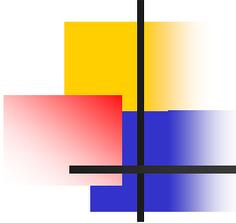


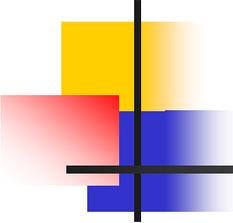
Capítulo 28

Circuitos de Corriente Directa



Corriente Directa

- Cuando la corriente en un circuito tiene una magnitud y una dirección ambas constantes, la corriente se llama ***corriente directa***
- Como la diferencia de potencial entre las terminales de una batería es constante, está produce una corriente directa
- La batería se define como fuente de fem (fuerza electromotriz)

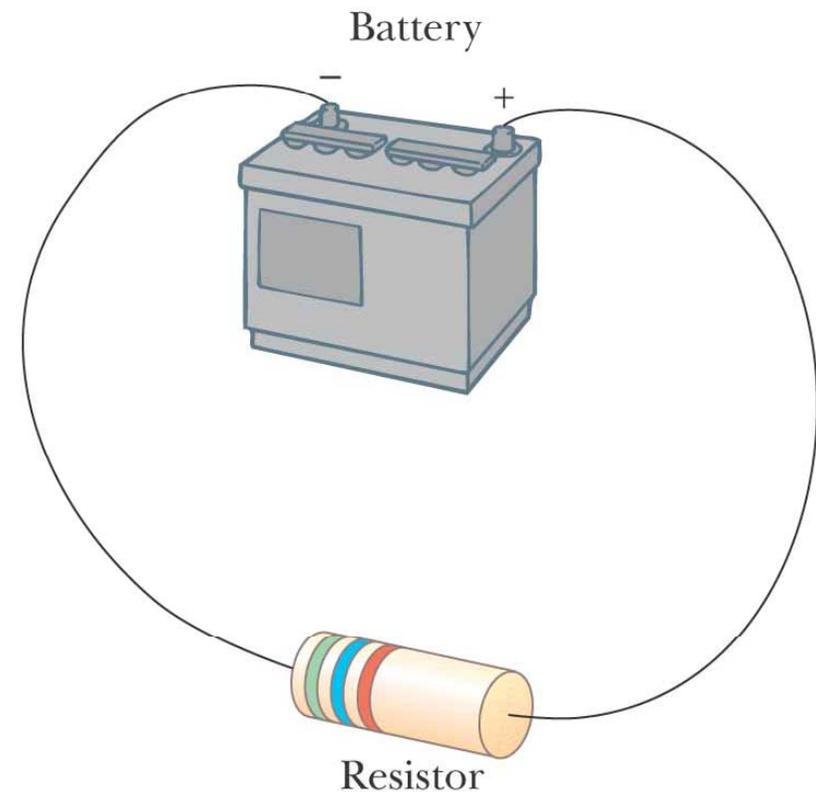


Fuerza Electromotriz

- La fuerza electromotriz (fem), ε , de una batería representa el voltaje máximo posible que ésta puede suministrar entre sus terminales
 - La fem suministra energía, y no describe una fuerza como so podría pensar
- La batería será normalmente la fuente de energía en el circuito

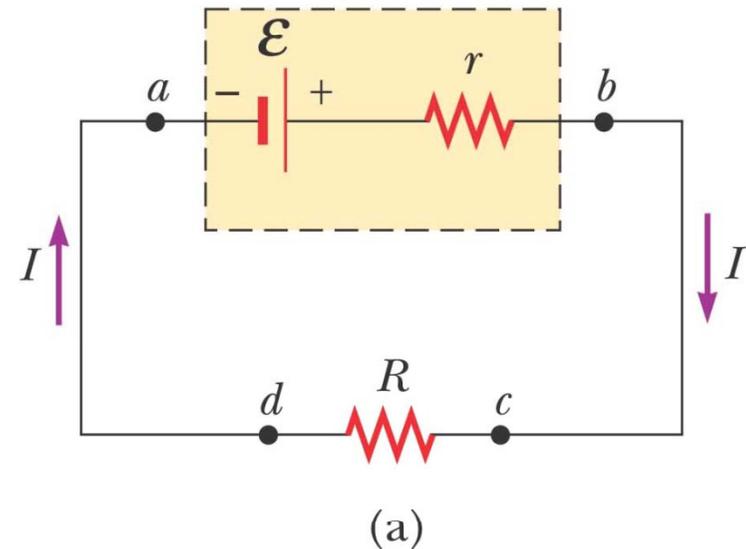
Circuito Sencillo

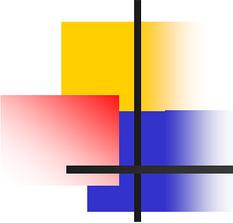
- Consideremos que los alambres de conexión no tienen resistencia
- La terminal positiva de la batería se encuentra a un potencial más alto que la negativa
- Existe también una resistencia interna de la batería



Resistencia Interna de la Batería

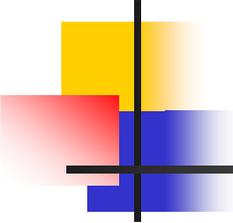
- Si la resistencia interna vale cero, el voltaje entre sus terminales es igual a la fem
- Para una batería real, existe una resistencia interna, r
- El voltaje terminal de la batería es, $\Delta V = \varepsilon - Ir$





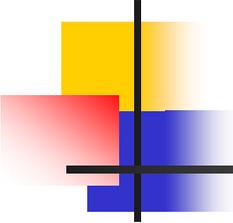
FEM, cont

- La fem es equivalente al voltaje en *circuito abierto*
 - Esto es el voltaje terminal cuando la corriente es igual a cero
 - Esto es el voltaje nominal de la batería
- La diferencia de potencial real entre las terminales de la batería depende de la corriente en el circuito



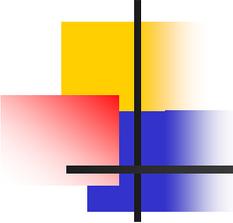
Resistencia de carga

- El voltaje terminal es también igual a la diferencia de potencial de un extremo al otro de la resistencia externa
 - Está se llama *resistencia de carga*
 - En el circuito anterior, la resistencia de carga es el resistor externo
 - En general, la resistencia de carga puede ser cualquier aparato eléctrico



Potencia

- La potencia total de salida de la batería es $P = I\Delta V = I\varepsilon$
- La potencia es entregada a la resistencia de carga externa con un valor $(I^2 R)$ y a la resistencia interna con un valor $(I^2 r)$
- $P = I\varepsilon = I^2 R + I^2 r$

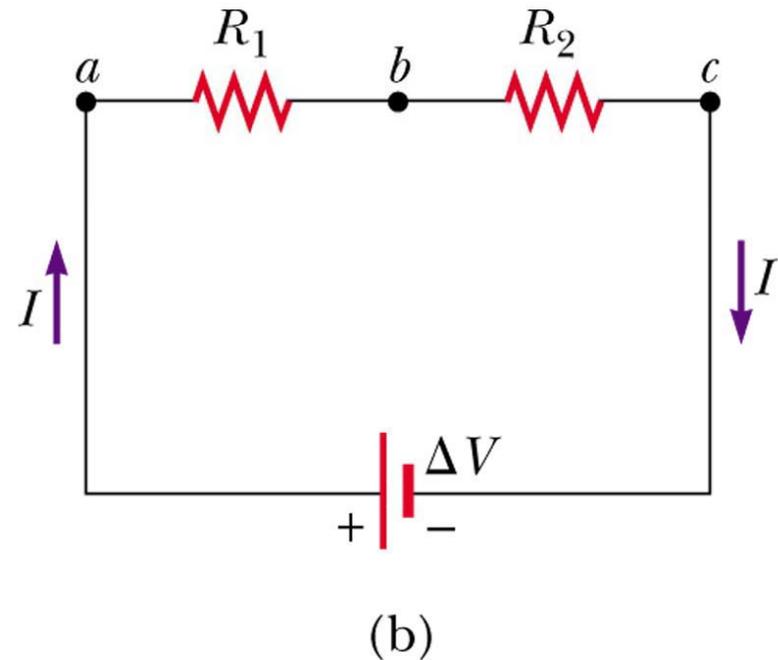


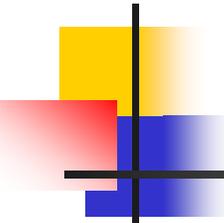
Resistores en Serie

- Cuando dos o más resistores están conectados punta a punta, se dice que están en *serie*
- Para una combinación en serie de resistores, la corriente es la misma en todos los resistores, ya que la cantidad de carga que pasa a través de uno de los resistores también pasa por los otros resistores en el mismo intervalo de tiempo
- La diferencia de potencial se dividirá entre los resistores, para que la suma de las diferencias de potencial de cada resistor sea igual a la diferencia de potencial total de la combinación

Resistores en Serie, cont

- $\Delta V = IR_1 + IR_2$
 $= I(R_1 + R_2) = I R_{eq}$
- Es una consecuencia de la Conservación de la Energía
- La resistencia equivalente tiene el mismo efecto sobre el circuito como la combinación original de los resistores

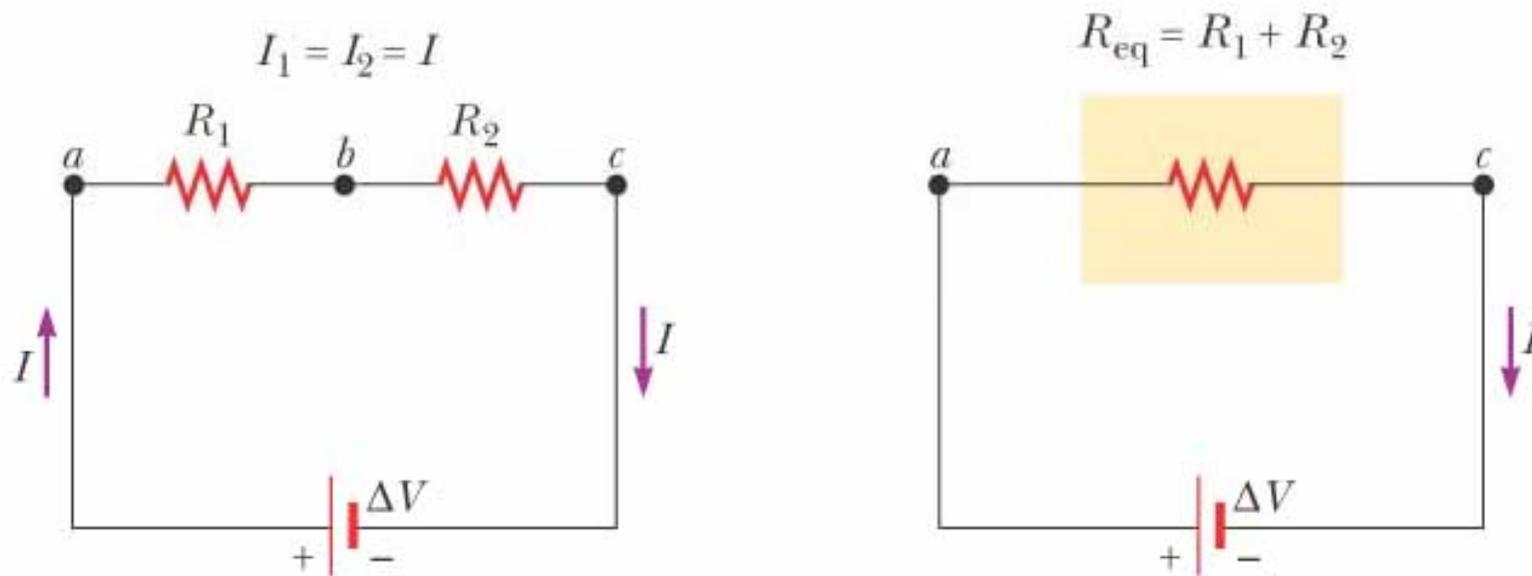




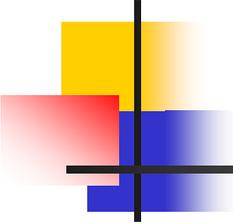
Resistencia Equivalente – Serie

- $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$
- La resistencia equivalente de una combinación en serie de resistores es la suma algébrica de las resistencias individuales y es siempre mayor a cualquier resistencia individual
- Si un aparato del circuito en serie crea un circuito abierto, todos los aparatos dejarán de funcionar

Resistencia Equivalente – Serie – Un ejemplo



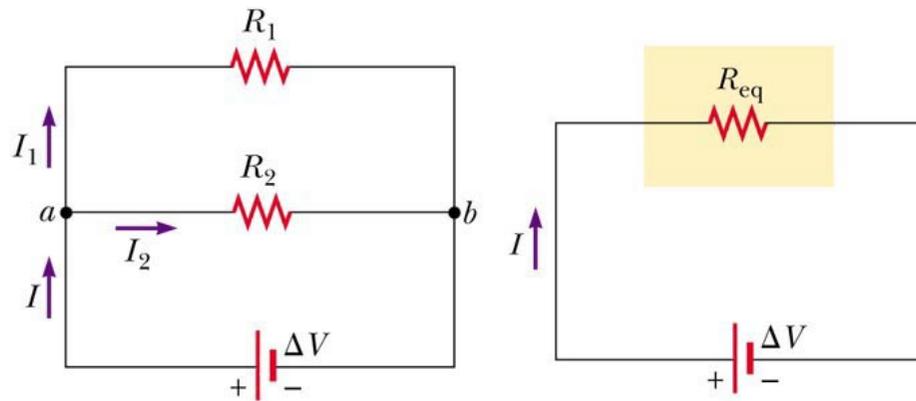
- Los dos resistores se remplazan por su resistencia equivalente



Resistores en Paralelo

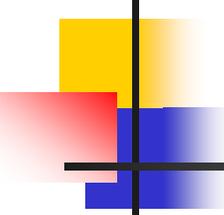
- La diferencia de potencial a través de cada resistor es la misma porque cada uno es conectado directamente a las terminales de la batería
- La corriente, I , que entra en un punto debe ser igual a la corriente total que sale del mismo punto
 - $I = I_1 + I_2$
 - Es una consecuencia de la Conservación de la Energía

Resistencia Equivalente – Paralelo



- La resistencia equivalente reemplaza las dos resistencias originales
- La resistencia equivalente vale:

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

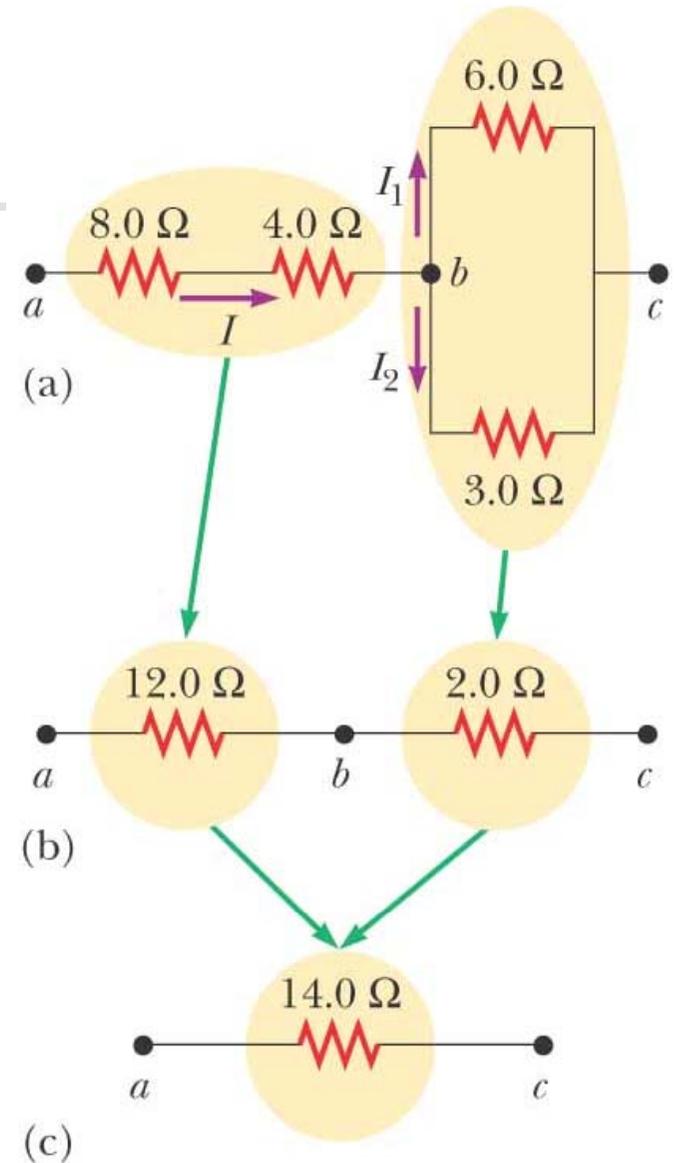


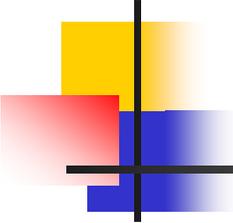
Resistores en Paralelo, Final

- En paralelo, cada aparato opera independientemente de los otros así que si uno se apaga, los otros siguen funcionando
- En paralelo, todos los aparatos operan con el mismo voltaje
- La corriente toma todas las trayectorias
 - La resistencia más baja tendrá la corriente más alta
 - Resistencias muy altas tendrán poca corriente

Combinaciones de Resistores

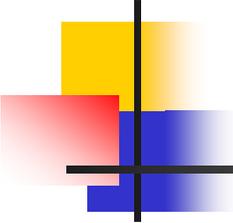
- Dos resistores de 8Ω y 4Ω están en serie y pueden ser remplazados por uno equivalente de 12Ω
- Dos resistores de 6Ω y 3Ω están en paralelo y pueden ser remplazados por uno equivalente de 2.0Ω
- Estas dos resistencias equivalentes están en serie y pueden ser remplazados por una equivalente de 14.0Ω





Leyes de Kirchhoff

- Existen casos en que los resistores están conectados de tal manera que el circuito conformado no puede ser reducido por un resistor equivalente sencillo
- Dos reglas, llamadas **leyes de Kirchhoff**, pueden ser usadas en estos casos



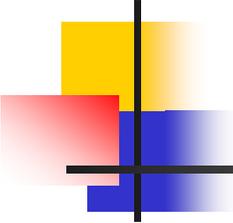
Leyes de Kirchhoff, cont

- Ley de las Uniones

- La suma de las corrientes que entran a cualquier unión debe ser igual a la suma de las corrientes que salen de ella
 - Un enunciado de la Conservación de Carga

- Ley de las Mallas

- La suma de las diferencias de potencial aplicadas a todos los elementos alrededor de un circuito cerrado debe ser igual a cero
 - Un enunciado de la Conservación de Energía



Enunciado matemático de las leyes de Kirchhoff

- Ley de las Uniones:

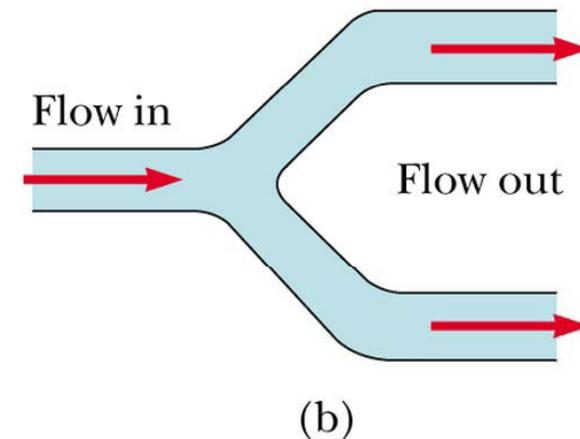
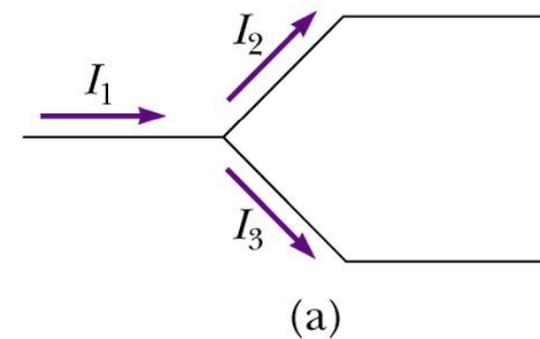
$$\sum I_{\text{in}} = \sum I_{\text{out}}$$

- Ley de las Mallas:

$$\sum_{\text{closed loop}} \Delta V = 0$$

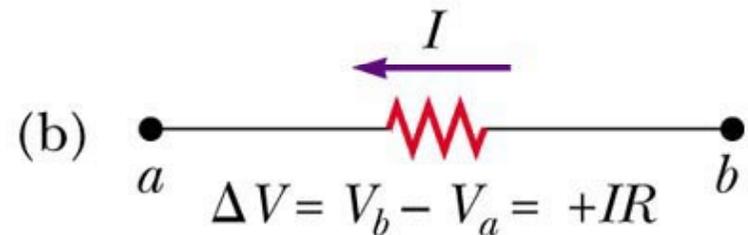
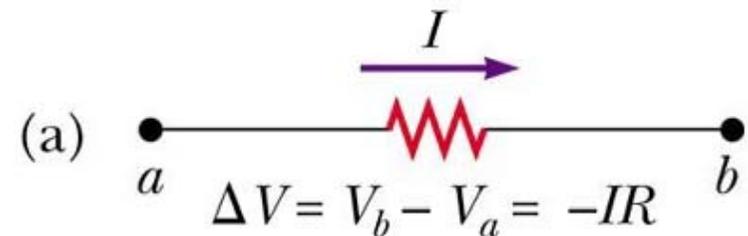
Más sobre la ley de las Uniones

- $I_1 = I_2 + I_3$
- Esta ecuación viene de la Conservación de la Carga Eléctrica
- El diagrama (b) muestra un análogo mecánico



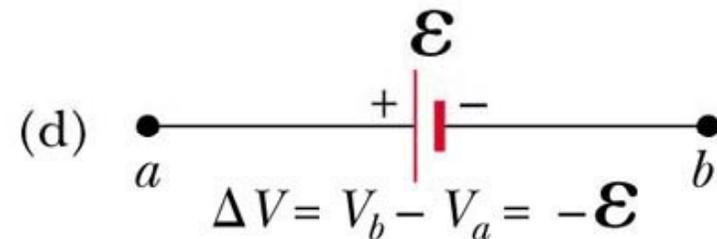
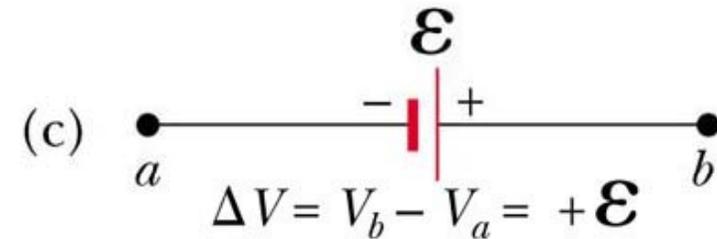
Más sobre la ley de las Mallas

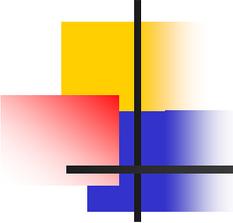
- En (a), el resistor se atraviesa en la dirección de la corriente, la diferencia de potencial aplicada al resistor vale $-IR$
- En (b), el resistor se atraviesa en la dirección opuesta a la corriente, la diferencia de potencial aplicada al resistor vale $+IR$



Ley de las Mallas, final

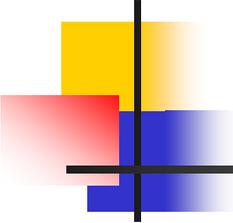
- En (c), la fuente de fem se atraviesa en la dirección de la fem (de $-$ a $+$), y la diferencia de potencial vale $+\mathcal{E}$
- En (d), la fuente de fem se atraviesa en la dirección opuesta a la fem (de $+$ a $-$), y la diferencia de potencial vale $-\mathcal{E}$





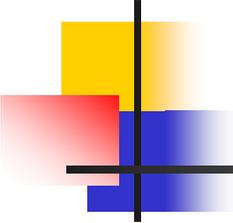
Leyes de Kirchhoff, final

- Para resolver un problema de circuito en particular, el número de ecuaciones independientes que se necesitan para obtener las dos leyes es igual al número de corrientes desconocidas
- Cualquier capacitor en un circuito funciona como una rama abierta
 - La corriente en la rama que contiene el capacitor es igual a cero bajo condiciones de estado estable



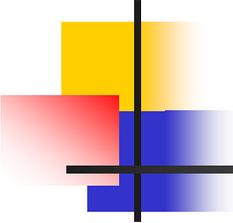
Sugerencias para solución de problemas – Leyes de Kirchhoff

- Dibuje un diagrama del circuito e identifique todas las cantidades conocidas y desconocidas. Debe asignar una dirección a la corriente.
 - la dirección es arbitraria
- Aplique la ley de las Uniones en cualquier unión del circuito que aporte una nueva relación entre las diversas corrientes



Sugerencias para solución de problemas, cont

- Aplique la ley de las Mallas a todas las mallas del circuito para resolver las incógnitas
 - Para aplicar esta ley, debe identificar correctamente la diferencia de potencial
- Resuelva las ecuaciones simultáneamente en función de las incógnitas



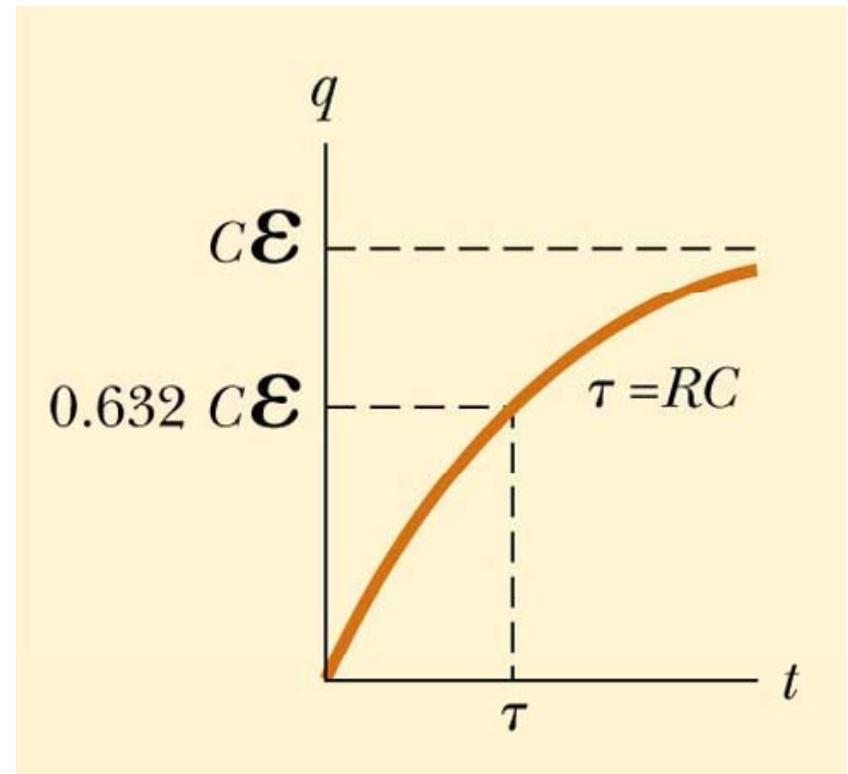
Circuitos RC

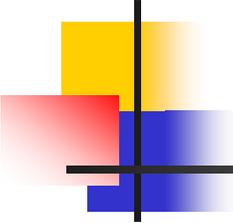
- En los circuitos de corriente directa que contienen capacitores, la corriente siempre está en la misma dirección pero puede variar en el tiempo
- Se llama circuito RC a un circuito que contiene una combinación en serie de un resistor y un capacitor
- La carga máxima del capacitor vale $Q = C\varepsilon$
- Cuando el capacitor está completamente cargado, la corriente del circuito vale cero

Carga de un Capacitor en un Circuito RC

- La carga del capacitor varía con el tiempo según la ecuación siguiente:
 - $q = C\varepsilon(1 - e^{-t/RC}) = Q(1 - e^{-t/RC})$
 - τ es una *constante de tiempo*
 - $\tau = RC$
- Podemos encontrar la corriente calculando $I(t) = dq / dt$

$$I(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC}$$



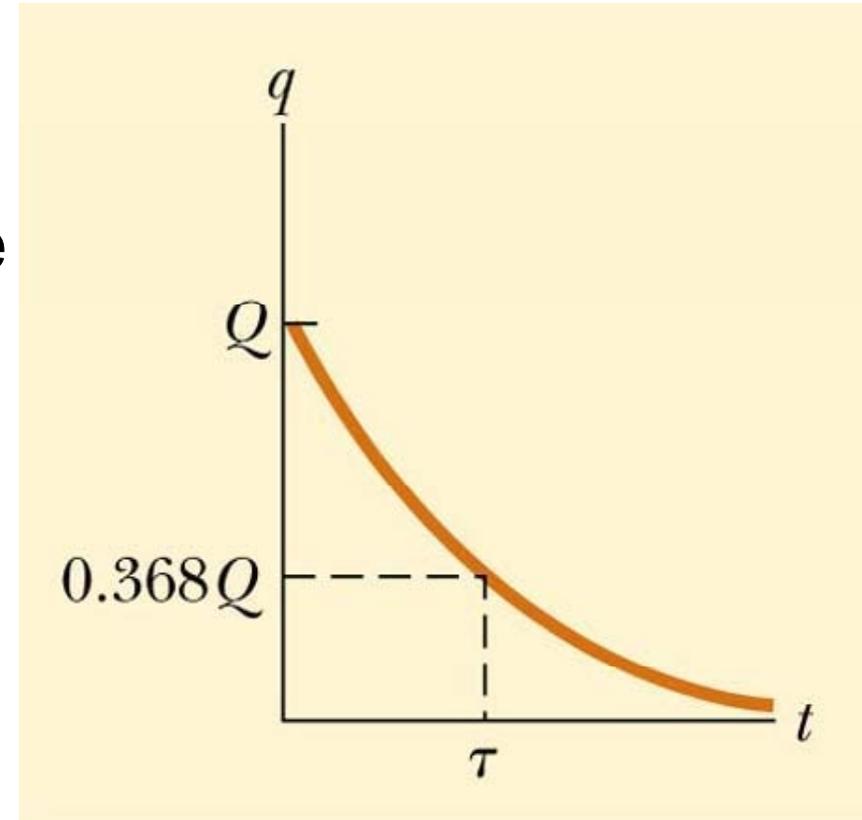


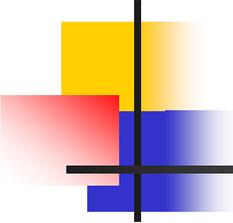
Constante de Tiempo, Carga

- La constante de tiempo representa el tiempo requerido para que la carga aumente desde cero hasta 63.2% de su valor máximo
- τ tiene unidades en tiempo
- La energía almacenada durante la carga del capacitor vale $\frac{1}{2} Q\varepsilon = \frac{1}{2} C\varepsilon^2$

Descarga de un Capacitor en un Circuito RC

- Cuando un capacitor cargado se encuentra en un circuito, éste se puede descargar según la ecuación
 - $q = Qe^{-t/RC}$
- La carga disminuye de manera exponencial





Descarga de un Capacitor

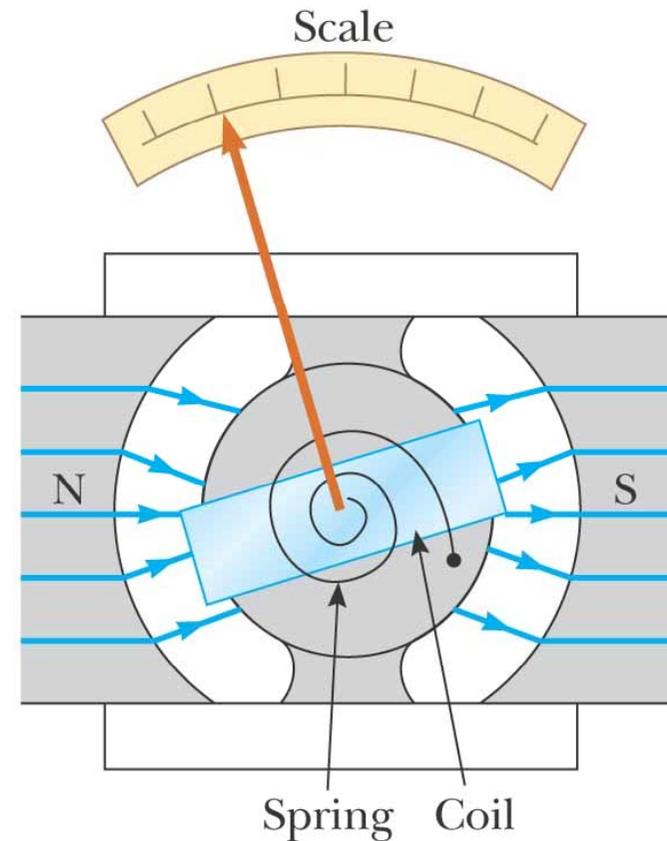
- A $t = \tau = RC$, la carga disminuye hasta el valor $0.368 Q_{\max}$
 - En otras palabras, en una constante de tiempo, el capacitor pierde 63.2% de su carga inicial
- Podemos encontrar el valor de la corriente

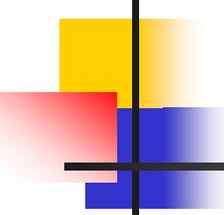
$$I(t) = \frac{dq}{dt} = -\frac{Q}{RC} e^{-t/RC}$$

- Tanto la carga como la corriente decae de manera exponencial a una rapidez caracterizada por $\tau = RC$

Medidores eléctricos: Galvanómetro

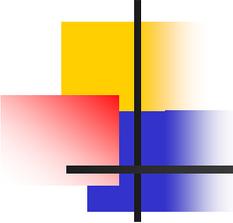
- Un galvanómetro es el componente principal en los medidores analógicos para medir corriente y voltaje
- Los medidores digitales son hoy día más usados
 - Estos operan bajo principios diferentes





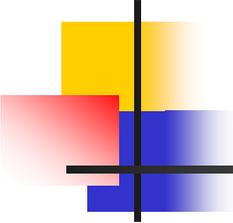
Galvanómetro, cont

- Un galvanómetro está constituido por una bobina de alambre montada de tal manera que puede girar libremente alrededor de un pivote en un campo magnético
- El campo es creado por un imán permanente
- Una torca actúa sobre la bobina en presencia del campo magnético



Galvanómetro, final

- La torca experimentada por la bobina es proporcional a la corriente que pasa por ella
 - Cuanto mayor sea la corriente, mayor será la torca
 - Cuanto mayor sea la torca, girará más la bobina antes de que el resorte se apriete lo suficiente para detener la rotación
- La deflexión de una aguja sujeta a la bobina es proporcional a la corriente
- Una vez que el instrumento está calibrado, puede utilizarse junto con otros elementos del circuito para medir corrientes o voltajes

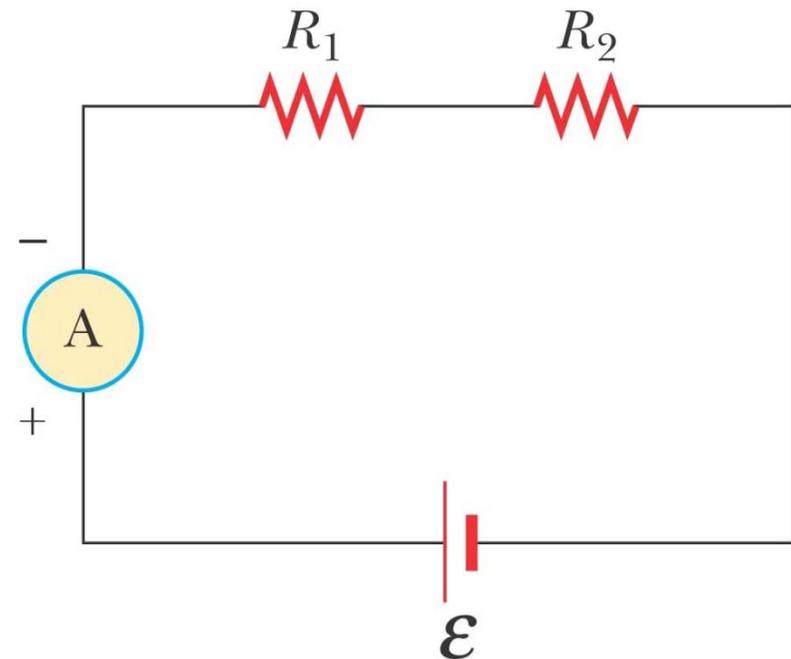


Medidores eléctricos: Amperímetro

- Un **amperímetro** es un aparato que mide corriente
- El amperímetro tiene que estar conectado en serie con los elementos que se desean medir
 - La corriente tiene que pasar directamente a través del amperímetro

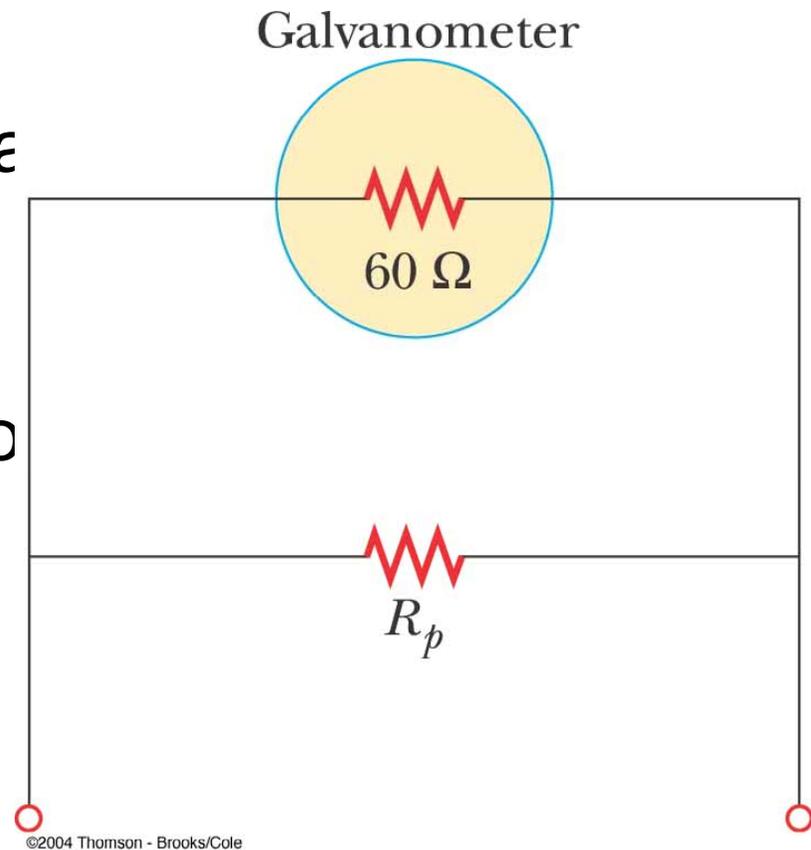
Amperímetro en un Circuito

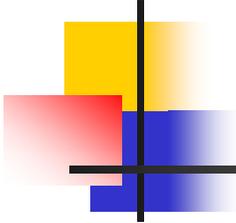
- El amperímetro está conectado en serie con los elementos de los cuales se quiere medir la corriente
- Idealmente, el amperímetro debe tener una resistencia cero para que la corriente a medir no sea alterada



Amperímetro con Galvanómetro

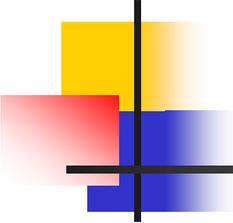
- El galvanómetro tiene normalmente una resistencia de 60Ω
- Para minimizar la resistencia, un resistor, R_p (o *shunt resistance* en inglés), se conecta en paralelo con el galvanómetro





Amperímetro, final

- El valor del resistor, R_p , tiene que ser mucho menor que la resistencia del galvanómetro
 - Recuerde que la resistencia equivalente de los resistores en paralelo será menor que la más pequeña resistencia
- La mayor parte de la corriente pasara por el resistor R_p , lo que es necesario ya que la deflexión de la escala máxima del galvanómetro es del orden de 1 mA

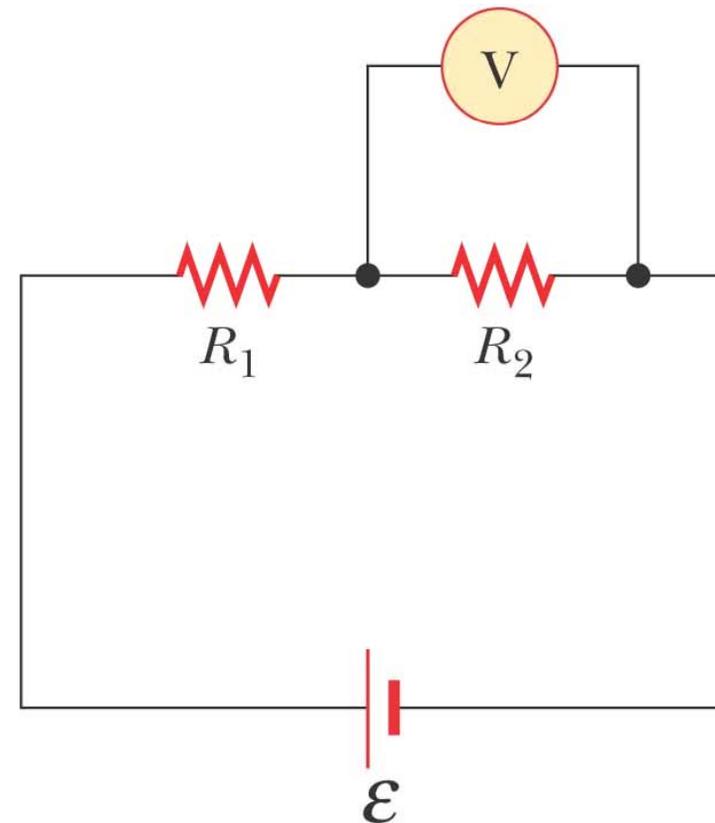


Medidores eléctricos: Voltímetro

- Un **voltímetro** es un aparato que mide diferencia de potencial
- El voltímetro tiene que estar conectado en paralelo con los elementos a medir
 - El voltaje es el mismo en paralelo

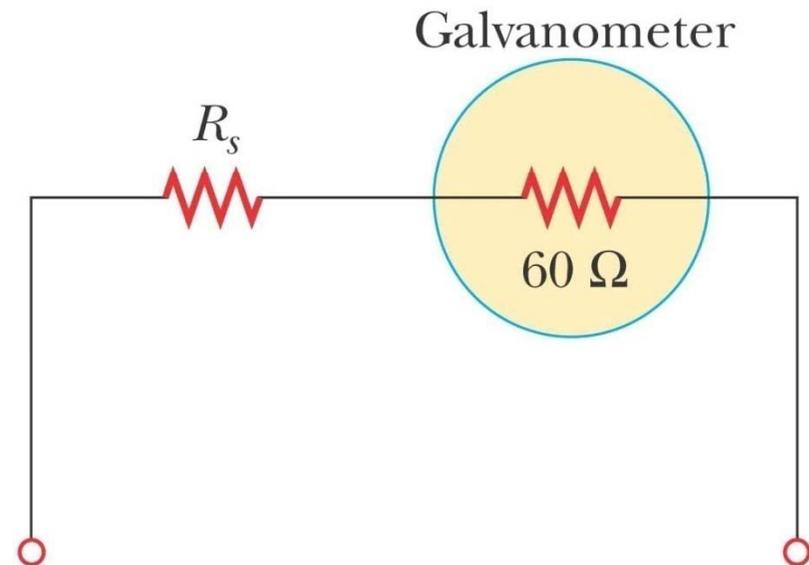
Voltímetro en un Circuito

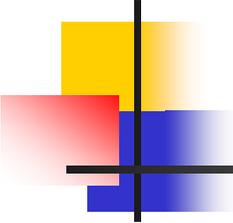
- El voltímetro se conecta en paralelo con los elementos de los cuales se quiere medir la diferencia de potencial
 - Es necesario tener cuidado con la polaridad del instrumento
- Idealmente, el voltímetro debe tener una resistencia infinita que impide que la corriente no pase a través de él



Voltímetro con Galvanómetro

- El galvanómetro tiene normalmente una resistencia de 60Ω
- Para maximizar la resistencia, otro resistor, R_s , se conecta en serie con el galvanómetro





Voltímetro, final

- El valor del resistor , R_s , tiene que ser mucho mayor que la resistencia del galvanómetro
 - Recuerde que la resistencia equivalente de los resistores en serie será mayor a la resistencia más alta
- La mayor parte de la corriente pasará por el elemento a medir, y el galvanómetro no afectará de manera significativa el voltaje que se está midiendo