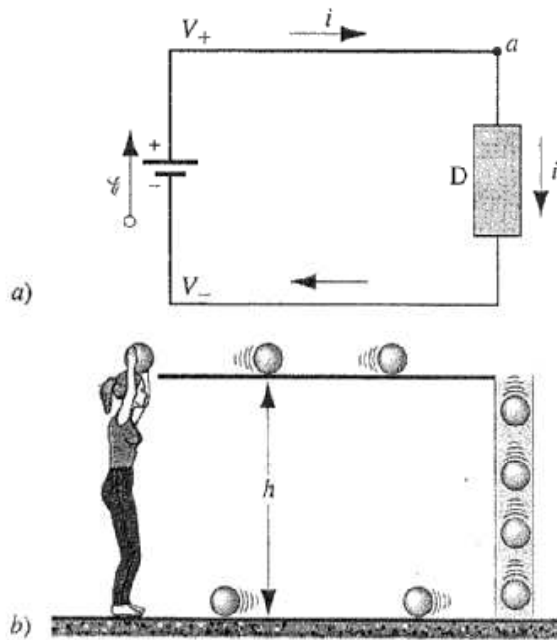


FIGURA 31-3. *a)* Un circuito eléctrico simple, donde la fuerza electromotriz  $\mathcal{E}$  (una batería) realiza trabajo en los portadores de carga y conserva una corriente estacionaria en el dispositivo  $D$ . *b)* Una analogía gravitacional, donde el trabajo efectuado por la persona mantiene un flujo estable de las bolas de boliche a través del medio viscoso.

- Casi todos los circuitos requieren de una fuente externa de energía para mover una carga eléctrica a través de ellos.
- Por tanto, el circuito debe contener un dispositivo que mantenga la ddp entre dos puntos.
- Al dispositivo que realiza esta función en un circuito eléctrico se le llama fuente de la *fuerza electromotriz  $\mathcal{E}$ , fem.*

# Fuerza electromotriz

- Cuando una corriente estacionaria ha sido establecida en el circuito de la Fig., una carga  $dq$  cruza cualquier sección transversal de él en el tiempo  $dt$ .
- En particular, esta carga entra en la  $fem$  por su extremo de bajo potencial y sale por su extremo de alto potencial.
- La fem debe efectuar el trabajo  $dW$  en los portadores de carga (positiva) para obligarlos a ir al punto de potencial más alto.

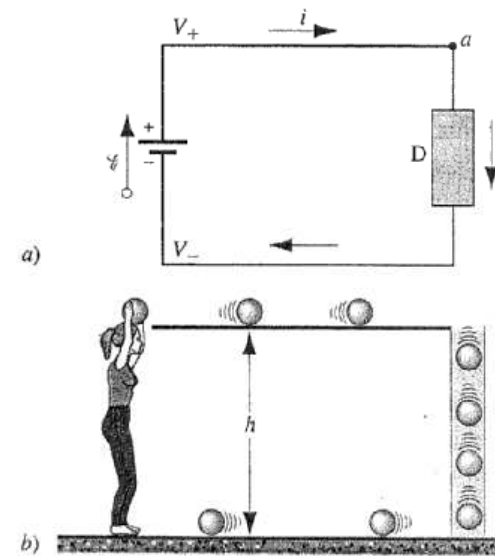
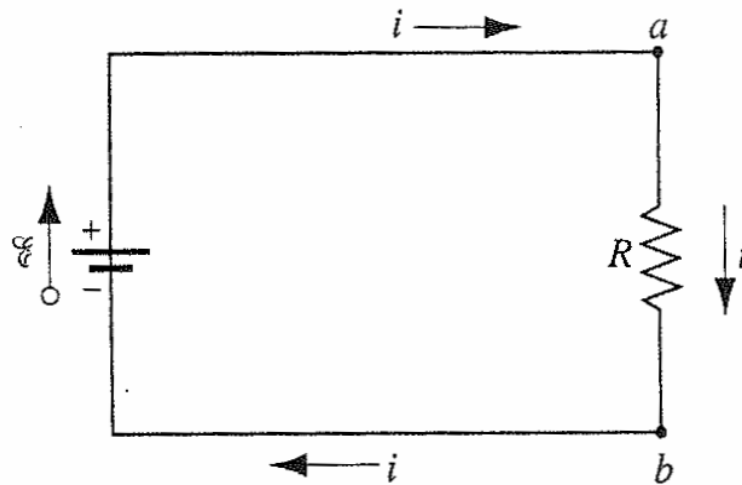


FIGURA 31-3. a) Un circuito eléctrico simple, donde la fuerza electromotriz  $\mathcal{E}$  (una batería) realiza trabajo en los portadores de carga y conserva una corriente estacionaria en el dispositivo D. b) Una analogía gravitacional, donde el trabajo efectuado por la persona mantiene un flujo estable de las bolas de boliche a través del medio viscoso.

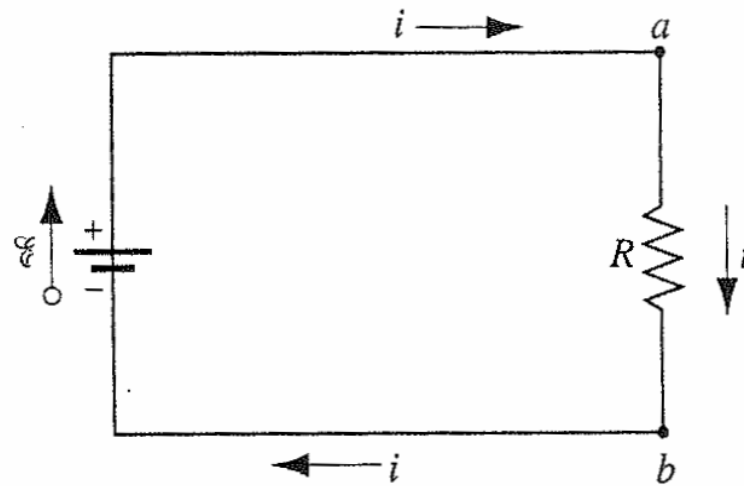
$$\mathcal{E} = dW / dq \quad \text{J/C}=1\text{V}$$

# Análisis de circuitos



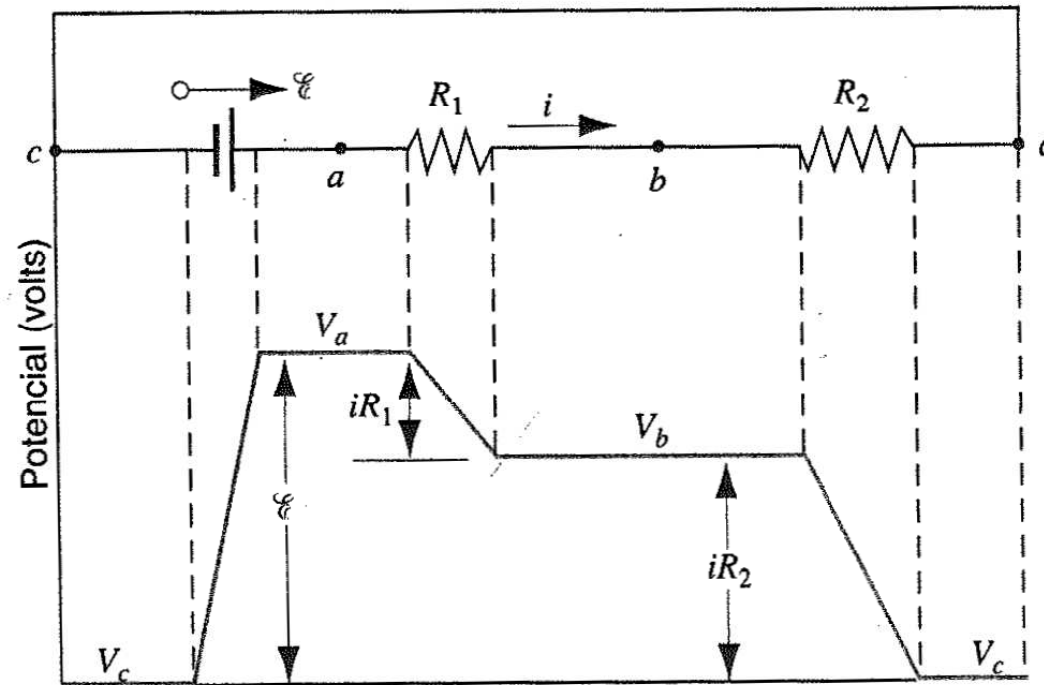
**FIGURA 31-5.** Circuito de una malla. La corriente es igual en todo él. El potencial *aumenta* de  $-$  a  $+$  a través la batería y *disminuye* de  $a$  a  $b$  (en dirección de la corriente) a través del resistor.

La suma algebraica de las diferencias de potencial alrededor de una malla completa de circuito ha de ser cero.  
Segunda Ley de Kirchhoff.

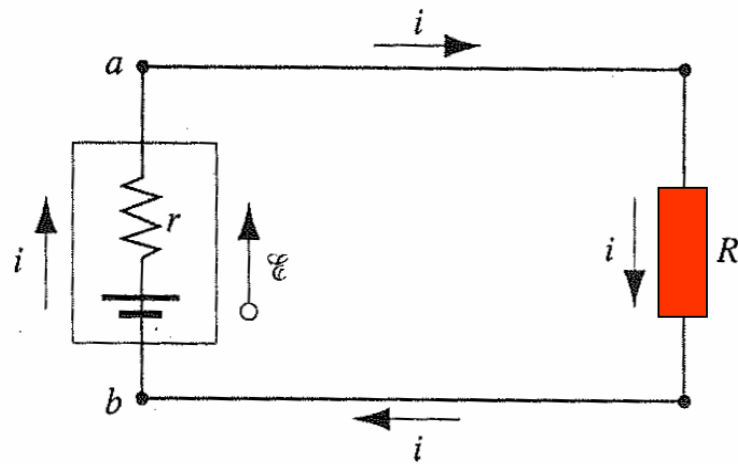


**FIGURA 31-5.** Circuito de una malla. La corriente es igual en todo él. El potencial *aumenta* de  $-$  a  $+$  a través la batería y *disminuye* de  $a$  a  $b$  (en dirección de la corriente) a través del resistor.





**FIGURA 31-7.** El circuito de la figura 31-6 se dibuja con sus componentes sobre una línea recta en la parte superior. Se muestra la diferencia de potencial entre los elementos.



**FIGURA 31-8.** Se representa una batería como un dispositivo que contiene una fuente de fuerza electromotriz  $\mathcal{E}$  y una resistencia interna  $r$ .

# Resistores en serie y en paralelo

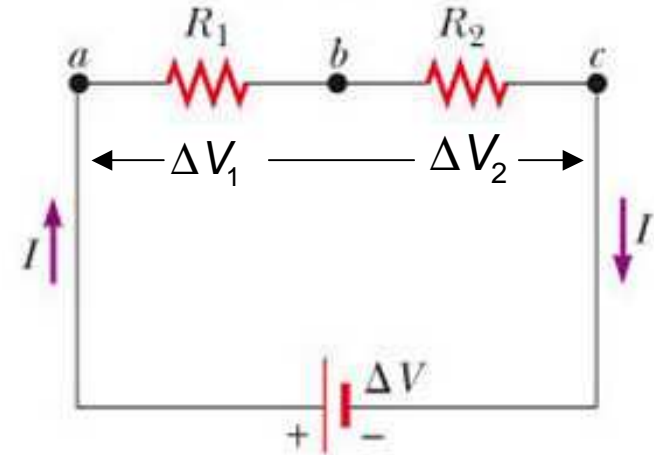
# Resistores en serie y en paralelo

En serie:

$$I = I_1 = I_2$$

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

$$R_{eq} \equiv \frac{\Delta V}{I} = \frac{\Delta V_1 + \Delta V_2}{I} = \frac{\Delta V_1}{I_1} + \frac{\Delta V_2}{I_2} \equiv R_1 + R_2$$

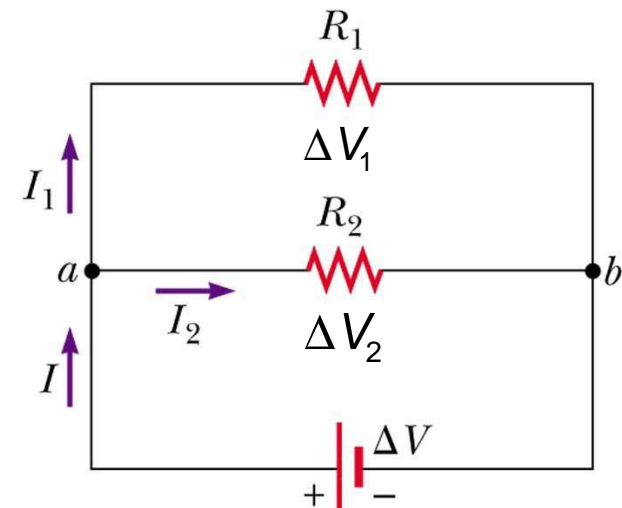


En paralelo:

$$I = I_1 + I_2$$

$$\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$$

$$\frac{1}{R_{eq}} \equiv \frac{I}{\Delta V} = \frac{I_1 + I_2}{\Delta V} = \frac{I_1}{\Delta V_1} + \frac{I_2}{\Delta V_2} \equiv \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



# Resistores en serie y en paralelo

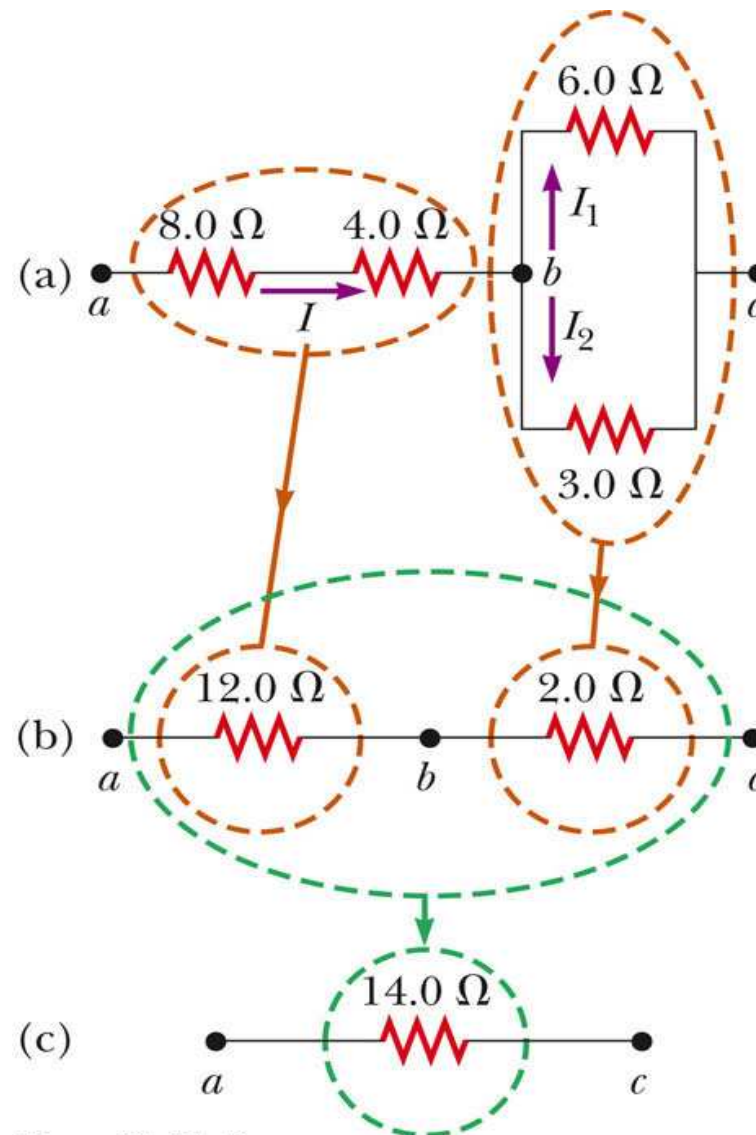
- En serie

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

- En paralelo

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

# Combinación de resistencias



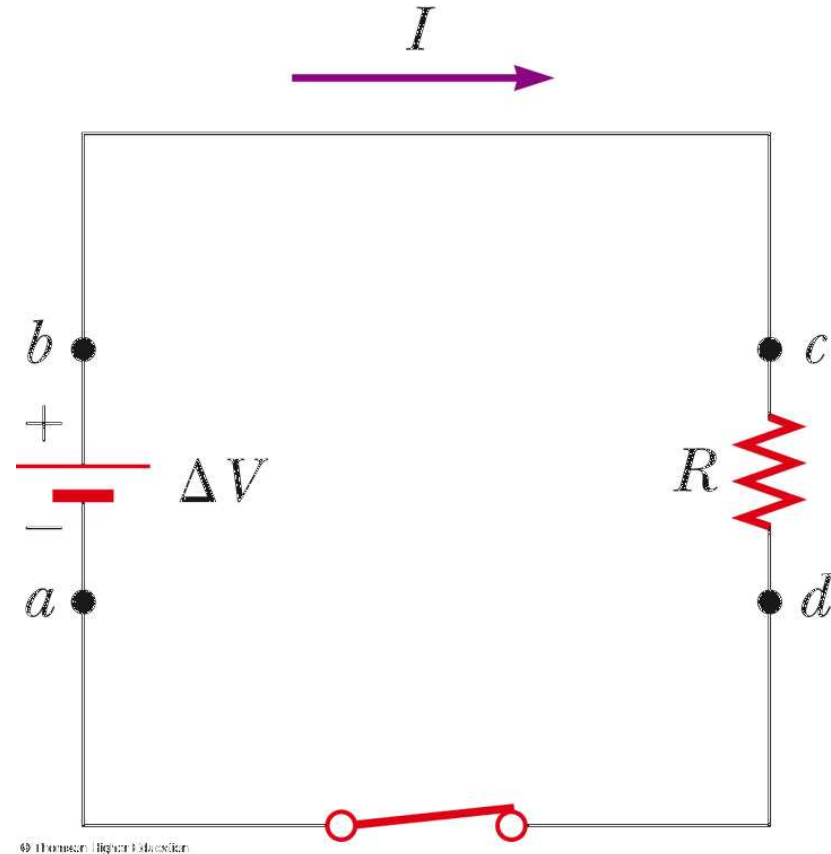
# Transferencias de energía en un circuito eléctrico

# Transferencias de energía en un circuito eléctrico

- La ddp entre los terminales  $c$  y  $d$  es  $\Delta V_R = iR$
- A medida que la cantidad de carga  $dq$  se desplaza por  $R$  de  $c$  a  $d$ , experimenta un cambio de energía potencial  $dU = dq\Delta V_R$ .
- Esta energía es transferida al resistor, de modo que la potencia que recibe éste es:
- $P_R = dU/dt = (dq/dt)\Delta V_R = i\Delta V_R$

$$P_R = i^2 R$$

$$P_R = \frac{(\Delta V_R)^2}{R}$$





# Battery power figure

One can also obtain this result from the plot of

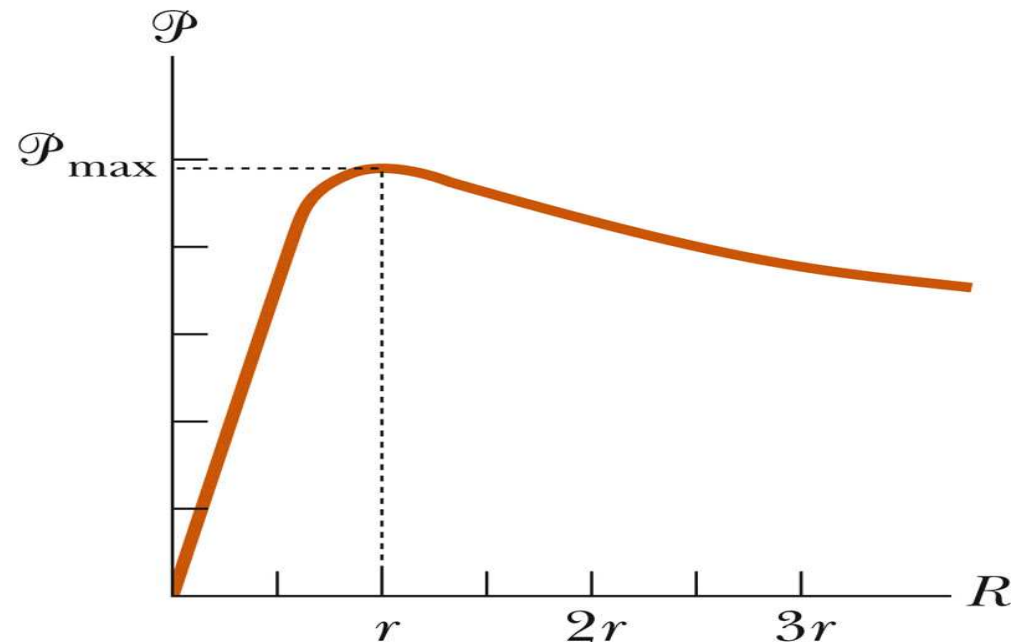
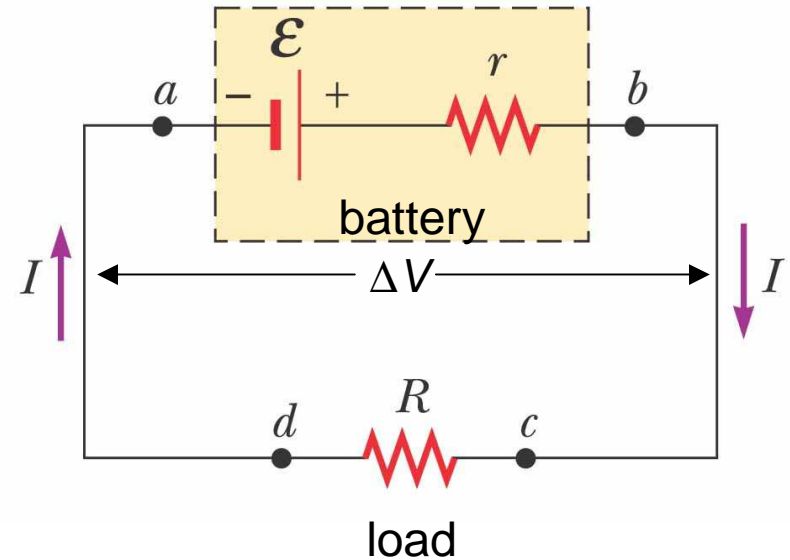
$$p_{load} = \frac{R}{(R+r)^2} \varepsilon^2$$

Where when  $R = r$

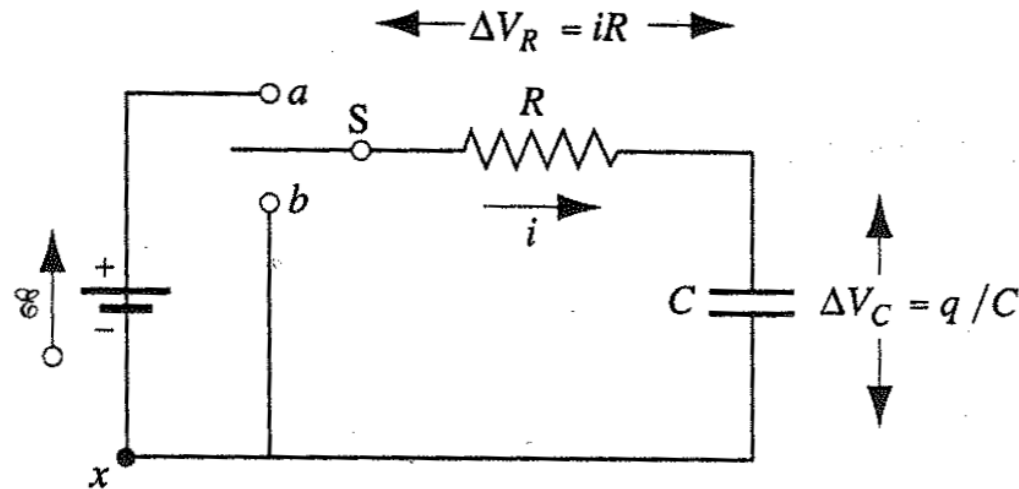
$p_{load}$  reaches the maximum value

The efficiency of the battery at this point is 50% because

$$\text{efficiency} = \frac{p_{load}}{p} = \frac{R}{R+r}$$

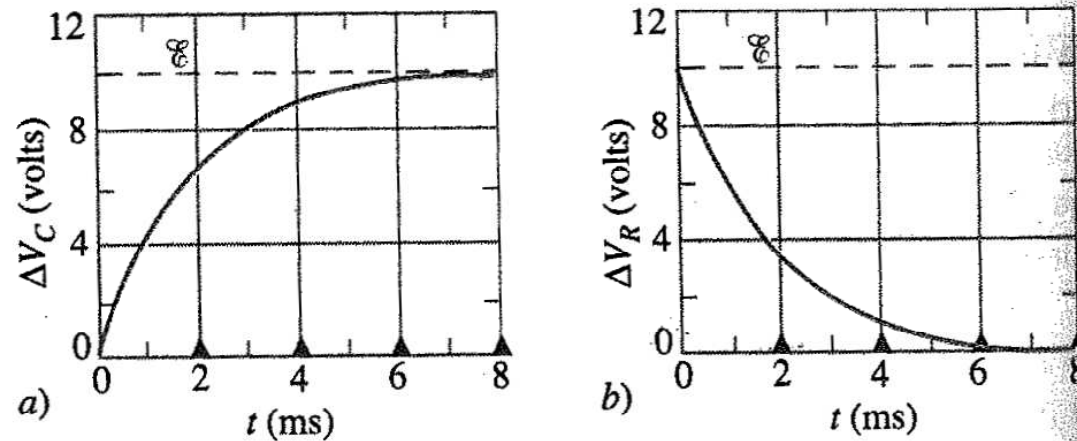


# Circuito RC



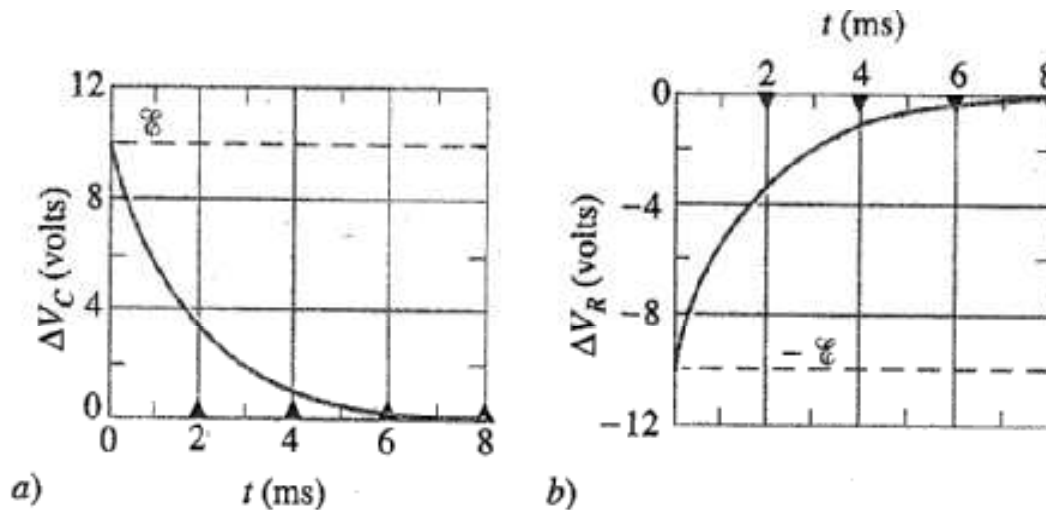
**FIGURA 31-20.** Cuando se conecta el interruptor S a *a*, el capacitor *C* lo carga la fuerza electromotriz  $\mathcal{E}$  que pasa por el resistor *R*. Después de ello, se pone el interruptor en *b* y el capacitor se descarga a través de *R*. Es fácil medir la diferencia de potencial  $\Delta V_R (= iR)$  en el resistor para determinar la corriente *i* y también para determinar la carga *q* es fácil medir la diferencia de potencial  $\Delta V_C (= q/C)$  en las placas del capacitor.

# Circuito RC



**FIGURA 31-21.** *a)* Como lo indica la diferencia de potencial  $\Delta V_C$  durante el proceso de carga, la que se encuentra en el capacitor aumenta con el tiempo y  $\Delta V_C$  se acerca al valor de la fuerza electromotriz  $\mathcal{E}$ . El tiempo se mide después de cerrar el interruptor en *a* con  $t = 0$ . *b)* La diferencia de potencial en el resistor disminuye con el tiempo, aproximándose más tarde a 0 porque la corriente cae a ese valor, una vez que el capacitor está cargado por completo. Las curvas se dibujaron con  $\mathcal{E} = 10 \text{ V}$ ,  $R = 2000 \Omega$  y  $C = 1 \mu\text{F}$ . Los triángulos llenos representan sucesivas constantes de tiempo  $RC$ .

# Circuito RC



**FIGURA 31-22.** *a)* Después de cargar el capacitor por completo, el interruptor de la figura 31-20 se pasa de *a* a *b*, que tomamos para definir un nuevo  $t = 0$ . La diferencia de potencial en el capacitor decrece exponencialmente a cero, conforme el capacitor va descargándose. *b)* Cuando ponemos el interruptor inicialmente en *b*, la diferencia de potencial en el resistor es negativa comparada con su valor durante el proceso de carga de la figura 31-21. A medida que el capacitor descarga, la magnitud de la corriente cae exponencialmente a cero y lo mismo sucede con el potencial en el resistor.