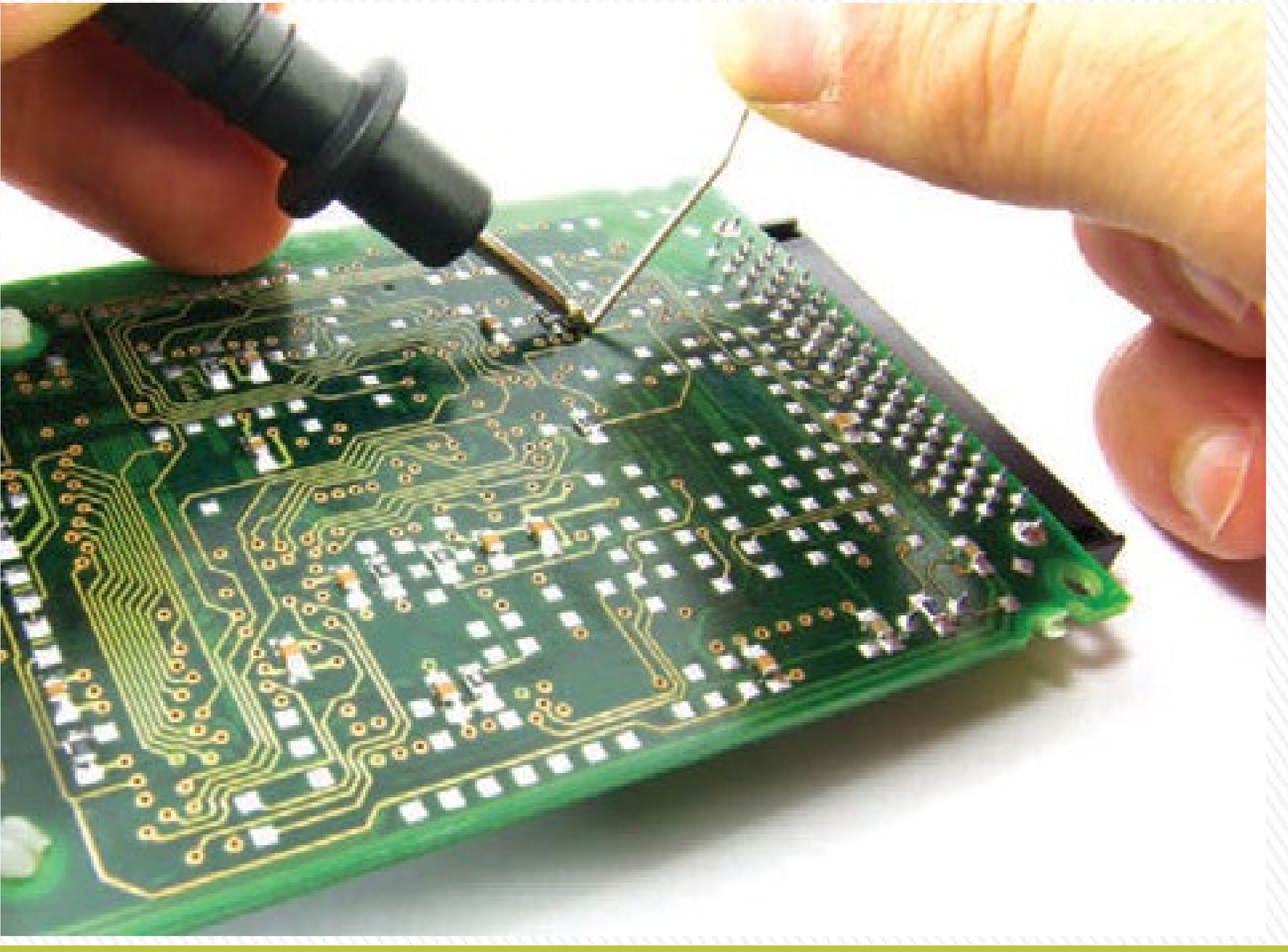
02.2-CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA



En un circuito complejo como el de esta tarjeta de circuito, ¿es posible conectar varios resistores con diferentes resistencias de manera que todos tengan la misma diferencia de potencial? De ser así, ¿la corriente será la misma a través de todos los resistores?

INTRODUCCIÓN

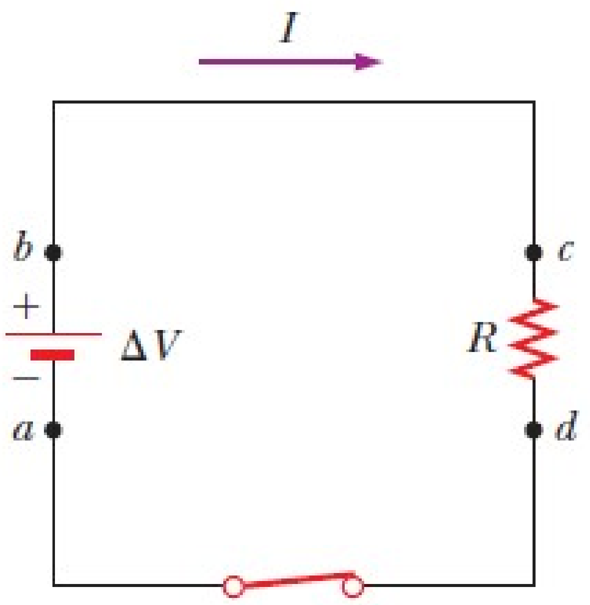
Analizaremos circuitos de **corriente directa (cd), o de corriente continua (CC)** en los que el sentido de la corriente no cambia con el tiempo.

Los sistemas de cableado de las linternas y de los automóviles son ejemplos de circuitos de corriente directa.

La energía eléctrica doméstica se suministra en forma de **corriente alterna (ca)**, en la que la corriente oscila hacia adelante y hacia atrás.

Los mismos principios para analizar redes se aplican a ambas clases de circuitos.

POTENCIA ELÉCTRICA



Cuando una carga se mueve de ***a*** *a* ***b*** *a través de la batería, la* ***energía potencial eléctrica del sistema aumenta*** en Q.*ΔV (a expensas de la energía potencial química de la batería que se reduce en la* misma cantidad).

La rapidez a la cual el sistema pierde energía potencial eléctrica conforme la carga Q *pasa a través del resistor:*

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d(Q.\Delta V)}{dt} = \frac{dQ}{dt}.\Delta V = I.\Delta V$$

Circuito constituido por un resistor de resistencia *R y* una batería con una diferencia de potencial ΔV *entre sus terminales.*
La carga positiva fluye en dirección de las manecillas del reloj.

I es la corriente en el circuito.
El sistema recupera su energía potencial cuando la carga pasa a través de la batería, a expensas de la energía química de la misma.

La potencia $\mathcal{P}$, que representa la rapidez a la cual se entrega energía al resistor, es

$$\mathcal{P} = I.\Delta V$$

POTENCIA ELÉCTRICA

Potencia entregada por una fuente de voltaje a *cualquier dispositivo que tenga una corriente I y esté sujeto a una diferencia* de potencial ΔV *entre sus terminales.*

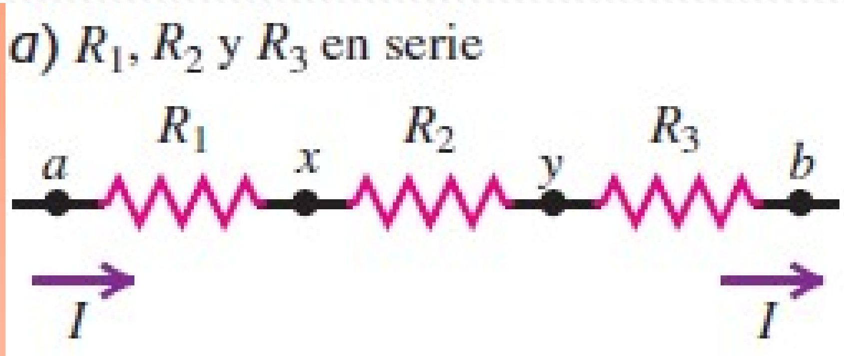
$$\mathcal{P} = I.\Delta V = I^2 R = \frac{\Delta V^2}{R}$$

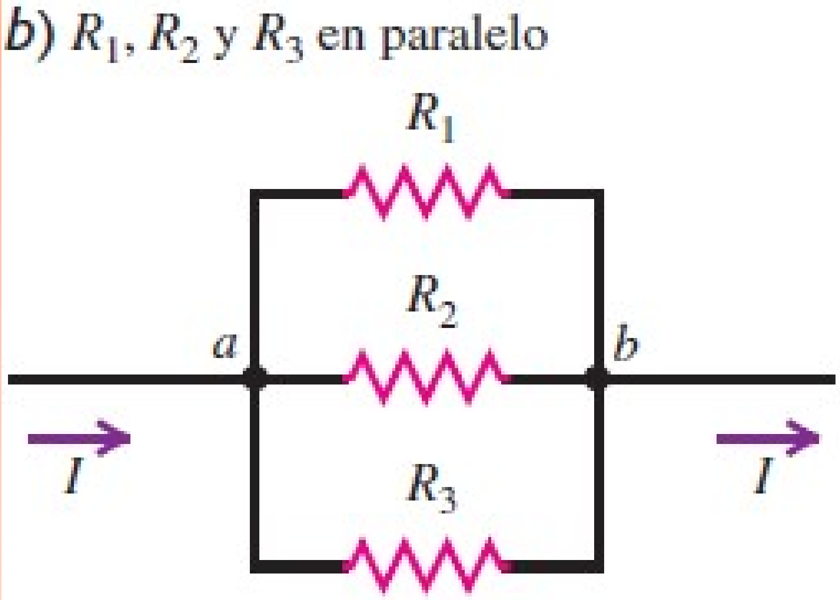
Unidad SI de potencia es el watt (W)

El proceso mediante el que se pierde potencia en forma de energía interna en un conductor de resistencia *R,* a menudo se llama **calentamiento Joule**; esta transformación también es conocida como una **pérdida I^2R**.

RESISTORES EN SERIE Y EN PARALELO

Es frecuente que los circuitos tengan varios resistores, lo que constituye *combinaciones de resistores.*
Cuando se conectan en secuencia varios elementos de circuito, como resistores, baterías y motores, como en la **figura a**, *con una sola trayectoria de corriente entre* los puntos, se dice que están conectados en **serie.**
Se dice que los resistores de la **figura b** *están conectados en **paralelo entre los** **puntos a y b**.* *Cada resistor ofrece una trayectoria alternativa entre los puntos. Para* los elementos de circuito conectados en paralelo, la *diferencia de potencial es la misma* a través de cada elemento.





RESISTORES EN SERIE Y EN PARALELO

Para cualquier combinación de resistores, **siempre es posible encontrar un resistor *único que podría reemplazar la combinación y dar como resultado la misma corriente* y diferencia de potencial totales**.

Por ejemplo, una serie de bombillas navideñas podría reemplazarse por una sola bombilla, elegida de manera adecuada, que tome la misma corriente y tenga la misma diferencia de potencial entre sus terminales que la serie original.

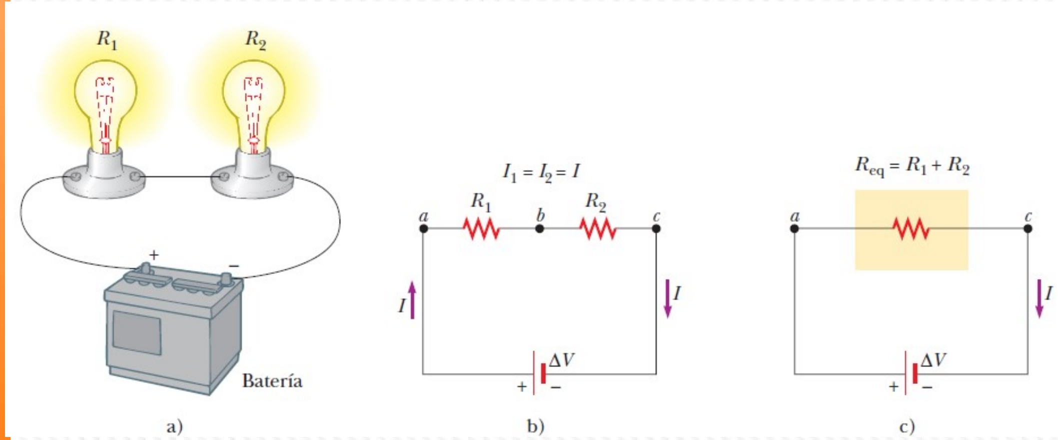
La resistencia de este resistor único se llama **resistencia equivalente R_{eq}** de la combinación.

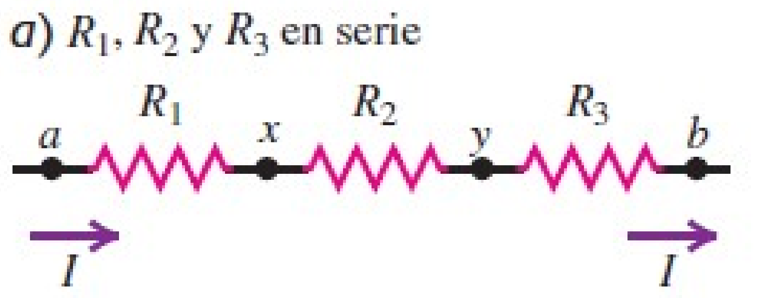
Si se reemplazara cualquiera de las redes de la figura anterior por su resistencia equivalente *Req, se podría escribir :* $V_{ab} = R_{eq} . I$ *ó* $R_{eq} = V_{ab} / I$

donde V_{ab} *es la diferencia de potencial entre las terminales a y b de la red, e I es la* corriente en el punto *a o b.*

Para calcular una resistencia equivalente, se supone una diferencia de potencial V_{ab} *a través de la red real, se calcula la corriente I correspondiente* y se obtiene la razón V_{ab}/I.

RESISTORES EN SERIE





La corriente I es la misma en todos ellos.
Al aplicar V=IR a c/u de los resisitores:

$V_{ax}=IR_1$ $\quad V_{xy}=IR_2$ $\quad V_{yb}=IR_3$

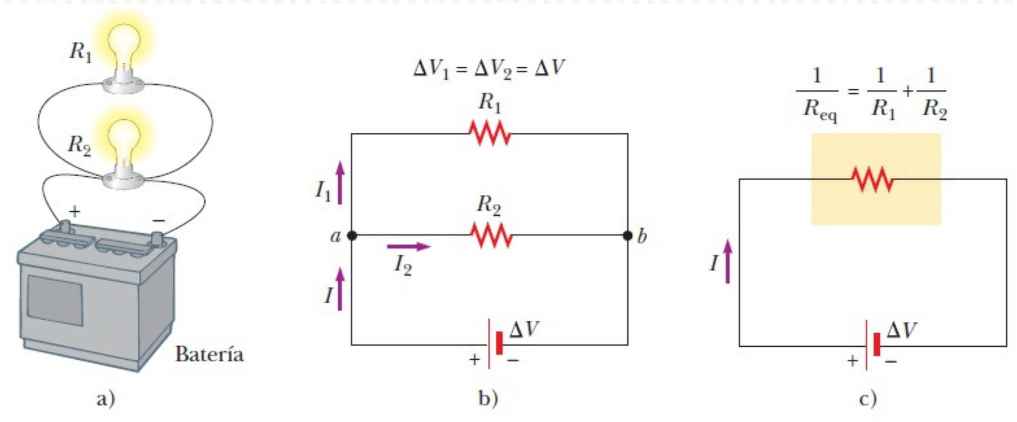
La diferencia de potencial V_{ab} *a través de toda la combinación es la suma de estas diferencias de* potencial individuales:

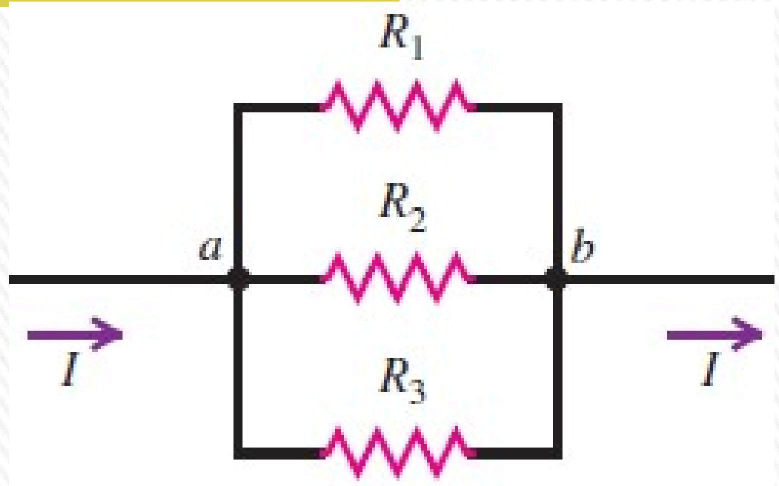
$V_{ab} = V_{ax} + V_{xy} + V_{yb} = I(R_1 + R_2 + R_3)$ *y como* $R_{eq} = V_{ab}/I$

$$R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3 \ \ldots = \sum_{i=1}^{n} R_i$$

La resistencia equivalente de *cualquier número de resistores en serie es igual a la suma* de sus resistencias individuales.

RESISTORES EN PARALELO





La diferencia de potencial entre las terminales de cada resistor debe ser la misma e igual a V_{ab}:

$$I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} \qquad I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2} \qquad I_3 = \frac{V_{ab}}{R_3}$$

Como la carga no se acumula o escapa del punto *a, la corriente total I debe ser la suma de las tres corrientes en los* resistores:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = V_{ab}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)$$

$$\frac{I}{V_{ab}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

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

***Para cualquier número de resistores en paralelo, el recíproco de la resistencia equivalente* es igual a la *suma de los recíprocos de sus resistencias individuales*.**

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots$$

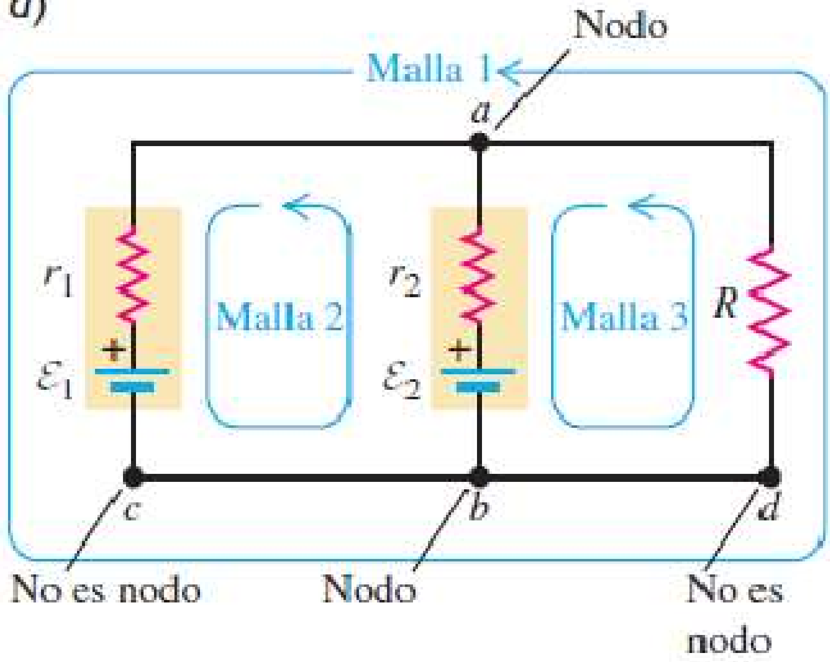
Para el caso especial de *dos resistores en paralelo*

$$R_{EQ} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

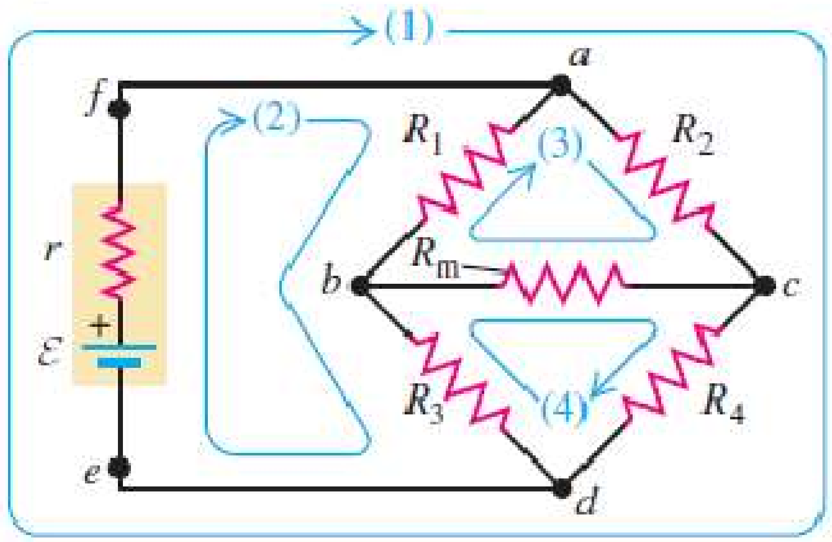
REGLAS DE KIRCHHOFF

Muchas redes prácticas de resistores no se pueden reducir a combinaciones sencillas en serie y en paralelo.
Para calcular las corrientes en esa clase de redes se usan las técnicas desarrolladas por el físico alemán Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887).
Un **nodo** (o **unión**) en un circuito es el punto en que se unen tres o más conductores.
Una **espira** (o **malla**) es cualquier trayectoria cerrada de conducción.
En la figura *a* los puntos *a* y *b* son nodos, pero los puntos *c* y *d* no lo son; en la figura *b*, los puntos *a*, *b*, *c* y *d* son nodos, pero los puntos *e* y *f* no lo son .
Las líneas en color azul de las figuras *a* y *b* ilustran algunas espiras posibles en estos circuitos.

a)



b)



REGLAS DE KIRCHHOFF

Las reglas de Kirchhoff consisten en los dos siguientes enunciados:

Regla de Kirchhoff de los nodos: *La suma algebraica de las corrientes en cualquier nodo es igual a cero*.

$$\sum I = 0$$

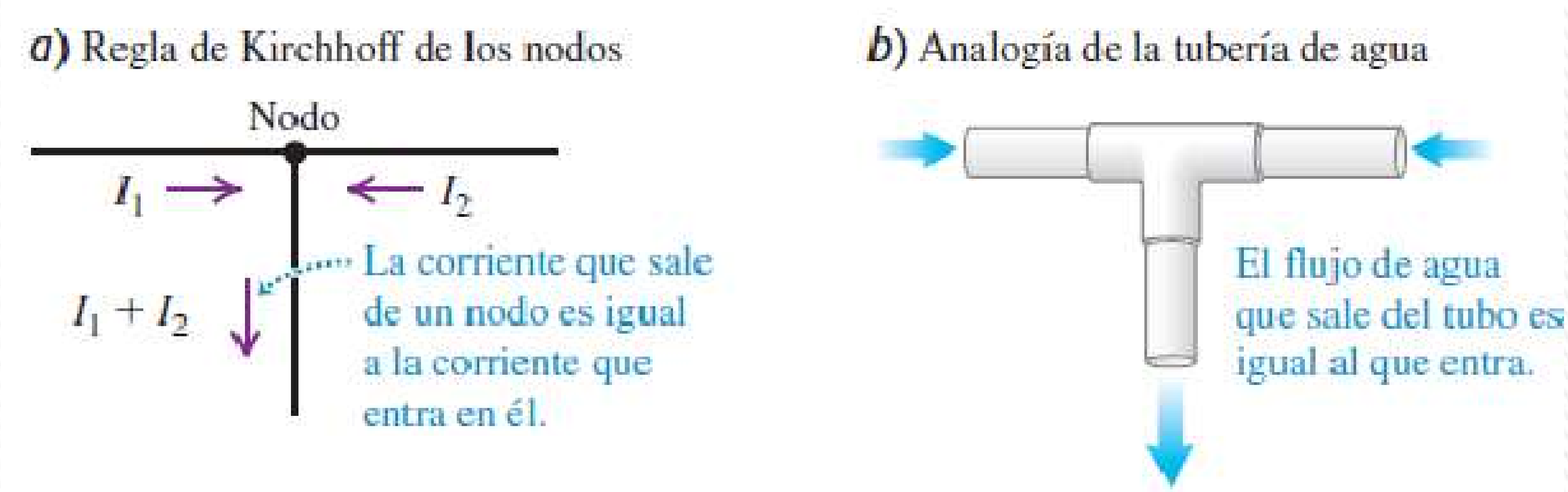
Regla de Kirchhoff de las mallas: *La suma algebraica de las diferencias de potencial en cualquier malla*, incluso las asociadas con las fem y las de elementos con resistencia, *debe ser igual a cero*.

$$\sum V = 0$$

La regla de las mallas establece que la fuerza electrostática es *conservativa*. Si recorremos una malla y medimos las diferencias de potencial entre los extremos de los elementos sucesivos del circuito, al regresar al punto de partida, debe encontrar que la *suma algebraica* de esas diferencias es igual a cero; de lo contrario, no se podría afirmar que el potencial en ese punto tiene un valor determinado.

REGLAS DE KIRCHHOFF

La **regla de los nodos** se basa en la ***conservación de la carga eléctrica***.
En un nodo no se puede acumular carga eléctrica, por lo que la carga total que entra a este por unidad de tiempo debe ser igual a la carga total que sale por unidad de tiempo (figura *a*).
La carga por unidad de tiempo es la corriente, por lo que si consideramos como positivas las corrientes que entran a un nodo y negativas las que salen, la suma algebraica de las corrientes en el nodo debe ser igual a cero.
Es como una unión T en una tubería de agua (figura *b*); si entra 1 LPM proveniente de dos tubos, no pueden salir LPM del tercer tubo.

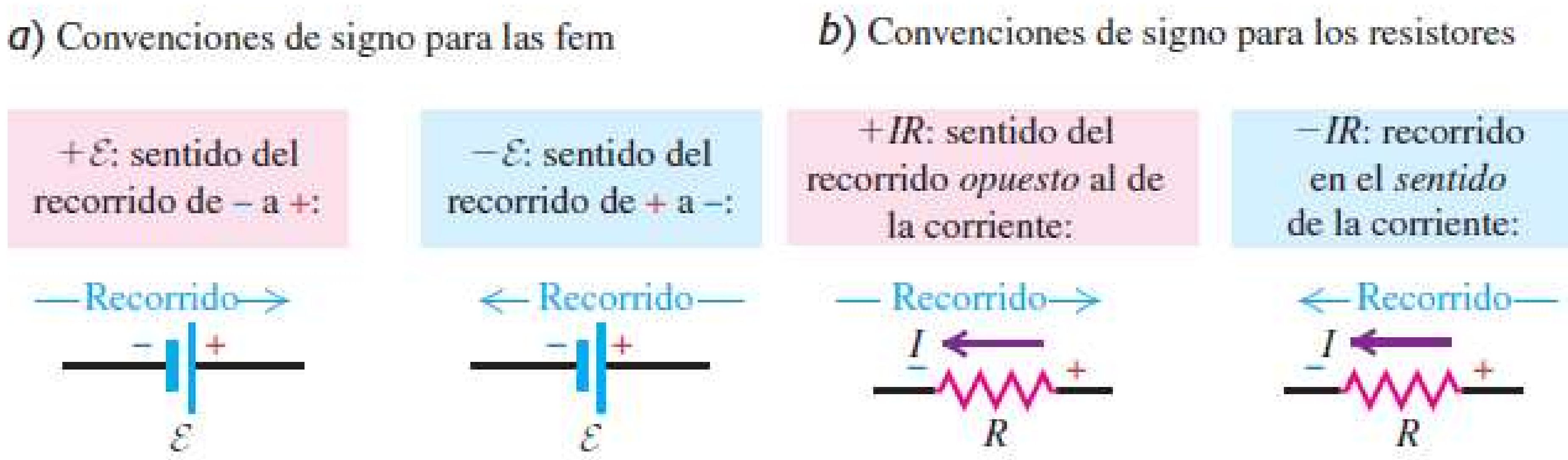


Convenciones de signo para la regla de la mallas

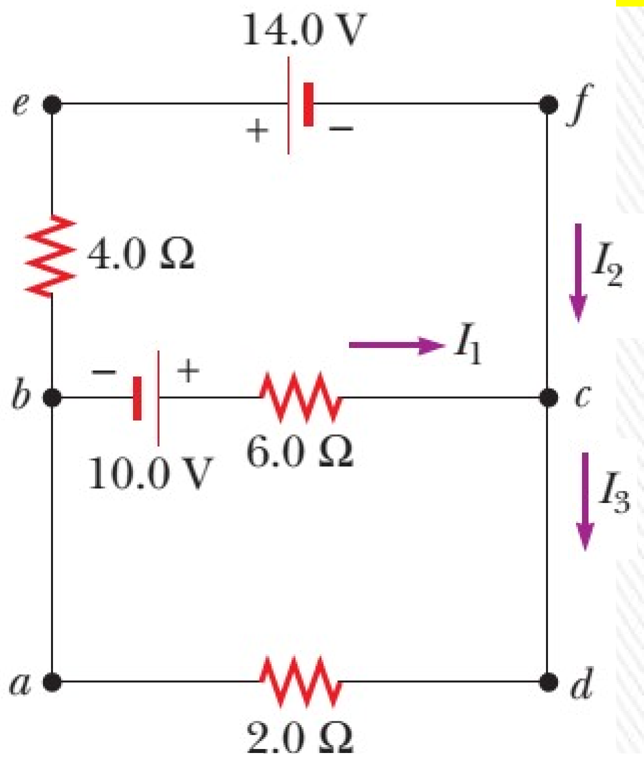
Para aplicar la regla de las mallas, se necesitan algunas convenciones de signos. Primero suponemos un sentido de la corriente en cada ramal del circuito y se indica en el diagrama correspondiente. A partir de cualquier punto del circuito, se realiza un recorrido imaginario alrededor de la espira sumando las fem y los *IR* conforme los encuentre.

Cuando se pasa a través de una fuente en la dirección de - a +, la fem se considera *positiva*; cuando se va de + a -, la fem se considera *negativa* (figura *a*).

Cuando se va a través de un resistor en el *mismo* sentido que el que se supuso para la corriente, el término *IR* es *negativo* porque la corriente avanza en el sentido del potencial decreciente. Cuando se pasa a través de un resistor en el sentido que se supuso *opuesto* a la corriente, el término *IR* es *positivo* porque representa un aumento de potencial (figura *b*).



LEYES DE KIRCHHOFF - Ejemplo



Encuentre las corrientes que circulan por c/u de las resistencia.

1era. Ley: 1) $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

abcda: 2) $10.0\ \text{V} - (6.0\ \Omega)I_1 - (2.0\ \Omega)I_3 = 0$

befcb: $-(4.0\ \Omega)I_2 - 14.0\ \text{V} + (6.0\ \Omega)I_1 - 10.0\ \text{V} = 0$

3) $-24.0\ \text{V} + (6.0\ \Omega)I_1 - (4.0\ \Omega)I_2 = 0$

De la 1era. Ley: $I_3 = I_1 + I_2$ y sustituyendo en 2)

$10.0\ \text{V} - (6.0\ \Omega)I_1 - (2.0\ \Omega)(I_1 + I_2) = 0$

4) $10.0\ \text{V} - (8.0\ \Omega)I_1 - (2.0\ \Omega)I_2 = 0$

ec. 3) ×3: 5) $-96.0\ \text{V} + (24.0\ \Omega)I_1 - (16.0\ \Omega)I_2 = 0$

ec. 4) ×3: 6) $30.0\ \text{V} - (24.0\ \Omega)I_1 - (6.0\ \Omega)I_2 = 0$

ec. 5) + 6): $-66.0\ \text{V} - (22.0\ \Omega)I_2 = 0$

$I_2 = \boxed{-3.0\ \text{A}}$

$-24.0\ \text{V} + (6.0\ \Omega)I_1 - (4.0\ \Omega)(-3.0\ \text{A}) = 0$

$-24.0\ \text{V} + (6.0\ \Omega)I_1 + 12.0\ \text{V} = 0$

$I_1 = \boxed{2.0\ \text{A}}$

$I_3 = I_1 + I_2 = 2.0\ \text{A} - 3.0\ \text{A} = \boxed{-1.0\ \text{A}}$

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN ELÉCTRICA

GALVANÓMETRO

Este amperímetro (arriba) y el voltímetro (abajo) son galvanómetros de d'Arsonval. La diferencia tiene que ver con sus conexiones internas

El **galvanómetro** es el componente principal en los medidores analógicos para medir la corriente y el voltaje. Un tipo común, el ***galvanómetro D'Arsonval.***

Muchos medidores analógicos siguen en uso a pesar de que en la actualidad los medidores digitales, que funcionan según un principio diferente, son los que tienen un amplio uso.) Un tipo común, el ***galvanómetro D'Arsonval,*** está constituido por una bobina de alambre montada de tal manera que puede girar libremente alrededor de un eje en un campo magnético producido por un imán permanente. En consecuencia, la deflexión de una aguja unida a la bobina es proporcional a la corriente en el galvanómetro, como veremos más adelante.

GALVANÓMETRO D’ARSONVAL

Consiste en una bobina de alambre suspendida en las proximidades de un imán permanente, que puede girar alrededor de un eje.

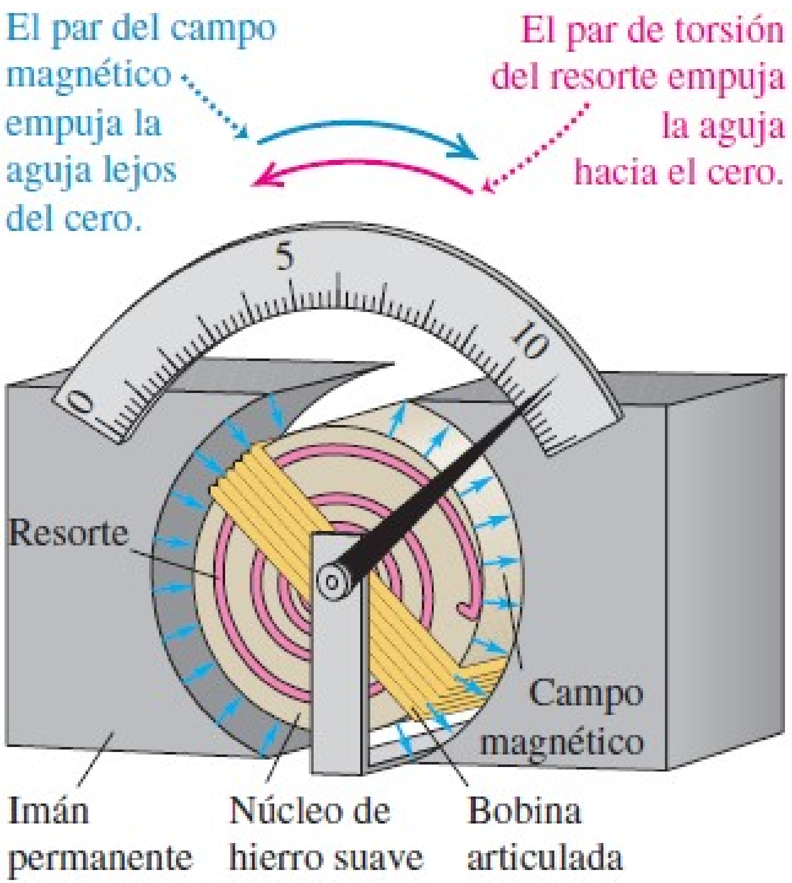
La bobina está unida a un resorte de torsión que se opone al movimiento de rotación.

Cuando pasa una corriente por la bobina, la fuerza magnética sobre las cargas en movimiento hace que la bobina gire un ángulo proporcional a la intensidad de corriente.

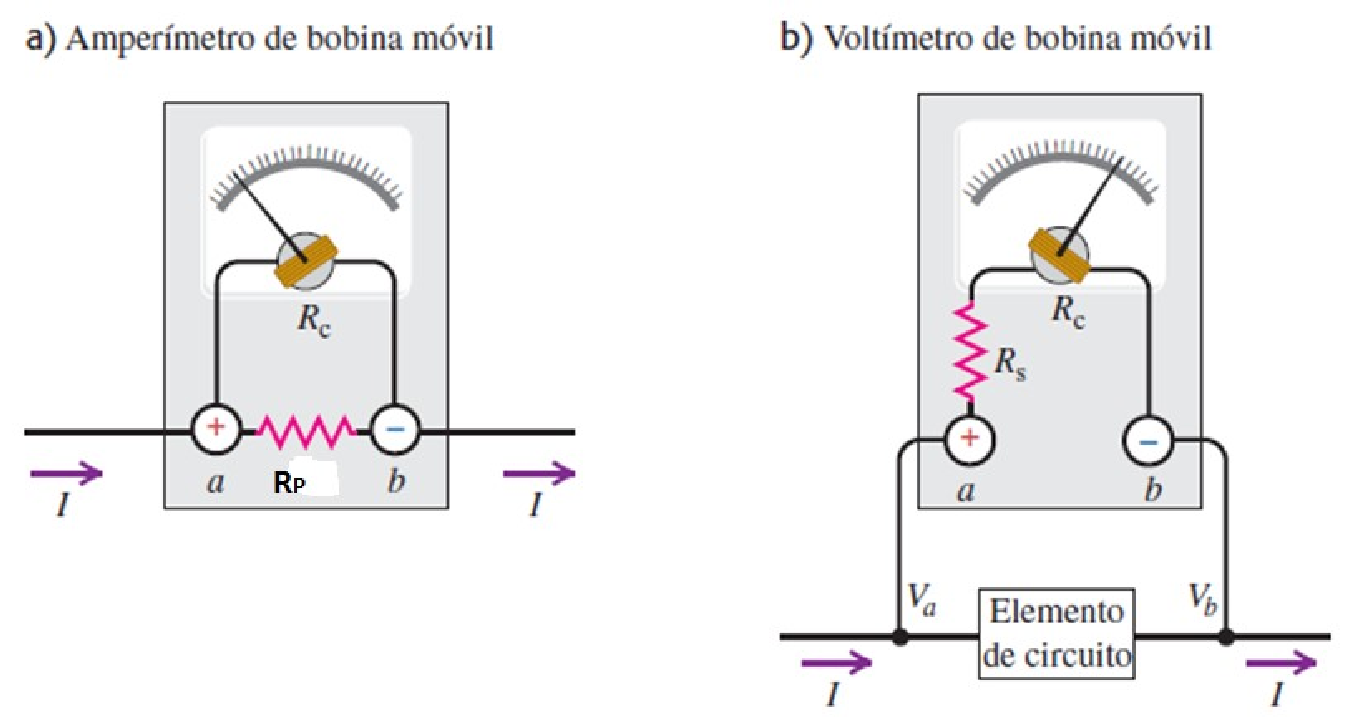
Valores típicos: unos pocos miliamaperios hacen que la bobina gire completamente y su resistencia es del orden de 10 a 100 Ω.

Una vez que el instrumento está calibrado apropiadamente, puede utilizarse junto con otros elementos del circuito para medir ya sea corrientes o diferencias de potencial.

26.14 Galvanómetro de d’Arsonval con una bobina de pivote o articulada a la que está adherida una aguja; un imán permanente suministra un campo magnético de magnitud uniforme, y el resorte proporciona un par de torsión restaurador que se opone al par de torsión del campo magnético.



INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN ELÉCTRICA

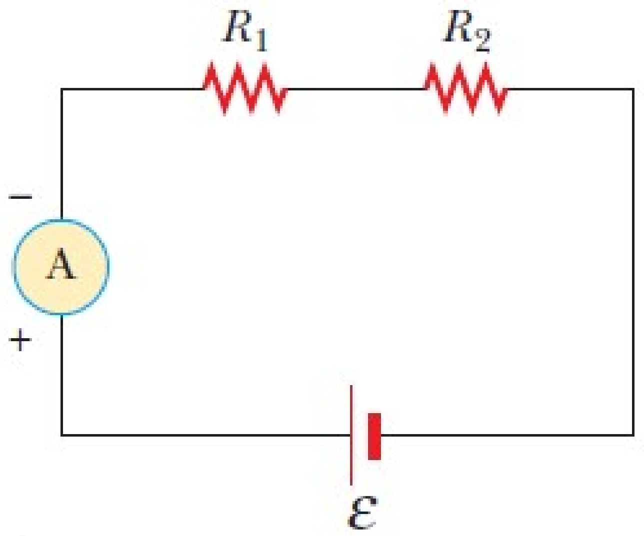


Uso del mismo medidor para medir
a) corriente y
b) voltaje.

Un medidor (galvanómetro de D'Arsonval) puede adaptarse para medir corrientes mayores que su lectura de escala completa si se conecta a él un resistor en paralelo (figura a) que desvíe parte de la corriente de la bobina del medidor.
El resistor en paralelo se llama **resistor de derivación o simplemente *derivación, y se denota como R_P ó r.***
También puede usarse como **voltímetro**.
Si se conecta un resistor R_s *en serie con la* bobina (figura b). Entonces, sólo una fracción de la diferencia de potencial total parece cruzar la bobina, y el resto parece atravesar R_s.

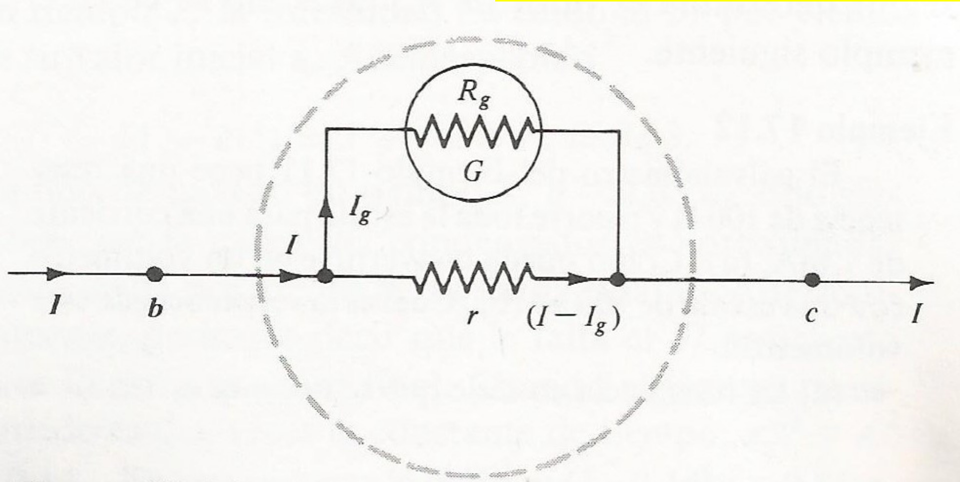
AMPERÍMETRO

Es un instrumento que mide la corriente. Las cargas que constituyen la corriente a medir deben pasar directamente a través del **amperímetro, por lo que éste debe estar conectado en serie con los otros elementos del circuito.**
De manera ideal, **un amperímetro debe tener una resistencia cero para que la corriente a medir no sea alterada.**



En el circuito que se muestra en la figura, esta condición requiere que la resistencia del amperímetro sea mucho menor que $R_1 + R_2$.
Porque cualquier amperímetro siempre tiene algo de resistencia interna, **su presencia en un circuito hace que la corriente sea ligeramente menor a la que tendría en ausencia del medidor**.
Los amperímetros reales siempre tienen una resistencia finita, pero es deseable que sea tan pequeña como sea posible.

AMPERÍMETRO



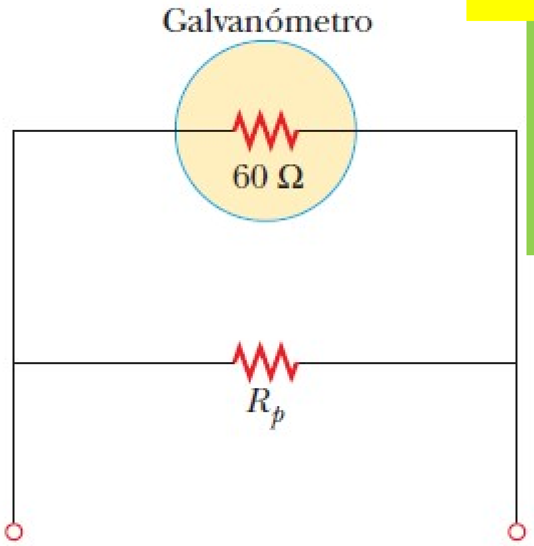
Para construir un amperímetro se conecta una pequeña resistencia *r* (R_p) en paralelo con la bobina de un galvanómetro.

Si por el circuito pasa una intensidad *I*, sólo una pequeña parte de ésta, I_g, pasa a través de la resistencia relativamente alta de la bobina del galvanómetro.
La intensidad restante $I\text{-}I_g$, pasa a través de *r*.
Como la caída de potencial a través del galvanómetro y a través de la resistencia en paralelo debe ser la misma se tiene que: $I_g.R_g=(I-I_g).\ r$

El valor de *r* se determina según la gama de intensidades que se pretenda medir con el amperímetro.

$$I_G = \frac{r}{r + R_G} I \qquad r = \frac{I_G}{I - I_G} R_G$$

AMPERÍMETRO



Aquí se representa un galvanómetro mediante su resistencia interna de 60 Ω. Cuando un galvanómetro se utiliza como amperímetro, se conecta un resistor de desviación R_p *(r) en paralelo* con el galvanómetro.

Un galvanómetro común (sin la resistencia en paralelo) representativo no es adecuado para utilizarse como un amperímetro, principalmente porque tiene una resistencia de alrededor de 60 Ω. Una resistencia de amperímetro de esa magnitud modifica de manera considerable la corriente en un circuito.

Ejemplo 1: la corriente en un circuito en serie sencillo que contiene una batería de 3,0 V y un resistor de 3,0 Ω es de 1,0 A.
Si inserta un galvanómetro de 60 Ω en este circuito con la finalidad de medir la corriente, ¡la resistencia total se convierte en 63 Ω y la corriente se reduce a 0,048 A!

Ejemplo 2: Un galvanómetro con una resistencia de 100 Ω recorre toda la escala para una corriente de 1,00 mA.
¿Qué resistencia en paralelo se necesita para convertirlo en un amperímetro con una escala de 20,0 A? y, ¿cuál es la resistencia del amperímetro?

$$r = \frac{I_G}{I - I_G} R_G = \frac{0{,}00100}{20{,}0 - 0{,}00100} 100 = 5{,}00 \times 10^{-3}\Omega$$

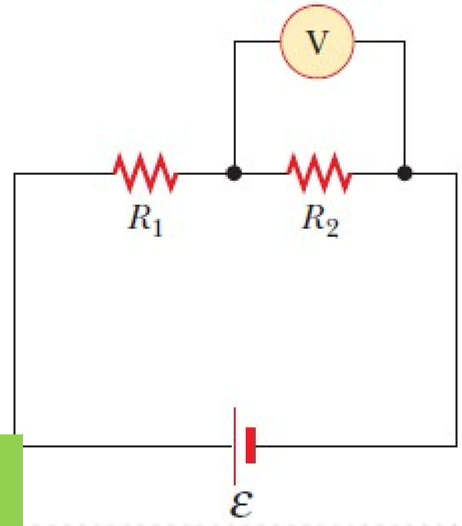
$$R_{EQ} = \frac{r.R_G}{r + R_G} = \frac{0{,}005 \times 100}{0{,}005 + 100} = 0{,}005\ \Omega$$

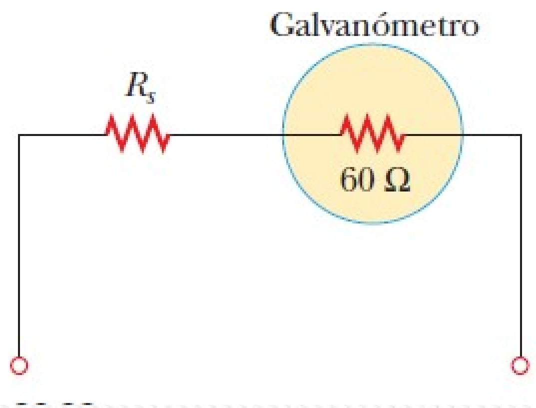
VOLTÍMETRO

Al aparato que mide la diferencia de potencial se le llama **voltímetro.**

La diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera en un circuito se mide al unir las terminales del voltímetro entre estos puntos sin abrir el circuito, como se muestra en la figura.

La diferencia de potencial aplicada al resistor R_2 ***se mide al conectar el voltímetro en paralel****o* con R_2.





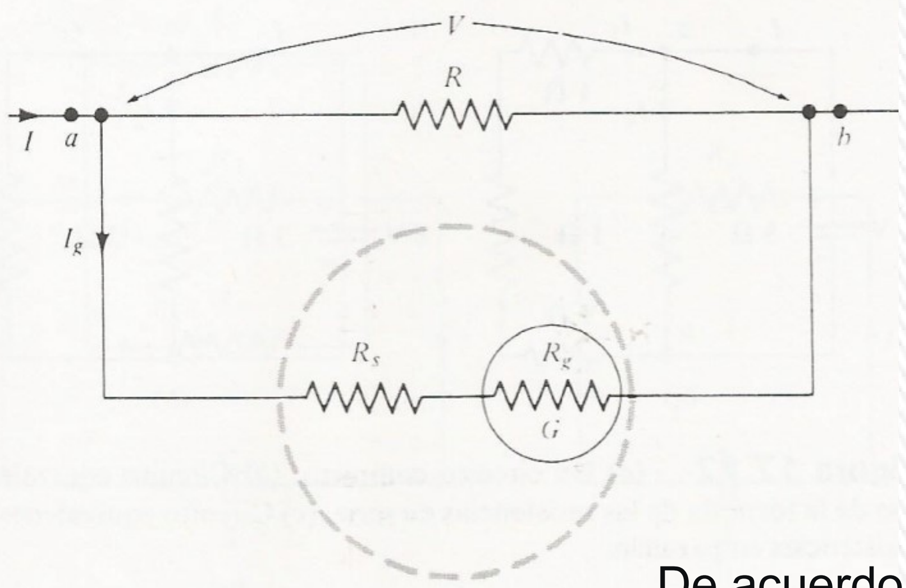
Un **voltímetro ideal tiene una resistencia infinita.**

Un voltímetro ideal tiene una resistencia infinita, así que no existe corriente en él. En la figura, este estado requiere que el voltímetro tenga una resistencia mucho mayor a R_2.

En la práctica, si no se cumple esta condición, deberán hacerse correcciones en función de la resistencia del voltímetro.

Un galvanómetro puede utilizarse como voltímetro al añadir un resistor externo R_s *en* serie, como se muestra en la figura de la derecha. En este caso, el resistor externo deberá tener un valor mucho mayor que la resistencia del galvanómetro para asegurar que el galvanómetro no afecta de manera significativa el voltaje que está siendo medido.

VOLTÍMETRO



Para construir un voltímetro, se conecta en serie con la bobina del galvanómetro una resistencia elevada R_s.

La diferencia de potencial V a través del voltímetro es: $V=I_g.(R_g+R_s)$

de modo que

$$R_S = \frac{V}{I_G} - R_G$$

De acuerdo al intervalo de medida que se pretende medir, se determina el valor de R_s.

Ejemplo: Un galvanómetro tiene una resistencia de 100 Ω y recorre toda la escala para una corriente de 1,00 mA.

¿Cómo puede convertirse en un voltímetro con una escala de 100 V? y ¿cuál es la resistencia de este voltímetro?

$$R_S = \frac{V}{I_G} - R_G = \frac{100}{0{,}00100} - 100 = 99.900\Omega$$

$$R_V = R_S + R_G = 99.900 + 100 = 100\ K\Omega$$