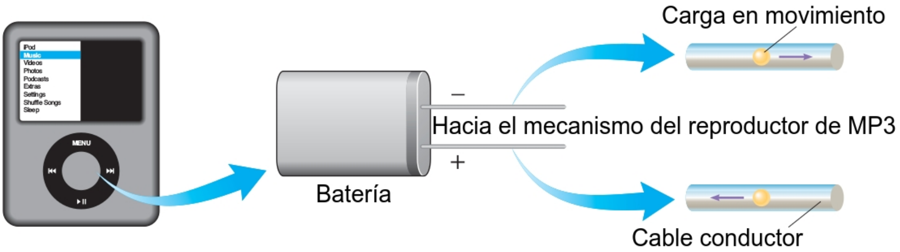
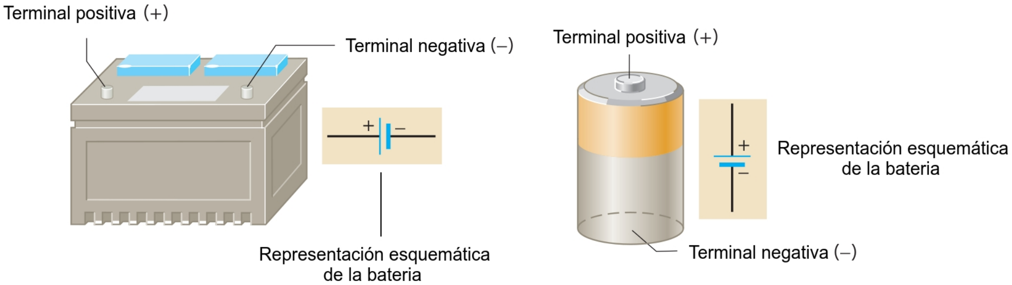
Corriente eléctrica y circuitos

Hasta aquí hemos estudiado la interacción entre cargas estáticas . Ahora estudiaremos el comportamiento de las cargas en movimiento. Para entender dicho comportamiento analicemos esquemáticamente el funcionamiento de los dispositivos electrónicos



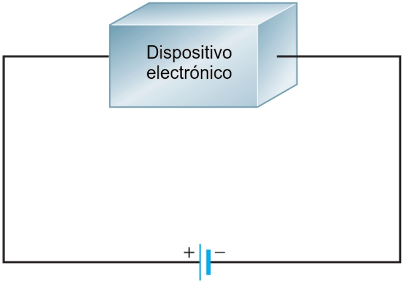
Un dispositivo eléctrico consta de una fuente de energía y dispositivos que la consumen, conectados por cables a través de los cuales se mueven las cargas

La función de la fuente de energía es producir una diferencia de potencial (voltaje), la cual puede provocar un movimiento de cargas.



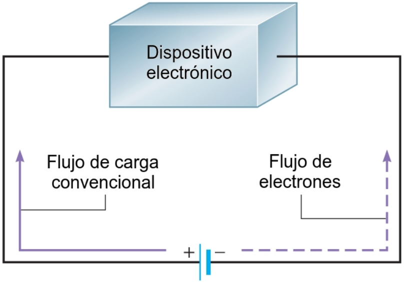
En una batería, ocurre una reacción química que genera una diferencia de potencial entre una terminal y la otra. La máxima diferencia de potencial entre las terminales recibe el nombre de **fuerza electromotriz** (fem)

Cuando se forma una trayectoria de conducción entre las terminales de una batería, tenemos un **circuito eléctrico**



El dispositivo electrónico que se conecta a la batería puede ser una bombilla eléctrica, un calentador, un radio o algún otro. Cuando se forma un circuito de esta manera, la carga eléctrica puede fluir a través de los cables del circuito desde una terminal de la batería hasta la otra terminal, siempre y cuando el camino de conducción sea continuo.

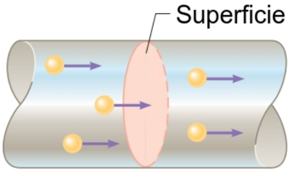
Históricamente se creía que el flujo de cargas era producido por el movimiento de las cargas positivas, y por ello se adoptó como sentido del flujo el contrario al que en realidad llevan los electrones. Esta convención sigue manteniéndose en nuestros días



Para cuantificar la cantidad de carga en movimiento definimos la corriente eléctrica

Corriente eléctrica es la cantidad de carga por unidad de tiempo que pasa a través de una superficie que es perpendicular al movimiento de las cargas

$$\boxed{I = \frac{\Delta q}{\Delta t}}$$



Unidades en el S.I. coulomb / segundo = ampere (A)

La corriente de una batería de 3.0 V de una calculadora es 0.17 mA. En una hora de funcionamiento

(a) ¿Cuánta carga fluye por el circuito?
(b) ¿A cuántos electrones equivale esta cantidad de carga?

- a)

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \longrightarrow \Delta q = I\,\Delta t$$

$$\Delta q = (0.17 \times 10^{-3}\, C/s)(3600 s) = \boxed{0.61\, C}$$

- b) La carga de un electrón es de $1.60 \times 10^{-19}\, C$

$$n^{\circ}_{e} = \frac{0.61\, C}{1.60 \times 10^{-19}\, C} = \boxed{3.81 \times 10^{18} \textit{electrones}}$$

Para producir una corriente en un cable es necesario establecer una diferencia de potencial entre sus extremos. Experimentalmente se encuentra que la magnitud de dicha corriente es proporcional a la diferencia de potencial entre sus extremos ($I \propto V$)

Llamamos **resistencia** (resistencia eléctrica R) a la constante de proporcionalidad entre estas dos magnitudes

$$V = R\,I \longrightarrow \boxed{R = \frac{V}{I}}$$

La resistencia se define como la relación entre el voltaje aplicado a través de una pieza de material y la corriente a través de dicho material.

Esta magnitud nos da información de la resistencia que ofrece un material al flujo de los electrones

Unidades en el S.I volt/ampere =ohm (Ω)

Ley de Ohm

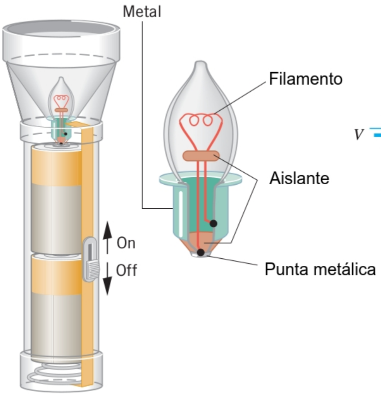
Georg Simon Ohm (1787-1854) encontró experimentalmente que para ciertos materiales la relación V/I es una constante:

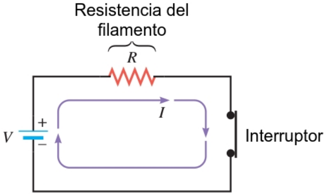
Material ohmico   Material no ohmico

se dice que dichos materiales obedecen la denominada Ley de Ohm

$$\frac{V}{I} = R = cte \quad \text{o simplemente} \quad \boxed{V = I\,R \longleftarrow \textbf{Ley de Ohm}}$$

El filamento de la lamparita de una linterna es un resistor compuesto por un alambre delgado. A causa de la corriente, el alambre se calienta lo suficiente hasta emitir luz. La linterna usa dos pilas de 1.5 V que proveen una corriente 0.40 A en el filamento. Determinar la resistencia en el filamento





$$R = \frac{V}{I} = \frac{3\,V}{0.4\,A} = \boxed{75\,\Omega}$$

La **resistencia** varía según el material, la temperatura y la forma del mismos. Para un amplio rango de materiales, la resistencia de una pieza de material de longitud L y sección de área A viene dada por:

Material	Resistividad[a] ($\Omega \cdot m$)
Plata	1.59×10^{-8}
Cobre	1.7×10^{-8}
Oro	2.44×10^{-8}
Aluminio	2.82×10^{-8}
Tungsteno	5.6×10^{-8}
Hierro	10×10^{-8}
Platino	11×10^{-8}
Plomo	22×10^{-8}
Aleación nicromo[c]	1.50×10^{-6}
Carbono	3.5×10^{-5}
Germanio	0.46
Silicio	2.3×10^{3}
Vidrio	10^{10} a 10^{14}
Hule vulcanizado	$\sim 10^{13}$
Azufre	10^{15}
Cuarzo (fundido)	75×10^{16}

[a] Todos los valores están a 20°C.

$$\boxed{R = \rho \frac{L}{A}}$$

donde ρ es el coeficiente de **resistividad** el cual es propio de cada material y tiene unidades de Ohm por metro en el S.I

A su vez la resistividad de los materiales varía con la temperatura. Para un amplio rango de materiales, la dependencia de la resistividad con la temperatura puede expresarse como

Material	Resistividad[a] ($\Omega\cdot$m)	Coeficiente de temperatura $\alpha[(°C)^{-1}]$
Plata	1.59×10^{-8}	3.8×10^{-3}
Cobre	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Oro	2.44×10^{-8}	3.4×10^{-3}
Aluminio	2.82×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Tungsteno	5.6×10^{-8}	4.5×10^{-3}
Hierro	10×10^{-8}	5.0×10^{-3}
Platino	11×10^{-8}	3.92×10^{-3}
Plomo	22×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Aleación nicromo[c]	1.50×10^{-6}	0.4×10^{-3}
Carbono	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-3}
Germanio	0.46	-48×10^{-3}
Silicio	2.3×10^{3}	-75×10^{-3}
Vidrio	10^{10} a 10^{14}	
Hule vulcanizado	$\sim 10^{13}$	
Azufre	10^{15}	
Cuarzo (fundido)	75×10^{16}	

[a] Todos los valores están a 20°C.

$$\boxed{\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]}$$

donde ρ_0 y T_0 son los valores conocidos de resistividad y temperatura, mientras que α es el denominado <u>coeficiente de temperatura</u>.

Podemos expresar la ecuación anterior directamente en términos de la resistencia

$$\boxed{R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]}$$

Anteriormente definimos la potencia como el trabajo por unidad de tiempo. Podemos utilizar dicha definición para analizar la energía ganada por una cantidad de carga Δq a partir de una fuente de voltaje en un intervalo de tiempo.

Teniendo en cuenta que el potencial es el trabajo por unidad de carga, definimos la potencia eléctrica como

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\Delta q\, V}{\Delta t} = IV \longrightarrow \boxed{P = V\, I}$$

Unidades S.I. watt (W)

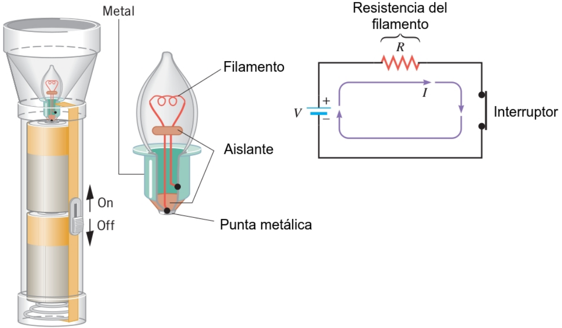
En ciertas ocasiones es conveniente expresar la potencia en términos de la resistencia, por lo que se tienen estas dos ecuaciones equivalentes a la anterior

$$P = V\, I = (I\, R)\, I \Longrightarrow \boxed{P = I^2 R}$$

$$P = V\, I = V(\frac{V}{R}) \Longrightarrow \boxed{P = \frac{V^2}{R}}$$

En la linterna, la corriente es 0.40 A y el voltaje es 3.0 V. Encontrar:

(a) La potencia entregada a la lamparita
(b) La energía disipada en la lamparita durante 5.5 minutos de operación.



- a)

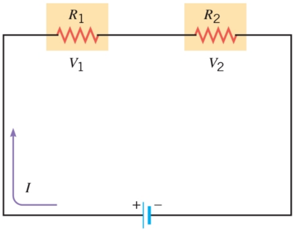
$$P = V\,I = (0.4\,A)(3\,V) = \boxed{1.2\,W}$$

- b)

$$E = P\,\Delta t = (1.2\,W)(330\,s) = \boxed{396\,J}$$

Anteriormente hemos analizado el comportamiento individual de las resistencias. En un cirucuito eléctrico es normal que nos encontremos con varias de ellas y conectadas entre si de diversas formas.

Una forma de conectar las resistencias entre si, es **en serie**. En esta disposición la corriente que circula por cada una de ellas es la misma



En la conexión en serie, el voltaje V de la batería se divide en las dos resistencias, de forma tal que

$$V = V_1 + V_2$$

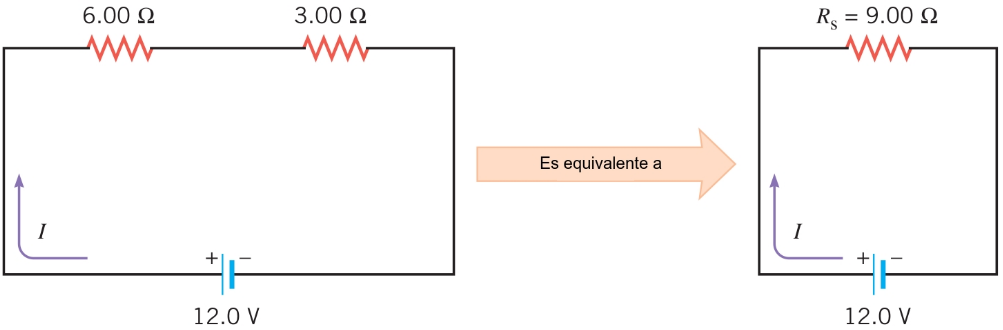
teniendo en cuenta que $V = IR$, y que la corriente que circula por ambas resistencias es la misma

$$V = V_1 + V_2 = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2) = IR_s$$

donde R_s es la denominada resistencia equivalente del circuito en serie

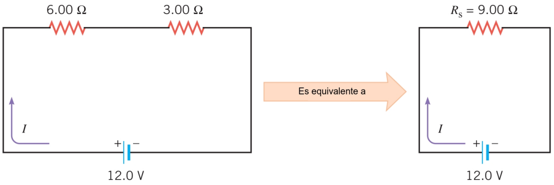
Por lo tanto las resistencias conectadas en serie se suman, y la resistencia equivalente en serie (R_s) para un circuito de N resistencias podemos expresarla como

$$\boxed{R_s = R_1 + R_2 + \ldots + R_N}$$



Un resistor de 6.00 Ω y otro de 3.00 Ω resistor están conectados en serie con una batería (fuente) de 12.0 V. Asumiendo que la batería no contribuye con resistencia al circuito, encontrar:

(a) La corriente,
(b) La potencia disipada en cada resistor
(c) La energía total suministrada a los resistores por la batería



- a) La R_s del circuito viene dada por

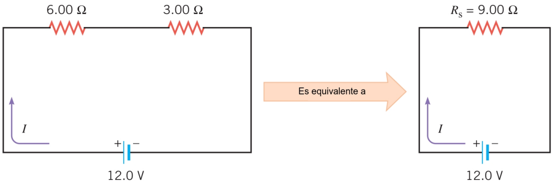
$$R_s = 6\Omega + 3\Omega = 9\Omega$$

ahora podemos hallar la corriente

$$I = \frac{V}{R_s} = \frac{12\,V}{9\Omega} = \boxed{1.33\,A}$$

Un resistor de 6.00 Ω y otro de 3.00 Ω resistor están conectados en serie con una batería (fuente) de 12.0 V. Asumiendo que la batería no contribuye con resistencia al circuito, encontrar:

(a) La corriente,
(b) La potencia disipada en cada resistor
(c) La potencia total suministrada a los resistores por la batería



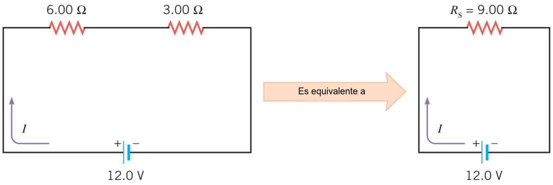
- b) La potencia disipada en cada resistor viene dada por

$$P_1 = I^2 R_1 = (1.33A)^2 (6\Omega) = \boxed{10.6W}$$

$$P_2 = I^2 R_2 = (1.33A)^2 (3\Omega) = \boxed{5.31\,W}$$

Un resistor de 6.00 Ω y otro de 3.00 Ω resistor están conectados en serie con una batería (fuente) de 12.0 V. Asumiendo que la batería no contribuye con resistencia al circuito, encontrar:

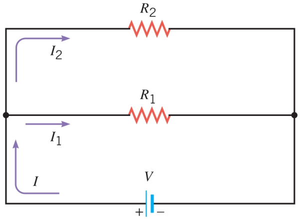
(a) La corriente,
(b) La potencia disipada en cada resistor
(c) La potencia total suministrada a los resistores por la batería

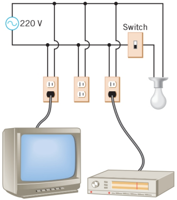


- c) La potencia total suministrada viene dada por

$$P_T = P_1 + P_2 = \boxed{15.91W}$$

Otra forma de conectar las resistencias entre si, es **en paralelo**. En esta disposición el voltaje aplicado a cada una de ellas es el mismo





En la conexión en paralelo, la corriente I proveniente de la batería se divide en los distintos caminos tal que

$$I = I_1 + I_2$$

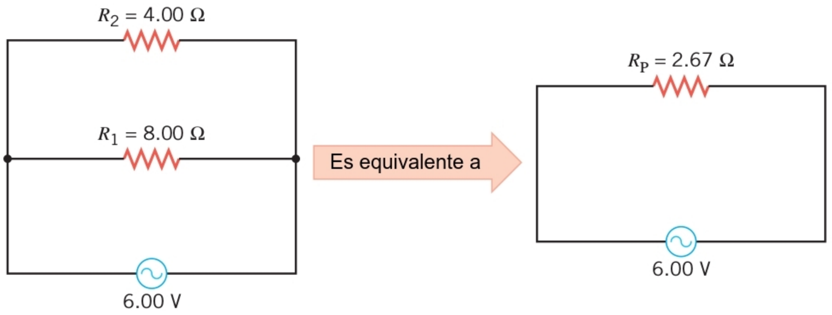
teniendo en cuenta que $V = IR$, y que el voltaje aplicado sobre ambas resistencias es el mismo

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = V\left(\frac{1}{R_p}\right)$$

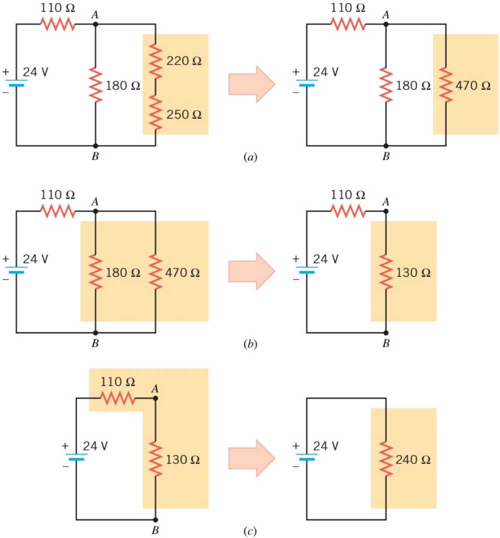
donde R_p es la denominada resistencia equivalente del circuito en paralelo

Por lo tanto, la resistencia equivalente en paralelo (R_p) para un circuito de N resistencias podemos expresarla como

$$\boxed{\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_N}}$$



Circuito conectado parcialmente en serie y parcialmente en paralelo



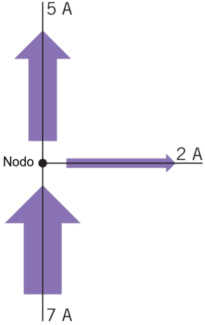
Hasta aquí hemos determinado todas las variables de un circuito mediante la combinación de la ley de Ohm y la suma de resistencias en serie y paralelo. Sin embargo, algunos circuitos resultan demasiado complejos para resolverlo mediante este análisis

El procedimiento para analizar un circuito más complejo se simplifica enormemente al utilizar dos sencillas reglas o leyes enunciadas por el físico prusiano G. R. Kirchhoff (1824-1887), las cuales se basan en aplicaciones convenientes de las siguientes leyes

- Ley de conservación de la carga
- Ley de conservación de la energía

La 1ra ley de Kirchhoff o ley de nodos, se basa en la conservación de la carga eléctrica y establece que:

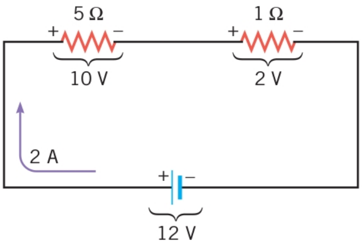
Ley de nodos: La suma de las corrientes que llegan a un nodo debe ser igual a la suma de las corrientes que salen



$$\sum I_{\text{entrantes}} + \sum I_{\text{salientes}} = 0$$

La 2da ley de Kirchhoff o ley de mallas, se basa en la conservación de la energía y establece que:

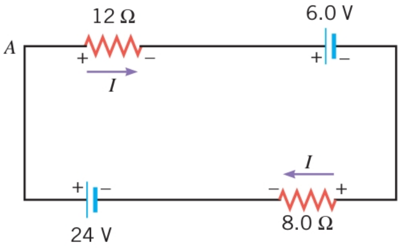
Ley de mallas: La suma algebraica de todos los cambios de potencial en torno a cualquier trayectoria cerrada de un circuito debe ser igual a cero



$$\sum V_{\text{subidas}} + \sum V_{\text{caidas}} = 0$$

$$12\,V - 10\,V - 2\,V = 0$$

Determinar la corriente I en el circuito



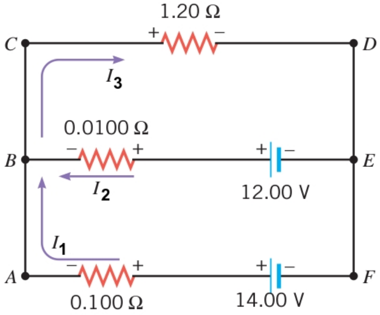
Por la ley de mallas se tiene

$$\sum V_{\text{subidas}} + \sum V_{\text{caidas}} = 0$$

$$24\,V - I(12\,\Omega) - 6\,V - I(8\,\Omega) = 0$$

$$\boxed{I = 0.9\,A}$$

Determinar la corrientes I_1, I_2 y I_3 en el circuito



- Por la ley de nodos se tiene

$$\sum I_{\text{entrantes}} + \sum I_{\text{salientes}} = 0$$

$$\boxed{I_1 + I_2 = I_3}$$

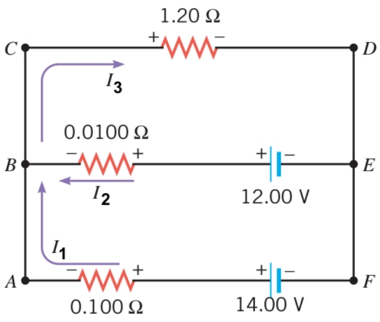
- Por la ley de mallas se tiene

$$\sum V_{\text{subidas}} + \sum V_{\text{caidas}} = 0$$

$$\boxed{14V - I_1(0.1\,\Omega) + I_2(0.01\,\Omega) - 12V = 0 \text{ (FABE)}}$$

$$\boxed{12V - I_2(0.01\,\Omega) - I_3(1.2\,\Omega) = 0 \text{ (EBCD)}}$$

Determinar la corrientes I_1, I_2 y I_3 en el circuito



- Combinando las 3 ecuaciones recuadradas obtenemos

$$\boxed{I_1 = 19\ A}$$

$$\boxed{I_2 = -9\ A}$$

$$\boxed{I_3 = 10\ A}$$

por lo tanto el verdadero sentido de I_2 es contrario al inicialmente asumido

1. Dibujar la corriente en cada rama del circuito. Elegir cualquier dirección. Si su elección es incorrecta, el valor de corriente obtenido en los cálculos posteriores será un número negativo
2. Marcar cada resistor con un $+$ en un extremo y un $-$ en el otro, de modo que sea consistente con la elección de la corriente en el paso 1. Fuera de la batería (o fuente) la corriente convencional siempre se dirige desde un mayor potencial (extremo señalado con $+$) hacia un menor potencial (extremo señalado con -)
3. Aplicar las dos reglas de Kirchhoff obteniendo tantas ecuaciones independientes como número de incógnitas
4. Resolver el sistema de ecuaciones