



### Para iniciar, reflexiona

¿Te has imaginado cómo vivían nuestros antepasados cuando no había luz eléctrica en las casas? ¿Cómo fue su calidad de vida? ¿Qué avances se dieron con el descubrimiento de la energía eléctrica en el campo de la industria, la medicina, los medios de comunicación y la educación, entre otros?



### Aprende más

## Antecedentes históricos de la electricidad

La historia de la electricidad se considera que inicia con el filósofo Tales de Mileto (640-546 aC), quien describió por primera vez el fenómeno de la atracción mediante observar que al frotar el ámbar (resina seca de algunos árboles) con una piel de animal adquiría la propiedad de atraer pequeños trozos de hojas secas, insectos, etc.



Experimento de Tales de Mileto.

Después de 2200 años, William Gilbert (1544-1603) comenzó a estudiar los fenómenos eléctricos y fue el primero en emplear las palabras electricidad y magnetismo. Escribió el tratado de *De Magnete* en el cual presentó todos los experimentos sobre electrostática y magnetismo; utilizó diferentes materiales y observó que gran variedad de ellos atraían cuerpos ligeros cuando eran frotados, a los que llamó eléctricos. También descubrió que al ser calentados estos cuerpos perdían sus propiedades.



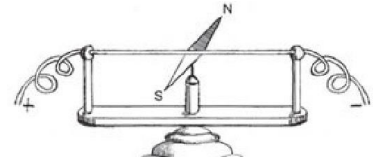
Experimento de Benjamín Franklin.

Después de escuchar una conferencia, a los 40 años, Benjamín Franklin (1706-1790), empezó a interesarse en la electricidad (1746), fue el primer científico que utilizó los términos *positivo* y *negativo* para los diferentes tipos de cargas eléctricas y realizó infinidad de experimentos. Su mayor contribución fue formular la *teoría de los efectos únicos*, de acuerdo con esa teoría la carga eléctrica no se crea ni se destruye.

Benjamín Franklin desarrolló el principio del *pararrayos* utilizando un cometa con una cola de seda de la que colgó una llave de metal.

La primera investigación cuantitativa de las fuerzas entre cargas eléctricas en reposo la realizó en 1785 Charles Coulomb, quien estableció experimentalmente la ley fundamental de la fuerza eléctrica entre dos partículas cargadas estacionarias.

Hans Christian Oersted (1777-1851) descubrió la acción magnética de las corrientes eléctricas; es decir, cerca de un conductor eléctrico se producía un campo magnético capaz de interactuar con otros campos como el de una brújula. Oersted dio a conocer sus descubrimientos en 1819.

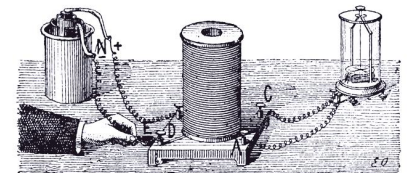


Experimento de Hans Christian Oersted.

André Marie Ampère (1775-1836) realizó una serie de experimentos e investigaciones teóricas que le llevaron a la formulación de una de las leyes más importantes del electromagnetismo, la cual se conoce hoy como *ley de Ampère*. Esta ley permite entre otras cosas, predecir con mucha exactitud las características del campo magnético generado por cualquier conductor por el que circula una corriente que presenta un importante grado de simetría. También descubrió las leyes de acciones mutuas entre corrientes. Dichas leyes constituyen los fundamentos del funcionamiento de las modernas máquinas y de los instrumentos de medidas eléctricas.

George Ohm (1789-1853) estableció la *ley fundamental de las corrientes eléctricas*, al encontrar la existencia de una relación entre la resistencia de un conductor, la diferencia de potencial y la intensidad de corriente eléctrica.

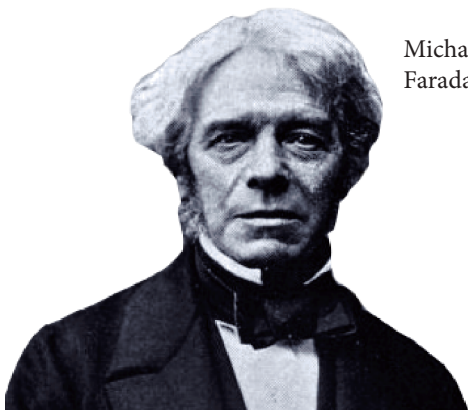
Michael Faraday (1791-1867) descubrió la *inducción electromagnética*, al usar un *imán* para generar una corriente eléctrica al desplazarlo dentro de un conductor plano de hierro.



Experimento de Faraday en el que prueba la inducción electromagnética

James Joule (1818-1889) estudió los fenómenos producidos por la corriente eléctrica y el calor desprendido en los circuitos eléctricos. James Joule encontró que la cantidad de calor originado por una corriente eléctrica, al circular a través de un conductor, es directamente proporcional a la resistencia. Otros investigadores han contribuido al desarrollo de la electricidad como son Heinrich Lenz, quien enunció la *ley relativa al sentido de corriente inducida*.

James Clerk Maxwell fue quien propuso la teoría electromagnética de luz y las ecuaciones generales del campo electromagnético.



Michael Faraday

Nikola Tesla fue el inventor del *motor asincrónico* y de la *corriente polifásica*.

Joseph Thomson investigó la estructura de la materia y descubrió el *electrón*.



Aprende más

## Conceptos básicos de la electricidad

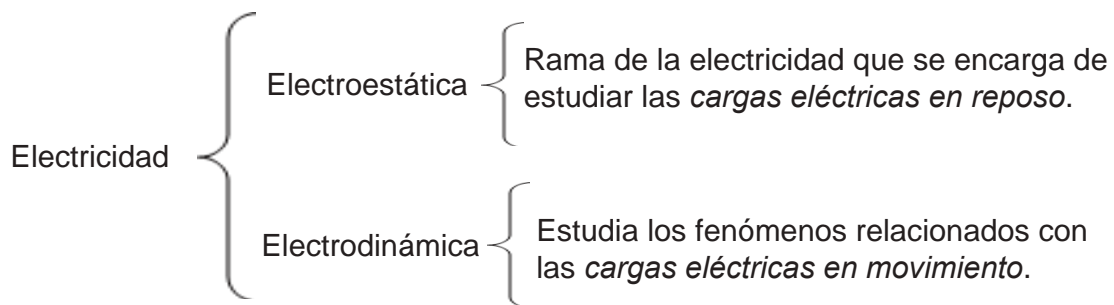
La palabra *electricidad* se deriva de la raíz griega *elektron*, que significa ámbar.

La *electricidad* se define como un fenómeno físico que se origina del movimiento de partículas subatómicas por medio de cargas eléctricas a través de la *atracción* y *repulsión* de las mismas, además de ser considerada una fuente de energía tan variable que tiene aplicaciones en el transporte, el clima y la iluminación, por mencionar algunos ejemplos. La electricidad se usa para generar:

- *Luz* mediante lámparas.

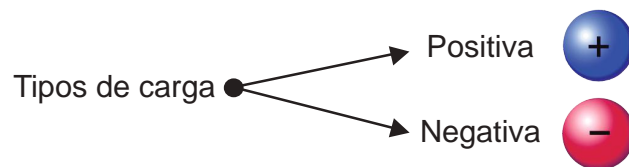
- *Calor* mediante resistencias como las parrillas y hornos eléctricos.
- *Movimiento* mediante motores que transforman la energía eléctrica en mecánica como la licuadora.
- *Señales* mediante sistemas electrónicos como los circuitos electrónicos de celulares, computadoras, televisiones y cualquier aparato electrónico.

Por otra parte, la Electricidad es una rama de la Física que estudia todos los fenómenos relacionados con las cargas eléctricas en reposo o movimiento. Para su estudio se divide en:



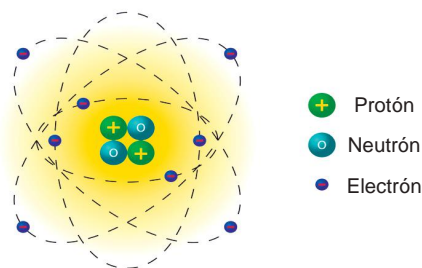
La *carga eléctrica* es una propiedad fundamental de la materia y base de todos los fenómenos de interacción eléctrica. Se representa con la letra  $q$ .

Las cargas eléctricas son de dos tipos:



**Atracción:** cargas eléctricas de diferente signo se atraen.

**Repulsión:** cargas eléctricas del mismo signo se repelen o rechazan.



Partículas subatómicas.

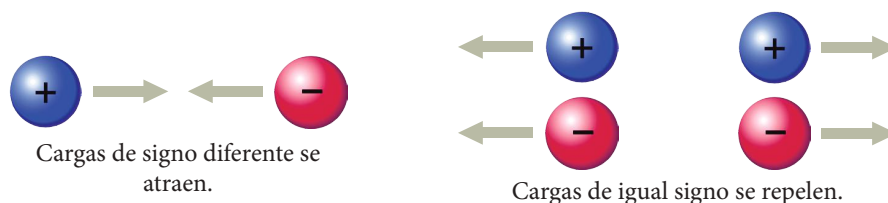
Los cuerpos se constituyen por átomos y estos, a su vez, por partículas subatómicas denominadas *protones*, *electrones* y *neutrones*.

El *neutrón* es una partícula subatómica sin carga neta y se representa con el símbolo  $n$ .

El *protón* es una partícula subatómica con una carga eléctrica elemental positiva de  $1.6 \times 10^{-19}\text{C}$  y se representa con el símbolo  $e^+$ .

El *electrón* es una partícula subatómica con una carga eléctrica elemental negativa de  $1.6 \times 10^{-19}\text{C}$  y se representa con el símbolo  $e^-$ .

La *ley de atracción y repulsión* se cumple de la siguiente forma:



Para representar las cargas utilizaremos los signos positivo para el protón y negativo para el electrón. En la siguiente tabla se muestran las características de los componentes del átomo.

Tabla 3.1. Carga y masa del protón, electrón y neutrón.

Partícula	Símbolo	Carga (C)*	Masa (kg)
Electrón	$e^-$	$-1.6 \times 10^{-19}$	$9.10 \times 10^{-31}$
Protón	$e^+$	$+1.6 \times 10^{-19}$	$1.67 \times 10^{-27}$
Neutrón	$n$	0	$1.67 \times 10^{-27}$

\*Unidades en Coulomb

Al pasar un peine por nuestro cabello en varias ocasiones estamos generando fricción entre las partículas de ambos; si acercamos un globo al hacer este movimiento, el cabello pierde electrones y los gana el globo. Por lo tanto, la carga eléctrica no se crea ni se destruye, se transfiere.

La carga eléctrica de un cuerpo aparece cuando éste pierde o gana electrones, y se dice que cualquier carga eléctrica de magnitud  $q$  es un múltiplo entero de la carga elemental  $e$ , es decir:

$$q = n e$$

donde:

		Unidades
$q$	→ Carga eléctrica	Coulomb (C)
$n$	→ Número de electrones, se representa por un número entero y positivo	
$e$	→ Carga elemental del protón o electrón	Coulomb (C)



Transferencia de la carga eléctrica.

**Ejemplo 1:** Un día lluvioso hay una tormenta eléctrica, cae un rayo en un árbol, el cual transfiere una carga de 200 C al árbol. ¿Cuántos electrones se transfieren al árbol?

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)	Solución (5)
$q = -200 \text{ C}$ $e^- = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	$n$	$q = n e$ $n = \frac{q}{e^-}$	$n = \frac{-200 \text{ C}}{-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}$	$n = 125 \times 10^{19}$ electrones

**Conservación de la carga eléctrica.** La carga eléctrica no se crea ni se destruye, solo se transforma de un cuerpo o material a otro.



## Aprende más

### Clasificación de los materiales

Un medio o material que permite el movimiento de las cargas eléctricas (electrones) en respuesta a una fuerza eléctrica, se denomina *conductor*.

Los materiales conductores son los que se pueden electrizar en toda su superficie, debido a que los electrones se mueven libremente. Los metales por lo general son buenos conductores de la electricidad.

El flujo de las partículas cargadas es lo que se conoce como *corriente eléctrica*. Las partículas cargadas en una cierta dirección de un conductor chocan con los átomos, produciendo una pérdida de energía que se manifiesta en forma de calor.

Una medida de oposición que presentan las partículas cargadas al moverse libremente en una cierta dirección de un material conductor es lo que se conoce como *resistencia eléctrica*.

Los materiales que no permiten que las partículas cargadas se muevan hacia otra región del material a una fuerza eléctrica, son llamados *aislantes* por ejemplo, la madera.

Existen otros tipos de materiales cuyas propiedades son intermedias entre los conductores y aislantes; se llaman semiconductores.

Algunos ejemplos de materiales con estas características son:



Los semiconductores tienen aplicaciones como componentes electrónicos.







## Sabías que...

William Gilbert dividió los materiales en “eléctricos”, es decir, que se pueden electrificar y los que no pueden hacerlo. Actualmente a esos materiales los llamamos conductores y aisladores.

Ahora analizarás las fuerzas de atracción y repulsión que se presentan entre las partículas, para esto emplearemos la ley de Coulomb.

## Ley de Coulomb

En 1748, el científico francés Charles Coulomb desarrolló un dispositivo denominado *péndulo de torsión* con el fin de investigar las propiedades de la fuerza con que se atraen o repelen las cargas eléctricas. Este dispositivo está formado por una barra que cuelga de una fibra capaz de torcerse, cuando la barra gira, la fibra tiende a regresar a su posición original. Coulomb colocó pequeñas esferas cargadas a diferentes distancias midió la fuerza que se producía considerando el ángulo con que giraba la barra estableciendo un modelo matemático conocido como la *ley de Coulomb* que relaciona la fuerza eléctrica entre dos cuerpos cargados separados a una distancia.

La *ley de Coulomb* establece que la fuerza  $q_1, q_2$  con que dos cargas eléctricas se atraen o repelen es proporcional al producto de las mismas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia  $r$  que las separa.

Matemáticamente se expresa:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

donde:

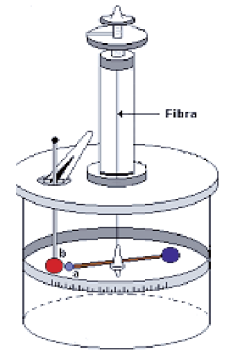
Unidades del Sistema Internacional	
$F \rightarrow$ Fuerza	Newton (N)
$k \rightarrow$ Constante de proporcionalidad	$9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ valor para el vacío
$q_1 q_2 \rightarrow$ Cargas	Coulomb (C)
$r \rightarrow$ Distancia entre las partículas	Metros (m)



La ley de Coulomb se cumple cuando las cargas se encuentran en el vacío, pues si el medio es el aire, aceite, etc., la fuerza electrostática se reduce considerablemente.

Los prefijos utilizados para las cargas son:

1 milicoulomb	1 mC	$1 \times 10^{-3}$
1 microcoulomb	1 $\mu$ C	$1 \times 10^{-6}$
1 nanocoulomb	1 nC	$1 \times 10^{-9}$



Péndulo de torsión de Coulomb.

La relación que existe entre la fuerza en el vacío y otro medio se conoce como permitividad relativa del medio o coeficiente dieléctrico, la cual se expresa matemáticamente:

$$\varepsilon_r = \frac{F}{F_m}$$

donde:

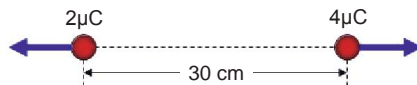
#### Unidades del Sistema Internacional

$F$	→ Fuerza en el vacío	Newton (N)
$F_m$	→ Fuerza del medio	Newton (N)
$\varepsilon_r$	→ Permitividad relativa del medio	Adimensional

Tabla 3.2. Permitividad relativa de algunos materiales.

Material	Permitividad relativa del medio
Vacío	1
Aire	1.006
Vidrio	7
Mica	5
PVC	3.3
Teflón	2.1

**Ejemplo 1:** ¿Cuál es la fuerza eléctrica entre las cargas mostrada en la figura? Considera que se encuentran en el vacío.



**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)
$q_1 = 2 \mu\text{C}$ $= 2 \times 10^{-6} \text{ C}$	$F$	$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$
$q_2 = 4 \mu\text{C}$ $= 4 \times 10^{-6} \text{ C}$		
$r = 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m}$ $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$		
Sustitución (4)	Solución (5)	
$F = \left( 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(2 \times 10^{-6} \text{ C})(4 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.6 \text{ m})^2}$	<p>La fuerza es 0.8 N. El signo negativo indica que las cargas son de repulsión.</p>	

**Ejemplo 2:** Determina a qué distancia se deben poner dos cargas iguales de  $7 \times 10^{-3} \text{ C}$ , para que la fuerza de repulsión sea de 4.4 N.

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)
$q_1 = q_2 = 7 \times 10^{-3} \text{ C}$	$r$	$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ $r = \sqrt{\frac{kq_1 q_2}{F}} = \sqrt{\frac{kq^2}{F}}$
$F = 4.4 \text{ N}$		
$k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$		
Sustitución (4)	Solución (5)	
$r = \sqrt{\frac{\left( 9 \times 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \right) (7 \times 10^{-3} \text{ C})^2}{4.4 \text{ N}}}$	La distancia debe ser de 0.3165 m.	

**Ejemplo 3:** Una carga de  $10 \mu\text{C}$  se encuentra en el aire con otra carga de  $-5 \mu\text{C}$ . Determina la magnitud de la fuerza eléctrica entre las cargas cuando están separadas 50 cm.

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)
$q_1 = 10 \mu\text{C}$ $= 10 \times 10^{-6} \text{ C}$	$F$	$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$
$r = 50 \text{ cm}$ $= 5 \times 10^{-1} \text{ m}$	$F'$	$F' = \frac{F}{\epsilon_r}$
$q_2 = 5 \mu\text{C}$ $= -5 \times 10^{-6} \text{ C}$		
$k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ $\epsilon_r = 1.006$		
Sustitución (4)	Solución (5)	
$F = k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \left( \frac{(10 \times 10^{-6} \text{ C})(-5 \times 10^{-6} \text{ C})}{5 \times 10^{-1} \text{ m}} \right)$	La fuerza en el aire es 89.46 N.	
$F = -90 \times 10^{-2} \text{ N}$		
$F' = \frac{90 \text{ N}}{1.006}$		



## Aprende más

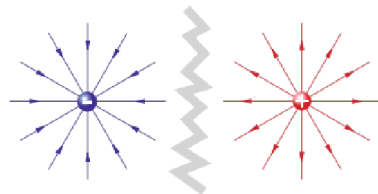
### Campo eléctrico e intensidad del campo eléctrico

Sabemos que las cargas de signos iguales se repelen y de signos diferentes se atraen, esto quiere decir que las cargas influyen sobre la región que está a su alrededor, la cual se conoce como *campo eléctrico*.

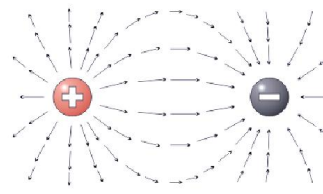
El campo eléctrico es la zona del espacio donde cargas eléctricas ejercen su influencia, es decir, que cada carga eléctrica con su presencia modifica las propiedades del espacio que la rodea. El campo eléctrico es invisible, pero su fuerza ejerce acciones sobre los objetos cargados, lo que permite detectar su presencia y medir su intensidad.

El *campo eléctrico* es la región del espacio que rodea al cuerpo cargado eléctricamente y en el que otra carga sentirá una fuerza eléctrica.

Las líneas de campo eléctrico son líneas imaginarias trazadas de tal manera que su dirección en cualquier punto es la misma que la dirección del campo eléctrico en ese punto.



Campo eléctrico de una carga.



Campo eléctrico de dos cargas diferentes.

### Intensidad del campo

La intensidad del campo eléctrico  $E$  en un punto se suele definir en términos de la fuerza  $F$  que experimenta una carga positiva pequeña  $+q$  cuando ésta colocada precisamente en ese punto. La magnitud del campo eléctrico ésta dada por:

$$E = \frac{F}{q}$$

En el sistema internacional las unidades de la intensidad del campo eléctrico son el newton por coulomb (N/C).

La intensidad del campo eléctrico producida por una carga de prueba puede obtenerse a partir de la ley de Coulomb. Como la magnitud de la fuerza eléctrica sobre una carga de prueba es.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Si sustituimos esta expresión de la intensidad y consideramos que  $q = q_0$

$$E = \frac{k q}{r^2}$$

donde:

		Unidades del Sistema Internacional
$E$	→ Intensidad del campo	N/C (Newton/Coulomb)
$k$	→ $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$	-
$r$	→ Distancia entre la carga eléctrica y el punto donde se desea conocer la intensidad	m (metros)
$q$	→ Carga de prueba	C (Coulomb)

La dirección de la intensidad del campo eléctrico  $E$  en un punto en el espacio es la misma que la dirección en la que la carga positiva se moverá si se colocara en ese punto.

Alrededor de un cuerpo cargado existe un campo eléctrico, haya o no una segunda carga localizada en el campo. Si una carga se coloca en el campo, experimenta una fuerza  $F$  dada por:

$$F = q E$$

Revisemos algunos ejemplos.

**Ejemplo 1:** Una carga de prueba de  $10 \mu\text{C}$  se coloca en un punto del campo eléctrico y la fuerza que experimenta es de  $25 \text{ N}$ . ¿Cuál es la magnitud de la intensidad eléctrica en el punto donde está colocada la carga de prueba?

**Solución:**

<i>Datos (1)</i>	<i>Incógnita (2)</i>	<i>Fórmula (3)</i>	<i>Sustitución (4)</i>	<i>Solución (5)</i>
$q = 10 \mu\text{C}$ $= 10 \times 10^{-6} \text{ C}$  $F = 25 \text{ N}$	$E$	$E = \frac{F}{q}$	$E = \frac{25 \text{ N}}{10 \times 10^{-6} \text{ C}}$	La intensidad del campo es $E = 2500000 \text{ N/C}$ .

**Ejemplo 2:** Determina el valor de la intensidad del campo eléctrico de una carga de  $2 \mu\text{C}$  que se encuentra a una distancia de 40 cm de ésta.

**Solución:**

<i>Datos (1)</i>	<i>Incógnita (2)</i>	<i>Fórmula (3)</i>	<i>Sustitución (4)</i>	<i>Solución (5)</i>
$q = 2 \mu\text{C}$ $= 2 \times 10^{-6} \text{ C}$  $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  $r = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}$	$E$	$E = \frac{k q}{r^2}$	$E = \frac{\left(9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\right) (2 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.4 \text{ m})^2}$	La intensidad del campo es: $E = 12500 \text{ N/C}$



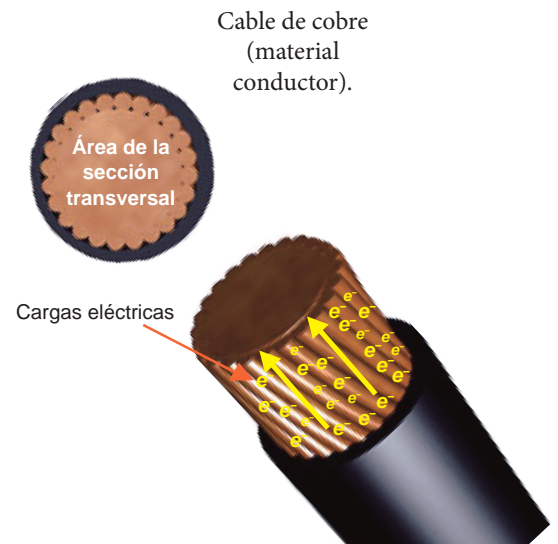
Aprende más

## Conoces la electrodinámica

En la sección anterior hemos estudiado fenómenos de cargas eléctricas en reposo, es decir, *electrostática*. Ahora estudiaremos los fenómenos relacionados con las cargas en movimiento, es decir, electrodinámica, la cual se encuentra relacionada con la corriente eléctrica.

La *electrodinámica* es la rama de la electricidad que se encarga de estudiar las cargas en movimiento.

Una de las principales aplicaciones de la electricidad en nuestra vida diaria es el uso de la **corriente eléctrica**, sabemos que los cables que llevan lo que

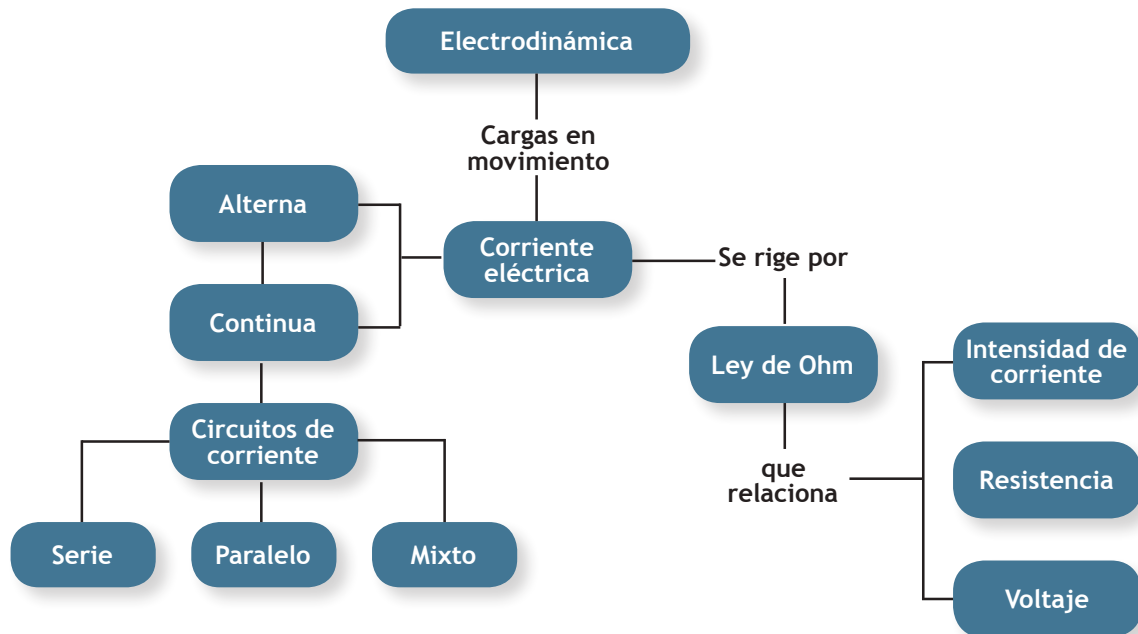




denominamos electricidad hasta nuestros hogares, escuelas, etc. son los materiales denominados *conductores*, los cuales ya fueron estudiados al principio del bloque.

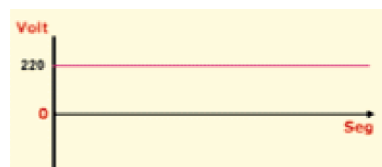


**Corriente eléctrica:** flujo de electrones que circulan a través un material conductor. Se define también como el transporte de carga eléctrica de un punto a otro.



## Tipos de corriente

Dependiendo de cómo sea generada, la corriente eléctrica puede ser de dos tipos: *continua* o *alterna*. La *corriente continua* es aquella en que el flujo de cargas recorre el conductor continuamente, siempre en un mismo sentido. Este tipo de corriente es generado por *pilas* y *baterías*.

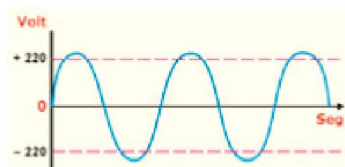


Gráfica de la corriente eléctrica directa (CD).



Pilas.

La *corriente alterna* es aquella en que *el flujo de cargas se mueve alternadamente* dentro del conductor, desplazándose en un sentido y otro; es decir, las cargas “van y vuelven” constantemente. Este tipo de corriente es producido por *generadores eléctricos*.



Gráfica de la corriente eléctrica continua (CC).



Generador eléctrico.

Para medir o cuantificar una corriente eléctrica se utiliza el concepto de *intensidad de corriente eléctrica*.

La *intensidad de corriente* (corriente eléctrica) es la carga total que circula a través de la sección transversal de un conductor, por unidad de tiempo.

La expresión matemática que nos permite medir la corriente eléctrica en un conductor:

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

donde:

### Unidades del Sistema Internacional

$I \rightarrow$ Intensidad de la corriente	Ampere (A)
$q \rightarrow$ Carga que pasa por el conductor	Coulomb (C)
$t \rightarrow$ Tiempo	Segundo (s)

**Ejemplo 1:** Durante un intervalo de tiempo de 10 s, circula por un conductor una carga de 55 C, ¿cuál es la intensidad de la corriente eléctrica?

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)	Solución (5)
$t = 10 \text{ s}$ $q = 55 \text{ C}$	$I$	$I = \frac{q}{t}$	$I = \frac{55 \text{ C}}{10 \text{ s}}$ $I = 5.5 \text{ A}$	La intensidad de corriente es 5.5 A

**Ejemplo 2:** La corriente eléctrica de un conductor es de 50 A. ¿Cuánto tiempo se necesita para que circulen 5000 C por el conductor?

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)	Solución (5)
$I = 50 \text{ A}$ $q = 5000 \text{ C}$	$t$	$t = \frac{q}{I}$	$t = \frac{5000 \text{ C}}{50 \text{ A}}$ $t = 100 \text{ s}$	El tiempo es 100 s.

## Resistencia eléctrica

Resistencia eléctrica es la oposición natural que presentan todos los materiales, en mayor o menor medida, al paso de una corriente eléctrica. Esto se debe a diversos factores como la naturaleza del conductor, por ejemplo, el oro es un buen conductor y opone menos resistencia que el cobre para que circule la corriente.

La resistencia eléctrica  $R$  de un conductor es proporcional a su longitud  $L$  e inversamente proporcional al área de su sección transversal  $A$ . Para determinar la resistencia de un conductor eléctrico rectilíneo se utiliza la siguiente expresión:

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

La *constante de proporcionalidad*  $\rho$  se denomina *resistividad del material* que depende del material con que esté fabricado el conductor y la temperatura (de aquí se deduce que  $R$  también depende de la temperatura)

donde:

Unidades del Sistema Internacional	
$\rho \rightarrow$ Resistividad	Ohm por metros ( $\Omega\text{m}$ )
$L \rightarrow$ Longitud del alambre	Metro (m)
$A \rightarrow$ Área del alambre	Metro cuadrado ( $\text{m}^2$ )
$R \rightarrow$ Resistencia del alambre	Ohm ( $\Omega$ )

En la experimentación se sabe que la resistencia en un conductor cambia con la temperatura, si se conoce la resistencia a  $0^{\circ}\text{C}$  se puede conocer la resistencia a cualquier temperatura con la expresión:

$$R_t = R_0(1 + \alpha T)$$

donde:

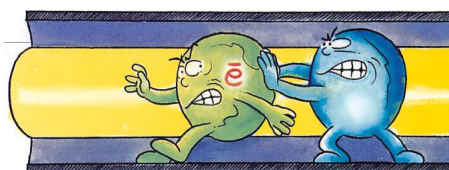
		Unidades del Sistema Internacional
$R_t$	→ Resistencia a cualquier temperatura	Ohm ( $\Omega$ )
$R_0$	→ Resistencia a $0^{\circ}\text{C}$	Ohm ( $\Omega$ )
$\alpha$	→ Coeficiente de la temperatura de la resistencia del amterial	$1/^{\circ}\text{C}$

Tabla 3.3. Resistividad de algunos materiales a  $20^{\circ}\text{C}$ .

Material	Resistividad ( $\Omega\text{m}$ )
Aluminio	$2.75 \times 10^{-8}$
Cobre	$1.72 \times 10^{-8}$
Hierro	$9.7 \times 10^{-8}$
Oro	$2.44 \times 10^{-8}$
Plata	$1.47 \times 10^{-8}$
Acero	$20 \times 10^{-8}$
Mercurio	$95 \times 10^{-8}$
Tungsteno	$5.3 \times 10^{-8}$
Germanio	0.6
Silicio	2300

Tabla 3.4. Coficientes de temperatura de algunos materiales a  $20^{\circ}\text{C}$ .

Material	$\alpha$ $1/^{\circ}\text{C}$
Aluminio	0.0039
Cobre	0.00393
Hierro	0.005
Oro	0.0034
Plata	0.0038
Acero	0.0043
Mercurio	0.00088
Tungsteno	0.0045
Germanio	-0.05
Silicio	-0.07
Carbono	-0.0005



Representación de la resistencia eléctrica.

**Ejemplo 1:** Determina la resistencia de un alambre de cobre cuya longitud es 50 m y de sección transversal es de  $8 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ .

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)
$L = 50 \text{ m}$ $A = 8 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ $\rho = 1.72 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$	$R$	$R = \frac{\rho L}{A}$	$R = \frac{(1.72 \times 10^{-8} \Omega \text{ m})(50 \text{ m})}{8 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$ $R = 0.1075 \Omega$
<b>Solución (5)</b> La resistencia es $0.1075 \Omega$			

**Ejemplo 2:** Determine el valor de la resistencia del ejemplo 1 cuando permanece a una temperatura de  $40^\circ\text{C}$ .

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)
$R_0 = 0.1075 \Omega$ $T = 40^\circ\text{C}$ $\alpha = 0.00393^\circ\text{C}^{-1}$	$R_t$	$R_t = R_0 (1 + \alpha T)$
<b>Sustitución (4)</b> $R_t = 0.1075 \Omega (1 + 0.00393^\circ\text{C}^{-1} (40^\circ\text{C}))$ $R_t = 0.1243 \Omega$		<b>Solución (5)</b> La resistencia a $40^\circ\text{C}$ es $0.1243 \Omega$

Debido a las características que presenta la resistencia eléctrica, se le ha dado mucha utilidad principalmente en artículos domésticos, como se puede apreciar a continuación:



Aplicaciones de las resistencias eléctricas.



### Sabías que...

En 1878 Thomas Alva Edison construyó la primera lámpara incandescente con filamentos de bambú carbonizado.

### Ley de Ohm

La ley de Ohm fue postulada por el físico alemán George Ohm (1787-1854), quien descubrió en 1827 que había una relación simple entre la diferencia de potencial, la resistencia eléctrica y la cantidad de corriente eléctrica.

**Ley de Ohm.** La intensidad de la corriente eléctrica transportada por un conductor es directamente proporcional a la diferencia de potencial entre sus terminales e inversamente proporcional a su resistencia eléctrica.

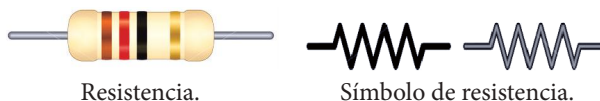
Su expresión es:

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

donde:

		Unidades del Sistema Internacional
$V \rightarrow$	Diferencial de potencial o voltaje entre los extremos del conductor	Volt (V)
$R \rightarrow$	Resistencia eléctrica del conductor	Ohm ( $\Omega$ )
$I \rightarrow$	Intensidad de la corriente eléctrica a lo largo del conductor	Ampere (A)

La resistencia eléctrica en un circuito se representa gráficamente por un alambre delgado en forma de **zigzag**.



**Ejemplo 1:** Determina la intensidad de la corriente eléctrica a través de una corriente eléctrica de  $50 \Omega$  al aplicarle un diferencial de potencial de  $100 \text{ V}$ .

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)	Solución (5)
$R = 50 \Omega$ $V = 100 \text{ V}$	$I$	$I = \frac{V}{R}$	$I = \frac{100 \text{ V}}{50 \Omega}$ $I = 2 \text{ A}$	La intensidad es $2 \text{ A}$ .

**Ejemplo 2:** Calcula la diferencia de potencial aplicada a una resistencia de  $20\ \Omega$  y por ella fluyen  $12\text{ A}$ .

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)	Solución (5)
$R = 20\ \Omega$ $I = 12\text{ A}$	$V$	$V = R I$	$V = (20\ \Omega)(12\text{ A})$ $V = 240\text{ V}$	El diferencial de potencial es $240\text{ V}$ .

## La potencia eléctrica

La *potencia eléctrica* mide la cantidad de energía eléctrica que un receptor consume en un tiempo dado. La expresión que se utiliza para el cálculo de la potencia es:

$$P = V I$$

donde:

		Unidades del Sistema Internacional
$P \rightarrow$ Potencia		Watt (W)
$V \rightarrow$ Voltaje		Volt (V)
$I \rightarrow$ Intensidad de corriente		Ampere (A)

**Ejemplo:** Determina la potencia de un calefactor eléctrico cuyo voltaje es de  $120\text{ V}$  y la intensidad de la corriente eléctrica es de  $3\text{ A}$ .

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)	Solución (5)
$V = 120\text{ V}$ $I = 3\text{ A}$	$P$	$P = V I$	$P = (120\text{ V})(3\text{ A})$ $P = 360\text{ W}$	La potencia es de $360\text{ W}$ .



### La energía

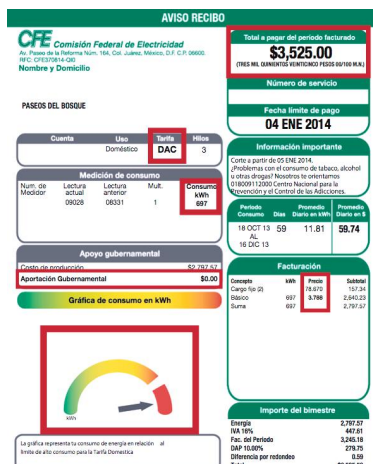
En nuestras casas pagamos el recibo de la luz dependiendo de la cantidad de energía eléctrica que hayamos consumido durante los dos meses anteriores. Pagaremos más o menos dependiendo de que hayamos tenido más o menos electrodomésticos conectados durante un tiempo dado. La energía eléctrica se expresa matemáticamente:

$$E = P t$$

donde:

#### Unidades del Sistema Internacional

$P \rightarrow$ Potencia	Watt (W)
$t \rightarrow$ tiempo	Segundo (s)
$E \rightarrow$ Energía eléctrica	Joule (J)



Recibo de consumo de energía eléctrica.

Aunque un joule es la unidad en que se mide la energía en el Sistema Internacional (SI), en la práctica, para referirnos al consumo de energía en nuestro hogar o en el comercio, se utiliza otra unidad llamada kilowatt-hora (1 kWh).

Si conocemos el costo del kilowatt-hora y la energía diaria consumida por todos los aparatos usados en nuestro hogar (focos, radios, televisores, etc.), podemos calcular, en pesos, su costo diario.

**Ejemplo:** Con referencia al calefactor, ¿qué cantidad de energía consume si permanece 8 horas funcionando?

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)	Solución (5)
$P = 360 \text{ W}$ $t = 8 \text{ h}$ $= 28600 \text{ s}$	$E$	$E = P t$	$E = (360 \text{ W})(28600 \text{ s})$ $E = 10296000 \text{ J}$	La energía eléctrica es 10296000 J



Aprende más

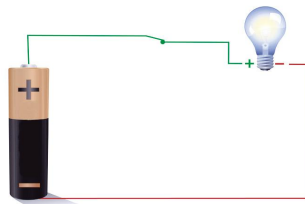
## Circuito eléctrico

Baterías, capacitores y resistores se pueden usar en varias combinaciones para construir circuitos eléctricos y controlar el flujo de electricidad y la energía que portan. Tales circuitos posibilitan todas las comodidades modernas en una casa como son. Luz eléctrica, televisor, computadora, table, y un sinfín de cosas. También los podemos encontrar en los autos en equipos médicos.

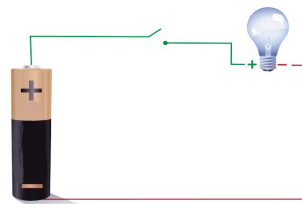
Un circuito eléctrico es una combinación de elementos conectados entre sí en forma adecuada permiten el paso de electrones (corriente eléctrica)

Un *circuito simple* consta de una diferencia de potencial o voltaje ( $V$ ), corriente eléctrica ( $I$ ) y una resistencia ( $R$ ).

El *circuito* está *cerrado* cuando la corriente eléctrica ( $I$ ) circula en todo el sistema y está abierto cuando no circula por él. Para abrir o cerrar un circuito se emplea un *interruptor*. Así, se sabe que los circuitos pueden estar cerrados o abiertos, por ejemplo cuando el foco de tu recámara está apagado el circuito está abierto y cuando enciendes la luz el circuito está cerrado.



Circuito cerrado.



Circuito abierto.

Existen tres maneras de conectar resistencias en un circuito: *serie*, *paralelo* y *mixto*.

**Circuito en serie.** Significa que todos los elementos conductores están unidos uno a continuación del otro, la corriente eléctrica circula por cada uno de los elementos de forma que si se abre el circuito ésta se interrumpe.

**Circuito en paralelo.** Significa que los elementos conductores se encuentran separados por varios **ramales** y la corriente eléctrica se divide en formas paralelas a cada uno de ellos, si se abre el circuito en cualquier parte, la corriente no será interrumpida en los demás ramales.

Los *circuitos mixtos* son en los que se conectan las resistencias agrupadas tanto en serie como en paralelo.

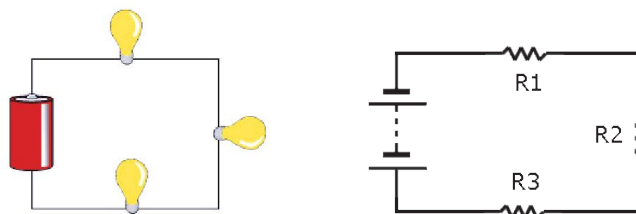
Características de los circuitos:



**Ramal:** parte de un sistema eléctrico que incluye el dispositivo final para la sobrecorriente, como un fusible, protegiendo el circuito y las tomas de corriente que proporciona el circuito. También llamado circuito derivado o derivación.

### Circuito en serie

Resistencia (Ohm $\Omega$ )	$R_E = R_1 + R_2 + R_3$	La resistencia equivalente es la suma de todas las potencias.
Intensidad de corriente (Ampere A)	$I_T = I_1 = I_2 = I_3$	La intensidad de la corriente es la misma.
Voltaje (Voltios V)	$V_T = V_1 + V_2 + V_3$	El voltaje es la suma de todos los voltajes.



Circuito en serie.

### Circuito en paralelo

Resistencia  
(Ohm  $\Omega$ )

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

La resistencia equivalente de resistores conectados en paralelo siempre es menor que la resistencia más pequeña del grupo.

Intensidad de corriente  
(Ampere A)

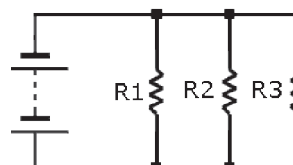
$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

Suma de todas las intensidades.

Voltaje  
(Voltios V)

$$V_T = V_1 = V_2 = V_3$$

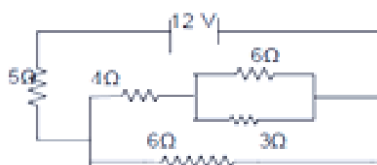
El voltaje es el mismo en los diferentes puntos.



Circuito en paralelo.

### Circuito mixto

Se calcula parte por parte la resistencia de cada conexión, ya sea en serie o en paralelo, de manera que se simplifique el circuito hasta encontrar una resistencia equivalente de todo el sistema eléctrico.



Circuito mixto.



## Sabías que...

El multímetro es un aparato que incluye dos cables (rojo y negro), que se colocan en los dos puntos del circuito donde se quiere realizar la medida. También posee una rueda que, según la posición, mide el voltaje, la intensidad o la resistencia.



Multímetro.

**Ejemplo 1:** Determina la resistencia equivalente en serie y en paralelo para un circuito eléctrico cuyas resistencias son  $5\ \Omega$ ,  $7\ \Omega$  y  $4\ \Omega$ .

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)
$R_1 = 5\ \Omega$	$R_E$	$R_E = R_1 + R_2 + R_3$	$R_E = 5\Omega + 7\Omega + 4\Omega = 16\Omega$
$R_2 = 7\ \Omega$		$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$	$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{5\Omega} + \frac{1}{7\Omega} + \frac{1}{4\Omega} = \frac{83}{140} = 0.5928\Omega$
$R_3 = 4\ \Omega$			
<b>Solución (5)</b>			
<i>La resistencia total en serie es 16 Ω .</i>			
<i>La resistencia total en paralelo es 0.5928 Ω .</i>			

**Ejemplo 2:** Se tienen tres resistencias de  $40$ ,  $60$  y  $120\ \Omega$ , respectivamente, que se conectan en serie. ¿Cuál es la resistencia equivalente? ¿Cuál es su resistencia total si se conectan en paralelo? Si el circuito en paralelo se conecta a una batería de  $12\ \text{V}$ , ¿cuál es la corriente eléctrica?

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	
$R_1 = 40\ \Omega$	$R_E$	<div>Serie:</div> $R_E = R_1 + R_2 + R_3$	<div>Paralelo:</div> $\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$
$R_2 = 60\ \Omega$			
$R_3 = 120\ \Omega$			
		$I = \frac{V}{R}$	

Continúa...

### Sustitución (4)

$$R_E = 40 \, \Omega + 60 \, \Omega + 120 \, \Omega = 220 \, \Omega$$

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{40 \, \Omega} + \frac{1}{60 \, \Omega} + \frac{1}{120 \, \Omega} = \frac{1}{20} = 0.05 \, \Omega$$

$$I = \frac{12 \, V}{20 \, \Omega} = \frac{3}{5}$$

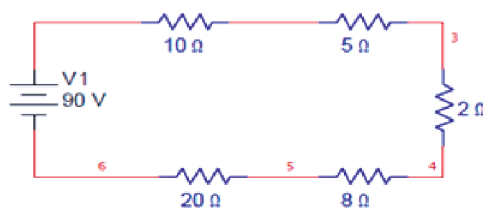
### Solución (5)

La resistencia equivalente en serie es  $220 \, \Omega$ .

La resistencia equivalente en paralelo es  $0.05 \, \Omega$ .

La intensidad de la corriente eléctrica es  $0.6 \, A$ .

**Ejemplo 3:** Determina la corriente total que circula en el siguiente circuito.



**Solución:**

### Datos (1)

$$R_1 = 10 \, \Omega$$

$$R_2 = 5 \, \Omega$$

$$R_3 = 2 \, \Omega$$

$$R_4 = 8 \, \Omega$$

$$R_5 = 20 \, \Omega$$

$$V = 90 \, V$$

### Incógnita (2)

$$R_E$$

$$I$$

### Fórmula (3)

Serie:

$$R_E = R_1 + R_2 + R_3$$

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

### Sustitución (4)

$$R_E = 10 \, \Omega + 5 \, \Omega + 2 \, \Omega + 8 \, \Omega + 20 \, \Omega = 45 \, \Omega$$

$$I = \frac{90 \, V}{45 \, \Omega} = 2 \, A$$

### Solución (5)

La resistencia equivalente en serie es  $45 \, \Omega$ .

La intensidad de la corriente eléctrica es  $2 \, A$ .

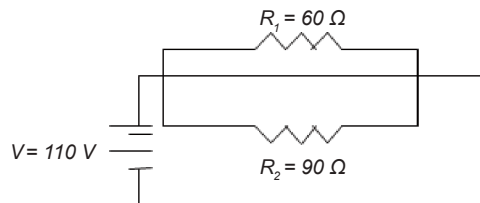
**Ejemplo 4:** En la casa de María todos los días conectan en paralelo la cafetera y el tostador de pan de  $90 \, \Omega$ ; considerando que el voltaje de las casas es de  $110 \, V$ :

a) Representa el circuito.

- b) ¿Cuál es la resistencia equivalente?  
 c) Determina la intensidad de la corriente del circuito.  
 d) La intensidad de la corriente en cada resistencia.

**Solución:**

a) Representación del circuito:



b) Resistencia equivalente:

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)	Solución (5)
$R_1 = 60 \, \Omega$ $R_2 = 90 \, \Omega$ $V = 110 \, V$	$R_E$	$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$	$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{60 \, \Omega} + \frac{1}{90 \, \Omega} = \frac{1}{36} \, \Omega$	La resistencia equivalente es $36 \, \Omega$ .

c) Intensidad de la corriente en el circuito:

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)	Solución (5)
$R_E = 36 \, \Omega$ $V = 110 \, V$	$I$	$I = \frac{V}{R}$	$I = \frac{110 \, V}{36 \, \Omega} = 3.05 \, A$	La intensidad del circuito es $3.05 \, A$ .

d) Intensidad de la corriente en cada resistencia:

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)	Solución (5)
$V = 110 \, V$ $R_1 = 60 \, \Omega$ $R_2 = 90 \, \Omega$	$I_1$	$I_1 = \frac{V}{R_1}$  $I_2 = \frac{V}{R_2}$	$I_1 = \frac{110 \, V}{60 \, \Omega} = 1.83 \, A$	La intensidad de la corriente en la cafetera es $1.83 \, A$ .  La intensidad de la corriente en el tostador es $1.22 \, A$ .





Aprende más

## Efecto joule

Te habrás dado cuenta que cuando te secas el cabello, alrededor se siente calor, esto se debe a que siempre que una máquina eléctrica realiza un trabajo mecánico, parte de él se transforma en calor, que dependerá de la intensidad de la corriente y de la resistencia del conductor. Por lo tanto, se ha encontrado que este efecto considera la resistencia eléctrica, la corriente eléctrica y el tiempo que dure circulando, así se origina el efecto joule, el cual se expresa de la siguiente manera:

$$Q = 0.24 I^2 R t$$

donde:

### Unidades del Sistema Internacional

$Q$ → Calor	Caloría (cal)
$I$ → Intensidad	Amper (A)
$R$ → Resistencia	Ohm ( $\Omega$ )
$t$ → Tiempo	Segundo (s)

**Ejemplo:** Determina qué cantidad de calor se produce en un tostador eléctrico que se conecta a una diferencia de potencial de 110 V durante 3 minutos y la corriente eléctrica es de 3 A.

**Solución:**

Datos (1)	Incógnita (2)	Fórmula (3)	Sustitución (4)
$t = 3 \text{ min}$ $= 180 \text{ s}$ $I = 3 \text{ A}$	$Q$	$Q = 0.24 I^2 R t$	$Q = 0.24 (3 \text{ A})^2 (3 \Omega)(180 \text{ s})$
<b>Solución (5)</b> $Q = 1166.4 \text{ cal .}$			