

Electricidad

Definición

La electricidad es un fenómeno físico que se manifiesta naturalmente en los rayos, las descargas eléctricas producidas por el rozamiento (electricidad estática) y en el funcionamiento de los sistemas nerviosos de los animales, incluidos los seres humanos.^[1] También se denomina *electricidad* a la rama de la ciencia que lo estudia y la rama de la tecnología que lo aplica. Desde que, en 1831, Faraday descubriera la forma de producir corrientes eléctricas por inducción, se ha convertido en una de las formas de energía más importantes para el desarrollo tecnológico debido a su facilidad de generación, distribución y al gran número de aplicaciones que tiene.

El origen de la electricidad son las cargas eléctricas, estáticas o en movimiento, y su interacción. Una carga eléctrica en reposo produce fuerzas sobre otras cargas. Si la carga eléctrica está en movimiento, produce también fuerzas magnéticas. Hay sólo dos tipos de carga eléctrica, las positivas y las negativas. Las cargas eléctricas elementales son los protones y los electrones, responsables de la formación de los átomos y moléculas, pero también hay otras partículas elementales cargadas

Electricidad y magnetismo son sólo dos aspectos diferentes del mismo fenómeno electromagnético descrito por las ecuaciones de Maxwell. El movimiento de una carga eléctrica con velocidad constante produce un campo magnético, la variación de un campo magnético produce un campo eléctrico y el movimiento acelerado de cargas eléctricas genera ondas electromagnéticas (como en las descargas de rayos que pueden escucharse en los receptores de radio AM).

Debido a las crecientes aplicaciones de la electricidad en la generación de potencia, las telecomunicaciones y el procesamiento de información, uno de los principales desafíos contemporáneos es generarla de modo más eficiente y con el mínimo de perjuicios para el medio ambiente.

Tipos de Electricidad

Electrostática (Electricidad Estática)

Benjamin Franklin haciendo un experimento con un rayo, que no es otra cosa que un fenómeno electrostático macroscópico. La electrostática es la rama de la física que estudia los fenómenos eléctricos producidos por distribuciones de cargas en reposo, esto es, el campo electrostático de un cuerpo cargado.

Históricamente la electrostática fue la rama del electromagnetismo que primero se desarrolló. En 1785 el físico francés Charles Coulomb publicó un tratado en el que se describían por primera vez cuantitativamente las fuerzas eléctricas, formulando las leyes de atracción y repulsión de cargas eléctricas estáticas, usando la balanza de torsión para realizar sus medidas. En su honor estas leyes se conocen con el nombre de ley de Coulomb. Esta ley, junto con su elaboración matemática más sofisticada a través del

teorema de Gauss y la derivación de los conceptos de campo eléctrico y potencial eléctrico, describen la práctica totalidad de los fenómenos electrostáticos.

Durante el siglo posterior se sucedieron avances significativos en el estudio de los fenómenos eléctricos producidos por cargas en movimiento en el interior de un material conductor. Finalmente, en 1864 el físico escocés James Clerk Maxwell unificó las leyes de la electricidad y el magnetismo en un conjunto reducido de leyes matemáticas. Con las ecuaciones de Maxwell^[7] concluyeron definitivamente su estudio y explicación permitiendo demostrar cómo las leyes de la electrostática y las leyes que gobernaban los fenómenos magnéticos pueden ser estudiados en el mismo marco teórico denominado electromagnetismo.

Electricidad Dinámica

Este tipo de electricidad que podemos manejar y controlar, de tal modo que produzca determinados efectos.

Existen muchas fuerzas que generan electricidad dinámica, entre ellas:

1. La energía química a través de todos los tipos de pilas conocidos.
2. La energía magnética a través de los gigantescos alternadores de una usina eléctrica, el dínamo de la bicicleta o el microgenerador formado por un micrófono dinámico o la cápsula de tocadiscos magnética.
3. La energía térmica que provoca la generación de tensiones eléctricas en dos metales distintos al ser calentados.
4. La energía luminosa que en las celdas solares provoca el desprendimiento de electrones. Muy usadas hoy en día en las naves espaciales.
5. La energía mecánica que provoca la generación de tensiones en ciertas sustancias llamadas piezoeléctricas; al ser golpeadas violentamente. Se emplean en sistemas de encendido de cocinas, automóviles, encendedores, etc., también en las cápsulas de tocadiscos del tipo cristal o cerámica.

Electricidad Positiva

Se describe como electricidad positiva al flujo que permiten la transferencia de electrones por un conductor, buscando generar un equilibrio entre las cargas positivas y negativas; ya que al hablar de electricidad positiva se habla de deficiencia de electrones dentro de un conductor.

Electricidad Negativa

Se describe como la electricidad pura, pues el concepto de electricidad se vincula directamente con la capacidad que presentan los electrones para desplazarse por un medio conductivo.

Funciones Eléctricas

Carga eléctrica

La carga eléctrica es una propiedad que poseen ciertas partículas subatómicas y que se manifiesta mediante las fuerzas observadas entre ellas. La materia cargada eléctricamente es influida por los campos electromagnéticos siendo, a su vez, generadora de ellos. La interacción entre carga y campo eléctrico es la fuente de una de las cuatro interacciones fundamentales, la Interacción electromagnética, siendo la partícula que transporta la información de estas interacciones el fotón. Estas fuerzas son de alcance infinito y no se manifiestan de forma inmediata, sino que tardan un tiempo $t = \frac{d}{c}$, siendo c la velocidad de la luz en el medio en el que se transmite y d la distancia entre las cargas.

Las dos partículas elementales cargadas que existen en la materia y que se encuentra de forma natural en nuestro planeta, son el electrón y el protón, aunque pueden encontrarse otras procedentes del exterior (como los muones o los piones). Cuando un átomo gana o pierde un electrón queda cargado eléctricamente. A estos átomos cargados se les denomina iones.

Los trabajos de investigación realizados en la segunda mitad del siglo XIX por el premio Nobel de Física Joseph John Thomson, que le llevaron en 1897 a descubrir el electrón y de Robert Millikan al medir su carga, determinaron la naturaleza discreta de la carga eléctrica.

En el Sistema Internacional de Unidades la unidad de carga eléctrica se denomina culombio (símbolo C) y se define como la cantidad de carga que pasa por una sección en 1 segundo cuando la corriente eléctrica es de 1 amperio, y se corresponde con la carga de $6,24 \times 10^{18}$ electrones aproximadamente. La carga más pequeña que se encuentra en la naturaleza es la del electrón (que es igual en magnitud a la del protón y de signo opuesto) $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C (1 eV en unidades naturales).

Véase también: átomo, electrón, protón, ión, Polarización electroquímica, Experimento de Millikan, y electroscopio

Fuerza entre cargas

Charles A. Coulomb fue el primero en describir en 1785 las características de las fuerzas entre cargas eléctricas.^[9] Observando la torsión que sufría un hilo, del que colgaba una barra con una esfera cargada eléctricamente, al situar a distancias conocidas otra esfera cargada, pudo determinar que:

1. Si se multiplica la carga de cualquiera de las esferas por un número q , la fuerza resultante se multiplica por el mismo valor q .
2. Al aumentar la distancia entre las cargas un valor r , la fuerza disminuye en relación al cuadrado de ese mismo número r^2 .

Es decir: *la magnitud de la fuerza con que interactúan dos cargas eléctricas puntuales en reposo es directamente proporcional al producto de las magnitudes de cada carga e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.*

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

Además, la dirección de la fuerza se mantiene en la línea que une ambas cargas y el sentido cambia dependiendo del signo de las cargas, dando lugar a fuerzas atractivas cuando las cargas son de signo opuesto y repulsivas cuando son iguales.^[10]

La constante de proporcionalidad k depende del sistema de unidades considerado, tomando un valor arbitrario 1 en el vacío en el sistema cgs, $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ en el SI o $\frac{1}{\epsilon_0}$ en el sistema no racionalizado.

Otra propiedad fundamental de estas fuerzas es el principio de superposición, gracias al cual, cuando hay más de dos cargas, las fuerzas resultantes pueden calcularse como la suma de las fuerzas entre cada par de cargas como si estuvieran aisladas de las demás. Es decir, en su versión más completa, la ley de Coulomb de las fuerzas entre cargas eléctricas discretas y puntuales en reposo viene dada en el SI por:

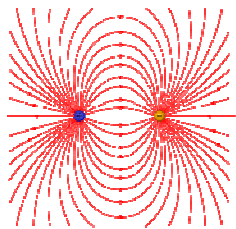
$$\vec{F} = 9 \cdot 10^9 \cdot \sum_{i,j(i \neq j)} q_i \cdot q_j \cdot \frac{\vec{r}_{ij}}{r_{ij}^3} \text{ N}$$

Cuando estas cargas se mueven, sin embargo, aparecen fuerzas magnéticas inducidas, que fueron explicadas totalmente con el conjunto de las ecuaciones del electromagnetismo (un sistema de ecuaciones diferenciales) publicadas por Maxwell en 1861.^[11] La forma más sencilla de describir estos fenómenos es mediante el uso de campos ($\vec{E}$ y $\vec{B}$), de los que a su vez se pueden derivar las fuerzas observables a partir de la fuerza de Lorentz:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Para el caso general, la única forma de describir estos fenómenos es utilizar estas ecuaciones de Maxwell, resolver los campos, y derivar las fuerzas a través de las expresiones de la energía electromagnética, ya que no se pueden dar expresiones explícitas para ellas.^[12]

Campo eléctrico (y magnético)



Líneas de campo de un dipolo eléctrico.

Los campos, eléctrico ($\vec{E}$) y magnético ($\vec{B}$), son magnitudes medibles en forma de vectores (es decir, conjuntos de tres números cuyo valor depende del tiempo) que toman valores en cada punto del espacio. Los valores que estos dos vectores pueden tomar en el espacio vienen definidos por las 4 ecuaciones de Maxwell.

Una propiedad fundamental de estos campos es el principio de superposición, según el cual el campo total se puede calcular como suma de cada campo creado por separado.

Ambos son realmente inseparables de forma general, sin embargo, cuando se habla de cargas o de corrientes estáticas las ecuaciones pueden separarse de forma que solo aparezca el campo eléctrico en dos y solo el magnético en otras dos. En estas

condiciones, el campo eléctrico puede describirse por las ecuaciones: $\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ y $\nabla \times \vec{E} = 0$

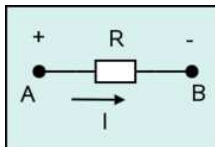
Aunque de limitado valor, ya que son solo una particularización del caso general, con estas dos ecuaciones pueden hallarse resultados muy interesantes en casos reales. Uno de los más interesantes es la resolución de un dipolo eléctrico, que es la base para describir los enlaces iónicos en las moléculas, las características del agua, o el funcionamiento de las antenas entre otros. Resolviendo las ecuaciones de Maxwell y utilizando el potencial eléctrico se obtiene que el campo eléctrico de un dipolo (aproximación para puntos alejados del dipolo) está dado por:

$$\vec{E} = \frac{p}{4\pi\epsilon_0} \left(\left(\frac{3\sin^2\theta}{r^3} \right) \vec{u}_z + \left(\frac{3\cos\theta\sin\theta}{r^3} \right) \vec{u}_\perp \right)$$

Donde p es el momento dipolar.

Las unidades del campo eléctrico en el SI son $N C^{-1}$.

Potencial eléctrico (tensión eléctrica)



Representación esquemática de una resistencia R por la que circula una intensidad de corriente I debido a la diferencia de potencial entre los puntos A y B .

Se denomina tensión eléctrica o voltaje a la energía potencial por unidad de carga que está asociada a un campo electrostático. Su unidad de medida en el SI son los voltios. A la diferencia de energía potencial entre dos puntos se le denomina voltaje.

Esta tensión puede ser vista como si fuera una "presión eléctrica". Cuando la presión es uniforme no existe circulación de cargas. Sin embargo cuando esta "presión" varía se crea un campo eléctrico que a su vez genera fuerzas en las cargas eléctricas.

Como cualquier magnitud potencial, solo tiene sentido hablar de esta entre dos puntos. Se puede generalizar esta tensión para que incluya campos no estacionarios, en cuyo caso el campo eléctrico no es conservativo y no se puede definir en todo el espacio una función potencial. En este caso se incluye una caída de potencial efectiva asociada a la inductancia del circuito. A esta diferencia de potencial generalizada se le suele llamar fuerza electromotriz (f.e.m.), que se mide en voltios.

Generalmente se definen los potenciales referidos a un punto inicial dado. A veces se escoge uno situado infinitamente lejos de cualquier carga eléctrica.

Si la carga eléctrica q es suficientemente pequeña para no modificar el campo $\vec{E}$, la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos A y B será el trabajo W por unidad de carga, que debe ejercerse en contra del campo eléctrico $\vec{E}$ para llevar q desde B hasta A . Es decir:

$$V = \frac{W}{q}.$$



Multímetro donde pueden medirse varias magnitudes eléctricas, como el voltaje.

Otra de las formas de expresar la tensión entre dos puntos es en función de la intensidad de corriente y la resistencia existentes entre ellos. Así se obtiene uno de los enunciados de la ley de Ohm, que dice:

$$V = R \cdot I$$

Cuando por dos puntos de un circuito puede circular una corriente eléctrica, la polaridad de la caída de tensión viene determinada por la dirección convencional de la misma; esto es, del punto de mayor potencial al de menor.

La fuerza electromotriz es aquello que puede mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado. Con carácter general puede explicarse por la existencia de un campo cuya circulación, $\int \vec{E} ds$, define la fuerza electromotriz del generador. Es el trabajo que el generador realiza para pasar por su interior la unidad de carga del polo negativo al positivo, dividido por el valor de dicha carga. Esto es así porque, cuando circula esta unidad de carga por el generador, desde el polo positivo al negativo, es necesario realizar un trabajo o consumo de energía (mecánica, química, etcétera) para transportarla desde un punto de menor potencial a otro de mayor potencial.

Propiedades eléctricas de los materiales

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una propiedad de los materiales que cuantifica la facilidad con que las cargas pueden moverse cuando un material es sometido a un campo eléctrico. La resistividad eléctrica es una magnitud inversa a la conductividad.

Los materiales se clasifican según su conductividad eléctrica en conductores, dieléctricos, semiconductores y superconductores.



Conductor eléctrico de cobre

Se llaman conductores eléctricos a los materiales que puestos en contacto con un cuerpo cargado de electricidad transmite ésta a todos los puntos de su superficie. Los mejores conductores eléctricos son los metales y sus aleaciones. Existen otros materiales, no metálicos, que también poseen la propiedad de conducir la electricidad como son el grafito, las soluciones salinas (por ejemplo, el agua de mar) y cualquier material en estado de plasma. Para el transporte de la energía eléctrica, así como para cualquier instalación de uso doméstico o industrial, el metal empleado universalmente es el cobre en forma de cables de uno o varios hilos. Alternativamente se emplea el aluminio, metal que si bien tiene una conductividad eléctrica del orden del 60% de la del cobre es, sin embargo, un material mucho más ligero, lo que favorece su empleo en líneas de transmisión de energía eléctrica en las redes de alta tensión. Para aplicaciones especiales se utiliza como conductor el oro.

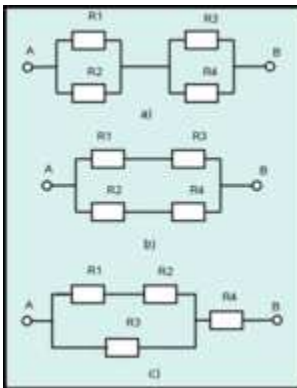
La conductividad eléctrica del cobre puro fue adoptada por la Comisión Electrotécnica Internacional en 1913 como la referencia estándar para esta magnitud, estableciendo el *International Annealed Copper Standard* (Estándar Internacional del Cobre Recocido) o IACS. Según esta definición, la conductividad del cobre recocido medida a 20°C es igual a 0.58108 S/m

A este valor es a lo que se llama 100% IACS y la conductividad del resto de los materiales se expresa como un cierto porcentaje de IACS. La mayoría de los metales tienen valores de conductividad inferiores a 100% IACS pero existen excepciones como la plata o los cobres especiales de muy alta conductividad designados C-103 y C-110.

Se denomina dieléctricos a los materiales que no conducen la electricidad, por lo que pueden ser utilizados como aislantes. Algunos ejemplos de este tipo de materiales son el vidrio, cerámica, plásticos, goma, mica, cera, papel, madera seca, porcelana, algunas grasas para uso industrial y electrónico y baquelita. Aunque no existen materiales absolutamente aislantes o conductores, sino mejores o peores conductores, son

materiales muy utilizados para evitar cortocircuitos, forrando con ellos los conductores eléctricos, para mantener alejadas del usuario determinadas partes de los sistemas eléctricos que, de tocarse accidentalmente cuando se encuentran en tensión, pueden producir una descarga, para confeccionar **aisladores** (elementos utilizados en las redes de distribución eléctrica para fijar los conductores a sus soportes sin que haya contacto eléctrico). Algunos materiales, como el aire o el agua, son aislantes bajo ciertas condiciones pero no para otras. El aire, por ejemplo, es aislante a temperatura ambiente y bajo condiciones de frecuencia de la señal y potencia relativamente bajas, puede convertirse en conductor.

Resistividad eléctrica



Asociaciones mixtas de resistencias: a) Serie de paralelos, b) Paralelo de series y c) otras posibles conexiones.

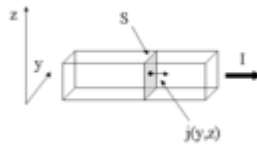
Se le llama resistividad al grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos. Se designa por la letra griega rho minúscula (ρ) y se mide en ohms por metro ($\Omega \cdot m$, a veces también en $\Omega \cdot mm^2/m$). Su valor describe el comportamiento de un material frente al paso de corriente eléctrica, por lo que da una idea de lo buen o mal conductor que es. Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indicará que es un buen conductor. Generalmente la resistividad de los metales aumenta con la temperatura, mientras que la resistividad de los semiconductores disminuye ante el aumento de la temperatura.

La ley de Ohm describe la relación entre la intensidad de corriente que circula por un circuito, la tensión de esa corriente eléctrica y la resistencia que ofrece el circuito al paso de dicha corriente: la diferencia de potencial (V) es directamente proporcional a la intensidad de corriente (I) y a la resistencia (R). Se describe mediante la fórmula:

$$V = I \times R$$

Esta definición es válida para la corriente continua y para la corriente alterna cuando se trate de elementos resistivos puros, esto es, sin componente inductiva ni capacitiva. De existir estos componentes reactivos, la oposición presentada a la circulación de corriente recibe el nombre de impedancia.

Corriente eléctrica (Intensidad)



Relación entre la intensidad de corriente y la densidad de corriente.

La corriente eléctrica es el flujo de portadores de carga eléctrica a través de un material sometido a una diferencia de potencial.

La intensidad de corriente (I) es la cantidad de carga eléctrica (Q) que atraviesa una sección (S) de un material por unidad de tiempo.

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{dQ}{dt}$$

Históricamente, la corriente eléctrica se definió como un flujo de cargas positivas y se fijó el sentido convencional de circulación de la corriente como un flujo de cargas desde el polo positivo al negativo. Sin embargo posteriormente se observó, gracias al efecto Hall, que en los metales los portadores de carga son negativos, estos son los electrones, los cuales fluyen en sentido contrario al convencional.

La densidad de corriente (σ) es la intensidad de corriente que atraviesa una sección por unidad de superficie de la sección (S).

$$\sigma = \frac{I}{S}$$

La intensidad de corriente (**I**) en una sección dada de un conductor se define como la carga eléctrica (**Q**) que la atraviesa en una unidad de tiempo. El valor de la intensidad de corriente que atraviesa un circuito es determinante para calcular la sección de los elementos conductores del circuito.

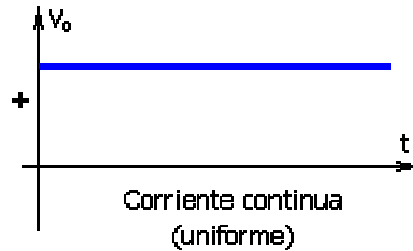
Corriente Continua

La corriente continua (CC en español, en inglés DC, de Direct Current) es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial. A diferencia de la corriente alterna (CA en español, AC en inglés), en la corriente continua las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección (es decir, los terminales de mayor y de menor potencial son siempre los mismos). Aunque comúnmente se identifica la corriente continua con la corriente constante (por ejemplo la suministrada por una batería), es continua toda corriente que mantenga siempre la misma polaridad.

Su descubrimiento se remonta a la invención de la primera pila por parte del científico italiano Conde Alessandro Volta. No fue hasta los trabajos de Thomas Alva Edison sobre la generación de electricidad en las postrimerías del siglo XIX, cuando la corriente continua comenzó a emplearse para la transmisión de la energía eléctrica. Ya en el siglo XX este uso decayó en favor de la corriente alterna (propuesta por el inventor serbio Nikola Tesla, sobre cuyos desarrollos se construyó la primera central hidroeléctrica en las Cataratas del Niágara) por sus menores pérdidas en la transmisión a largas distancias, si

bien se conserva en la conexión de redes eléctricas de diferente frecuencia y en la transmisión a través de cables submarinos.

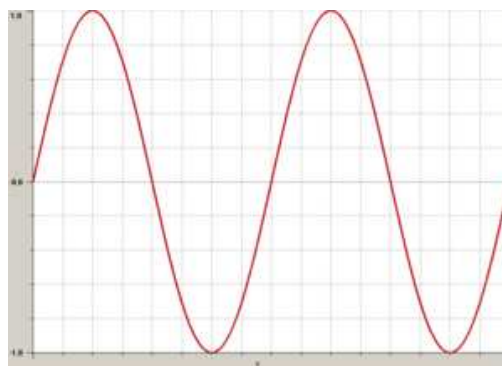
También se está extendiendo el uso de generadores de corriente continua mediante células solares -buscando un menor impacto medioambiental del uso de la energía solar frente a las soluciones convencionales (combustible fósil y energía nuclear).



Corriente Alterna

Se denomina corriente alterna (abreviada CA en español y AC en inglés, de Altern Current) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda senoidal (figura 1), puesto que se consigue una transmisión más eficiente de la energía. Sin embargo, en ciertas aplicaciones se utilizan otras formas de onda periódicas, tales como la triangular o la cuadrada.

Utilizada genéricamente, la CA se refiere a la forma en la cual la electricidad llega a los hogares y a las empresas. Sin embargo, las señales de audio y de radio transmitidas por los cables eléctricos, son también ejemplos de corriente alterna. En estos usos, el fin más importante suele ser la transmisión y recuperación de la información codificada (o modulada) sobre la señal de la CA.



Onda senoidal.

Corriente Monofásica

En todas las casas, a menos que estas sean muy grandes, encontramos esta forma de alimentación, la cual consiste en un cable vivo y un neutro, el vivo por decir de alguna manera trae la corriente, y el neutro permite cerrar el circuito hacia la línea de alimentación.

Se utiliza en viviendas ya que no es necesario manejar grandes potencias, su tensión o voltaje es siempre de 220 volts (siempre teniendo en cuenta entre vivo y neutro, a esto se denomina diferencia de potencial), y la corriente que circula es baja con respecto a los niveles utilizados en el uso industrial.

Corriente Trifásica

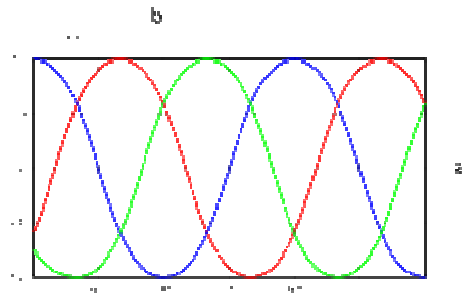
sistema de corrientes trifásicas es el conjunto de tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud (y por consiguiente, valor eficaz) que presentan una cierta diferencia de fase entre ellas, en torno a 120° , y están dadas en un orden determinado. Cada una de las corrientes monofásicas que forman el sistema se designa con el nombre de fase.

Un sistema trifásico de tensiones se dice que es equilibrado cuando sus corrientes son iguales y están desfasados simétricamente.

Cuando alguna de las condiciones anteriores no se cumple (tensiones diferentes o distintos desfases entre ellas), el sistema de tensiones es un sistema desequilibrado o un sistema desbalanceado.

Recibe el nombre de sistema de cargas desequilibradas el conjunto de impedancias distintas que dan lugar a que por el receptor circulen corrientes de amplitudes diferentes o con diferencias de fase entre ellas distintas a 120° , aunque las tensiones del sistema o de la línea sean equilibradas o balanceadas.

El sistema trifásico presenta una serie de ventajas como son la economía de sus líneas de transporte de energía (hilos más finos que en una línea monofásica equivalente) y de los transformadores utilizados, así como su elevado rendimiento de los receptores, especialmente motores, a los que la línea trifásica alimenta con potencia constante y no pulsada, como en el caso de la línea monofásica.



Voltaje de las fases de un sistema trifásico.
Entre cada una de las fases hay un desfase de 120° .

Importancia de la Electricidad

La importancia de la electricidad radica en que es una de las principales formas de energía usadas en el mundo actual. Sin ella la iluminación, comunicación, teléfono, radio, no existiría y las personas que tuvieran que prescindir de aparatos eléctricos que ya llegaron a constituir parte integrante del hogar. Además sin la electricidad el campo del transporte no sería lo que es en la actualidad. De hecho puede decirse que la electricidad se usa en todas partes.

Algunos Elementos Eléctricos a Tener en Cuenta

Bobina

Un inductor o bobina es un componente pasivo de un circuito eléctrico que, debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético.

Un inductor está constituido usualmente por una cabeza hueca de una bobina de material conductor, típicamente alambre o hilo de cobre esmaltado. Existen inductores con núcleo de aire o con núcleo de un material ferroso, para incrementar su capacidad de magnetismo entre la Intensidad (inductancia). Los inductores pueden también estar contruidos en circuitos integrados, usando el mismo proceso utilizado para realizar microprocesadores. En estos casos se usa, comúnmente, el aluminio como material conductor. Sin embargo, es raro que se construyan inductores dentro de los circuitos integrados; es mucho más práctico usar un circuito llamado "girador" que, mediante un amplificador operacional, hace que un condensador se comporte como si fuese un inductor. El inductor consta de las siguientes partes:

1. Pieza polar: Es la parte del circuito magnético situada entre la culata y el entrehierro, incluyendo el núcleo y la expansión polar.
2. Núcleo: Es la parte del circuito magnético rodeada por el devanado inductor.
3. Devanado inductor: Es el conjunto de espiras destinado a producir el flujo magnético, al ser recorrido por la corriente eléctrica.

4. Expansión polar: Es la parte de la pieza polar próxima al inducido y que bordea al entrehierro.
5. Polo auxiliar o de conmutación: Es un polo magnético suplementario, provisto o no, de devanados y destinado a mejorar la conmutación. Suelen emplearse en las máquinas de mediana y gran potencia.
6. Culata: Es una pieza de sustancia ferromagnética, no rodeada por devanados, y destinada a unir los polos de la máquina.

También pueden fabricarse pequeños inductores, que se usan para frecuencias muy altas, con un conductor pasando a través de un cilindro de ferrita o granulado.

La bobina almacena energía eléctrica en forma de campo magnético cuando aumenta la intensidad de corriente, devolviéndola cuando ésta disminuye. Matemáticamente se puede demostrar que la energía, $\mathcal{E}$, almacenada por una bobina con inductancia L , que es recorrida por una corriente de intensidad I , viene dada por:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2}LI^2$$

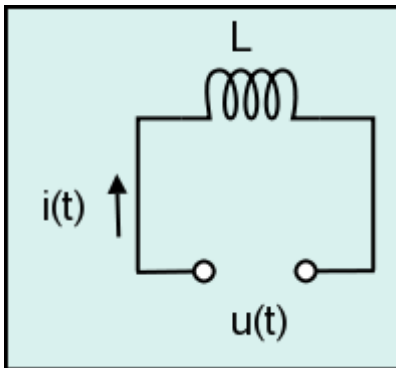
Una variación de la intensidad de corriente ($i(t) = \Delta I / \Delta t$) dará como resultado una variación del campo magnético y, por lo mismo, un cambio en el flujo que está atravesando el circuito. De acuerdo con la Ley de Faraday, un cambio del flujo, origina una fuerza electromotriz autoinducida. Esta fuerza electromotriz, de acuerdo con la Ley de Lenz, se opondrá a la causa que lo origina, esto es, la variación de la corriente eléctrica, por ello suele recibir el nombre de fuerza contraelectromotriz. Su valor viene dado por la siguiente ecuación diferencial:

$$E = -\frac{d\Phi}{dt} = -L\frac{di}{dt}$$

donde el signo menos indica que se opone a la causa que lo origina.

En un inductor ideal, la fuerza contra-electromotriz autoinducida es igual a la tensión aplicada al inductor. La fórmula precedente puede leerse de esta manera: Si uno de los bornes del inductor es positivo con respecto al otro, la corriente que *entra* por el primero aumenta con el tiempo.

Cuando el inductor no es ideal porque tiene una resistencia interna en serie, la tensión aplicada es igual a la suma de la caída de tensión sobre la resistencia interna más la fuerza contra-electromotriz autoinducida.



Circuito con inductancia.

Transformador

Se denomina **transformador** a una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir el voltaje o tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, etc.

Si suponemos un equipo ideal y consideramos, simplificando, la potencia como el producto del voltaje o tensión por la intensidad, ésta debe permanecer constante (ya que la potencia a la entrada tiene que ser igual a la potencia a la salida).

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio. Las bobinas o devanados se denominan *primario* y *secundario* según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados, en este caso puede existir un devanado "terciario", de menor tensión que el secundario.

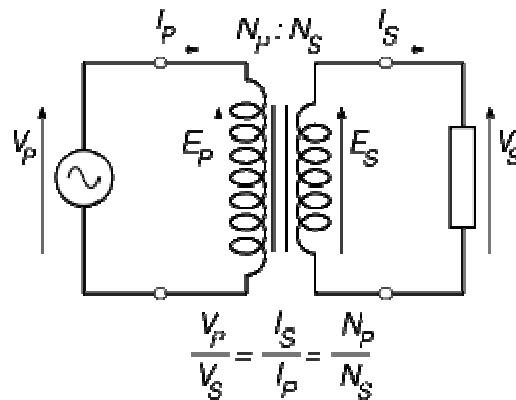
Si se aplica una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, las variaciones de intensidad y sentido de la corriente alterna crearán un campo magnético variable dependiendo de la frecuencia de la corriente. Este campo magnético variable originará, por inducción, la aparición de una fuerza electromotriz en los extremos del devanado secundario.

La relación entre la fuerza electromotriz *inductora* (**E_p**), *la aplicada al devanado primario* y la fuerza electromotriz *inducida* (**E_s**), *la obtenida en el secundario*, es *directamente proporcional al número de espiras de los devanados primario* (**N_p**) *y secundario* (**N_s**) .

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

La razón de transformación del voltaje entre el bobinado primario y el secundario depende del número de vueltas que tenga cada uno. Si el número de vueltas del secundario es el triple del primario. En el secundario habrá el triple de tensión.

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$



Esta particularidad tiene su utilidad para el transporte de energía eléctrica a larga distancia, al poder efectuarse el transporte a altas tensiones y pequeñas intensidades y por tanto pequeñas pérdidas.

Así, si el número de espiras (vueltas) del secundario es 100 veces mayor que el del primario, si aplicamos una tensión alterna de 230 Voltios en el primario, obtendremos 23000 Voltios en el secundario (una relación 100 veces superior, como lo es la relación de espiras). A la relación entre el número de vueltas o espiras del primario y las del secundario se le llama *relación de vueltas* del transformador o *relación de transformación*. Ahora bien, como la potencia aplicada en el primario, en caso de un transformador ideal, debe ser igual a la obtenida en el secundario, el producto de la fuerza electromotriz por la intensidad (potencia) debe ser constante, con lo que en el caso del ejemplo, si la intensidad circulante por el primario es de 10 Amperios, la del secundario será de solo 0,1 amperios (una centésima parte).

Según sus aplicaciones

- **Transformador elevador/reductor de tensión.** Empleados en las subestaciones eléctricas de la redes de transporte de energía eléctrica. Con el fin de disminuir las pérdidas por efecto Joule debidas a la resistencia de los conductores conviene transportar la energía eléctrica a larga distancia a tensiones elevadas, siendo necesario reducir nuevamente dichas tensiones para adaptarlas a las de utilización.
- **Transformador de aislamiento.** Proporciona aislamiento galvánico entre el primario y el secundario, de manera que consigue una alimentación o señal "flotante". Suele tener una relación 1:1. Se utiliza principalmente, como medida de protección, en equipos que trabajan directamente con la tensión de red. También para acoplar señales procedentes de sensores lejanos, en equipos de electromedicina y allí donde se necesitan tensiones flotantes entre sí.
- **Transformador de alimentación.** Pueden tener una o varias bobinas secundarias y proporcionan las tensiones necesarias para el funcionamiento del equipo. A veces incorporan fusibles que cortan su circuito primario cuando el transformador alcanza una

temperatura excesiva, evitando que éste se queme, con la emisión de humos y gases que conlleva e, incluso, riesgo de incendio. Estos fusibles no suelen ser reemplazables, de modo que hay que sustituir todo el transformador.

- **Transformador trifásico.** Tienen tres bobinados en su primario y tres en su secundario. Pueden adoptar forma de estrella (Y) (con hilo de neutro o no) o de triángulo (Δ) y las combinaciones entre ellas: Δ - Δ , Δ -Y, Y- Δ y Y-Y. Hay que tener en cuenta que aún con relaciones 1:1, al pasar de Δ a Y o viceversa, las tensiones varían.
- **Transformador de pulsos.** Es un tipo especial de transformador con respuesta muy rápida (baja autoinducción) destinado a funcionar en régimen de pulsos.
- **Transformador de línea o flyback.** Es un caso particular de transformador de pulsos. Se emplea en los televisores con TRC (CRT) para generar la alta tensión y la corriente para las bobinas de deflexión horizontal. Además suele proporcionar otras tensiones para el tubo (Foco, filamento, etc).
- **Transformador con diodo dividido.** Es un tipo de transformador de línea que incorpora el diodo rectificador para proporcionar la tensión continua de MAT directamente al tubo. Se llama diodo dividido porque está formado por varios diodos más pequeños repartidos por el bobinado y conectados en serie, de modo que cada diodo sólo tiene que soportar una tensión inversa relativamente baja. La salida del transformador va directamente al ánodo del tubo, sin diodo ni triplicador.
- **Transformador de impedancia.** Este tipo de transformador se emplea para adaptar antenas y líneas de transmisión (Tarjetas de red, teléfonos...) y era imprescindible en los amplificadores de válvulas para adaptar la alta impedancia de los tubos a la baja de los altavoces.

Si se coloca en el secundario una impedancia de valor Z , y llamamos n a N_s/N_p , como $I_s = -I_p/n$ y $E_s = E_p \cdot n$, la impedancia vista desde el primario será $E_p/I_p = -E_s/n^2 I_s = Z/n^2$. Así, hemos conseguido transformar una impedancia de valor Z en otra de Z/n^2 . Colocando el transformador al revés, lo que hacemos es elevar la impedancia en un factor n^2 .

- **Estabilizador de tensión.** Es un tipo especial de transformador en el que el núcleo se satura cuando la tensión en el primario excede su valor nominal. Entonces, las variaciones de tensión en el secundario quedan limitadas. Tenía una labor de protección de los equipos frente a fluctuaciones de la red. Este tipo de transformador ha caído en desuso con el desarrollo de los reguladores de tensión electrónicos, debido a su volumen, peso, precio y baja eficiencia energética.
- **Transformador híbrido o bobina híbrida.** Es un transformador que funciona como una híbrida. De aplicación en los teléfonos, tarjetas de red, etc. Vea teléfono.
- **Balun.** Es muy utilizado como balun para transformar líneas equilibradas en no equilibradas y viceversa. La línea se equilibra conectando a masa la toma intermedia del secundario del transformador.
- **Transformador Electrónico:** Este posee bobinas y componentes electrónicos. Son muy utilizados en la actualidad en aplicaciones como cargadores para celulares. No utiliza el transformador de núcleo en sí, sino que utiliza bobinas llamadas Filtros de red y bobinas CFP (Corrector factor de potencia) de utilización imprescindible en los circuitos de fuente de alimentaciones conmutadas.
- **Transformador de Frecuencia Variable:** Son pequeños transformadores de núcleo de hierro, que funcionan en la banda de audiofrecuencias. Se utilizan a menudo como dispositivos de acoplamiento en circuitos electrónicos para comunicaciones, medidas y control.

- **Transformadores de medida:** Entre los transformadores con fines especiales, los más importantes son los transformadores de medida para instalar instrumentos, contadores y relés protectores en circuitos de alta tensión o de elevada corriente. Los transformadores de medida aíslan los circuitos de medida o de relés, permitiendo una mayor normalización en la construcción de contadores, instrumentos y relés. Vea relé

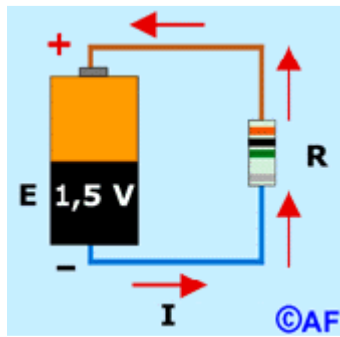
Según su construcción

- **Autotransformador.** El primario y el secundario del transformador están conectados en serie, constituyendo un bobinado único. Pesa menos y es más barato que un transformador y por ello se emplea habitualmente para convertir 220V a 125V y viceversa y en otras aplicaciones similares. Tiene el inconveniente de no proporcionar aislamiento galvánico entre el primario y el secundario.
- **Transformador toroidal.** El bobinado consiste en un anillo, normalmente de compuestos artificiales de ferrita, sobre el que se bobinan el primario y el secundario. Son más voluminosos, pero el flujo magnético queda confinado en el núcleo, teniendo flujos de dispersión muy reducidos y bajas pérdidas por corrientes de Foucault.
- **Transformador de grano orientado.** El núcleo está formado por una chapa de hierro de grano orientado, enrollada sobre sí misma, siempre en el mismo sentido, en lugar de las láminas de hierro dulce separadas habituales. Presenta pérdidas muy reducidas pero es caro. La chapa de hierro de grano roeintado puede ser también utilizada en transformadores orientados (chapa en E), reduciendo sus perdidas.
- **Transformador de núcleo de aire.** En aplicaciones de alta frecuencia se emplean bobinados sobre un carrete sin núcleo o con un pequeño cilindro de ferrita que se introduce más o menos en el carrete, para ajustar su inductancia.
- **Transformador de núcleo envolvente.** Están provistos de núcleos de ferrita divididos en dos mitades que, como una concha, envuelven los bobinados. Evitan los flujos de dispersión.
- **Transformador piezoeléctrico.** Para ciertas aplicaciones han aparecido en el mercado transformadores que no están basados en el flujo magnético para transportar la energía entre el primario y el secundario, sino que se emplean vibraciones mecánicas en un cristal piezoeléctrico. Tienen la ventaja de ser muy planos y funcionar bien a frecuencias elevadas. Se usan en algunos convertidores de tensión para alimentar los fluorescentes del backlight de ordenadores portátiles.

La Ley de Ohm

La Ley de Ohm, postulada por el físico y matemático alemán Georg Simon Ohm, es una de las leyes fundamentales de la electrodinámica, estrechamente vinculada a los valores de las unidades básicas presentes en cualquier circuito eléctrico como son:

1. Tensión o voltaje (**E**), en volt (V).
2. Intensidad de la corriente (**I**), en ampere (A) o sus submúltiplos.
3. Resistencia (**R**) de la carga o consumidor conectado al circuito en ohm (Ω), o sus múltiplos.



Circuito eléctrico compuesto por una pila de 1,5 volt, una resistencia o carga eléctrica y el flujo de una intensidad de corriente.

Debido a la existencia de materiales que dificultan más el paso de la corriente eléctrica que otros, cuando el valor de la resistencia varía, el valor de la intensidad de corriente en ampere también varía de forma inversamente proporcional. Es decir, si la resistencia aumenta, la corriente disminuye y, viceversa, si la resistencia disminuye la corriente aumenta, siempre y cuando, en ambos casos, el valor de la tensión o voltaje se mantenga constante.

Por otro lado, de acuerdo con la propia Ley, el valor de la tensión es directamente proporcional a la intensidad de la corriente; por tanto, si el voltaje aumenta o disminuye el amperaje de la corriente que circula por el circuito aumentará o disminuirá en la misma proporción, siempre y cuando el valor de la resistencia conectada al circuito se mantenga constante.

Postulado general de la Ley de Ohm

El flujo de corriente en ampere que circula por un circuito eléctrico cerrado, es directamente proporcional a la tensión o voltaje aplicado, e inversamente proporcional a la resistencia en ohm de la carga que tiene conectada.

Desde el punto de vista matemático, este postulado se puede representar por medio de la siguiente fórmula:

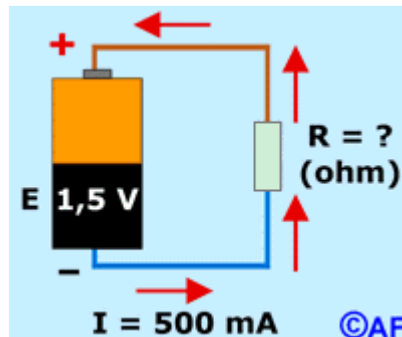
$$I = \frac{E}{R}$$

No obstante, aquellas personas que estén menos relacionadas con el despeje de fórmulas matemáticas, pueden realizar los cálculos de tensión, corriente y resistencia de una forma más fácil utilizando el siguiente recurso práctico:

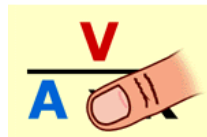
$$\frac{V}{A \times R}$$

Con esta representación de la Ley de Ohm, solamente tendremos que tapar con un dedo la letra que representa el valor de la incógnita que queremos hallar y de inmediato quedará indicada con las otras dos letras la operación matemática que será necesario realizar.

Hallar el Valor en Ohm de una Resistencia



Por ejemplo, si queremos calcular la resistencia "**R**" en ohm de una carga conectada a un circuito que tiene aplicada una tensión o voltaje "**V**" de 1,5 volt y por el cual circula un flujo de corriente de 500 miliampere (**mA**) de intensidad, lo podemos hacer de la siguiente forma:



Tapamos "**R**", que representa el valor de la incógnita que queremos despejar, en este caso la resistencia "**R**" en ohm, y nos queda:

$$\frac{V}{A}$$

Es decir, el valor de la tensión o voltaje "**V**", dividido por el valor de la corriente "**A**" en ampere. El resultado será el valor de la resistencia "**R**" que deseamos hallar.

En el caso de este ejemplo específico tenemos que el valor de la tensión que proporciona la fuente de fuerza electromotriz (FEM), o sea, la batería, es de 1,5 volt, mientras que la intensidad de la corriente que fluye por el circuito eléctrico cerrado es de 500 miliampere (mA).

Pero antes de poder realizar correctamente esa simple operación matemática de división, será necesario convertir primero los 500 **miliampere** en **ampere**, pues de lo contrario el resultado sería erróneo. Para hacer la conversión dividimos 500 mA entre 1000:

$$\frac{500 \text{ mA}}{1000} = 0,5 \text{ A}$$

Hecha esta conversión tenemos como resultado que **500 miliampere** equivalen a **0,5 ampere**, por lo que ya podemos proceder a sustituir los valores para hallar cuántos ohm tiene la resistencia del circuito eléctrico con el que estamos trabajando.

$$\frac{V}{A} = \frac{1,5}{0,5} = 3 \Omega$$

El resultado muestra que el valor de la resistencia "**R**" conectada al circuito es de 3 ohm.

Hallar el Valor de Intensidad de la Corriente

Veamos ahora qué ocurre con la intensidad de la corriente si la resistencia, en lugar de tener 3 ohm, como en el ejemplo anterior, tiene 6 ohm. En este caso la incógnita a despejar sería el valor de la corriente "**A**", por tanto tapamos esa letra:



Sustituimos a continuación la "**V**" por el valor de la tensión de la batería, es decir, 1,5 V y la "**R**" por el valor de la resistencia (6 Ω) y efectuamos la operación matemática

dividiendo el valor de la tensión o voltaje entre el valor de la resistencia:

$$\frac{V}{R} = \frac{1,5}{6} = 0,25 \text{ A}$$

En este resultado podemos comprobar que, efectivamente, la resistencia es inversamente proporcional al valor de la corriente, porque al aumentar el valor de "**R**", de 3 a 6 ohm, la intensidad "**A**" de la corriente varió también, disminuyendo su valor de 0,5 a 0,25 ampere.

Hallar el Valor de la Tensión o Voltaje

Para hallar ahora la tensión o voltaje "**V**" aplicado a un circuito, conociendo el valor de la intensidad de la corriente en ampere "**A**" que lo recorre y el valor en ohm de la resistencia "**R**" del consumidor o carga a éste conectada, podemos seguir el mismo procedimiento tapando ahora la "**V**", que será la incógnita a despejar.



Sustituimos los valores de la intensidad de corriente "**A**" y de la resistencia "**R**" del ejemplo anterior y tendremos:

$$A \times R = 0,25 \times 6 = 1,5 \text{ V}$$

El resultado de esa operación de multiplicar será **1,5 V**, que es la diferencia de potencial o fuerza electromotriz (FEM), que proporciona la batería conectada en el circuito.

Los más entendidos en matemáticas pueden utilizar directamente la fórmula general de la Ley de Ohm realizando los correspondientes despejes para hallar las incógnitas. Para

hallar el valor de la intensidad "I" se parte de la representación matemática de la fórmula general:

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

De donde:

I – Intensidad de la corriente que recorre el circuito en ampere (**A**)

E – Valor de la tensión, voltaje o fuerza electromotriz en volt (**V**)

R – Valor de la resistencia del consumidor o carga conectado al circuito en ohm (Ω).

Para hallar la resistencia, despejamos la "**R**" en la fórmula de la forma siguiente:

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

Y para hallar la tensión despejamos la fórmula así:

$$E = I \times R$$