

Conceptos básicos de la electricidad

ELECTRICIDAD

La electricidad es un conjunto de fenómenos físicos referentes a los efectos producidos por las cargas eléctricas tanto en reposo como en movimiento.

Fue Benjamín Franklin quien denominó a los dos tipos de cargas, *positiva* y *negativa*; dedujo que cuando una carga se produce, siempre otra de magnitud idéntica pero de carga opuesta se crearía.

La electricidad puede definirse como el movimiento de cargas eléctricas llamadas *electrones*. Los átomos de la materia contienen electrones, que son partículas con cargas negativas. Los electrones se mueven alrededor del núcleo de su *átomo*, el cual contiene partículas cargadas positivamente llamadas *protones*. Normalmente las cargas positivas y las negativas se encuentran en equilibrio en la materia. Cuando los electrones se mueven de su posición normal en los átomos, se observan efectos eléctricos.

ORIGEN DE LA ELECTRICIDAD

Átomo

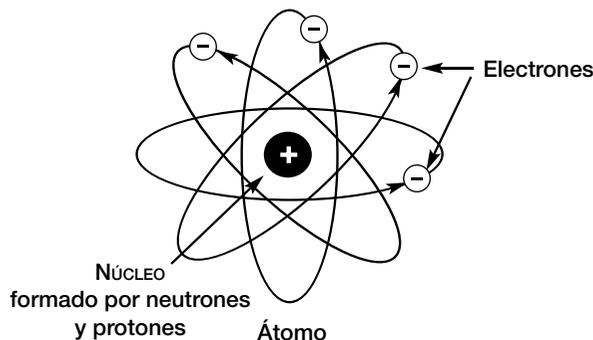
La materia está formada por moléculas, las cuales están compuestas a su vez por átomos.

Los átomos son estructuras pequeñas y complejas. Son tan diminutos que el microscopio más potente sólo puede darnos una ligera idea de ellos.

Todos los átomos tienen estructuras similares, pero difieren en tamaño y peso. Todos, excepto el hidrógeno, están formados por tres *partículas* básicas (una partícula es una pequeñísima parte de la materia). Dos de esas partículas, los *protones* y los *neutrones*, siempre están contenidas en el centro del átomo, donde forman un pequeño núcleo interior denso y pesado.

La tercera clase de partículas, los *electrones*, son excesivamente pequeñas y muy ligeras, siempre están girando alrededor del núcleo formando una nube de electrones.

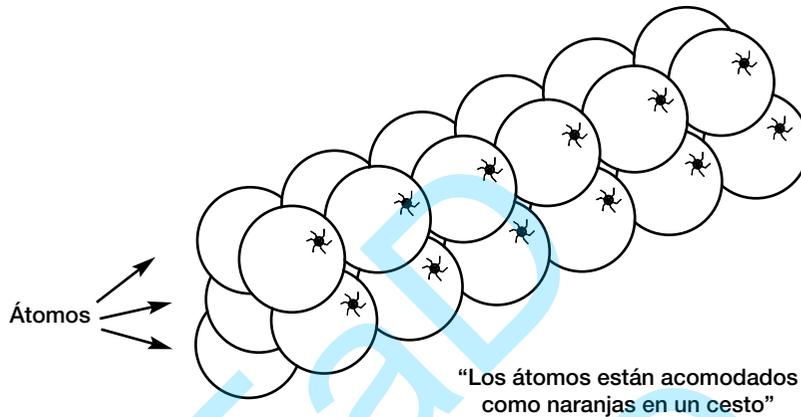
Muchos de estos electrones son de enlace, porque no pueden separarse del núcleo a menos que una gran fuerza los obligue. Si se aumentara el tamaño del átomo varios millones de veces, parecería un cuerpo esférico que no podría comprimirse fácilmente a un tamaño menor. Muchas sustancias puras o elementos están constituidos por interminables filas muy parecidas de átomos idénticos, colocados en hileras sobre hilera, en pequeñas zonas de espacio vacío entre ellos.



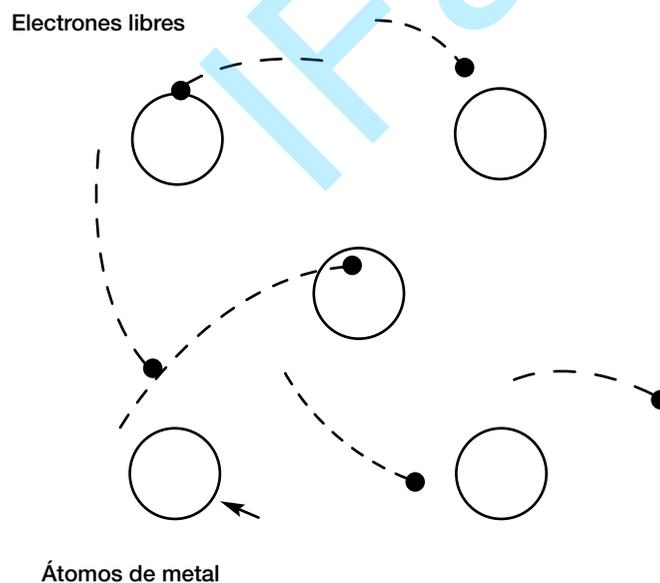
Este tipo de arreglo es llamado *estructura cristalina*; y es típico del estado sólido de muchos materiales. Las sustancias mixtas o *compuestas* están constituidas por varias clases de átomos. Los átomos forman racimos (*moléculas*) que se mantienen unidos por grandes fuerzas de atracción entre los átomos. Estas moléculas a su vez forman el sólido.

Estructura interna de los metales

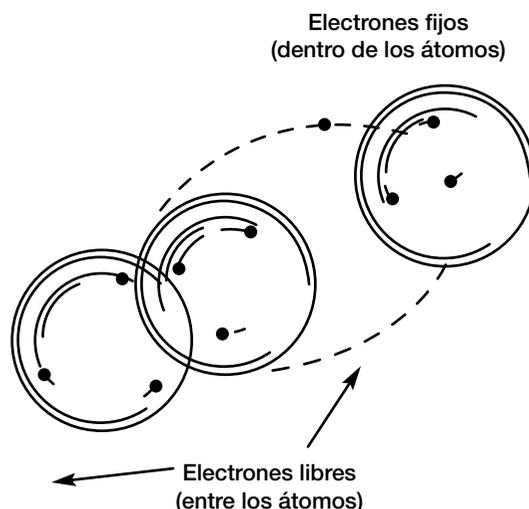
Todos los metales tienen una estructura cristalina semejante. Millones de millones de átomos se agrupan muy juntos, tan juntos como sea posible, como naranjas en un cesto. Este arreglo deja un mínimo de espacio vacío entre los átomos del metal.



Si amplificamos más los cristales de metal, veremos que los espacios entre los átomos no están totalmente vacíos. Hay partículas extremadamente pequeñas, llamadas *electrones libres*, que aparecen en ellos con un movimiento irregular: para atrás y adelante, para arriba y abajo, hacia todos lados, sin una trayectoria definida. Muchos metales tienen un electrón libre por cada átomo de su estructura cristalina.



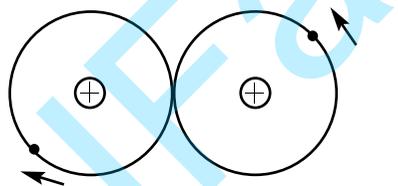
El *movimiento desordenado* e irregular de los electrones libres es causado por la *energía calorífica*, que está presente aun a muy bajas temperaturas. Cada átomo de metal contiene un cierto número de electrones internos o fijos, los cuales no tienen libertad de abandonar el átomo.



Imaginemos que contamos con un microscopio tan potente que nos permitiera ver los átomos y miráramos los que hay en un alambre de cobre. Observaríamos que el electrón gira a una velocidad tan elevada que casi no lo veríamos, y que su giro se realiza en todas direcciones, de forma tal que su trayectoria formaría una especie de esfera.

Veamos el átomo que está junto al que ya se observó y encontramos que el electrón del segundo átomo también gira, pero en sentido contrario con respecto al primero. Además, observamos que las dos esferas que forman con sus órbitas están unidas entre sí en un solo punto.

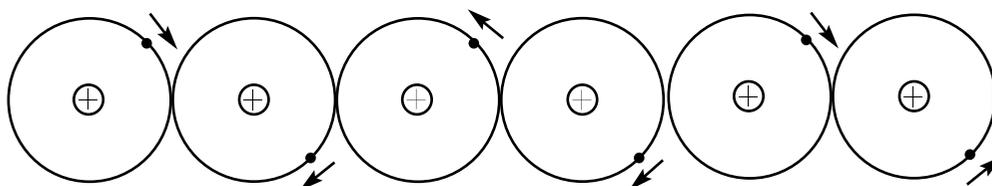
En ese punto de contacto pasa un electrón, miles y cientos de miles por segundo, y el electrón que forma el átomo también pasa por el mismo punto, sin que en ningún momento se encuentren y choquen entre sí, sino que siempre permiten el paso uno del otro.



Átomos unidos en un solo punto, con los electrones girando en sentido contrario

Si seguimos observando los demás átomos que están a continuación, nos daremos cuenta de que van formando una especie de cadena, cuyos eslabones serían las órbitas de los electrones, los cuales se tocarían en un solo punto y además sus trayectorias son contrarias una con respecto a otra, formando una especie de *tren de engranes*.

Una de las características importantes del átomo es que es estable, es decir, no puede romperse ni cambiar sus características.



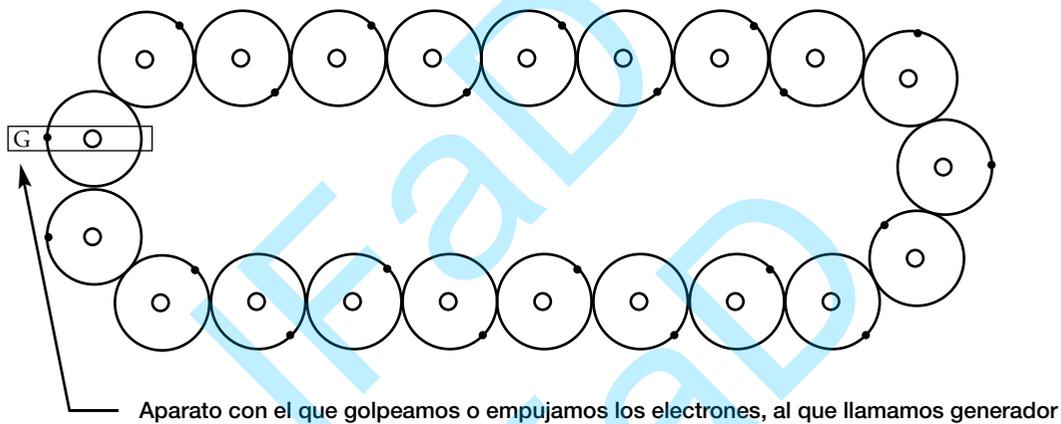
Átomos formando una especie de cadena, similar a un tren de engranes

En condiciones naturales y normales de un átomo, no podemos agregarle o quitarle electrones, es decir, si un átomo tiene tres electrones en sus órbitas, no podemos agregar otro para que sean cuatro o viceversa. Esto puede lograrse a través de métodos científicos muy complejos, como la ruptura del átomo o *fisión nuclear*.

Si nosotros golpeáramos al electrón del primer átomo de la cadena de tal forma que éste se saliera de su órbita y se metiera en la órbita del segundo átomo, este último, como no puede admitir dos electrones en su órbita, tendrá que mandar su propio electrón a la siguiente órbita y así sucesivamente, hasta que el último átomo tuviera en su órbita dos electrones.

Para que esto pueda lograrse, es necesario cerrar los extremos del conductor o del alambre, formando lo que se conoce como un *circuito cerrado*.

El *generador* va a impulsar a los electrones para que pasen de una órbita a otra, pero para que esto suceda es necesario que el circuito esté cerrado, en caso contrario, existiría la fuerza que trate de hacer correr a los electrones; pero si el circuito está abierto, no habrá *corriente*, flujo continuo y controlado de electrones de órbita a órbita.



El flujo de electrones requiere una fuerza o presión que empuje los electrones en forma continua, que se le conoce con el nombre de *voltaje* o *tensión*. Cuando el circuito está cerrado, a la circulación de electrones que fluyen por el conductor se le conoce como *corriente* o *intensidad de corriente*.

Ahora bien, hemos hablado de un alambre de cobre, pero si hubiéramos hecho el análisis con un alambre de hierro, veríamos que la diferencia estriba en que los electrones del metal de hierro son más perezosos que los del metal de cobre, es decir, se mueven con mayor dificultad al ser empujados por el *voltaje*.

Se dice que el alambre de hierro tiene más *resistencia* que el alambre de cobre, porque ofrece más resistencia al paso de la corriente eléctrica.

Estructura de los no metales

Muchos materiales no metálicos tienen una estructura interna absolutamente distinta a la de los metales. En muchas de esas sustancias, los átomos se juntan para formar *moléculas*. Estos racimos de átomos o moléculas se agrupan en hileras o cadenas para formar la sustancia, aun cuando un pequeño pedazo de vidrio tiene millones de millones de moléculas.

La estructura interna del vidrio es un ejemplo típico de un no-metal cristalino. Las moléculas de vidrio se agrupan ellas mismas con un patrón rígido, dejando entre los átomos y las moléculas espacios vacíos relativamente grandes. Si se amplificara una molécula de vidrio, veríamos que no hay electrones libres que ocupen los espacios vacíos entre los átomos. Esto sucede con muchos elementos y compuestos no metálicos.

Unos pocos compuestos similares al vidrio en su estructura interna, y que no contienen *electrones libres* en condiciones normales, son: porcelana, plásticos, hule, mica, etcétera.

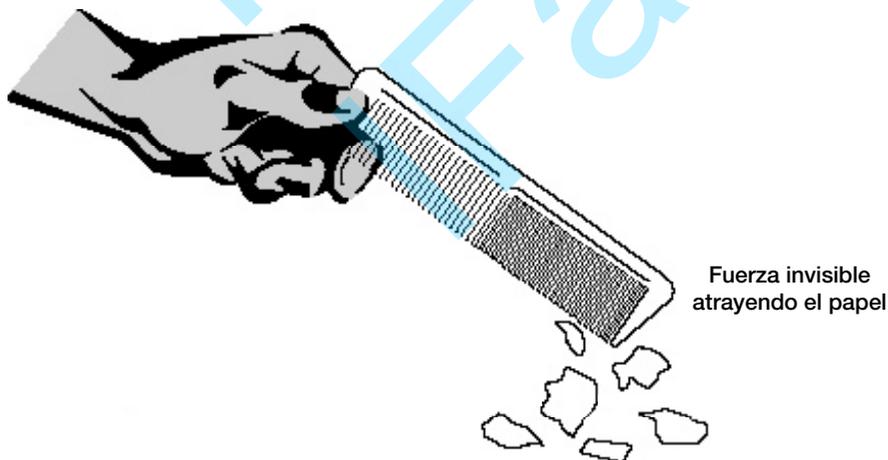
Cargas eléctricas

Electricidad estática

La electricidad estática es electricidad sin movimiento (estática = estacionario). Ya que la electricidad se define como una forma de energía, se concluye que la electricidad estática debe ser *energía eléctrica potencial*.

Rompa un papel en pedazos, desparrame éstos sobre un área de su mesa. Luego pase su peine entre sus cabellos varias veces y acerque el peine a los pedazos de papel. Observe cuidadosamente lo que pasa cuando el peine se acerca aproximadamente a 1/3 de centímetro de los pedazos de papel. La fricción entre su pelo y el peine ha dado a este último la capacidad de atraer. Este sencillo experimento fue conocido por los griegos hace más de 2 000 años, **aunque** en lugar de los plásticos modernos ellos usaban entonces la savia petrificada de los pinos, que **encontraban** en forma de huevecillos o de ramitas dispersas a lo largo de la orilla del mar Adriático. Esta resina petrificada, ahora llamada ámbar, atraía pequeños pedazos de materia cuando era frotada con pieles.

Alrededor del año 1600 dC, el cirujano inglés William Gilbert intentó por primera vez encontrar la verdadera naturaleza de la fuerza misteriosa de atracción del ámbar frotado. Gilbert encontró en su investigación que muchas otras sustancias también podían *cargarse* con esas *fuerzas de atracción* al frotarlas con pieles o seda. Él dijo que la materia cargada con esa fuerza invisible de atracción estaba *electrizada*. Gilbert formó esta palabra basándose en el nombre griego del ámbar (*elektron*), que fue la primera sustancia *electrizada*. El siguiente paso lógico fue llamar *electricidad* a esta fuerza que no tenía nombre.

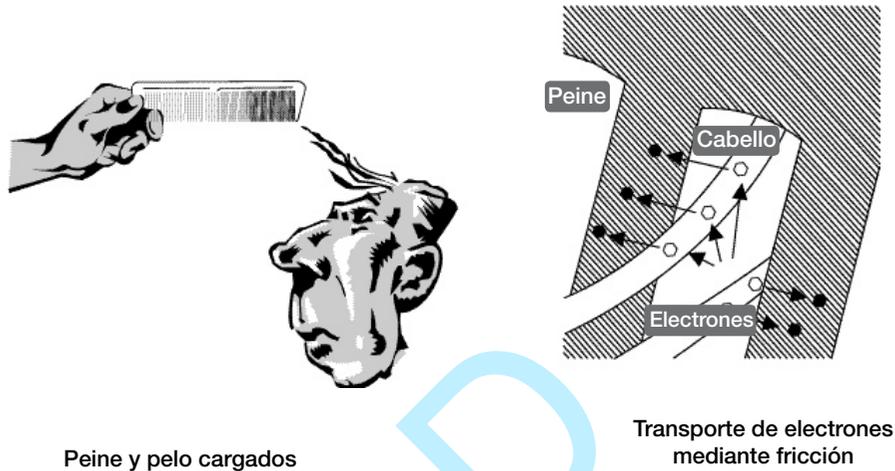


El papel es atraído por un peine cargado

Qué es una descarga eléctrica

Para investigar la naturaleza de una carga eléctrica con más detalle, repitamos el experimento anterior del peine, de manera ligeramente diferente. Pase el peine entre su pelo (un movimiento rápido y brusco le dará mejor resultado), después acerque el peine a su cabello sin que llegue a tocarlo. Cuando la distancia entre su pelo y el peine *cargado* es corta, su pelo se levanta debido a que es atraído por el peine. Nuestro interés realmente está en lo que sucede en el interior del peine y del cabello.

La siguiente es una explicación de este fenómeno basándose en los descubrimientos científicos realizados en el siglo XX: la estructura molecular del cabello y del peine no tiene electrones libres. La fricción entre cabello y peine desprende electrones de las nubes de electrones de los átomos del cabello y los hace pasar al peine. Esta fricción obliga al cabello a quedar con una *deficiencia de electrones* y al peine con un *exceso de electrones*. Ni en el peine ni en el cabello sigue presente el número normal de electrones.



Este experimento muestra que existe una fuerza de atracción entre el peine y el cabello cargados. Como sólo hubo transporte de electrones al cargarse estos objetos, debemos concluir que un cuerpo que ha perdido electrones trata de reponerlos, mientras que el que tiene exceso de electrones trata de deshacerse de ese exceso, y que tanto el peine como el cabello han recibido una *carga eléctrica*. Para distinguir entre las dos clases de cargas se usan símbolos matemáticos.

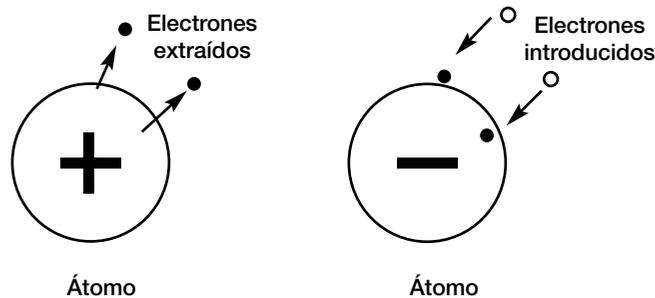
La carga debida a una falta de electrones es llamada *carga positiva*. La carga debida a un exceso de electrones es llamada *carga negativa*.

Comportamiento de los cuerpos cargados

La presencia de la fuerza invisible que ejercen los cuerpos cargados sobre cada uno de los otros puede verse al acercar dos cuerpos cargados. Si los cuerpos cargados se cuelgan de hilos delgados, se atraerán o rechazarán de acuerdo con la naturaleza de sus cargas. Los objetos con *cargas diferentes se atraen*, mientras que los cuerpos con *cargas iguales se rechazan*. La figura muestra todas las posibles combinaciones de cargas y las fuerzas que actúan de acuerdo con cada combinación.

Hay tres posibles combinaciones de cargas diferentes:

- Neutro/positivo
- Neutro/negativo
- Negativo/positivo

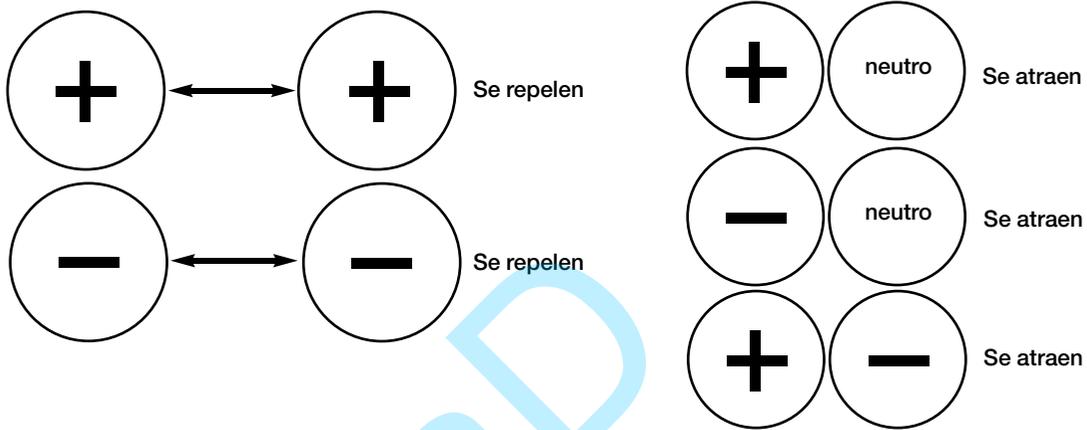


Hay dos combinaciones posibles de cargas iguales:

- Positiva/positiva
- Negativa/negativa

Si los dos cuerpos son eléctricamente neutros, o sea, no están cargados, no hay fuerzas eléctricas entre ellos. Estos resultados se expresan en una ley básica de la electricidad llamada *Ley de cargas*:

Cargas iguales se rechazan, cargas diferentes se atraen

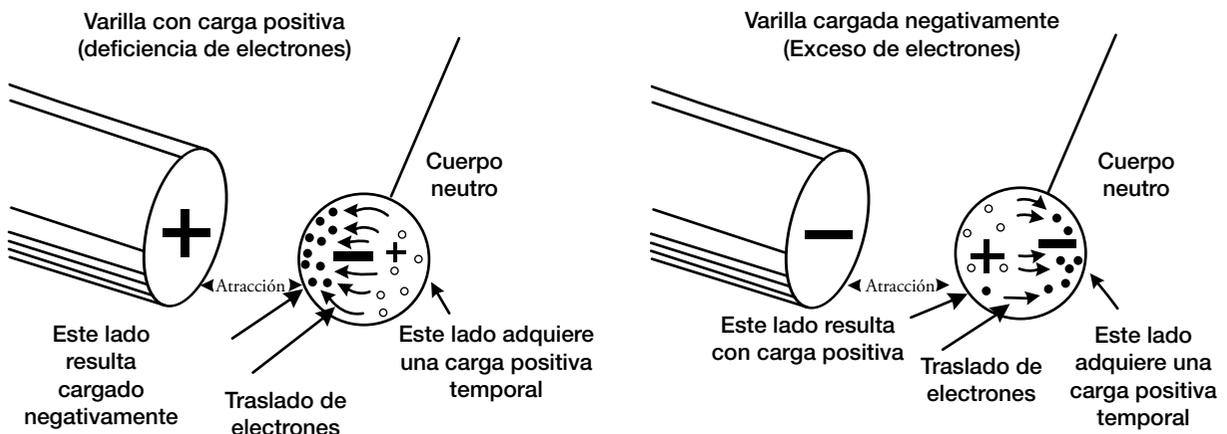


Cargas inducidas en cuerpos neutros

Anteriormente se vio que un cuerpo neutro es atraído por los cuerpos cargados tanto en forma positiva como negativa. Esto parece violar la segunda parte de la *Ley de cargas*, en la cual se establece que solamente los cuerpos con *diferentes cargas se atraen*. Una breve explicación de lo que sucede *dentro del cuerpo neutro* eliminará la confusión. Cuando se acerca un cuerpo cargado positivamente a un cuerpo neutro, la carga positiva atrae los electrones del cuerpo neutro dando una carga negativa al lado que da frente al cuerpo cargado.

En esta condición se cumple lo establecido en la segunda parte de la *Ley de cargas*: cargas diferentes se atraen. El cuerpo neutro completo permanece neutro, ya que ni ha ganado ni ha perdido electrones; sólo ha ocurrido un *cambio de posición de electrones*. Cuando se acerca una varilla con carga negativa a un cuerpo neutro, los electrones del cuerpo neutro son rechazados por la carga igual de la varilla.

Esta acción desplaza los electrones al otro lado del cuerpo neutro, el cual queda cargado temporalmente en los dos lados. La carga negativa de la varilla y la temporalmente positiva del cuerpo neutro se atraen una a la otra. Al alejar la varilla cargada, los electrones desplazados vuelven a su posición original.



Como la carga eléctrica positiva dentro del cuerpo neutro fue provocada o inducida por la presencia de la varilla cargada, se le llama *carga inducida*. Aunque el cuerpo mismo permanece neutro (no se han forzado electrones en su interior ni se los han quitado), su distribución interna de electrones ha sido perturbada temporalmente.

Medidas de las cargas

Definimos la carga como un *exceso o deficiencia de electrones en un cuerpo*. A la falta de electrones se le llamó arbitrariamente una *carga positiva* y a un exceso de electrones se le llamó *carga negativa*. En los dos casos se cambió el número normal de electrones en el cuerpo.

La mejor manera de medir la cantidad de carga en un objeto sería contar el número de electrones forzados a entrar o sacados de ese objeto. El tamaño increíblemente pequeño de los electrones hace que este método sea imposible. La cantidad de carga en un cuerpo es medida en grupos de 6,25 millones de millones de millones (o trillones) de electrones. Esta cantidad de electrones representa una unidad de carga. Para honrar a Charles A. Coulomb, científico francés del siglo XVIII, la unidad de carga fue llamada *coulomb* o *culombio*.

1 coulomb = unidad de carga eléctrica (c)

Cantidad de carga originada por un exceso o deficiencia de 6,25 trillones de electrones.

En los cálculos matemáticos, se usa la *Q* para representar la *carga*. El nombre de la unidad de carga abreviada es *c*.

Corriente eléctrica y campos magnéticos asociados

La corriente eléctrica es la electricidad en movimiento, es decir, un flujo continuo y controlado de electrones.

Anteriormente se vio que los cuerpos con carga eléctrica *ejercen una fuerza* sobre los objetos que los rodean.

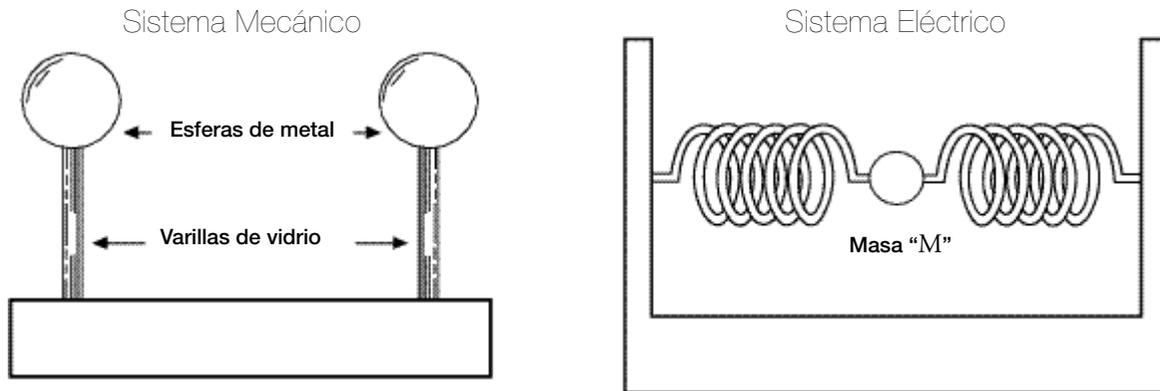
Esta fuerza eléctrica tiene como característica que repele cuerpos con la misma carga y atrae cuerpos con carga diferente. La *Ley de atracción y repulsión electrostática* establece que un cuerpo cargado eléctricamente ejerce una fuerza de atracción y repulsión sobre las cargas de los cuerpos que se encuentran a su alrededor; la zona en que se manifiestan estas fuerzas se llama *campo eléctrico*.

Esta fuerza invisible fue llamada *fuerza electromotriz* (FEM: trabajo efectuado para mover una carga entre dos puntos determinados).

Si un objeto tiene más electrones de los normales, se dice que tiene *carga eléctrica negativa*. Este hecho establecido experimentalmente lleva a dos conclusiones: cada electrón tiene carga negativa permanente, y la lleva con él a donde quiera que vaya; la carga negativa de los electrones en un cuerpo sin carga es balanceada por una carga positiva en este cuerpo. Estas conclusiones han sido probadas experimentalmente por físicos. El núcleo de cualquier átomo contiene partículas muy pequeñas y a la vez poderosas llamadas *protones*. Cada protón tiene una carga positiva permanente (los protones no tienen libertad para moverse; no pueden abandonar el núcleo del átomo). En un ion positivo, el total de carga positiva de los protones en el núcleo es mayor que la carga total negativa de la nube de electrones, haciendo que el ion atraiga electrones. En un ion negativo la carga negativa total de la nube de electrones es mayor que la carga positiva en los núcleos, y como resultado el ion repele los electrones. La fuerza de atracción (o repulsión) entre partículas cargadas se llama *fuerza electromotriz* (FEM).

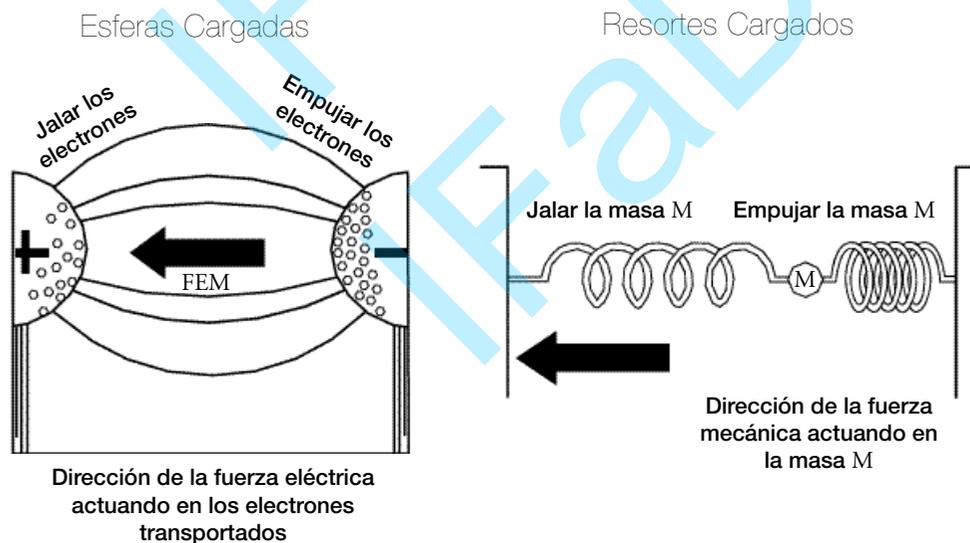
Carga y FEM

Para encontrar la relación que existe entre la cantidad de carga y la *FEM resultante* que actúa en los electrones desplazados, efectuemos un experimento imaginario, en el que comparemos las condiciones de los cuerpos electrificados, con las condiciones de un sistema mecánico.

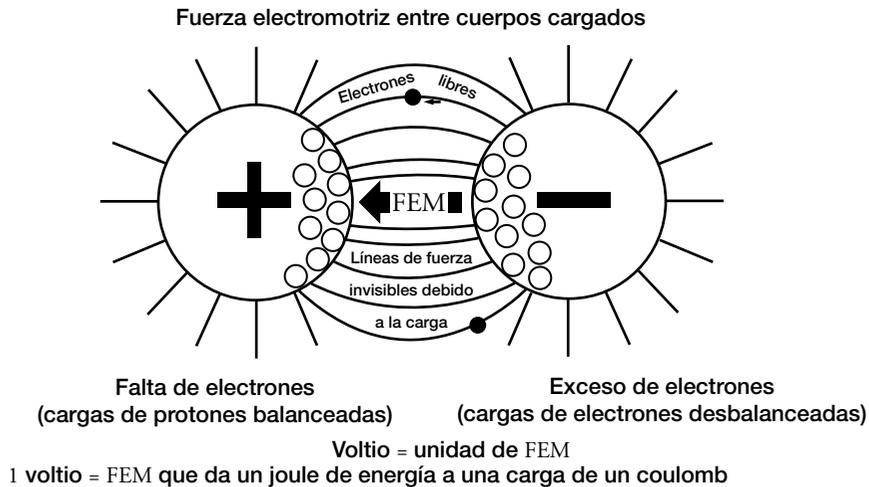


Comencemos el experimento observando las condiciones en los cuerpos sin carga y los resortes libres de tensión. Las esferas no pueden moverse, sólo pueden moverse los electrones de una esfera a la otra. Los resortes están firmemente sujetos al soporte. La masa M puede moverse al estirar un resorte y comprimir el otro. Si queremos transportar electrones de una esfera izquierda a la otra (o mover la masa M), debemos hacer trabajo.

Carguemos las esferas quitando electrones de la esfera izquierda y obligándolos a introducirse en la esfera de la derecha, contra la fuerza atrayente de la esfera y la fuerza repelente de la esfera. El sistema mecánico se carga moviendo la masa M de izquierda a derecha contra la fuerza de atracción del resorte estirado y la fuerza de repulsión del resorte comprimido. Las cargas de la esfera originan esta fuerza electromotriz. Esta FEM tiende a mover electrones de la esfera negativa a la positiva. La tensión en el resorte origina una fuerza mecánica, la cual tiende a mover la masa M de derecha a izquierda.



Campo eléctrico entre cuerpos cargados. Existen líneas invisibles de fuerzas eléctricas entre las dos esferas cargadas. Esas líneas harán que los electrones que estén libres viajen de la esfera negativa a la positiva. La *magnitud* de la fuerza que actúa entre las esferas cargadas depende de la cantidad de carga en cada una de ellas y de la distancia que las separa (las líneas de fuerza se debilitan al aumentar la distancia entre ellas). La energía que originalmente se usó para trasladar electrones a la esfera negativa es almacenada como energía potencial por los electrones desplazados. Estos electrones pueden hacer trabajo cuando regresen a la esfera positiva. La unidad de medida de la FEM es el *volt* o *voltio* en honor a Alessandro Volta, científico italiano que hizo importantes aportaciones al estudio de la electricidad. En el lenguaje técnico, a la FEM la llamamos *voltaje*, término derivado del nombre de la unidad.



Electricidad y magnetismo

En 1819 un profesor danés de Física, Hans Christian Oersted, descubrió que la corriente a través de un conductor ejerce una fuerza magnética sobre los objetos de hierro cercanos.

El experimento de Oersted es muy simple e ilustrativo. Los materiales necesarios son una pila seca, alambre de cobre aislado calibre 20 AWG (90 cm) y una brújula magnética. Ponga la brújula en su mesa y coloque la pila a 30 ó 40 cm de ella. Quite poco más de 1 cm de aislante de ambos extremos del alambre y conecte un extremo a la terminal negativa de la pila. Pase el alambre aislado por encima de la carátula de la brújula, alineada con la aguja (la aguja estará orientada en su posición normal norte-sur). Después, manteniendo el alambre en su lugar con una mano, con la otra conecte el extremo libre a la terminal positiva de la pila durante un instante y observe el comportamiento de la aguja de la brújula durante este tiempo.

La fuerza magnética de los electrones viajeros. Al cerrar el circuito eléctrico en el experimento, la aguja fue bruscamente desviada de su orientación normal de sur a norte. Como la aguja es un imán permanente, la fuerza que lo movió debe ser una *fuerza magnética* (campo magnético). El alambre de cobre (material no magnético) no pudo causar este magnetismo, el cual aparece sólo cuando fluye una corriente de electrones a través del conductor. Entonces la única responsable de la fuerza magnética es la corriente eléctrica (flujo de electrones).

Esto es una prueba fuera de toda duda de que la fuerza magnética alrededor de un conductor en el cual está fluyendo una corriente es causada por los electrones que fluyen. La fuerza magnética producida por los electrones viajeros se llama *electromagnetismo*.

Si el conductor de cobre del experimento descrito anteriormente se pasa a través de una hoja de cartón y se esparcen limaduras de hierro en éste, se obtiene un patrón de limaduras de hierro que se formarán de manera concéntrica (centro común) al conductor. La fuerza magnética causada por la corriente de electrones actúa a lo largo de líneas de fuerza circulares y concéntricas que tienen su centro en el flujo de electrones.

Las líneas de campo magnético actúan en un ángulo recto (perpendiculares) al conductor de corriente y existen a lo largo de todo el circuito eléctrico por el que fluye la corriente.

La dirección del campo magnético depende de la dirección del flujo de electrones.

Regla de la mano izquierda para conductores simples. Si el pulgar de su mano izquierda apunta en la dirección del flujo de electrones, los dedos rodean al alambre en la dirección del campo magnético.

Regla de la mano derecha. “Cogiendo el conductor con la mano derecha de forma que el pulgar señale la dirección de la corriente, los restantes dedos señalarán la dirección de las líneas de flujo”.

Conductores, semiconductores y aislamientos

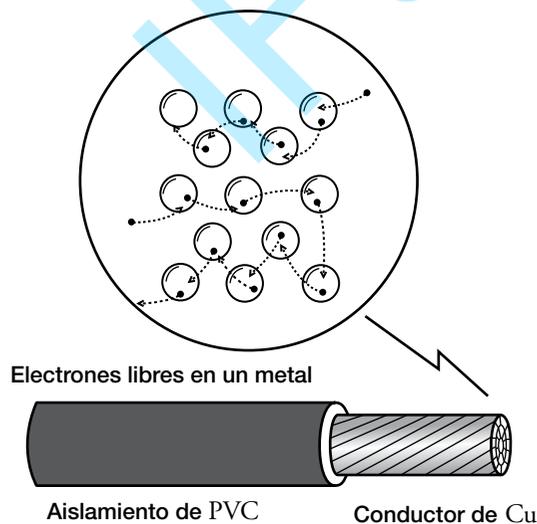
Desde el punto de vista eléctrico, podemos clasificar todas las sustancias conocidas por el hombre de acuerdo con su comportamiento. Aquellas que conducen la electricidad con facilidad son llamadas conductores, es decir, que sus electrones pueden moverse con facilidad puesto que sus uniones con el núcleo son débiles, lo que permite el intercambio de electrones (todos los metales están incluidos en este grupo). Los materiales que ofrecen gran resistencia al flujo de electrones son llamados aislantes. En este grupo están muchos compuestos no metálicos. Existe un tercer grupo de materiales que actúan de manera diferente cuando son conectados a un circuito eléctrico, son conductores bajo ciertas circunstancias y actúan como aislantes bajo otras; estos materiales son llamados semiconductores.

Conductores

El flujo de electrones necesita un material, como el cobre o el aluminio, que permita por su medio un fácil desplazamiento de los electrones. Este material, el cual va a soportar el flujo de electrones, es llamado *conductor*.

Si la característica evidente de todo buen conductor de electricidad es el ser metal, es lógico pensar que los metales tienen una característica común que les hace ser buenos conductores. Todos los metales están constituidos por paquetes compactos de átomos de metal con pequeñísimos *electrones libres* flotando en los espacios entre los átomos, libres para viajar a lo largo de todo el metal. Estos electrones libres siempre están presentes en el metal sin importar su temperatura.

La presencia de *esos electrones libres* hace a todos los metales buenos conductores. No todos los metales conducirán la electricidad con la misma facilidad. El mejor conductor de electricidad es la plata, seguida muy de cerca por el cobre, oro y aluminio. El cobre es el más utilizado en la mayoría de los conductores eléctricos, por sus características eléctricas y mecánicas.



El alambre de cobre es fabricado en muchas formas y tamaños. Algunos alambres son de cobre sólido, mientras otros deben ser flexibles y son hechos con alambre de cobre cableado. En muchas aplicaciones industriales, varios alambres de cobre son reunidos y posteriormente aislados para formar *cables*. Estos cables pueden ser aislados con materiales elastoméricos (hules) o termoplásticos. En algunos casos se

reúnen varios cables para formar un cable multiconductor, el cual es encerrado por una cubierta para protegerlo contra la acción de los agentes externos.

En los motores, transformadores, balastos y aparatos electrónicos se usan tipos especiales de alambres.

El alambre puede ser tan delgado como un cabello o tan grueso como una rama. Está cubierto por una delgada capa aislante, la cual no se daña o rompe cuando el alambre se dobla. El nombre técnico para este tipo de conductor es alambre magneto.

Los malos conductores son materiales que conducen la electricidad mejor que los aislantes, pero no con la facilidad de los metales. De este tipo de materiales o sustancias podemos citar la tierra mojada, la madera húmeda, el carbón, el papel mojado, entre otros.

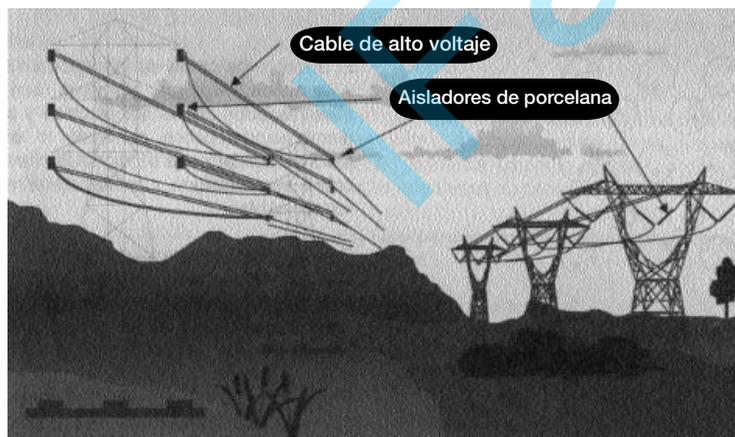
Aisladores

Un aislador es un material que no conduce electricidad bajo condiciones normales. Muchos compuestos no metálicos son aisladores. La principal característica de los aisladores es que tienen muy pocos o carecen de *electrones libres* bajo condiciones normales. Sin electrones libres no puede haber flujo de electrones. Todos los electrones de un aislador están *unidos a sus átomos* mediante fuerzas de gran magnitud. Los aisladores tienen pocos o ningún electrón libre. La ausencia de electrones libres impide que se genere una corriente de electrones en un material aislante.

Son materiales aisladores: mica, porcelana, cerámica, vidrio, *plástico, hule*, papel seco, baquelita, seda.

No todos los aisladores son iguales en sus cualidades aisladoras. Los mejores aisladores no tienen electrones libres. Los aisladores no tan perfectos contienen pocos electrones libres, con los que es posible generar una corriente eléctrica muy pequeña. La *porcelana* es uno de los mejores aisladores usados actualmente; se usa sin excepción para aislar las líneas de transmisión de alto voltaje y no pierde sus cualidades aislantes a pesar de los altos voltajes usados en tales líneas (100 a 400 kV): como consecuencia, la corriente sigue fluyendo a través de los cables.

Ya que los plásticos son suaves y flexibles frecuentemente, además de excelentes aisladores, se usan como aislamientos o cubiertas de los conductores eléctricos. A mayor espesor, más efectivo es el aislamiento.



Aisladores de porcelana en las torres de transmisión de potencia

Muchos aislamientos no deben llegar a temperaturas críticas porque comienzan a degradarse (se derri-ten); por esta imposibilidad de soportar altas temperaturas se les llama *termoplásticos*. Un hecho importante de los aislamientos termoplásticos es que pueden pigmentarse y fabricarse en muchos colores (este hecho facilita a los técnicos el *rastreo* de alambres en circuitos complicados). Los *aisladores de cerámica* son parecidos a los materiales de porcelana. Estos aisladores son extremadamente eficientes, pero muy quebradizos.

Semiconductores

El término *semiconductores* puede mal interpretarse con facilidad. No son conductores a medias como el nombre lo sugiere.

Un semiconductor puede tener las características de un conductor o de un aislador, dependiendo de su temperatura y la FEM aplicada. El silicio puro, un material gris de apariencia metálica, es un semiconductor. A la temperatura normal no tiene electrones libres. Todos sus electrones están unidos a sus respectivos átomos. El silicio puro a la temperatura normal es un aislador. Si su temperatura se eleva hasta cierto valor crítico, se vuelve conductor. Cuando el cristal de silicio alcanza una temperatura crítica, los electrones periféricos son desprendidos de sus átomos por la energía calorífica y flotan en los espacios de cristal. Tan pronto como la temperatura alcanza este nivel, el silicio será conductor. En el instante en que la temperatura está por debajo del nivel crítico, los electrones libres volverán a sus átomos. El silicio tendrá nuevamente su cualidad aislante.

También es posible lograr que el silicio sea conductor a la temperatura normal, si se le aplica un voltaje. Si el silicio puro se conecta a una fuente de alto voltaje, las fuertes líneas de FEM que actúan entre las terminales negativa y positiva de la fuente desprenderán electrones periféricos fuera de los átomos de silicio. El silicio será conductor cuando el alto voltaje actúe sobre él. Cuando el alto voltaje cesa, los electrones libres volverán a los átomos. El silicio volverá a comportarse como aislador. Existen sólo tres elementos que pueden clasificarse como *semiconductores reales: carbono, germanio, silicio*.

PARÁMETROS ELÉCTRICOS, DEFINICIÓN, ANALOGÍAS Y UNIDADES

Voltaje

El flujo de electrones requiere mantener una fuerza o presión (voltaje) que empuje los electrones en forma continua. Esta fuerza generalmente se conoce con el término de *fuerza electromotriz* o *FEM*. El voltaje o la FEM es la diferencia de la carga eléctrica entre dos puntos. Con el fin de mantener esta diferencia, debe existir un exceso de electrones en un cierto lugar y una deficiencia o falta de electrones en otro lugar.

El voltaje es la presión o diferencia de potencia eléctrica de una carga entre dos puntos en un circuito eléctrico o campo eléctrico, es decir, el trabajo realizado por una fuerza externa (invisible) para mover la carga de un punto a otro.

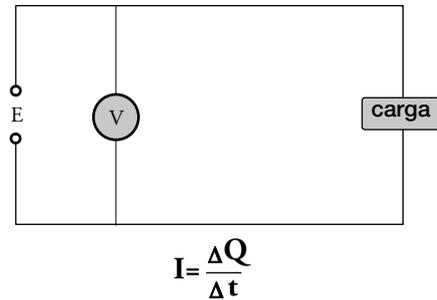
La unidad de medida es el *volt* o *voltio*. El aparato que usamos para medir este parámetro eléctrico es el *voltmetro* o *voltímetro*, el cual se conecta en paralelo a la línea para efectuar la medición.

El voltaje es comúnmente representado por los símbolos E o V y se le conoce como tensión, potencial y FEM (fuerza electromotriz).

Corriente directa y corriente alterna

La corriente eléctrica es el flujo continuo y controlado de electrones en un circuito eléctrico.

Cuando se tiene una fuente de voltaje conectada a través de conductores a un dispositivo, las cargas eléctricas fluyen desde un polo hacia otro; a este flujo se le llama corriente eléctrica y es el indicador de la cantidad de flujo hacia algún punto. La intensidad de corriente se conoce como la variación de carga con respecto al tiempo y su intensidad se mide en coulombs por segundo; esta unidad se denomina *ampere* o *amperio*.



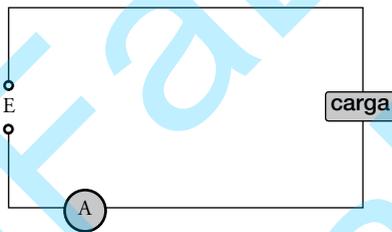
Donde:

ΔQ = Incremento de la carga [c]

Δt = Incremento del tiempo [s]

I = Intensidad de corriente eléctrica [A]

El aparato que se utiliza para medir la corriente eléctrica es el ampermetro o amperímetro.



La corriente eléctrica generalmente es clasificada en dos tipos: corriente directa y corriente alterna.

Corriente directa

La corriente directa (cc), también conocida como corriente continua, siempre fluye en la misma dirección. Los electrones fluyen en una sola dirección pues la polaridad del voltaje o de la fuente de la FEM es la misma; una de las terminales o polos de la batería es siempre positiva y la otra negativa.

La corriente directa nunca cambia de dirección

Los electrones fluyen desde la terminal negativa (*polo negativo*) de la fuente de voltaje, recorren el circuito y retornan a la terminal positiva (*polo positivo*).

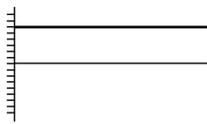
Algunos ejemplos claros de fuentes de corriente continua son: la pila seca, el acumulador de un automóvil, un generador de cc o un rectificador de corriente.

Corriente alterna

Una fuente de corriente alterna produce un voltaje que regularmente se va alternando, aumentando desde cero hasta un máximo positivo y decreciendo desde este máximo hasta cero, para volver a aumentar hasta un valor máximo negativo y decrecer hasta llegar nuevamente a cero; a esta variación completa se le llama *ciclo*. La corriente alterna (ca) es un tipo de corriente cuya polaridad se invierte periódicamente.

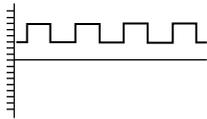
Corriente directa vs. corriente alterna

La corriente directa siempre fluye en una sola dirección. Si observamos en el gráfico de la pantalla de un osciloscopio, la corriente directa siempre aparece de un solo lado del eje de las ordenadas o del cero, pues su polaridad nunca cambia.



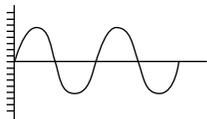
- cc estable

La corriente directa que nunca cambia en magnitud (o nivel de corriente) se denomina cc estable. Las baterías producen cc estable.



- cc pulsante

La cc pulsante (*pulsating*) cambia de magnitud, pero en el osciloscopio siempre aparece sobre el mismo lado del eje del cero o de las ordenadas, ya que su polaridad siempre es constante.



- Corriente alterna

La corriente alterna cambia tanto en magnitud como en su dirección. En el osciloscopio, el voltaje y la corriente aparecen a ambos lados del eje del cero o de las ordenadas, según la polaridad del voltaje se alterne y la corriente cambie de dirección.

Inducción electromagnética

La corriente alterna se genera mediante un efecto eléctrico llamado *inducción electromagnética*.

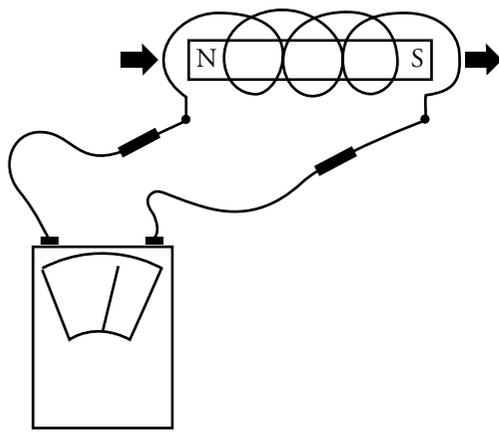
La inducción electromagnética es la capacidad que tiene un campo magnético de generar una FEM que origina una corriente en un conductor, sin necesidad del contacto físico.

Aunque el conductor y el campo magnético no se encuentren físicamente conectados, el voltaje es inducido en el conductor cuando éste se mueve por el campo magnético, o cuando el campo magnético se mueve a lo largo del conductor.

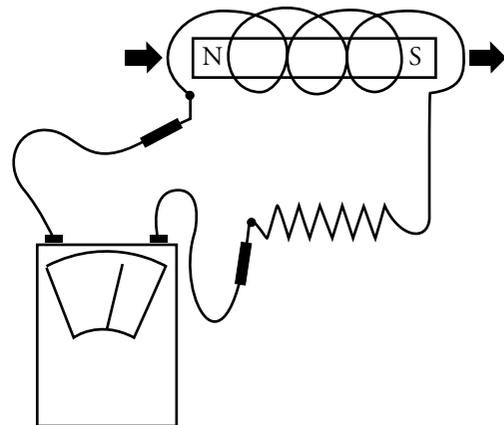
Cuando el conductor se vuelve parte del circuito, la corriente fluye en este último.

Los generadores transforman el movimiento rotatorio en flujo de corriente. El voltaje se genera cuando se rota una bobina dentro de un campo magnético.

Los motores de ca dependen también de la inducción electromagnética; transforman el flujo de la corriente en movimiento.



Voltios
voltaje inducido

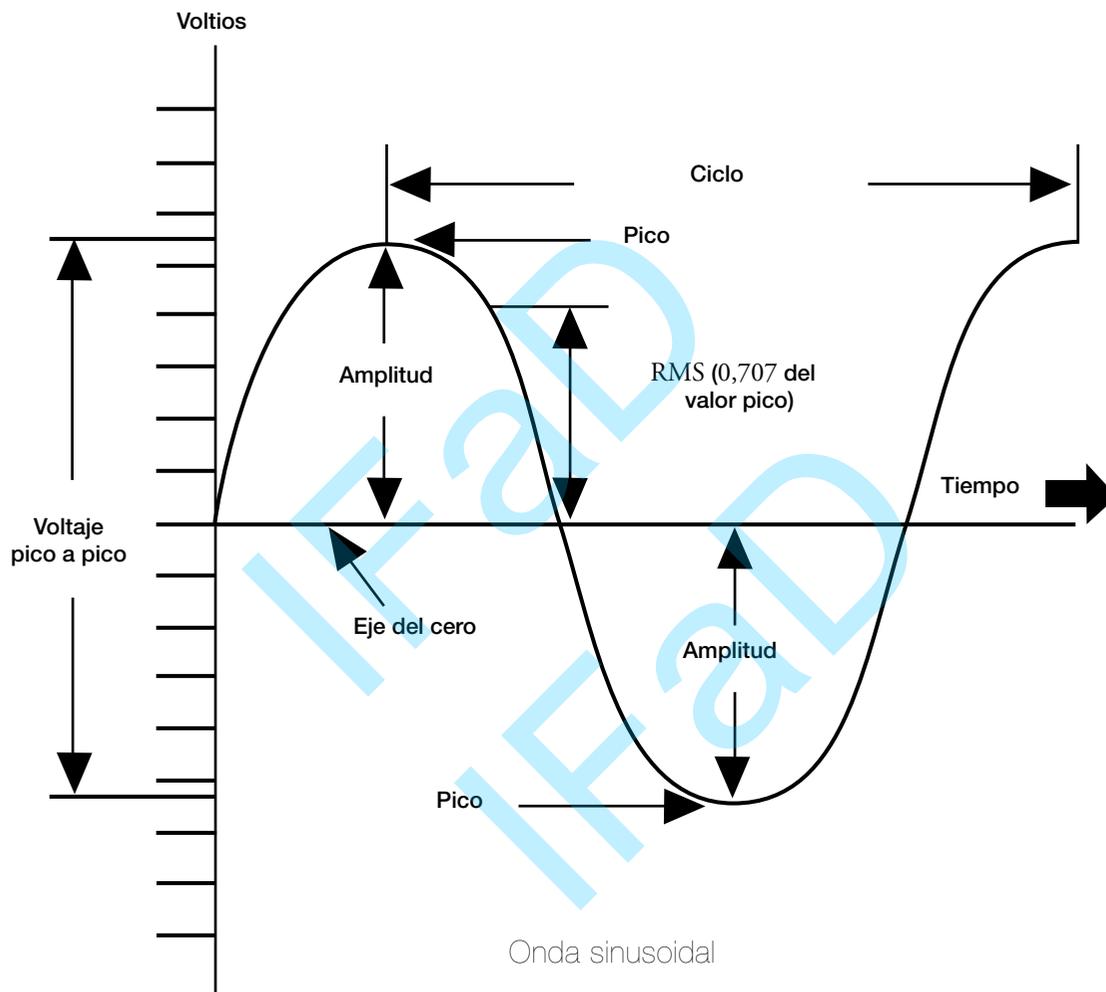


Amperes
Flujo de la corriente

Onda sinusoidal de ca

La rotación de un imán frente a una bobina origina en ésta una *corriente alterna*. La corriente eléctrica inducida obtenida tiene una forma llamada *sinusoidal*.

El voltaje y corriente alternas producidos por el movimiento rotatorio de un generador asumen la forma de una onda o curva sinusoidal: ésta es la forma más común de voltaje y corriente alterna. Cuando el conductor gira dentro de un campo magnético, corta, según una proporción variable, las líneas magnéticas de fuerza. En consecuencia de lo anterior, el voltaje varía según un esquema regular y repetitivo.



Las ondas sinusoidales son medidas y comparadas de acuerdo con ciertas características.

1. La *amplitud* de la onda sinusoidal nos indica el máximo valor de corriente o de voltaje; éste puede ser positivo o negativo.
2. Un *ciclo* es una repetición completa de la forma de la onda. Esto lo produce una revolución (vuelta) completa (360°) del conductor dentro del campo magnético. En cada ciclo se dan dos inversiones y dos máximos.

La curva sinusoidal logra el máximo en la dirección positiva a los 90° , atraviesa el eje de las ordenadas o del cero a los 180° , alcanza el máximo negativo a los 270° , después alcanza el cero una vez más a los 360° .

3. La *frecuencia* es el número de ciclos por segundo. Entre mayor sea el número de ciclos por segundo, mayor será la frecuencia. Entre mayor sea la frecuencia, menor será la cantidad de tiempo por ciclo.

La mayoría de la corriente alterna se genera a los 60 ó 50 ciclos por segundo.

La amplitud y la frecuencia son valores independientes. Dos curvas pueden tener la misma amplitud y la misma frecuencia, la misma amplitud pero diferente frecuencia, amplitud diferente pero la misma frecuencia, amplitud diferente y frecuencia diferente.

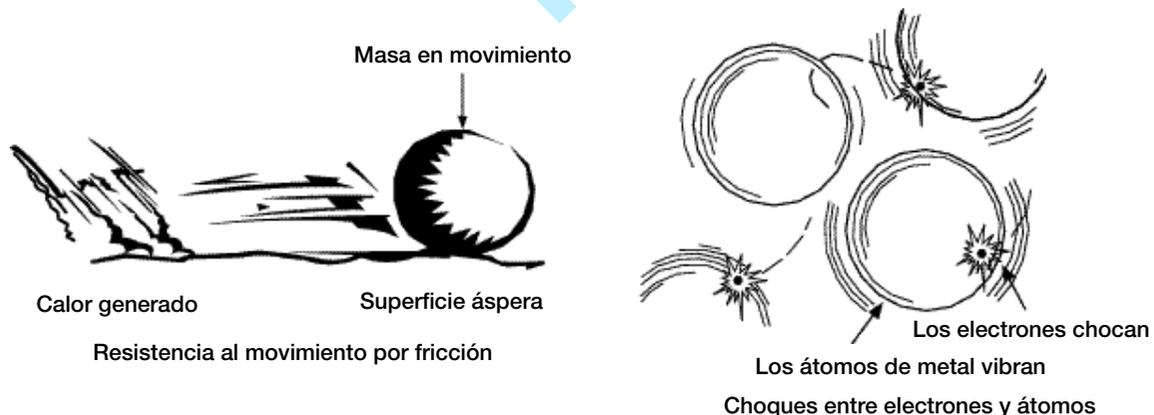
4. *Hertz* es el término empleado para los ciclos por segundo: 60 hertz = 60 ciclos/segundo.
5. *Voltaje pico a pico* es el voltaje medido entre los puntos máximo positivo y máximo negativo de una onda sinusoidal. Es igual al doble de la amplitud de onda.
6. *Voltaje o corriente de RMS* (valores efectivos o cuadrado de la media de valores pico) es una media estándar al medir la corriente o el voltaje alterno. $RMS = 1/\sqrt{2}$ por el valor del pico (la amplitud de la onda sinusoidal).
7. La línea horizontal que atraviesa el centro de la onda sinusoidal se llama *eje del cero*.
 - a) Todos los valores por encima del eje del cero son valores positivos; todos los valores por debajo del eje del cero son valores negativos.
 - b) Tanto el voltaje como la corriente *negativa* realizan el mismo trabajo que la corriente y voltaje positivo. La única diferencia es que la polaridad del voltaje es opuesta y que la corriente fluye en la dirección contraria. Producen la misma cantidad de energía que el voltaje y la corriente positiva.

Resistencia

El flujo de electrones necesita un material que permita por su medio un fácil desplazamiento de los electrones. La oposición que presenta un material al flujo de electrones es conocida como *resistencia*.

En algunos *aisladores*, como la cerámica y los plásticos, los electrones están fuertemente amarrados a sus átomos. Mientras el voltaje no sea muy alto –generalmente miles de voltios–, no se mueve ningún electrón. En todo *conductor*, el más mínimo voltaje mueve electrones, sin embargo, en aquellos materiales con una gran *resistencia*, se moverán muy pocos. En materiales con muy poca resistencia se moverán muchos electrones con muy poco voltaje.

La corriente o flujo de electrones libres en un circuito eléctrico encuentra *oposición a su movimiento* en todas las partes del circuito. Esta oposición es llamada *resistencia*, y puede compararse a la *fricción* entre una bola que rueda y las asperezas de la superficie sobre la cual lo hace. Al vencer esta resistencia la bola pierde velocidad (energía cinética, la cual es convertida en energía calorífica).



La fricción (resistencia al movimiento) de un objeto depende del tipo de superficie sobre la que se mueve. De manera parecida, los diferentes metales ofrecen distinta cantidad de oposición a la corriente de electrones.

Gran parte de la resistencia se debe a los *choques* entre electrones que fluyen y los átomos estacionarios. Los electrones pierden energía cinética (de movimiento) al fluir a través de una resistencia. Esta energía es convertida en calor. Las vibraciones mecánicas de los átomos de metal (originados por los choques entre electrones y átomos) son percibidas por nuestros sentidos como *calor*.

Siempre que el flujo de electrones encuentra resistencia, su energía cinética (de movimiento) se convierte en energía calorífica (calor).

Corriente o flujo de electrones a través de una resistencia = calor

A una gran cantidad de resistencia amontonada en un volumen relativamente pequeño se le llama *resistencia concentrada*. La resistencia concentrada de cualquier carga (foco, elemento calentador, motor, etcétera). La resistencia de un conductor distribuida a todo lo largo del alambre se llama resistencia distribuida.



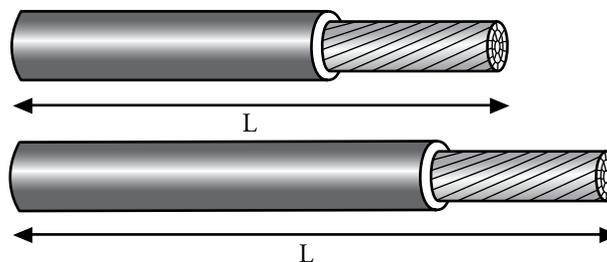
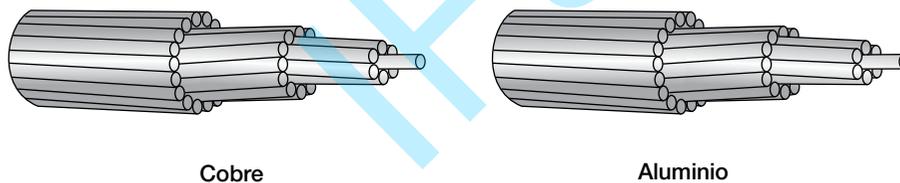
La línea quebrada indica la mayor oposición al flujo de electrones.

Símbolo esquemático para la resistencia

Factores que afectan la resistencia

La cantidad de oposición o resistencia que encuentra la corriente de electrones dentro de un metal (u otro material) depende de los siguientes factores:

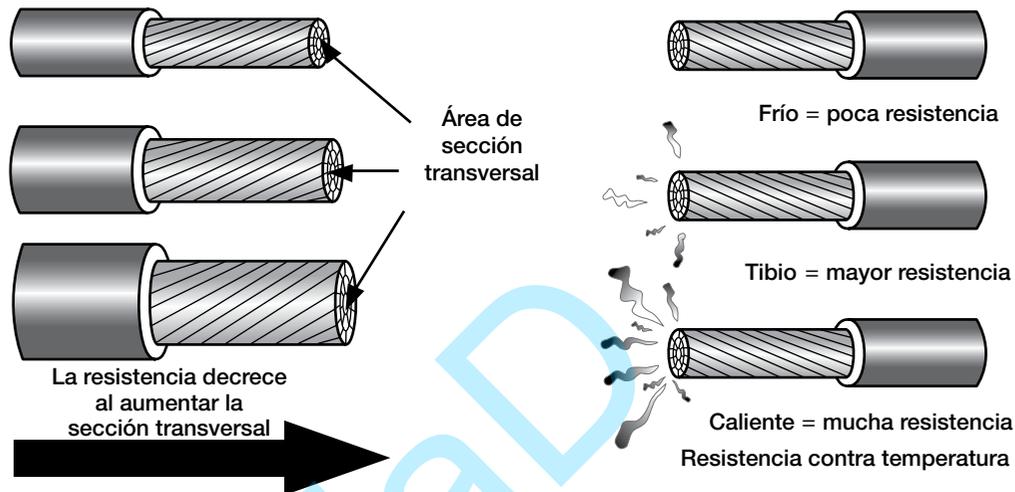
- **El tipo de metal.** Algunos metales tienen una bajísima resistencia *interna* debido al arreglo de sus átomos (y otros factores). Los cuatro metales con resistencia mínima entre todas las sustancias son plata, cobre, oro y aluminio. De los cuatro, la plata tiene menor resistencia, seguida por el cobre, luego el oro y después el aluminio.
- **La longitud del alambre.** La resistencia de un alambre de metal aumenta con su longitud. A mayor longitud de un alambre de metal habrá más colisiones entre átomos y electrones, con lo que se convierte en calor más energía de los electrones.



A mayor longitud (L), la resistencia aumenta

- **El área de sección transversal de un conductor.** A mayor amplitud en el camino de la corriente de electrones, más facilidad para su flujo a través del metal. A mayor área de la sección transversal del alambre, menor resistencia.

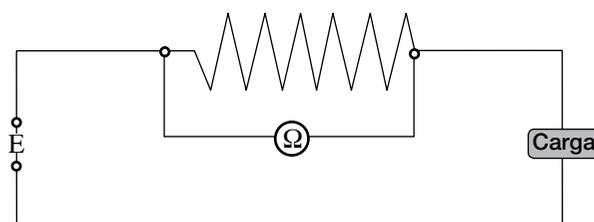
- **La temperatura del metal.** A una temperatura normal, la energía calorífica presente en todas las sustancias origina una suave vibración o agitación de sus átomos, sin que éstos pierdan su posición en el cristal de metal. Si se aumenta la temperatura, los átomos se agitan más y habrá mayor número de choques entre los electrones que fluyen y los átomos. La resistencia aumenta con la temperatura en los metales.



Medida de la resistencia

La resistencia siempre causa una *pérdida de energía en los electrones* (que es convertida en calor). Asimismo, la energía transportada por los electrones depende de la FEM o voltaje que actúa sobre ellos. Considerando estas dos proposiciones, llegamos a una *conclusión*: si los electrones pierden energía al fluir en contra de una resistencia, entonces esta pérdida de energía implica una *pérdida de FEM o voltaje* debido a la resistencia. Los técnicos se refieren a esta pérdida de energía o voltaje como *caída de voltaje a través de una resistencia*. La pequeña pérdida de voltaje a lo largo de cada resistencia se suma para dar la pérdida total de voltaje a través de toda la resistencia.

La energía perdida y la pérdida de voltaje resultante son usadas para definir la unidad de resistencia: una unidad de resistencia es la cantidad de resistencia que causa una caída de voltaje de 1 voltio a una corriente de 1 amperio. La unidad de resistencia es el *ohm* u *ohmio*, llamado así para honrar a Georg S. Ohm, científico alemán del siglo XIX. El ohmio = unidad de resistencia que causa una caída de voltaje de 1 voltio a una corriente constante de 1 amperio. El aparato para medir la resistencia es el *ohmetro* y se conecta en los extremos de la resistencia por medir.



Resistencia de un conductor eléctrico

La resistencia a la corriente directa o continua de un conductor eléctrico, formado por un alambre de cualquier metal, está expresada por la fórmula:

$$R_{cc} = \rho \frac{L}{A} \quad [\text{ohms}]$$

En donde:

L = longitud del conductor

A = área de la sección transversal del conductor

ρ = resistividad volumétrica del material del conductor en unidades compatibles con L y A.

Los valores de la resistividad en volumen, para el cobre, que ha normalizado la International Annealed Copper Standards (IACS) a 20 °C y 100% de conductividad son:

10,371 ohm-cmil/pie

17,241 ohm-mm²/km

Los valores para el aluminio en volumen con 61% de conductividad a 20 °C, según la IACS, son:

17,002 ohm-cmil/pie

28,28 ohm-mm²/km

Efecto de cableado. Cuando se trata de conductores cableados, su resistencia es igual a la resistencia de cada uno de los alambres dividida entre el número de ellos.

$$R_{cc} = \frac{R'}{n} = \frac{\rho}{n} \times \frac{L}{A'}$$

En donde:

R' y A' son la resistencia y el área de la sección transversal de cada alambre, respectivamente. Sin embargo, esta fórmula sería válida sólo si todos los alambres tuviesen la misma longitud. Como en realidad esto no es exacto, ya que los alambres de las capas superiores tienen una longitud mayor, el incremento de la resistencia por efecto de cableado, para fines prácticos, se puede suponer:

$$R_{cc} = \rho \frac{L}{A} (1+k_c)$$

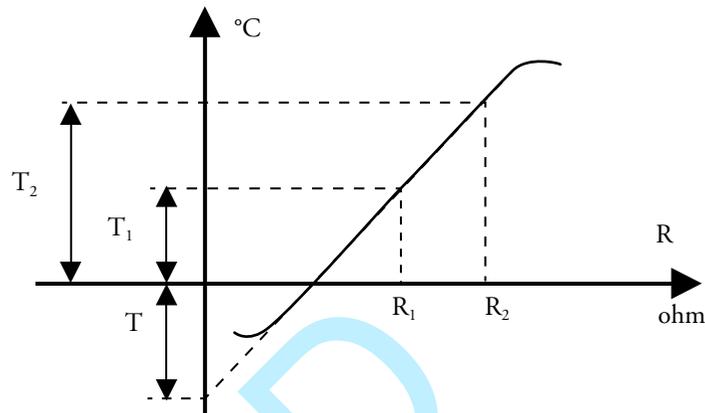
En donde:

k_c es el *factor de cableado*, y los valores correspondientes para diversos tipos de cuerdas se encuentran en la siguiente tabla.

Tipo de cableado	k_c
Redondo normal	0,020
Redondo compacto	0,020
Sectorial	0,015

Efecto de la temperatura en la resistencia. Dentro de los límites de operación de los conductores eléctricos, los únicos cambios apreciables en los materiales usados son los incrementos en la resistencia y la longitud que éstos sufren, en virtud de cambios de su temperatura. El más importante, en cables aislados, es el cambio en el valor de su temperatura.

Si efectuáramos mediciones de la resistencia en un conductor, a distintas temperaturas, y situáramos los valores obtenidos en una gráfica, obtendríamos la curva siguiente:



Variación de la resistencia de un conductor eléctrico metálico con la temperatura

La resistencia (R_2), a una temperatura cualquiera T_2 , en función de la resistencia (R_1), a una temperatura T_1 distinta de cero, estaría dada por:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

α = Coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura.

En donde:

α se denomina *coeficiente de corrección por temperatura* y sus dimensiones son el recíproco de grados centígrados.

$\alpha = 1/234,5 = 0,00427$, a 0 °C para el cobre recocido

$\alpha = 1/228 = 0,00439$, a 0 °C para el aluminio

$\alpha = 1/228,1 = 0,00438$ (aluminio duro estirado)

Relación entre voltaje, corriente y resistencia. Ley de Ohm

Al aplicar un voltaje a un circuito eléctrico cerrado, se produce una corriente de electrones a través de todas las partes del circuito. El voltaje aplicado da una fuerza (energía cinética) a los electrones libres, que es convertida en calor (energía calorífica) por la resistencia del circuito. La mayor parte de la conversión ocurre en la carga.

Durante mucho tiempo se sospechó de la existencia de una íntima relación entre el voltaje, la corriente de electrones y la resistencia de un circuito eléctrico. En el año de 1827 el profesor alemán de física Georg S. Ohm publicó una ecuación sencilla que explica la exacta relación entre voltaje, corriente y resistencia. Esta ecuación, conocida como la *Ley de Ohm*, se ha convertido en una poderosa herramienta para los técnicos electricistas. Permite predecir lo que sucederá en un circuito eléctrico antes de construirlo.

Usando la Ley de Ohm, los técnicos conocen exactamente cuánta corriente de electrones fluirá a través de una resistencia, cuando se conoce el voltaje aplicado. De hecho, las tres cantidades eléctricas –corriente, voltaje y resistencia– pueden determinarse usando la Ley de Ohm.

Relación entre corriente y voltaje aplicado. Para un valor fijo de resistencia, cuando se duplica el voltaje aplicado a un circuito, la corriente de electrones se duplica también (los electrones se mueven dos veces más aprisa).

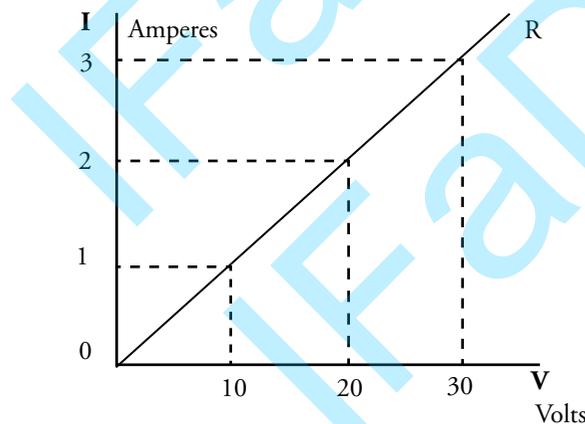
Cualquier aumento en el voltaje o la FEM da por resultado un aumento proporcional en la corriente a través del circuito.

Cualquier disminución en el voltaje o la FEM da por resultado una disminución proporcional en el flujo de electrones a través del circuito.

Nota: Cuando dos cantidades están íntimamente relacionadas, de tal manera que un aumento en una tiene por resultado un aumento proporcional en la otra, se dice que son directamente proporcionales.

Podemos expresar la relación entre voltaje aplicado y la corriente de electrones resultante en una proposición formal: **la corriente en un circuito de resistencia constante es directamente proporcional al voltaje aplicado.**

Esta relación puede expresarse gráficamente dibujando a I contra el valor de V , como se muestra en la figura siguiente:



La Ley de Ohm en su forma gráfica

Relación contra corriente y resistencia del circuito. Para un valor fijo de voltaje, cuando se dobla la resistencia de un circuito, haciendo dos veces más difícil el paso de los electrones a través del circuito, la cantidad de corriente de electrones es reducida a la mitad de su valor (el voltaje aplicado no cambia).

Cualquier aumento en la resistencia del circuito causa una disminución proporcional en la cantidad de corriente de electrones a través del circuito.

Cualquier disminución del valor de la resistencia produce un aumento proporcional en la cantidad de corriente de electrones.

Nota: Cuando dos cantidades están relacionadas de modo que un aumento en el valor de una de ellas produce una disminución proporcional en la otra, se dice que son inversamente proporcionales una a la otra.

Nuestra conclusión puede expresarse formalmente como: **la corriente que fluye en un circuito eléctrico con un voltaje constante es inversamente proporcional a la resistencia del circuito.**

Ley de Ohm

La Ley de Ohm nos dice que: la corriente es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia del circuito.

La expresión escrita de esta ley puede representarse mediante la siguiente ecuación algebraica:

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

En donde:

I = intensidad del flujo de electrones, o corriente de electrones, medida en amperes [A].

V = voltaje (también conocido como E = tensión o FEM = fuerza electromotriz) en volts [V].

R = Es la resistencia del circuito, medida en Ohms [Ω].

Formas derivadas de la Ley de Ohm. La expresión básica de la Ley de Ohm permite determinar la corriente que fluye en un circuito eléctrico, cuando conocemos el voltaje aplicado y la resistencia. Sin embargo, hay ocasiones en que conocemos el voltaje aplicado y la corriente resultante, y tenemos la necesidad de calcular la resistencia del circuito, o bien, puede conocerse la corriente y la resistencia del circuito, y debe encontrarse el voltaje aplicado. En estos casos se debe operar algebraicamente con la ecuación original de la Ley de Ohm para obtener ecuaciones derivadas para el voltaje y la corriente.

Pasemos ahora de la forma básica de la Ley de Ohm a la fórmula para el voltaje:

$$I = \frac{V}{R} \quad (\text{ecuación básica})$$

Se multiplican ambos miembros de la igualdad por R

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

Se eliminan factores iguales

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

Forma derivada de la Ley de Ohm

$$\therefore V = I \times R$$

Esta nueva ecuación nos permite calcular el voltaje aplicado, cuando conocemos la resistencia y la corriente que fluye a través de ella.

Pasemos ahora de la forma básica de la Ley de Ohm a la fórmula para la resistencia:

Forma derivada de la Ley de Ohm

$$V = I \times R$$

Dividimos ambos lados entre I

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

Se eliminan factores iguales

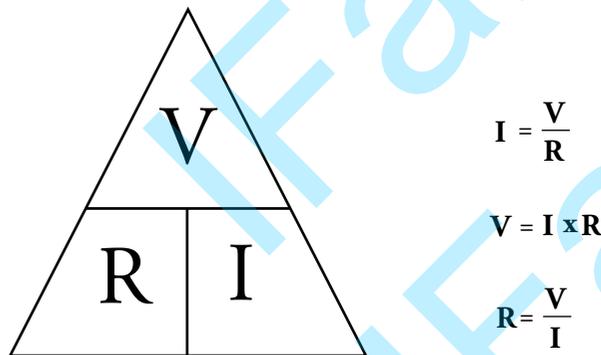
$$\frac{V}{I} = R$$

Segunda forma derivada de la Ley de Ohm

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

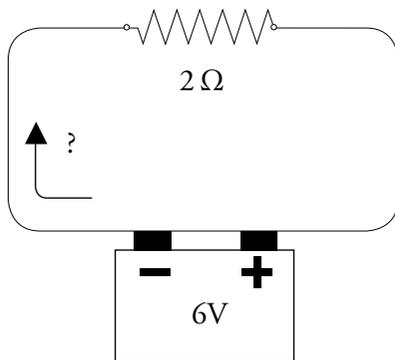
Esta segunda ecuación derivada de la Ley de Ohm nos permite calcular la resistencia de un circuito, cuando conocemos el voltaje aplicado y la corriente resultante.

Para facilitar el trabajo con las tres ecuaciones, hacemos uso del *Triángulo de memoria*. Esta figura no es la Ley de Ohm, solamente sirve para recordar qué operación se hace para calcular voltajes, corrientes o resistencias. Para usarlo, se cubre la cantidad que se busca, y las partes visibles del triángulo dicen qué forma de la Ley de Ohm debe usarse.



Ejercicios prácticos:

1) ¿Cuál será la corriente que circula a través del circuito de la figura, si el voltaje es de 6 volts y la resistencia de 2 ohms?



Solución: Tapamos las letra I en el triángulo y nos queda.

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

En donde:

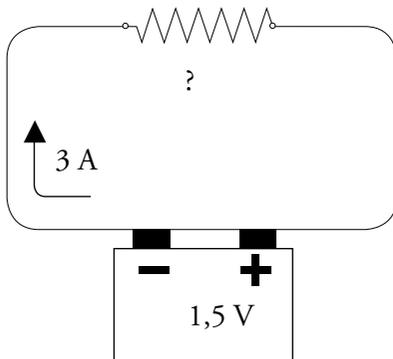
$R = 2$ ohms

$V = 6$ volts

$I = ?$

$$\therefore I = \frac{6 \text{ volts}}{2 \text{ ohms}} \quad I = 3 \text{ amperes}$$

2) ¿Qué resistencia tiene el circuito de la figura, el cual tiene aplicado un voltaje de 1,5 volts y por él circula una corriente de 3 amperes?



Solución: Tapamos la letra R en el triángulo y nos queda:

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

En donde:

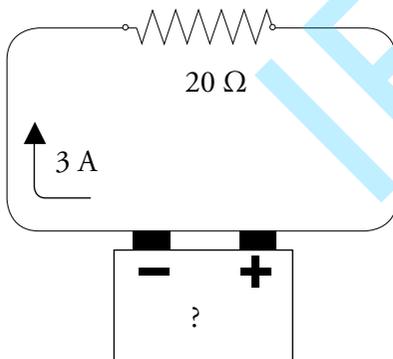
$$R = ?$$

$$V = 1,5 \text{ volts}$$

$$I = 3 \text{ amperes}$$

$$\therefore R = \frac{1,5 \text{ volts}}{3 \text{ amperes}} \quad R = 0,5 \text{ ohms}$$

3) Calcular el voltaje necesario para que en el circuito de la figura circulen 3 amperes, si la resistencia del circuito es de 20 ohms.



Solución: Tapamos la letra V en el triángulo y nos queda:

$$V = I \times R$$

En donde:

$$R = 20 \text{ ohms}$$

$$V = ?$$

$$I = 3 \text{ amperes}$$

$$\therefore V = 3 \text{ amperes} \times 20 \text{ ohms} \quad V = 60 \text{ volts}$$

Potencia, pérdidas de energía y energía

Potencia

Diferencia de potencial. La diferencia de potencial eléctrico de una carga entre dos puntos se define como el trabajo realizado por una fuerza externa para mover la carga de un punto a otro.

Analizando un sistema mecánico, cuando aplicamos una fuerza (F) a un objeto y éste se desplaza a una distancia (L), estaremos realizando un trabajo, el cual queda definido como:

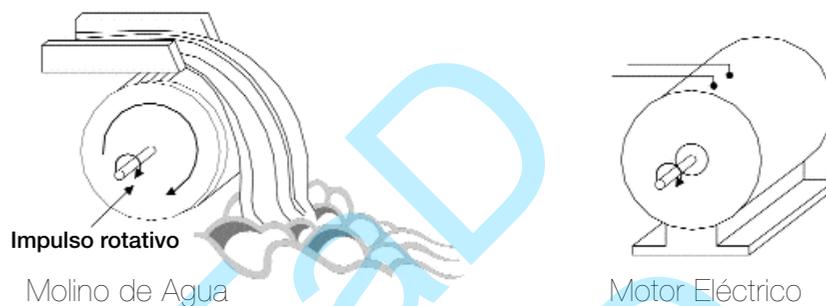
Fuerza x distancia = trabajo

El trabajo en un sistema eléctrico lo estaremos realizando cuando se aplica un voltaje y se produce una corriente de electrones.

La gran utilidad de la energía eléctrica está en que puede ser transformada fácilmente en otro tipo de energía, como la mecánica o la térmica. La energía eléctrica es transformable debido a que la diferencia de potencial es lo suficientemente fuerte para provocar choques entre los electrones en movimiento y los átomos del conductor.

Potencia: La *potencia* o energía eléctrica es la rapidez o velocidad con que la energía eléctrica asume otra forma. En un sistema mecánico, la potencia es la rapidez con la que se realiza un trabajo, es decir, la cantidad de trabajo que puede hacerse en una cantidad específica de tiempo.

En un molino de agua, entre más agua fluye, mayor será la velocidad de las vueltas del molino; o entre mayor sea el impulso rotativo ejercitado por su eje (energía cinética), mayor será el trabajo que realiza en un tiempo determinado. Igualmente, mientras mayor sea la potencia o energía eléctrica que va a un motor, mayor será el trabajo que el motor realice en un determinado tiempo.



La *potencia eléctrica*, o sea, el porcentaje en el cual la energía eléctrica se convierte en otra forma de energía, simplemente es la corriente multiplicada por el voltaje.

La unidad de medida de la potencia eléctrica es el *watt* (W), en honor a James Watt.

Un voltaje de 1 volt, al empujar una corriente de 1 amper, produce 1 watt de potencia.

Potencia = corriente x voltaje

$$P = I \times V$$

En donde:

P = Potencia en watts [W]

I = Corriente eléctrica en amperes [A]

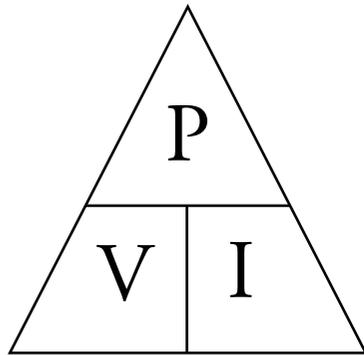
V = Voltaje o tensión en volts [V]

Formas derivadas de la fórmula de potencia (Ley de Watt). La expresión básica de la Ley de Watt permite determinar la rapidez con la que se realiza el trabajo eléctrico cuando conocemos el voltaje aplicado y la corriente eléctrica. Sin embargo, hay ocasiones en que conocemos la potencia y la corriente eléctrica y tenemos la necesidad de calcular el voltaje aplicado, o bien, puede conocerse la potencia y el voltaje aplicado y debe encontrarse la corriente eléctrica. Nuevamente se debe operar algebraicamente con la ecuación original de la Ley de Watt para obtener ecuaciones derivadas para el voltaje y la corriente.

$$I = \frac{P}{V} \quad \text{o} \quad V = \frac{P}{I}$$

Estas fórmulas no son correctas para toda clase de circuitos.

Hacemos nuevamente referencia al uso del *Triángulo de memoria*, el cual nos sirve para recordar qué operación debemos realizar para calcular potencias, voltajes o corrientes. Para usarlo, se cubre la cantidad que se busca y las partes visibles del triángulo dicen qué forma de la Ley de Watt debe usarse.



$$P = I \times V$$

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

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

Ejercicios prácticos:

1) ¿Cuál es la corriente que circula por el filamento de una lámpara de 100 watts, conectada a una alimentación de 120 volts?

Solución: Tapamos la letra *I* en el triángulo y nos queda la fórmula:

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

En donde:

$P = 100$ watts

$V = 120$ volts

$I = ?$

$$\therefore = \frac{100 \text{ watts}}{120 \text{ volts}} \quad I = 0,83 \text{ amperes}$$

2) Una plancha demanda 4 amperes de un contacto de alimentación de 127 volts, calcular la potencia consumida.

Solución: Tapamos la letra *P* en el triángulo y nos queda la fórmula:

$$P = I \times V$$

En donde:

$P = ?$

$V = 127$ volts

$I = 4$ amperes

$$\therefore P = 4 \text{ amperes} \times 127 \text{ voltios} \quad P = 508 \text{ watts}$$

3) ¿Qué voltaje deberá aplicarse a un tostador de 1270 watts, si en su placa indica que toma una corriente de 10 amperes?

Solución: Tapamos la letra V en el triángulo y nos queda la fórmula:

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

En donde:

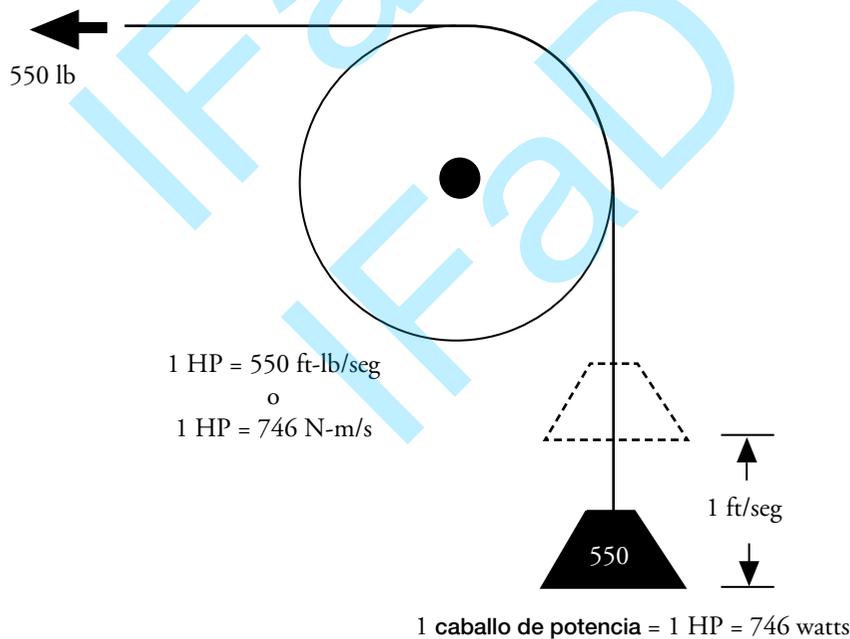
$$P = 1\,270 \text{ watts}$$

$$V = ?$$

$$I = 10 \text{ amperes}$$

$$\therefore I = \frac{1\,270 \text{ watts}}{10 \text{ amperes}} \quad V = 127 \text{ volts}$$

Caballos de potencia (HP). El trabajo mecánico que realiza un motor se mide en términos de caballos de potencia. Un caballo de potencia se define como 550 libras aplicadas durante una distancia de un pie en un segundo. En otras palabras, se necesita 1 HP para levantar 550 lb a la distancia de un pie en un segundo. En el sistema métrico, 1 HP es una fuerza de 746 newtons, aplicados a lo largo de un metro durante un segundo.



Pérdidas de energía

Cuando existe oposición o resistencia al movimiento, parte de la energía cinética de este movimiento se transforma en energía calorífica (calor) sin poder recuperarse; de igual manera ocurre en el movimiento de los electrones ante la resistencia: parte de la energía eléctrica se convierte en calor. El calor es producido por la fricción de los electrones libres en movimiento y los átomos que obstruyen el paso de los electrones.

Las pérdidas de energía por el calor generado en la conducción se describen por medio del efecto joule.

Las pérdidas de energía generalmente se calculan por medio de la fórmula de la Ley de Joule:

$$P = I^2 \times R$$

En donde:

P = potencia en watts [W]

I = corriente eléctrica en amperes [A]

R = resistencia eléctrica en ohms [Ω]

El calor generado es una clara evidencia de que la potencia se usa para producir la corriente eléctrica.

De la Ley de Ohm, conocemos que:

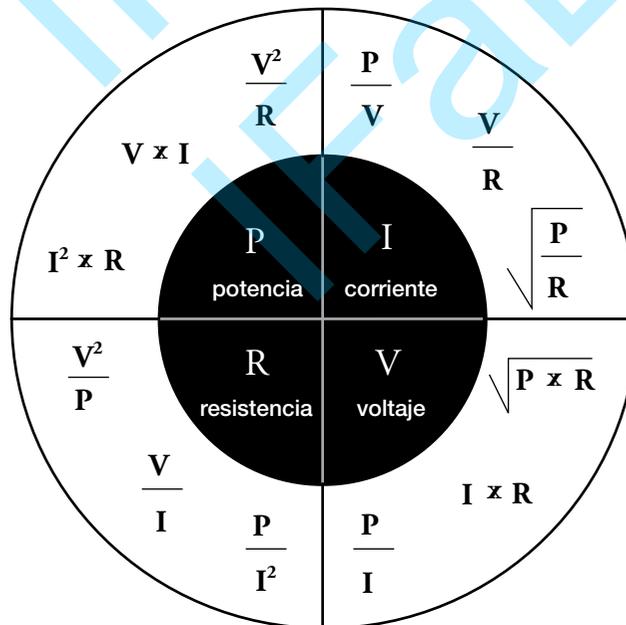
$$I = \frac{V}{R}$$

Esta expresión la podemos sustituir en la fórmula anterior, de modo que:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Relación entre voltaje, corriente, resistencia y potencia

Si se conocen dos de los parámetros eléctricos básicos –voltaje, corriente, resistencia y potencia– es posible calcular los otros dos. El siguiente diagrama resume las relaciones.



En donde:

R = resistencia en ohms

I = corriente en amperes

V = voltaje o tensión en volts

P = potencia en watts

Energía

La energía es un trabajo eléctrico, es decir, la potencia consumida en un lapso determinado.

La energía producida o utilizada por cualquier sistema se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{W = P \times t}$$

En donde:

W = energía en watts-s [W-s]

P = potencia en watts [W]

t = tiempo en segundos [s]

El watt-s es una cantidad demasiado pequeña para fines prácticos (Sistema de Potencia), por lo que se emplea el watt-hora o kilowatt-hora. El aparato que utilizamos para medir la energía consumida es llamado *watthorímetro*.

IFAD
IFAD