

Electricidad

La **electricidad** (del griego ἤλεκτρον *elektron*, cuyo significado es [ámbar](#)) es un [fenómeno físico](#) cuyo origen son las [cargas eléctricas](#) y cuya [energía](#) se manifiesta en fenómenos mecánicos, térmicos, luminosos y químicos, entre otros.^{1 2 3 4} Se puede observar de forma natural en fenómenos atmosféricos, por ejemplo los [rayos](#), que son descargas eléctricas producidas por la transferencia de energía entre la ionosfera y la superficie terrestre (proceso complejo del que los rayos solo forman una parte). Otros mecanismos eléctricos naturales los podemos encontrar en procesos biológicos, como el funcionamiento del sistema nervioso. Es la base del funcionamiento de muchas máquinas, desde pequeños electrodomésticos hasta sistemas de gran potencia como los trenes de alta velocidad, y de todos los dispositivos electrónicos.⁵ Además es esencial para la producción de sustancias químicas como el aluminio y el cloro.

También se denomina **electricidad** a la rama de la [física](#) que estudia las leyes que rigen el fenómeno y a la rama de la [tecnología](#) que la usa en aplicaciones prácticas. Desde que, en 1831, [Faraday](#) descubriera la forma de producir [corrientes eléctricas](#) por [inducción](#) —fenómeno que permite transformar energía mecánica en energía eléctrica— se ha convertido en una de las formas de energía más importantes para el desarrollo tecnológico debido a su facilidad de generación y distribución y a su gran número de aplicaciones.



La electricidad en una de sus manifestaciones naturales: el [relámpago](#).

La electricidad es originada por las cargas eléctricas, en reposo o en movimiento, y las interacciones entre ellas. Cuando varias cargas eléctricas están en reposo relativo se ejercen entre ellas [fuerzas electrostáticas](#). Cuando las cargas eléctricas están en movimiento relativo se ejercen también [fuerzas magnéticas](#). Se conocen dos tipos de cargas eléctricas: positivas y negativas. Los átomos que conforman la materia contienen [partículas subatómicas](#) positivas (protones), negativas (electrones) y neutras (neutrones). También hay [partículas elementales](#) cargadas que en condiciones normales no son estables, por lo que se manifiestan sólo en determinados procesos como los [rayos cósmicos](#) y las [desintegraciones radiactivas](#).⁶

La electricidad y el magnetismo son dos aspectos diferentes de un mismo fenómeno físico, denominado [electromagnetismo](#), descrito matemáticamente por las [ecuaciones de Maxwell](#). El movimiento de una carga eléctrica 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](#)).⁷

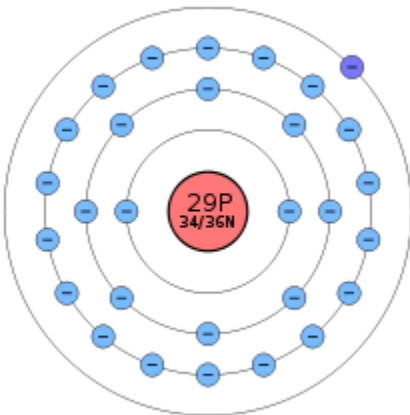
Debido a las crecientes aplicaciones de la electricidad como [vector energético](#), como base de las telecomunicaciones y para el procesamiento de información, uno de los principales desafíos contemporáneos es generarla de modo más eficiente y con el mínimo [impacto ambiental](#).

Historia de la electricidad

Artículo principal: [Historia de la electricidad](#)



[Michael Faraday](#) relacionó el magnetismo con la electricidad.



[Configuración electrónica](#) del átomo de [cobre](#). Sus propiedades conductoras se deben a la facilidad de circulación que tiene su electrón más exterior (4s).

La historia de la electricidad como rama de la física comenzó con observaciones aisladas y simples especulaciones o intuiciones médicas, como el uso de peces eléctricos en enfermedades como la gota y el dolor de cabeza, u objetos arqueológicos de interpretación discutible (la [batería de Bagdad](#)).⁸ [Tales de Mileto](#) fue el primero en observar los fenómenos eléctricos cuando, al frotar una barra de ámbar con un paño, notó que la barra podía atraer objetos livianos.^{2 4}

Mientras la electricidad era todavía considerada poco más que un espectáculo de salón, las primeras aproximaciones científicas al fenómeno fueron hechas en los siglos XVII y XVIII por investigadores sistemáticos como [Gilbert](#), [von Guericke](#), [Henry Cavendish](#), [Du Fay](#), [van Musschenbroek](#) y [Watson](#). Estas observaciones empiezan a dar sus frutos con [Galvani](#), [Volta](#), [Coulomb](#) y [Franklin](#), y, ya a comienzos del siglo XIX, con [Ampère](#), [Faraday](#) y [Ohm](#). No obstante, el desarrollo de una teoría que unificara la electricidad con el magnetismo como dos manifestaciones de un mismo fenómeno no se alcanzó hasta la formulación de las ecuaciones de Maxwell (1861-1865).

Los desarrollos tecnológicos que produjeron la [primera revolución industrial](#) no hicieron uso de la electricidad. Su primera aplicación práctica generalizada fue el [telégrafo eléctrico](#) de [Samuel Morse](#) (1833), que revolucionó las [telecomunicaciones](#). La generación masiva de electricidad comenzó cuando, a fines del siglo XIX, se extendió la iluminación eléctrica de las calles y las casas. La creciente sucesión de aplicaciones que esta disponibilidad produjo hizo de la electricidad una de las principales fuerzas motrices de la [segunda revolución industrial](#). Más que de grandes teóricos, como [Lord Kelvin](#), fue éste el momento de grandes inventores como [Gramme](#), [Westinghouse](#), [von Siemens](#) y [Alexander Graham Bell](#). Entre ellos destacaron [Nikola Tesla](#) y [Thomas Alva Edison](#), cuya revolucionaria manera de entender la relación entre [investigación](#) y [mercado capitalista](#) convirtió la innovación tecnológica en una actividad industrial. Tesla, un inventor serbio-americano, descubrió el principio del campo magnético rotatorio en 1882, que es la base de la maquinaria de corriente alterna. También inventó el sistema de motores y generadores de [corriente alterna](#) polifásica que da energía a la sociedad moderna.

El alumbrado artificial modificó la duración y distribución horaria de las actividades individuales y sociales, de los [procesos industriales](#), del transporte y de las telecomunicaciones. [Lenin](#) definió el [socialismo](#) como la suma de la electrificación y el poder de los [soviets](#).⁹ La [sociedad de consumo](#) que se creó en los países capitalistas dependió (y depende) en gran medida del uso doméstico de la electricidad.

El desarrollo de la [mecánica cuántica](#) durante la primera mitad del siglo XX sentó las bases para la comprensión del comportamiento de los electrones en los diferentes materiales. Estos saberes, combinados con las tecnologías desarrolladas para las transmisiones de radio, permitieron el desarrollo de la [electrónica](#), que alcanzaría su auge con la invención del [transistor](#). El perfeccionamiento, la miniaturización, el aumento de velocidad y la disminución de costo de las [computadoras](#) durante la segunda mitad del siglo XX fue posible gracias al buen conocimiento de las propiedades eléctricas de los materiales [semiconductores](#). Esto fue esencial para la conformación de la [sociedad de la información](#) de la [tercera revolución industrial](#), comparable en importancia con la generalización del uso de los automóviles.

Los problemas de almacenamiento de electricidad, su transporte a largas distancias y la autonomía de los aparatos móviles alimentados por electricidad todavía no han sido resueltos de forma eficiente. Asimismo, la multiplicación de todo tipo de aplicaciones prácticas de la electricidad ha sido —junto con la proliferación de los motores alimentados con destilados del [petróleo](#)— uno de los factores de la [crisis energética](#) de comienzos del siglo XXI. Esto ha planteado la necesidad de nuevas [fuentes de energía](#), especialmente las [renovables](#).

Electrostática y electrodinámica

Artículos principales: [electrostática](#) y [electrodinámica](#)

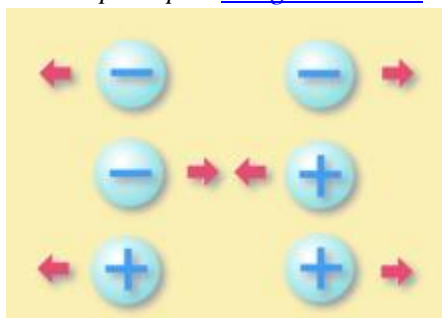
La electrostática es la rama de la física que estudia los fenómenos resultantes de la distribución de cargas eléctricas en reposo, esto es, del [campo electrostático](#).¹ Los fenómenos electrostáticos son conocidos desde la antigüedad. Los griegos del siglo V a. C. ya sabían que al frotar ciertos objetos estos adquirirían la propiedad de atraer cuerpos livianos. En 1785 el físico francés Charles Coulomb publicó un tratado donde cuantificaba las fuerzas de atracción y repulsión de cargas eléctricas estáticas y describía, por primera vez, cómo medirlas usando una balanza de torsión. Esta ley se conoce en su honor con el nombre de [ley de Coulomb](#).

Durante el siglo XIX se generalizaron las ideas de Coulomb, se introdujo el concepto de [campo eléctrico](#) y [potencial eléctrico](#), y se formuló la [ecuación de Laplace](#), que determina el potencial eléctrico en el caso electrostático. Se produjeron también avances significativos en la electrodinámica, que estudia los fenómenos eléctricos producidos por cargas en movimiento. En estos fenómenos aparecen asimismo campos magnéticos, que pueden ser ignorados en el caso de circuitos con [corriente eléctrica estacionaria](#), pero deben ser tomados en cuenta en el caso de circuitos de corriente alterna.

Finalmente, en 1864 el físico escocés [James Clerk Maxwell](#) unificó las leyes de la electricidad y del magnetismo en un sistema de cuatro [ecuaciones en derivadas parciales](#) conocidas como [ecuaciones de Maxwell](#). Con ellas se desarrolló el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos, mostrando que ambos tipos son manifestaciones del único fenómeno del [electromagnetismo](#), que incluía también a las [ondas electromagnéticas](#).¹⁰

Carga eléctrica

Artículo principal: [Carga eléctrica](#)



Interacciones entre cargas de igual y distinta naturaleza.

La carga eléctrica es una propiedad que poseen algunas [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](#). La partícula que transporta la información de estas interacciones es el [fotón](#). Estas fuerzas son de alcance infinito y no se manifiestan de forma inmediata, sino que

tardan un tiempo $t = \frac{d}{c}$, donde c es 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 encuentran de forma natural en la Tierra son el [electrón](#) y el [protón](#), aunque pueden encontrarse otras partículas cargadas procedentes del exterior (como los [muones](#) o los [piones](#)). Todos los [hadrones](#) (como el protón y el neutrón) además, están constituidos por partículas cargadas más pequeñas llamadas [quarks](#), sin embargo estas no pueden encontrarse libres en la naturaleza.

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](#) a medir su carga, determinaron la naturaleza discreta de la carga eléctrica.¹¹

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](#). 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 carga del electrón (que es igual en magnitud a la del protón y, de signo opuesto): $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$ (1 [eV](#) en unidades naturales).

Véanse también: [Átomo](#), [Polarización electroquímica](#), [Experimento de Millikan](#) y [Electroscopio](#)

Fuerza entre cargas

Artículo principal: [Ley de Coulomb](#)

Coulomb fue el primero en determinar, en 1785, el valor de las fuerzas ejercidas entre cargas eléctricas.¹² Usando una [balanza de torsión](#) determinó que la magnitud de la fuerza con que se atraen o repelen 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.¹³

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

donde q_1 y q_2 son las cargas, r es la distancia que las separa y la constante de proporcionalidad k depende del sistema de unidades.

Una propiedad fundamental de estas fuerzas es el [principio de superposición](#) que establece que, cuando hay varias cargas q_j , la fuerza resultante sobre una cualquiera de ellas es la suma vectorial de las fuerzas ejercidas por todas las demás. La fuerza \vec{F}_i ejercida sobre la carga puntual q_i en reposo está dada en el SI por:

$$\vec{F}_i = 9 \cdot 10^9 \cdot q_i \cdot \sum_{j \neq i} q_j \cdot \frac{\vec{r}_{ij}}{r_{ij}^3}$$

donde $\vec{r}_{ij} = \vec{r}_i - \vec{r}_j$ denota el vector que une la carga q_j con la carga q_i .

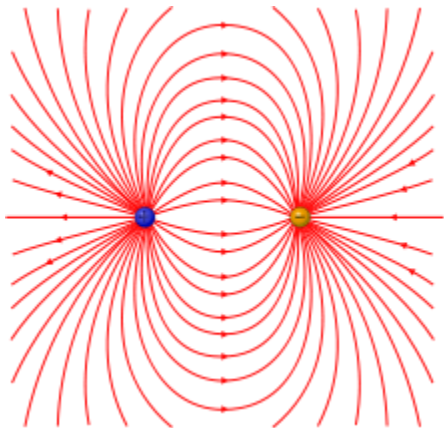
Cuando las cargas están en movimiento aparecen también fuerzas magnéticas. La forma más sencilla de describir el fenómeno es con el uso de [campos](#) eléctrico (\vec{E}) y magnético (\vec{B}), de los que a su vez se pueden derivar las fuerzas a partir de la [fórmula de Lorentz](#):

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

En el caso general de cargas distribuidas de manera arbitraria, no es posible escribir expresiones explícitas de las fuerzas. Hay que resolver las ecuaciones de Maxwell, calcular los campos y derivar las fuerzas a partir de las expresiones de la energía electromagnética.¹⁴

Véanse también: [Fuerza de Lorentz](#) y [polarización eléctrica](#)

Campos eléctrico y magnético



[Líneas de campo](#) de dos cargas eléctricas de igual valor absoluto y signos opuestos.

Artículos principales: [campo eléctrico](#) y [campo magnético](#)

Los campos eléctrico (\vec{E}) y magnético (\vec{B}), son [campos vectoriales](#) caracterizables en cada punto del espacio y cada instante del tiempo por un módulo, una dirección y un sentido. Una propiedad fundamental de estos campos es el [principio de superposición](#), según el cual el campo resultante puede ser calculado como la suma vectorial de los campos creados por cada una de las cargas eléctricas.

Se obtiene una descripción sencilla de estos campos dando las [líneas de fuerza](#) o de campo, que son curvas tangentes a la dirección de los vectores de campo. En el caso del campo eléctrico, esta línea corresponde a la trayectoria que seguiría una carga sin masa que se encuentre libre en el seno del campo y que se deja mover muy lentamente.

Normalmente la materia es neutra, es decir, su carga eléctrica neta es nula. Sin embargo, en su interior tiene cargas positivas y negativas y se localizan corrientes eléctricas en los átomos y moléculas, lo cual da lugar a campos eléctricos y magnéticos. En el caso de dos cargas opuestas se generan campos [dipolares](#), como el representado en la figura de la derecha, donde las cargas de igual magnitud y signos opuestos están muy cercanas entre sí. Estos campos dipolares son la base para describir casos tan fundamentales como los [enlaces iónicos](#) en las moléculas, las características como disolvente del [agua](#), o el funcionamiento de las [antenas](#) entre otros.

Los campos eléctricos y magnéticos se calculan resolviendo las [ecuaciones de Maxwell](#), siendo magnitudes inseparables en general.

Electromagnetismo

Artículo principal: [Electromagnetismo](#)



Fluido ferroso que se agrupa cerca de los polos de un [imán o magneto](#).

Se denomina **electromagnetismo** a la teoría física que unifica los fenómenos eléctricos y magnéticos en una sola teoría, cuyos fundamentos son obra de Faraday, pero fueron formulados por primera vez de modo completo por Maxwell. La formulación consiste en cuatro ecuaciones diferenciales vectoriales, conocidas como [ecuaciones de Maxwell](#), que relacionan el campo eléctrico, el campo magnético y sus respectivas fuentes materiales: [densidad de carga eléctrica](#), [corriente eléctrica](#), [desplazamiento eléctrico](#) y [corriente de desplazamiento](#).

A principios del siglo XIX [Ørsted](#) encontró evidencia empírica de que los fenómenos magnéticos y eléctricos estaban relacionados. A partir de esa base [Maxwell](#) unificó en 1861 los trabajos de físicos como [Ampère](#), [Sturgeon](#), [Henry](#), [Ohm](#) y [Faraday](#), en un conjunto de ecuaciones que describían ambos fenómenos como uno solo, el fenómeno electromagnético.¹¹

Se trata de una [teoría de campos](#); las explicaciones y predicciones que provee se basan en magnitudes físicas [vectoriales](#) y son dependientes de la posición en el espacio y del tiempo. El electromagnetismo describe los fenómenos físicos macroscópicos en los que intervienen cargas eléctricas en reposo y en movimiento, usando para ello campos eléctricos y magnéticos y sus efectos sobre la materia. Para la descripción de fenómenos a nivel molecular, atómico o corpuscular, es necesario emplear las expresiones clásicas de la energía electromagnética conjuntamente con las de la [mecánica cuántica](#).

Las ecuaciones de Maxwell describen los campos eléctricos y magnéticos como manifestaciones de un solo campo electromagnético. Además, explican la naturaleza ondulatoria de la [luz](#) como parte de una [onda electromagnética](#).¹⁵ Al contar con una teoría unificada consistente que describiera estos dos fenómenos antes separados, se pudieron realizar varios experimentos novedosos e inventos muy útiles, como el generador de corriente alterna inventado por Tesla.¹⁶ El éxito predictivo de la teoría de Maxwell y la búsqueda de una

interpretación coherente con el [experimento de Michelson y Morley](#) llevó a [Einstein](#) a formular la [teoría de la relatividad](#), que se apoyaba en algunos resultados previos de [Lorentz](#) y [Poincaré](#).

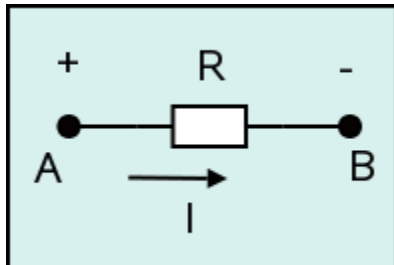
Esta unificación es fundamental para describir las relaciones que existen entre los campos eléctricos variables que se utilizan en la vida diaria —como la corriente alterna utilizada en las redes eléctricas domésticas— y los campos magnéticos que inducen. Entre otras aplicaciones técnicas, se utiliza para el cálculo de antenas de telecomunicaciones y de circuitos eléctricos o electrónicos en los que hay campos eléctricos y magnéticos variables que se generan mutuamente.

Ecuaciones de Maxwell, en su forma diferencial	
Nombre de la ley	Forma diferencial
Ley de Gauss	$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_f$
Ley de Gauss para el magnetismo o inexistencia del monopolo magnético	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
Ecuación de Maxwell-Faraday (ley de Faraday)	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
Ley de Ampère-Maxwell	$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}_f + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$

Véanse también: [Inducción magnética](#), [Ley de Faraday](#), [Onda electromagnética](#) y [Fotón](#)

Potencial y tensión eléctrica

Artículo principal: [Potencial eléctrico](#)



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](#).¹⁷ A la diferencia de energía potencial entre dos puntos se le denomina voltaje. Esta tensión puede ser vista como si fuera una "presión eléctrica" debido a que cuando la presión es uniforme no existe circulación de cargas y cuando dicha "presión" varía se crea un campo eléctrico que a su vez genera fuerzas en las cargas eléctricas. Matemáticamente, la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos A y B es la [integral de línea](#) del campo eléctrico:

$$V(A) - V(B) = - \int_B^A \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Generalmente se definen los potenciales referidos a un punto inicial dado. A veces se escoge uno situado infinitamente lejos de cualquier carga eléctrica. Cuando no hay campos magnéticos variables, el valor del potencial no depende de la trayectoria usada para calcularlo, sino únicamente de sus puntos inicial y final. Se dice entonces que el campo eléctrico es *conservativo*.

En tal caso, si la carga eléctrica q tan pequeña que no modifica significativamente \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:

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

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](#):

$$V = R \cdot I$$

En el caso de campos no estacionarios el campo eléctrico no es conservativo y la integral de línea del campo eléctrico contiene efectos provenientes de los campos magnéticos variables inducidos o aplicados, que corresponden a una [fuerza electromotriz](#) inducida (f.e.m.), que también se mide en voltios.

La fuerza electromotriz, cuyo origen es la inyección de energía externa al circuito, permite mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado. Esta energía puede representarse por un campo de

origen externo cuya circulación (integral de línea sobre una trayectoria cerrada C) $\oint_C \vec{E} \, ds$ define la fuerza electromotriz del generador. Esta expresión corresponde el trabajo que el generador realiza para forzar el paso por su interior de una carga, del polo negativo al positivo (es decir, en contra de las fuerzas eléctricas), dividido por el valor de dicha carga. El [trabajo](#) así realizado puede tener origen mecánico (dínamo), químico (batería), térmico ([efecto termoelectrónico](#)) o de otro tipo.

Propiedades eléctricas de los materiales

Origen microscópico

La posibilidad de generar corrientes eléctricas en los materiales depende de la estructura e interacción de los átomos que los componen. Los átomos están constituidos por partículas cargadas positivamente (los protones), negativamente (los electrones) y neutras (los neutrones). La conducción eléctrica de los materiales sólidos, cuando existe, se debe a los electrones más exteriores, ya que tanto los electrones interiores como los protones de los [núcleos atómicos](#) no pueden desplazarse con facilidad. Los materiales conductores por excelencia son [metales](#), como el [cobre](#), que usualmente tienen un único electrón en la última [capa electrónica](#). Estos electrones pueden pasar con facilidad a átomos contiguos, constituyendo los [electrones libres](#) responsables del flujo de corriente eléctrica. En otros materiales sólidos los electrones se liberan con dificultad constituyendo semiconductores, cuando la liberación puede ser producida por [excitación térmica](#), o aisladores, cuando no se logra esta liberación.

Los mecanismos microscópicos de conducción eléctrica son diferentes en los materiales [superconductores](#) y en los líquidos. En los primeros, a muy bajas temperaturas y como consecuencia de [fenómenos cuánticos](#), los electrones no interactúan con los átomos desplazándose con total libertad (resistividad nula). En los segundos, como en los electrolitos de las baterías eléctricas, la conducción de corriente es producida por el desplazamiento de átomos o moléculas completas ionizadas de modo positivo o negativo. Los materiales superconductores se usan en [imanes superconductores](#) para la generación de elevadísimos campos magnéticos.

En todos los materiales sometidos a campos eléctricos se modifican, en mayor o menor grado, las distribuciones espaciales relativas de las cargas negativas (electrones) y positivas (núcleos atómicos). Este fenómeno se denomina [polarización eléctrica](#) y es más notorio en los aisladores eléctricos debido a la ausencia de apantallamiento del campo eléctrico aplicado por los electrones libres. Los materiales con alta capacidad de polarización se usan en la construcción de

[condensadores eléctricos](#) y se denominan [dieléctricos](#). Aquellos cuya polarización es permanente ([electretos](#) y materiales [ferroeléctricos](#)) se usan para fabricar dispositivos como [micrófonos](#) y altavoces, entre otros.

Conductividad y resistividad



Conductor eléctrico de cobre.

Artículos principales: [Conductividad eléctrica](#) y [Resistividad](#)

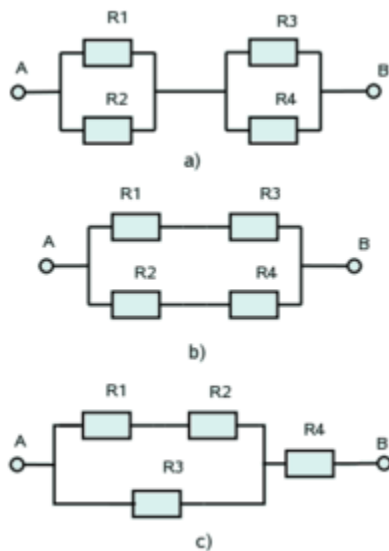
La conductividad eléctrica es la propiedad de los materiales que cuantifica la facilidad con que las cargas pueden moverse cuando un material es sometido a un campo eléctrico. La resistividad es una magnitud inversa a la conductividad, aludiendo al grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos, dando 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 de los semiconductores disminuye ante el aumento de la temperatura.

Los materiales se clasifican según su conductividad eléctrica o resistividad en conductores, dieléctricos, [semiconductores](#) y [superconductores](#).

- [Conductores eléctricos](#). Son los materiales que, puestos en contacto con un cuerpo cargado de electricidad, transmiten 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 más empleado 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](#).¹⁸

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.¹⁹ A este valor se lo denomina 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-110.²⁰

- [Dieléctricos](#). Son los materiales que no conducen la electricidad, por lo que pueden ser utilizados como [aislantes](#). Algunos ejemplos de este tipo de materiales son [vidrio](#), [cerámica](#), [plásticos](#), [goma](#), [mica](#), [cera](#), [papel](#), [madera](#) seca, [porcelana](#), algunas grasas para uso industrial y electrónico y la [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](#)) y 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 pero, bajo condiciones de frecuencia de la señal y potencia relativamente bajas, puede convertirse en conductor.



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

La conductividad se designa por la letra griega sigma minúscula (σ) y se mide en [siemens por metro](#), mientras que la resistividad se designa por la letra griega *rho* minúscula (ρ) y se mide en [ohms por metro](#) ($\Omega \cdot m$, a veces también en $\Omega \cdot mm^2/m$).

La ley de Ohm describe la relación existente 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:

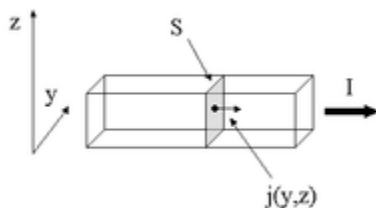
$$V = I \times R$$

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](#).

Véanse también: [Impedancia](#) y [Resistencia eléctrica](#)

Corriente eléctrica

Artículo principal: [Corriente eléctrica](#)



Relación existente entre la intensidad y la densidad de corriente.

Se denomina corriente eléctrica al flujo de carga eléctrica a través de un material sometido a una [diferencia de potencial](#). Históricamente, 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 electrones, con carga negativa, y se desplazan en sentido contrario al convencional.

A partir de la corriente eléctrica se definen dos magnitudes: la intensidad y la densidad de corriente. El valor de la intensidad de corriente que atraviesa un circuito es determinante para calcular la sección de los elementos conductores del mismo.

- La [intensidad de corriente](#) (I) en una sección dada de un conductor (s) se define como la carga eléctrica (Q) que atraviesa la sección en una unidad de tiempo (t):

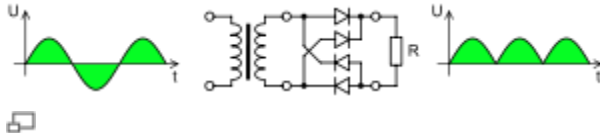
$$I = \frac{dQ}{dt} \text{ . Si la intensidad de corriente es constante, entonces } I = \frac{Q}{t}$$

- La [densidad de corriente](#) (j) es la intensidad de corriente que atraviesa una sección por unidad de superficie de la sección (S).

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

Corriente continua

Artículo principal: [Corriente continua](#)



Rectificador de corriente alterna en continua, con puente de Gratz. Se emplea cuando la tensión de salida tiene un valor distinto de la tensión de entrada.

Se denomina corriente continua (CC en español, en inglés DC, de *Direct Current*) al flujo de cargas eléctricas que no cambia de sentido con el tiempo. La corriente eléctrica a través de un material se establece entre dos puntos de distinto potencial. Cuando hay corriente continua, los terminales de mayor y menor potencial no se intercambian entre sí. Es errónea la identificación de la corriente continua con la corriente constante (ninguna lo es, ni siquiera la suministrada por una batería). Es continua toda corriente cuyo sentido de circulación es siempre el mismo, independientemente de su valor absoluto.

Su descubrimiento se remonta a la invención de la primera [pila voltaica](#) por parte del conde y científico italiano [Alessandro Volta](#). No fue hasta los trabajos de 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, que presenta menores pérdidas en la transmisión a largas distancias, si bien se conserva en la conexión de redes eléctricas de diferentes frecuencias y en la transmisión a través de cables submarinos.

Desde 2008 se está extendiendo el uso de generadores de corriente continua a partir de [células fotoeléctricas](#) que permiten aprovechar la [energía solar](#).

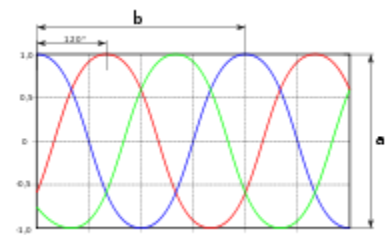
Cuando es necesario disponer de corriente continua para el funcionamiento de aparatos electrónicos, se puede transformar la corriente alterna de la red de suministro eléctrico mediante un proceso, denominado rectificación, que se realiza con unos dispositivos llamados [rectificadores](#), basados en el empleo de [diodos](#) semiconductores o [tiristores](#) (antiguamente, también de [tubos de vacío](#)).²¹

Corriente alterna

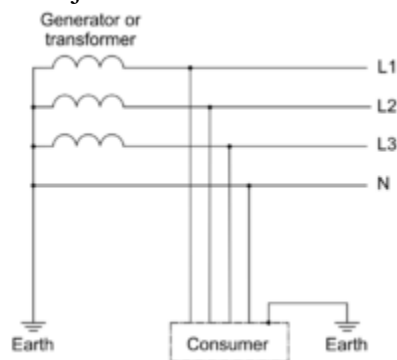
Artículo principal: [Corriente alterna](#)



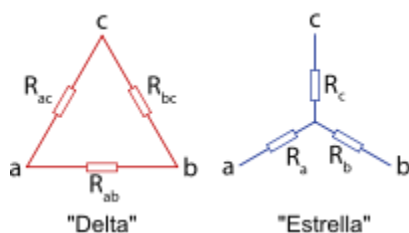
Onda senoidal.



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



Esquema de conexión.



Conexión en *triángulo* y en *estrella*.

Se denomina corriente alterna (simbolizada CA en español y AC en inglés, de *Alternating 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 [sinoidal](#).²² En el [uso coloquial](#), "corriente alterna" se refiere a la forma en la cual la electricidad llega a los hogares y a las empresas.

El sistema usado hoy en día fue ideado fundamentalmente por [Nikola Tesla](#), y la distribución de la corriente alterna fue comercializada por [George Westinghouse](#). Otros que contribuyeron al desarrollo y mejora de este sistema fueron [Lucien Gaulard](#), [John Gibbs](#) y [Oliver Challenger](#) entre los años 1881 y 1889. La corriente alterna superó las limitaciones que aparecían al emplear la corriente continua (CC), la cual constituye un sistema ineficiente para la distribución de energía a gran escala debido a problemas en la transmisión de potencia.

La razón del amplio uso de la corriente alterna, que minimiza los problemas de transmisión de potencia, viene determinada por su facilidad de transformación, cualidad de la que carece la corriente continua. La [energía eléctrica](#) transmitida viene dada por el producto de la [tensión](#), la [intensidad](#) y el tiempo. Dado que la sección de los conductores de las líneas de transporte de energía eléctrica depende de la intensidad, se puede, mediante un [transformador](#), modificar el voltaje hasta altos valores ([alta tensión](#)), disminuyendo en igual proporción la intensidad de corriente. Esto permite que los conductores sean de menor sección y, por tanto, de menor costo; además, minimiza las pérdidas por [efecto Joule](#), que dependen del cuadrado de la intensidad. Una vez en el punto de consumo o en sus cercanías, el voltaje puede ser de nuevo reducido para permitir su uso industrial o doméstico de forma cómoda y segura.

Las frecuencias empleadas en las redes de distribución son 50 y 60 Hz. El valor [depende del país](#).

Corriente trifásica

Artículo principal: [Corriente trifásica](#)

Se denomina corriente trifásica al conjunto de tres corrientes alternas de igual [frecuencia](#), [amplitud](#) y [valor eficaz](#) que presentan una diferencia de fase entre ellas de 120° , y están dadas en un orden determinado. Cada una de las corrientes que forman el sistema se designa con el nombre de [fase](#).

La generación trifásica de energía eléctrica es más común que la monofásica y proporciona un uso más eficiente de los conductores. La utilización de electricidad en forma trifásica es mayoritaria para transportar y distribuir energía eléctrica y para su utilización industrial, incluyendo el accionamiento de motores. Las corrientes trifásicas se generan mediante [alternadores](#) dotados de tres bobinas o grupos de bobinas, arrolladas en un sistema de tres electroimanes equidistantes angularmente entre sí.

Los conductores de los tres electroimanes pueden conectarse en estrella o en triángulo. En la disposición en estrella cada bobina se conecta a una fase en un extremo y a un conductor común en el otro, denominado *neutro*. Si el sistema está equilibrado, la suma de las corrientes de línea es nula, con lo que el transporte puede ser efectuado usando solamente tres cables. En la disposición en triángulo o delta cada bobina se conecta entre dos hilos de fase, de forma que un extremo de cada bobina está conectado con otro extremo de otra bobina.

El sistema trifásico presenta una serie de ventajas, tales como 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.

Tesla fue el inventor que descubrió el principio del campo magnético rotatorio en 1882, el cual es la base de la maquinaria de corriente alterna. Él inventó el sistema de motores y generadores de corriente alterna polifásica que da energía al planeta.²³

Véase también: [Motor de corriente alterna](#)

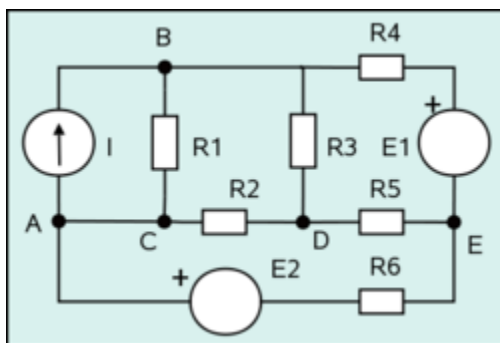
Corriente monofásica

Artículo principal: [Corriente monofásica](#)

Se denomina corriente monofásica a la que se obtiene de tomar una fase de la corriente trifásica y un cable neutro. En España y demás países que utilizan valores similares para la generación y transmisión de energía eléctrica, este tipo de corriente facilita una tensión de 220/230 voltios, lo que la hace apropiada para que puedan funcionar adecuadamente la mayoría de electrodomésticos y luminarias que hay en las viviendas.

Desde el centro de transformación más cercano hasta las viviendas se disponen cuatro hilos: un neutro (N) y tres fases (R, S y T). Si la tensión entre dos fases cualesquiera (tensión de línea) es de 380 voltios, entre una fase y el neutro es de 220 voltios. En cada vivienda entra el neutro y una de las fases, conectándose varias viviendas a cada una de las fases y al neutro; esto se llama corriente monofásica. Si en una vivienda hay instalados aparatos de potencia eléctrica alta (aire acondicionado, motores, etc., o si es un taller o una empresa industrial) habitualmente se les suministra directamente corriente trifásica que ofrece una tensión de 380 voltios.

Circuitos



Ejemplo de [circuito eléctrico](#).

Artículo principal: [Circuito eléctrico](#)

En electricidad y [electrónica](#) se denomina *circuito* a un conjunto de [componentes pasivos](#) y [activos](#) interconectados entre sí por conductores de baja resistencia. El nombre implica que el camino de la circulación de corriente es cerrado, es decir, sale por un borne de la [fuente de](#)

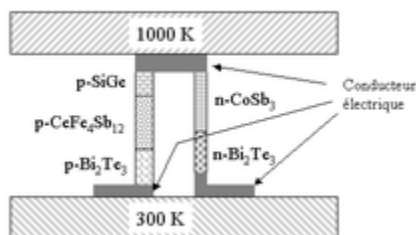
[alimentación](#) y regresa en su totalidad (salvo pérdidas accidentales) por el otro. En la práctica es difícil diferenciar nítidamente entre circuitos eléctricos y circuitos electrónicos. Las instalaciones eléctricas domiciliarias se denominan usualmente circuitos eléctricos, mientras que los [circuitos impresos](#) de los aparatos electrónicos se denominan por lo general circuitos electrónicos. Esto sugiere que los últimos son los que contienen [componentes semiconductores](#), mientras que los primeros no, pero las instalaciones domiciliarias están incorporando crecientemente no sólo semiconductores sino también [microprocesadores](#), típicos dispositivos electrónicos.

El comportamiento de los circuitos eléctricos que contienen solamente resistencias y fuentes electromotrices de corriente continua está gobernado por las [Leyes de Kirchhoff](#). Para estudiarlo, el circuito se descompone en [mallas eléctricas](#), estableciendo un [sistema de ecuaciones lineales](#) cuya resolución brinda los valores de los voltajes y corrientes que circulan entre sus diferentes partes.

La resolución de circuitos de corriente alterna requiere la ampliación del concepto de resistencia eléctrica, ahora ampliado por el de impedancia para incluir los comportamientos de [bobinas](#) y [condensadores](#). La resolución de estos circuitos puede hacerse con generalizaciones de las leyes de Kirchhoff, pero requiere usualmente métodos matemáticos avanzados, como el de [Transformada de Laplace](#), para describir los comportamientos [transitorios](#) y [estacionarios](#) de los mismos.

Fenómenos termoelectíricos

Artículo principal: [Termoelectricidad](#)



Sección de un [termopar](#) o *termocupla*.

Se denominan fenómenos termoelectíricos o termoelectricidad a tres fenómenos relacionados entre sí por las [relaciones de Thomson](#), descubiertas por [lord Kelvin](#):²⁴ el [efecto Seebeck](#), el [efecto Peltier](#) y el [calor de Thomson](#).

Cuando dos metales distintos a temperaturas diferentes se ponen en contacto formando una unión bimetalica, entre ambos lados de la unión se genera una fuerza electromotriz. Este fenómeno se denomina efecto Seebeck y es la base del funcionamiento de los [termopares](#), un tipo de termómetro usado en el control del flujo de gas en dispositivos domésticos como [cocinas](#), [calefactores](#) y [calentadores de agua corriente](#).


Cuando se hace circular una corriente a través de una unión bimetálica, para mantener constante la temperatura de la unión hay que entregar o extraer calor, según sea el sentido de circulación. Este fenómeno, llamado [efecto Peltier](#), tiene aplicación práctica en dispositivos de refrigeración pequeños, teniendo la ventaja, a diferencia de los [refrigeradores](#) basados en la compresión y descompresión de gases, de no tener partes móviles que se desgasten.

Es menos conocido el fenómeno denominado calor de Thomson, descubierto por lord Kelvin. Cuando fluye una corriente a través de un conductor homogéneo de sección transversal constante donde se ha establecido un gradiente de temperatura, para mantener invariable la distribución de temperatura hay que entregar o extraer calor del conductor.²⁵

Generación de energía eléctrica

Generación masiva



 Alternador de fábrica textil ([Museo de la Ciencia y de la Técnica de Cataluña, Tarrasa](#)).
Artículo principal: [Generación de energía eléctrica](#)

Desde que Nikola Tesla descubrió la corriente alterna y la forma de producirla en los alternadores, se ha llevado a cabo una inmensa actividad tecnológica para llevar la electricidad a todos los lugares habitados del mundo, por lo que, junto a la construcción de grandes y variadas centrales eléctricas, se han construido sofisticadas redes de transporte y sistemas de distribución. Sin embargo, el aprovechamiento ha sido y sigue siendo muy desigual en todo el planeta. Así, los países industrializados o del [Primer mundo](#) son grandes consumidores de energía eléctrica, mientras que los países del llamado [Tercer mundo](#) apenas disfrutan de sus ventajas.

La generación, en términos generales, consiste en transformar alguna clase de energía no eléctrica, sea esta química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan

alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del [sistema de suministro eléctrico](#).

Las centrales generadoras se pueden clasificar en termoeléctricas (de combustibles fósiles, biomasa, nucleares o solares), hidroeléctricas, eólicas, solares fotovoltaicas o mareomotrices. La mayor parte de la energía eléctrica generada a nivel mundial proviene de los tres primeros tipos de centrales reseñados: termoeléctricas, hidroeléctricas y eólicas. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador, constituido por un alternador, movido mediante una [turbina](#) que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada.

La demanda de energía eléctrica de una ciudad, región o país tiene una variación a lo largo del día. Esta variación es función de muchos factores, entre los que se destacan: tipos de industrias existentes en la zona y turnos que realizan en su producción, tipo de electrodomésticos que se utilizan más frecuentemente, tipo de calentador de agua que haya instalado en los hogares, la meteorología, la estación del año y la hora del día en que se considera la demanda. La generación de energía eléctrica debe seguir la curva de demanda y, a medida que aumenta la potencia demandada, se debe incrementar el suministro. Esto conlleva el tener que iniciar la generación con unidades adicionales, ubicadas en la misma central o en centrales reservadas para estos períodos. En general los sistemas de generación se diferencian por el periodo del ciclo en el que deben ser utilizados, siendo normalmente de base la nuclear o la eólica, de valle las termoeléctricas de combustibles fósiles y de pico la hidroeléctrica principalmente. Los combustibles fósiles y la hidroeléctrica también pueden usarse como base si es necesario.

Centrales termoeléctricas

Artículo principal: [Central termoeléctrica](#)



Turbina de una central termoeléctrica.

Una central termoeléctrica o central térmica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de calor. Este calor puede obtenerse tanto de [combustibles fósiles](#) (petróleo, gas natural o carbón) como de la [fisión nuclear](#) del uranio u otro [combustible nuclear](#). Las centrales que en el futuro utilicen la [fusión](#) también serán centrales termoeléctricas.

En su forma más clásica, las centrales termoeléctricas consisten en una [caldera](#) en la que se quema el combustible para generar calor que se transfiere a unos tubos por donde circula agua, la cual se evapora. El vapor obtenido, a alta presión y temperatura, se expande a continuación en una [turbina de vapor](#), cuyo movimiento impulsa un alternador que genera la electricidad.

En las centrales termoeléctricas denominadas de [ciclo combinado](#) se usan los gases de la combustión del gas natural para mover una [turbina de gas](#). Como, tras pasar por la turbina, esos gases todavía se encuentran a alta temperatura, se reutilizan para generar vapor que mueve una turbina de vapor. Cada una de estas turbinas impulsa un alternador, como en una central termoeléctrica común.



Planta nuclear en Cattenom, [Francia](#).

Las centrales térmicas que usan combustibles fósiles liberan a la atmósfera dióxido de carbono ([CO₂](#)), considerado el principal gas responsable del [calentamiento global](#). También, dependiendo del combustible utilizado, pueden emitir otros contaminantes como óxidos de azufre ([II](#), [IV](#) y [VI](#)), [óxidos de nitrógeno](#), partículas sólidas (polvo) y cantidades variables de residuos sólidos. Las [centrales nucleares](#) pueden contaminar en situaciones accidentales (véase [accidente de Chernóbil](#)) y también generan [residuos radiactivos](#) de diversa índole.

Véase también: [controversia sobre la energía nuclear](#)



La central termosolar [PS10](#) de 11MW funcionando en [Sevilla](#), [España](#).

Una [central térmica solar](#) o central termosolar es una instalación industrial en la que, a partir del calentamiento de un fluido mediante radiación solar y su uso en un ciclo termodinámico convencional, se produce la potencia necesaria para mover un alternador para generación de energía eléctrica como en una central térmica clásica. En ellas es necesario concentrar la radiación solar para que se puedan alcanzar temperaturas elevadas, de 300 °C hasta 1000 °C, y obtener así un rendimiento aceptable en el ciclo termodinámico, que no se podría obtener con temperaturas más bajas. La captación y concentración de los rayos solares se hacen por medio de espejos con orientación automática que apuntan a una torre central donde se calienta el fluido, o con mecanismos más pequeños de geometría parabólica. El conjunto de la superficie reflectante y su dispositivo de orientación se denomina [heliostato](#). Su principal problema medioambiental es la necesidad de grandes extensiones de territorio que dejan de ser útiles para otros usos (agrícolas, forestales, etc.).²⁶

Centrales hidroeléctricas



[Turbina Pelton](#) de una central hidroeléctrica.

Artículo principal: [Central hidroeléctrica](#)

Una central hidroeléctrica es aquella que se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la [energía potencial](#) del agua embalsada en una [presa](#) situada a más alto nivel que la central. El agua fluye por una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde mediante [turbinas hidráulicas](#) se produce la electricidad en alternadores. Las dos características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad, son:

- La [potencia](#), que es función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y del caudal máximo que puede mover las turbinas, además de las características de las turbinas y de los generadores.
- La [energía](#) garantizada en un lapso determinado, generalmente un año, que es función del volumen útil del embalse, de la pluviometría anual y de la potencia instalada.

La potencia de una central hidroeléctrica puede variar desde unos pocos [megavatios](#) (MW) hasta varios [gigavatios](#) (GW). Por debajo de 10 MW se denominan [minicentrales](#). En China se encuentra la mayor central hidroeléctrica del mundo (la [Presa de las Tres Gargantas](#)), con una potencia instalada de 22.500 MW. La segunda es la [Represa de Itaipú](#) (que pertenece a [Brasil](#) y [Paraguay](#)), con una potencia instalada de 14.000 MW repartida en 20 turbinas de 700 MW cada una.

La utilización de esta forma de energía presenta problemas medioambientales derivados de la necesidad de construcción de grandes embalses en los que se acumula agua, que deja de poder emplearse para otros usos, tiende a aumentar su salinidad y obstaculiza la circulación de la fauna acuática, entre otros.²⁷

Las [centrales mareomotrices](#) utilizan el flujo y reflujo de las [mareas](#). En general, pueden ser útiles en zonas costeras donde la amplitud de la marea sea amplia y las condiciones morfológicas de la costa permitan la construcción de una presa que corte la entrada y salida de la marea en una bahía. Se genera energía tanto en el momento del llenado como en el momento del vaciado de la bahía.

Actualmente se encuentra en desarrollo la explotación comercial de la conversión en electricidad del potencial energético que tiene el oleaje del mar, en las llamadas [centrales undimotrices](#).

Centrales eólicas



Capacidad eólica mundial total instalada y previsiones 1997-2010. Fuente: [WWEA e.V.](#)
Artículo principal: [Energía eólica](#)

La energía eólica se obtiene del viento, es decir, de la [energía cinética](#) generada por efecto de las corrientes de aire o de las vibraciones que dicho viento produce. Los [molinos de viento](#) se han usado desde hace muchos siglos para moler el grano, bombear agua u otras tareas que requieren energía. En la actualidad se usan [aerogeneradores](#) para generar electricidad, especialmente en áreas expuestas a vientos frecuentes, como zonas costeras, alturas montañosas o islas. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.²⁸

El impacto medioambiental de este sistema de obtención de energía se centra en la muerte de aves por choque con las aspas de los aerogeneradores o la necesidad de extensiones grandes de territorio que se sustraen de otros usos. También hay un impacto estético, pues alteran el

paisaje.^{29 30} Además, este tipo de energía, al igual que la solar o la hidroeléctrica, están fuertemente condicionadas por las condiciones climatológicas, lo que aleatoriza la cantidad de energía generada.

Centrales fotovoltaicas



Panel solar.

Artículo principal: [Energía solar fotovoltaica](#)

Se denomina energía solar fotovoltaica a la obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos están formados por dispositivos semiconductores tipo [diodo](#) que, al recibir [radiación solar](#), se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial entre sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos. A mayor escala, la corriente eléctrica continua que proporcionan los paneles fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red eléctrica. En la actualidad (2008) el principal productor de energía solar fotovoltaica es [Japón](#), seguido de [Alemania](#) que posee cerca de 5 millones de metros cuadrados de colectores que aportan un 0,03% de su producción energética total. La venta de [paneles fotovoltaicos](#) ha crecido en el mundo al ritmo anual del 20% en la década de los noventa. En la Unión Europea el crecimiento medio anual es del 30%, y Alemania tiene el 80% de la potencia instalada de la Unión.³¹

Los principales problemas de este tipo de energía son: su elevado coste en comparación con los otros métodos, la necesidad de extensiones grandes de territorio que se sustraen de otros usos, la competencia del principal material con el que se construyen con otros usos (el [silicio](#) es el principal componente de los circuitos integrados), o su dependencia de las condiciones climatológicas.³² Además, si se convierte en una forma de generar electricidad usada de forma generalizada, se deberían considerar sus emisiones químicas a la atmósfera, de [cadmio](#) o [selenio](#).³³ Por su falta de constancia puedan ser convenientes sistemas de almacenamiento de energía para que la potencia generada en un momento determinado pueda usarse cuando se solicite su consumo. Se están estudiando sistemas como el [almacenamiento cinético](#), bombeo de agua a presas elevadas, [almacenamiento químico](#), entre otros, que a su vez tendrían un impacto medioambiental.

Véase también: [Energía solar espacial](#)

Generación a pequeña escala

Grupo electrógeno

Artículo principal: [Grupo electrógeno](#)



 Grupo electrógeno de 500 kVA instalado en un complejo turístico en [Egipto](#).

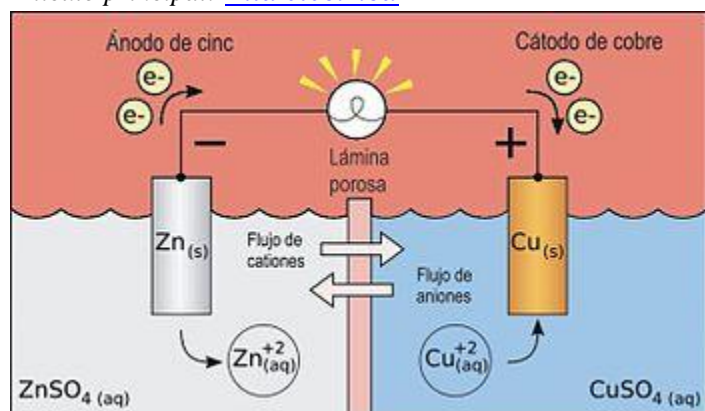
Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador de energía eléctrica a través de un [motor de combustión interna](#). Normalmente se utiliza cuando hay déficit en la generación de energía de algún lugar, o cuando hay un corte en el [suministro eléctrico](#) y es necesario mantener la actividad. Una de sus utilidades más comunes es en aquellos lugares donde no hay suministro a través de la red eléctrica, generalmente son zonas agrícolas con pocas infraestructuras o viviendas aisladas. Otro caso es en locales de pública concurrencia, hospitales, fábricas, etc., que, a falta de energía eléctrica de red, necesiten de otra fuente de energía alterna para abastecerse en caso de emergencia. Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes:³⁴

- **Motor de combustión interna.** El motor que acciona el grupo electrógeno suele estar diseñado específicamente para ejecutar dicha labor. Su potencia depende de las características del generador. Pueden ser motores de gasolina o diésel.
- **Sistema de refrigeración.** El sistema de refrigeración del motor es problemático, por tratarse de un motor estático, y puede ser refrigerado por medio de agua, aceite o aire.
- **Alternador.** La energía eléctrica de salida se produce por medio de un alternador apantallado, protegido contra salpicaduras, autoexcitado, autorregulado y sin escobillas, acoplado con precisión al motor. El tamaño del alternador y sus prestaciones son muy variables en función de la cantidad de energía que tengan que generar.
- **Depósito de combustible y bancada.** El motor y el alternador están acoplados y montados sobre una bancada de acero. La bancada incluye un depósito de combustible con una capacidad mínima de funcionamiento a plena carga según las especificaciones técnicas que tenga el grupo en su autonomía.
- **Sistema de control.** Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control que existen para controlar el funcionamiento, salida del grupo y la protección contra posibles fallos en el funcionamiento.
- **Interruptor automático de salida.** Para proteger al alternador, llevan instalado un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida del grupo electrógeno. Existen otros dispositivos que ayudan a controlar y mantener, de forma automática, el correcto funcionamiento del mismo.

- **Regulación del motor.** El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida.

Pila voltaica

Artículo principal: [Pila eléctrica](#)



Esquema funcional de una pila eléctrica.

Se denomina ordinariamente pila eléctrica a un dispositivo que genera energía eléctrica mediante un proceso químico transitorio, tras el cual cesa su actividad y han de renovarse sus elementos constituyentes, puesto que sus características resultan alteradas durante su funcionamiento. Se trata por ello de un **generador primario**. La electricidad producida resulta accesible mediante dos terminales que tiene la pila, llamados polos, [electrodos](#) o bornes. Uno de ellos es el polo positivo o [ánodo](#) y el otro es el polo negativo o [cátodo](#). En español es habitual llamarla así, mientras que a las pilas recargables o acumuladores se les suele llamar [baterías](#).

La primera pila eléctrica fue dada a conocer al mundo por [Volta](#) en [1800](#), mediante una carta que envió al presidente de la *Royal Society* londinense, por tanto las pilas datan de los primeros tiempos de la electricidad. Aunque la apariencia de una pila sea simple, la explicación de su funcionamiento dista de serlo y motivó una gran actividad científica en los siglos XIX y XX, así como diversas teorías. La demanda creciente que tiene este producto en el mercado sigue haciendo de él objeto de investigación intensa.

El funcionamiento de una pila se basa en el potencial de contacto entre dos sustancias, mediado por un electrolito.³⁵ Cuando se necesita una corriente mayor que la que puede suministrar un elemento único, siendo su tensión en cambio la adecuada, se pueden añadir otros elementos en la conexión llamada [en paralelo](#). La capacidad total de una pila se mide en amperios-hora ($\text{A}\cdot\text{h}$); es el número máximo de [amperios](#) que el elemento puede suministrar en una hora. Es un valor que no suele conocerse, ya que no es muy claro dado que depende de la intensidad solicitada y la temperatura.

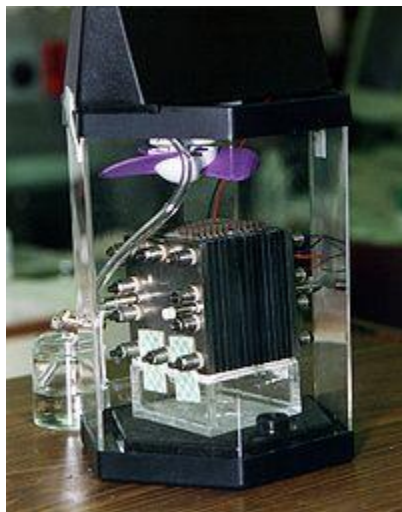
Un importante avance en la calidad de las pilas ha sido la [pila denominada seca](#), al que pertenecen prácticamente todas las utilizadas hoy día (2008). Las pilas eléctricas, baterías y acumuladores se presentan en unas cuantas formas normalizadas en función de su forma, tensión y capacidad.

Los metales y productos químicos constituyentes de las pilas pueden resultar perjudiciales para el medio ambiente. Una vez que la envoltura metálica que recubre las pilas se daña, las sustancias químicas que contienen se ven liberadas al medio ambiente causando contaminación. Con mayor o menor grado, las sustancias son absorbidas por la tierra pudiéndose filtrar hacia los [mantos acuíferos](#) y de éstos pueden pasar directamente a los seres vivos, entrando con esto en la [cadena alimenticia](#). Es muy importante no tirarlas a la [basura](#) (en algunos países está prohibido), sino llevarlas a [centros de reciclado](#). En algunos países, la mayoría de los proveedores y tiendas especializadas también se hacen cargo de las pilas gastadas. Las pilas son [residuos peligrosos](#) por lo que, desde el momento en que se empiezan a reunir, deben ser manejadas por personal capacitado que siga las precauciones adecuadas empleando todos los procedimientos técnicos y legales para el manejo de dicho residuos.

Las pilas desechables suelen utilizarse en los aparatos eléctricos portátiles, como por ejemplo juguetes, linternas, relojes, teléfonos móviles, [marcapasos](#), [audífonos](#), [calculadoras](#), [ordenadores personales portátiles](#), [reproductores de música](#), [radio transistores](#), [mando a distancia](#), etc. En todas estas aplicaciones se utilizan también cada vez más baterías recargables.

Véanse también: [Almacenamiento de energía](#), [Batería eléctrica](#), [Condensador eléctrico](#), [Supercondensador](#), [Bobina](#) y [Central hidroeléctrica reversible](#)

Pilas de combustible



Pila de hidrógeno. La celda en sí es la estructura cúbica del centro de la imagen.

Artículo principal: [Pila de combustible](#)

Una celda, célula o pila de combustible es un dispositivo [electroquímico](#) de generación de electricidad similar a una [batería](#), que se diferencia de esta en estar diseñada para permitir el

reabastecimiento continuo de los [reactivos](#) consumidos. Esto permite producir electricidad a partir de una fuente externa de combustible y de [oxígeno](#), en contraposición a la capacidad limitada de almacenamiento de energía de una batería. Además, la composición química de los [electrodos](#) de una batería cambia según el estado de carga, mientras que en una celda de combustible los electrodos funcionan por la acción de [catalizadores](#), por lo que son mucho más estables.

En las [celdas de hidrógeno](#) los reactivos usados son [hidrógeno](#) en el [ánodo](#) y oxígeno en el [cátodo](#). Se puede obtener un suministro continuo de hidrógeno a partir de la [electrólisis](#) del agua, lo que requiere una fuente primaria de generación de electricidad, o a partir de reacciones catalíticas que desprenden hidrógeno a partir de [hidrocarburos](#). El hidrógeno puede almacenarse, lo que permitiría el uso de fuentes discontinuas de energía como la solar y la eólica. Sin embargo, el hidrógeno gaseoso (H_2) es altamente inflamable y explosivo, por lo que se están desarrollando métodos de almacenamiento en matrices porosas de diversos materiales.³⁶

Generador termoelectrico de radioisotopos

Artículo principal: [Generador termoelectrico de radioisotopos](#)

Un generador termoelectrico de radioisotopos es un [generador eléctrico](#) simple que obtiene su energía de la liberada por la [desintegración radiactiva](#) de determinados elementos. En este dispositivo, el [calor](#) liberado por la desintegración de un material radiactivo se convierte en electricidad directamente gracias al uso de una serie de [termopares](#), que convierten el calor en electricidad gracias al [efecto Seebeck](#) en la llamada [unidad de calor de radioisotopos](#) (o RHU en inglés). Los RTG se pueden considerar un tipo de batería y se han usado en [satélites](#), sondas espaciales no tripuladas e instalaciones remotas que no disponen de otro tipo de fuente eléctrica o de calor. Los RTG son los dispositivos más adecuados en situaciones donde no haya presencia humana y se necesiten potencias de varios centenares de vatios durante largos periodos, situaciones en las que los generadores convencionales como las [pilas de combustible](#) o las baterías no son viables económicamente y donde la falta de luz impide usar [células fotovoltaicas](#).

Suministro eléctrico

Artículo principal: [Sistema de suministro eléctrico](#)

Se denomina suministro eléctrico al conjunto de etapas que son necesarias para que la energía eléctrica llegue al consumidor final. Como la energía eléctrica es difícil de almacenar, este sistema tiene la particularidad de generar y distribuir la energía conforme ésta es consumida. Por otra parte, debido a la importancia de la energía eléctrica, el suministro es vital para el desarrollo de los países y de interés para los gobiernos nacionales, por lo que estos cuentan con instituciones especializadas en el seguimiento de las tres etapas fundamentales: generación, transmisión y distribución.

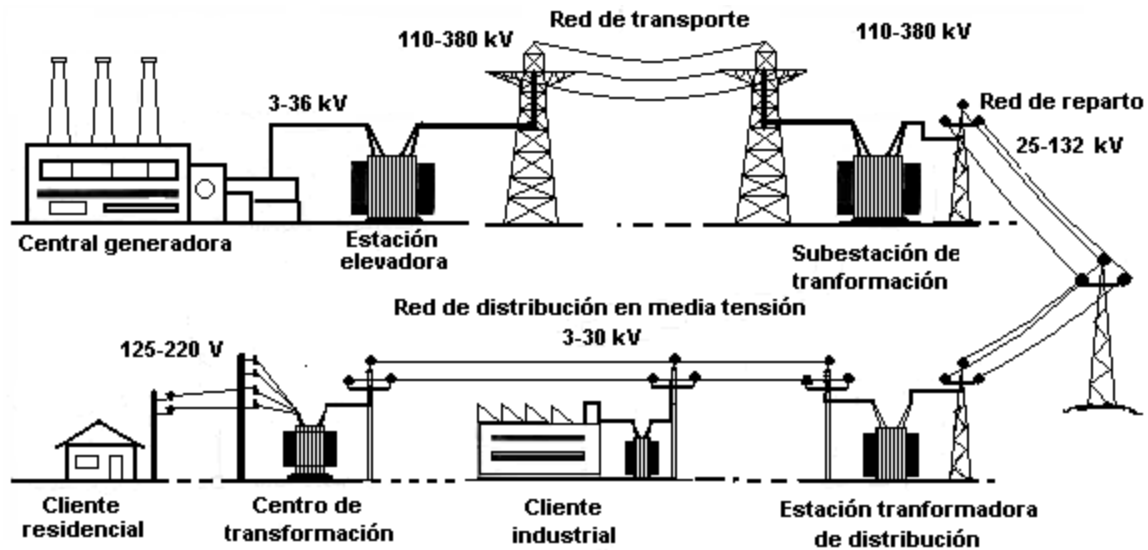


Diagrama esquematizado del sistema de suministro eléctrico

Transporte de energía eléctrica

Artículo principal: [Red de transporte de energía eléctrica](#)



Torre para el transporte de energía eléctrica.

La red de transporte es la parte del sistema constituida por los elementos necesarios para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía generada en las centrales eléctricas. Para ello, los volúmenes de energía eléctrica producidos deben ser transformados, elevándose su nivel de tensión. Esto se hace considerando que para un determinado nivel de potencia a transmitir, al elevar el voltaje se reduce la intensidad de corriente eléctrica que circulará, reduciéndose las pérdidas por efecto Joule. Con este fin se emplean [subestaciones elevadoras](#) con equipos eléctricos denominados [transformadores](#). De esta manera, una red de transmisión opera usualmente con voltajes del orden de 220 [kV](#) y superiores, denominados alta tensión, de 440 kV.

Parte fundamental de la red son las líneas de transporte. Una línea de transporte de energía eléctrica o línea de [alta tensión](#) es el medio físico mediante el que se realiza la transmisión de la energía a grandes distancias. Está constituida tanto por el elemento conductor, usualmente cables de cobre o aluminio, como por sus elementos de soporte, las [torres de alta tensión](#). Los cables de

alta tensión están sujetos a tracciones causadas por la combinación de agentes como el viento, la temperatura del conductor, la temperatura del aire, etc. El voltaje y la capacidad de la línea de transmisión afectan el tamaño de estas estructuras principales. Las torres pueden ser postes simples de madera para las líneas de transmisión pequeñas hasta 46 kV. Se emplean estructuras de postes de madera en forma de H, para las líneas de 69 a 231 kV. Se utilizan estructuras de acero independientes, de circuito simple, para las líneas de 161 kV o más. Es posible tener líneas de transmisión de hasta 1.000 kV.

El [impacto ambiental potencial](#) de las líneas de transmisión incluye la red de transporte, el derecho de vía, las playas de distribución, las subestaciones y los caminos de acceso o mantenimiento. Las estructuras principales de la línea de transmisión son la línea misma, los conductores, las torres y los soportes.³⁷ Los impactos ambientales negativos de las líneas de transmisión son causados por la construcción, operación y mantenimiento de las mismas. Al colocar líneas a baja altura o ubicarlas próximas a áreas con actividades humanas —como carreteras o edificios— se incrementa el riesgo de electrocución. Normalmente, las normas técnicas reducen este peligro. Las torres y las líneas de transmisión pueden interrumpir la trayectoria de vuelo de los aviones cerca de los aeropuertos y poner en peligro las naves que vuelan muy bajo, especialmente, las que se emplean para actividades agrícolas.³⁸

Véase también: [Alta tensión eléctrica](#)

Distribución de energía eléctrica

Artículo principal: [Red de distribución de energía eléctrica](#)

La red de distribución es un componente del sistema de suministro, siendo responsabilidad de las compañías distribuidoras. La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la red de transporte se realiza en dos etapas.

La primera está constituida por la red de reparto, que, partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 25 y 132 kV. Intercaladas en estos anillos están las estaciones transformadoras de distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión.

La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha, con tensiones de funcionamiento de 3 a 30 kV y con una disposición en red radial. Esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, gran industria, etc.), uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros es de baja tensión (125/220 o 220/380).³⁹

Las líneas que forman la red de distribución se operan de forma radial, sin que formen mallas. Cuando existe una avería, un dispositivo de protección situado al principio de cada red lo detecta y abre el interruptor que alimenta esta red. La localización de averías se hace por el método de

"prueba y error", dividiendo la red que tiene la avería en mitades y suministrando energía a una de ellas; a medida que se acota la zona con avería, se devuelve el suministro al resto de la red. Esto ocasiona que en el transcurso de la localización se puedan producir varias interrupciones a un mismo usuario de la red.

La topología de una red de distribución se refiere al esquema o arreglo de la distribución, esto es la forma en que se distribuye la energía por medio de la disposición de los segmentos de los circuitos de distribución. Esta topología puede tener las siguientes configuraciones:

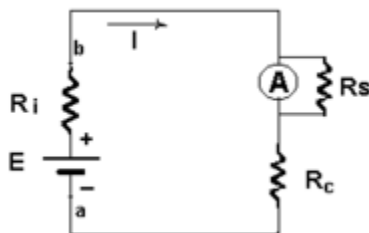
- **Red radial o red en antena:** resaltan su simplicidad y la facilidad que presenta para ser equipada de protecciones selectivas. Como desventaja tiene su falta de garantía de servicio.
- **Red en bucle abierto:** tiene todas las ventajas de la distribución en redes radiales y además la posibilidad de alimentar alternativamente de una fuente u otra.
- **Red en anillo o en bucle cerrado:** se caracteriza por tener dos de sus extremos alimentados, quedando estos puntos intercalados en el anillo o bucle. Como ventaja fundamental se puede citar su seguridad de servicio y facilidad de mantenimiento, si bien presenta el inconveniente de una mayor complejidad y sistemas de protección más complicados.

Como sistemas de protección se utilizan conductores aislados, fusibles, seccionadores en carga, seccionizadores, órganos de corte de red, reconectadores, interruptores, [pararrayos](#) antena, pararrayos autoválvulas y protecciones secundarias asociadas a transformadores de medida, como son relés de protección.⁴⁰

Mediciones eléctricas

Unidades eléctricas

[Culombio](#) (C, unidad de [carga eléctrica](#))



Conexión de un [amperímetro](#) en un circuito.

La introducción de las magnitudes eléctricas requiere añadir una nueva unidad fundamental a la física: la de carga eléctrica. Esta unidad, que no puede derivarse de las unidades de la [mecánica](#), fue originalmente denominada Coulomb (término castellanizado a culombio, cuyo símbolo es C) en honor a [Charles-Augustin de Coulomb](#), primero que midió directamente la fuerza entre cargas eléctricas. Debido a la gran dificultad de medir directamente las cargas eléctricas con precisión,

se ha tomado como [unidad básica](#) la unidad de corriente eléctrica, que en el [Sistema Internacional de Unidades](#) es el [amperio](#). La unidad de carga resulta entonces una [unidad derivada](#), que se define como la cantidad de carga eléctrica que fluye durante 1 segundo a través de la sección de un conductor que transporta una intensidad constante de corriente eléctrica de 1 amperio:

$$C = A \cdot s$$

[Voltio](#) (V, unidad de [potencial eléctrico](#) y [fuerza electromotriz](#))

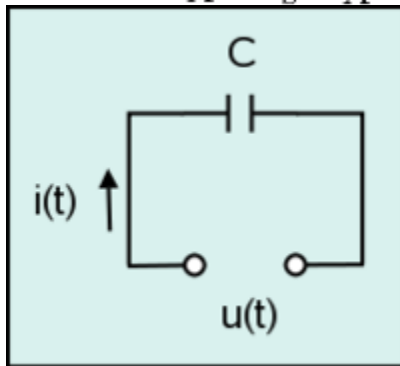
El voltio se define como la [diferencia de potencial](#) a lo largo de un conductor cuando una corriente con una intensidad de un amperio utiliza un [vatío](#) de [potencia](#):

$$V = \frac{J}{C} = \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{s}^3 \cdot \text{A}}$$

[Ohmio](#) (Ω , unidad de [resistencia eléctrica](#))

Un ohmio es la resistencia eléctrica que existe entre dos puntos de un conductor cuando una diferencia de potencial constante de 1 voltio aplicada entre estos dos puntos produce, en dicho conductor, una corriente de intensidad 1 amperio, cuando no haya fuerza electromotriz en el conductor:

$$\Omega = \frac{V}{A} = \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{s}^3 \cdot \text{A}^2}$$



[Condensador](#) ideal cuya capacidad se expresa en [faradios](#).

[Siemens](#) (S, unidad de [conductancia eléctrica](#))

Un siemens es la conductancia eléctrica que existe entre dos puntos de un conductor que tiene un ohmio de resistencia:

$$S = \frac{1}{\Omega}$$

[Faradio](#) (F, unidad de [capacidad eléctrica](#))

Un faradio es la capacidad de un [condensador](#) entre cuyas armaduras aparece una diferencia de potencial eléctrico de 1 voltio cuando está cargado de una cantidad de electricidad igual a un culombio:⁴¹

$$F = \frac{A \cdot s}{V} = \frac{C}{V} = \frac{C^2}{J} = \frac{C^2}{N \cdot m} = \frac{s^2 \cdot C^2}{m^2 \cdot kg} = \frac{s^4 \cdot A^2}{m^2 \cdot kg}$$

[Tesla](#) (T, unidad de [densidad de flujo magnético](#) e [inductividad magnética](#))

Un tesla es una inducción magnética uniforme que, repartida normalmente sobre una superficie de un [metro cuadrado](#), produce a través de esta superficie un flujo magnético total de un weber:

$$T = \frac{Wb}{m^2} = \frac{V \cdot s}{m^2} = \frac{kg}{s^2 \cdot A}$$

[Weber](#) (Wb, unidad de [flujo magnético](#))

Un weber es el flujo magnético que, al atravesar un circuito de una sola espira, produce en la misma una fuerza electromotriz de 1 voltio si se anula dicho flujo en 1 segundo por decrecimiento uniforme:

$$Wb = V \cdot s = T \cdot m^2 = \frac{m^2 \cdot kg}{s^2 \cdot A}$$

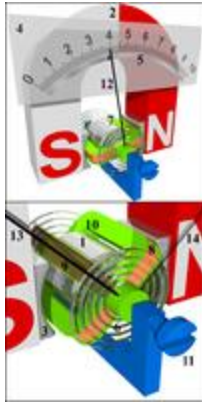
[Henrio](#) (H, unidad de [inductancia](#))

Un henrio es la inductancia de un circuito en el que una corriente que varía a razón de un amperio por [segundo](#) da como resultado una fuerza electromotriz autoinducida de un voltio:

$$H = \frac{V \cdot s}{A} = \frac{m^2 \cdot kg}{s^2 \cdot A^2}$$

Instrumentos de medida

Se denominan instrumentos de medidas de electricidad a todos los [dispositivos](#) que se utilizan para medir las magnitudes eléctricas y asegurar así el buen funcionamiento de las instalaciones y máquinas eléctricas. La mayoría son aparatos portátiles de mano y se utilizan para el montaje; hay otros instrumentos que son conversores de medida y otros métodos de ayuda a la medición, el análisis y la revisión. La obtención de datos cobra cada vez más importancia en el ámbito industrial, profesional y privado. Se demandan, sobre todo, instrumentos de medida prácticos, que operen de un modo rápido y preciso y que ofrezcan resultados durante la medición.



Principio de funcionamiento de un galvanómetro.

Existen muchos tipos de instrumentos diferentes siendo los más destacados los amperímetros, voltímetros, óhmetros, multímetros y osciloscopios.⁴²

Galvanómetro

Artículo principal: [Galvanómetro](#)

Los galvanómetros son aparatos que se emplean para indicar el paso de [corriente eléctrica](#) por un circuito y para la medida precisa de su [intensidad](#). Suelen estar basados en los efectos magnéticos o térmicos causados por el paso de la corriente.

En un galvanómetro de imán móvil la aguja indicadora está asociada a un imán que se encuentra situado en el interior de una bobina por la que circula la corriente que tratamos de medir y que crea un [campo magnético](#) que, dependiendo del sentido de la misma, produce una atracción o repulsión del imán proporcional a la intensidad de dicha corriente.

En el caso de los galvanómetros térmicos, lo que se pone de manifiesto es el alargamiento producido al calentarse, por el [Efecto Joule](#), al paso de la corriente, un hilo muy fino arrollado a un cilindro solidario con la aguja indicadora.

Amperímetros



Amperímetro de pinza.

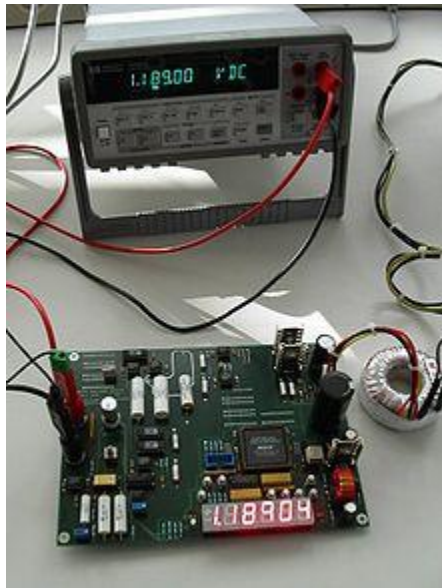
Artículo principal: [Amperímetro](#)

Un amperímetro es un instrumento que sirve para medir la intensidad de corriente que está circulando por un circuito eléctrico.⁴³ En su diseño original los amperímetros están constituidos, en esencia, por un [galvanómetro](#) cuya escala ha sido graduada en amperios. En la actualidad, los amperímetros utilizan un [convertor analógico/digital](#) para la medida de la caída de tensión sobre un [resistor](#) por el que circula la corriente a medir. La lectura del convertor es leída por un [microprocesador](#) que realiza los cálculos para presentar en un [display](#) numérico el valor de la corriente circulante.

Para efectuar la medida de la intensidad de la corriente circulante el amperímetro ha de colocarse [en serie](#), para que sea atravesado por dicha corriente. Esto lleva a que el amperímetro debe poseer una resistencia interna lo más pequeña posible, a fin de que no produzca una caída de tensión apreciable. Para ello, en el caso de instrumentos basados en los efectos electromagnéticos de la corriente eléctrica, están dotados de bobinas de hilo grueso y con pocas espiras.

Voltímetros

Artículo principal: [Voltímetro](#)



Dos voltímetros digitales.

Un voltímetro es un instrumento que sirve para medir la [diferencia de potencial](#) o voltaje entre dos puntos de un circuito eléctrico cerrado pero a la vez abierto en los polos. Los voltímetros se clasifican por su funcionamiento mecánico, siendo en todos los casos el mismo instrumento:

- Voltímetros electromecánicos: en esencia, están constituidos por un galvanómetro cuya escala ha sido graduada en voltios. Existen modelos que separan las corrientes continua y alterna de la señal, pudiendo medirlas independientemente.
- Voltímetros electrónicos: añaden un [amplificador](#) para proporcionar mayor [impedancia](#) de entrada y mayor sensibilidad.

- Voltímetros vectoriales: se utilizan con señales de microondas. Además del módulo de la tensión dan una indicación de su fase.
- Voltímetros digitales: dan una indicación numérica de la tensión, normalmente en una pantalla tipo LCD. Suelen tener prestaciones adicionales como memoria, detección de valor de pico, verdadero valor eficaz (RMS), selección automática de rango y otras funcionalidades.

Para efectuar la medida de la diferencia de potencial el voltímetro ha de colocarse en paralelo, esto es, en derivación sobre los puntos entre los que se trata de efectuar la medida. Para ello, en el caso de instrumentos basados en los efectos electromagnéticos de la corriente eléctrica, están dotados de bobinas de hilo muy fino y con muchas espiras, con lo que con poca intensidad de corriente a través del aparato se consigue la fuerza necesaria para el desplazamiento de la aguja indicadora.⁴⁴

Óhmetro

Artículo principal: Óhmetro



Óhmetro.

Un óhmetro u ohmímetro es un instrumento para medir la resistencia eléctrica. El diseño de un óhmetro se compone de una pequeña batería para aplicar un voltaje a la resistencia bajo medida, para luego mediante un galvanómetro medir la corriente que circula a través de la resistencia. La escala del galvanómetro está calibrada directamente en ohmios, ya que en aplicación de la ley de Ohm, al ser el voltaje de la batería fijo, la intensidad circulante a través del galvanómetro sólo va a depender del valor de la resistencia bajo medida, esto es, a menor resistencia mayor intensidad de corriente y viceversa.

Existen también otros tipos de óhmetros más exactos y sofisticados, en los que la batería ha sido sustituida por un circuito que genera una corriente de intensidad constante I , la cual se hace circular a través de la resistencia R bajo prueba. Un óhmetro de precisión tiene cuatro terminales,

denominados contactos Kelvin. Dos terminales llevan la corriente constante desde el medidor a la resistencia, mientras que los otros dos permiten la medida del voltaje directamente entre terminales de la misma, con lo que la caída de tensión en los conductores que aplican dicha corriente constante a la resistencia bajo prueba no afecta a la exactitud de la medida.⁴⁵

Multímetro

Artículo principal: [Multímetro](#)



Multímetro digital donde pueden medirse varias magnitudes eléctricas.

Un multímetro, llamado también polímetro o *tester*, es un instrumento que ofrece la posibilidad de medir distintas magnitudes en el mismo aparato. Las más comunes son las de voltímetro, amperímetro y óhmetro. Es utilizado frecuentemente por el personal técnico en toda la gama de electrónica y electricidad. Existen distintos modelos que incorporan además de las tres funciones básicas antes citadas otras mediciones importantes, tales como medida de [inductancias](#) y [capacitancias](#); comprobador de [diodos](#) y [transistores](#); o escalas y [zócalos](#) para la medida de temperatura mediante [termopares](#) normalizados.

También hay multímetros con funciones avanzadas que permiten: generar y detectar la [frecuencia intermedia](#) de un aparato, así como un circuito [amplificador](#) con [altavoz](#) para ayudar en la sintonía de circuitos de estos aparatos; el seguimiento de la señal a través de todas las etapas del receptor bajo prueba; realizar la función de osciloscopio por encima del millón de muestras por segundo en velocidad de barrido, y muy alta [resolución](#); sincronizarse con otros instrumentos de medida, incluso con otros multímetros, para hacer medidas de potencia puntual (potencia = voltaje * intensidad); utilizarse como aparato telefónico, para poder conectarse a una línea telefónica bajo prueba, mientras se efectúan medidas por la misma o por otra adyacente; realizar comprobaciones de circuitos de electrónica del automóvil y grabación de ráfagas de alto o bajo voltaje.

Este instrumento de medida por su precio y su exactitud sigue siendo el preferido del aficionado o profesional en electricidad y electrónica. Hay dos tipos de multímetros: analógicos y digitales.⁴⁶

Osciloscopio

Artículo principal: [Osciloscopio](#)



Osciloscopio Tektronik.

Se denomina osciloscopio a un [instrumento de medición](#) electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo, que permite visualizar fenómenos transitorios así como formas de ondas en circuitos eléctricos y electrónicos y mediante su análisis se puede diagnosticar con facilidad cuáles son los problemas del funcionamiento de un determinado circuito. Es uno de los instrumentos de medida y verificación eléctrica más versátiles que existen y se utiliza en una gran cantidad de aplicaciones técnicas. Un osciloscopio puede medir un gran número de fenómenos, si va provisto del transductor adecuado.

El osciloscopio presenta los valores de las señales eléctricas en forma de coordenadas en una pantalla, en la que normalmente el eje X (horizontal) representa tiempos y el eje Y (vertical) representa tensiones. La imagen así obtenida se denomina [oscilograma](#). Suelen incluir otra entrada, llamada "eje Z" que controla la luminosidad del haz, permitiendo resaltar o apagar algunos segmentos de la traza. El funcionamiento del osciloscopio está basado en la posibilidad de desviar un haz de electrones por medio de la creación de campos eléctricos y magnéticos. Las dimensiones de la pantalla del TRC están actualmente normalizadas en la mayoría de instrumentos, a 10 cm en el eje horizontal (X) por 8 cm en el eje vertical (Y).

El osciloscopio se fabrica bajo muchas formas distintas, no sólo en cuanto al aspecto puramente físico sino en cuanto a sus características internas y por tanto a sus prestaciones y posibilidades de aplicación de las mismas. Existen dos tipos de osciloscopios: analógicos y digitales. Los analógicos trabajan con variables continuas mientras que los digitales lo hacen con variables discretas. Ambos tipos tienen sus ventajas e inconvenientes. Los analógicos son preferibles cuando es prioritario visualizar variaciones rápidas de la señal de entrada en tiempo real. Los osciloscopios digitales se utilizan cuando se desea visualizar y estudiar eventos no repetitivos, como picos de tensión que se producen aleatoriamente.

Analizador de espectro

Artículo principal: [Analizador de espectro](#)



Analizador de espectro.

Un analizador de espectro es un [equipo de medición electrónica](#) que permite visualizar en una pantalla las [componentes espectrales](#) de las señales presentes en la entrada, pudiendo ser éstas cualquier tipo de ondas eléctricas, acústicas u ópticas.

En el eje de ordenadas suele presentarse en una escala logarítmica el nivel en [dB](#) del contenido espectral de la señal. En el eje de abscisas se representa la [frecuencia](#), en una escala que es función de la separación temporal y el número de muestras capturadas. Se denomina *frecuencia central* del analizador a la que corresponde con la frecuencia en el punto medio de la pantalla. A menudo se mide con ellos el espectro de la potencia eléctrica.⁴⁷

En la actualidad está siendo reemplazado por el [analizador vectorial de señales](#).

Potencia eléctrica

Artículo principal: [Potencia eléctrica](#)

Se denomina potencia eléctrica (P) a la energía eléctrica consumida por unidad de tiempo. En el Sistema Internacional de Unidades se mide en [vatios](#) (W), unidad equivalente a [julios](#) por segundo (J/s).

La energía consumida por un dispositivo eléctrico se mide en [vatios-hora](#) (Wh), o en [kilovatios-hora](#) (kWh). Normalmente las empresas que suministran energía eléctrica a la industria y los hogares, en lugar de facturar el consumo en vatios-hora, lo hacen en kilovatios-hora (kWh). La potencia en vatios (W) o kilovatios (kW) de todos los aparatos eléctricos debe figurar junto con la tensión de alimentación en una placa metálica ubicada, generalmente, en la parte trasera de dichos equipos. En los motores, esa placa se halla colocada en uno de sus costados y en el caso de las bombillas de alumbrado el dato viene impreso en el cristal o en su base.

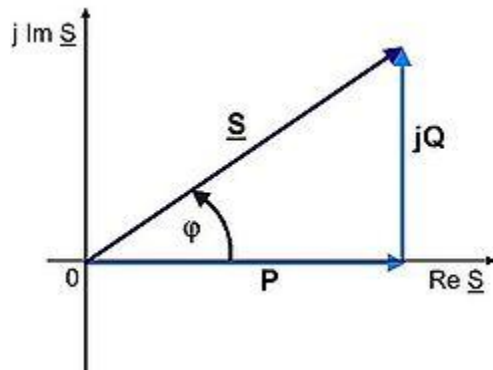
Cuando se trata de [corriente continua](#) (DC) la potencia eléctrica desarrollada en un cierto instante por un dispositivo de dos terminales es el producto de la [diferencia de potencial](#) entre dichos terminales y la [intensidad de corriente](#) que pasa a través del dispositivo. Esto es: $P = V \cdot I$

Cuando el dispositivo es una [resistencia](#) de valor **R** o se puede calcular la [resistencia equivalente](#)

del dispositivo, a partir de ella la potencia también puede calcularse como

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

Potencia de cargas reactivas



Relación entre potencias activas, aparentes y reactivas.

Para calcular la potencia de algunos tipos de equipos que trabajan con corriente alterna, es necesario tener en cuenta también el valor del [factor de potencia](#) o coseno de *phi* ($\cos\phi$) que poseen. En ese caso se encuentran los equipos que trabajan con carga reactiva o inductiva, es decir, aquellos aparatos que para funcionar utilizan una o más bobinas o enrollado de alambre de cobre, como ocurre, por ejemplo, con los [motores eléctricos](#), o también con los aparatos de aire acondicionado o los tubos fluorescentes.

Las cargas reactivas o inductivas, que poseen los motores eléctricos, tienen un factor de potencia menor que “1” (generalmente su valor varía entre 0,85 y 0,98), por lo cual la eficiencia de trabajo del equipo en cuestión y de la red de suministro eléctrico disminuye cuando el factor se aleja mucho de la unidad, traduciéndose en un mayor gasto de energía y en un mayor desembolso económico.

Potencia activa

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

De acuerdo con su expresión, la ley de Ohm y el triángulo de [impedancias](#):

$$P = I \cdot V \cdot \cos \phi = I \cdot Z \cdot I \cos \phi = I^2 \cdot Z \cdot \cos \phi = I^2 \cdot R$$

Resultado que indica que la potencia activa es debida a los elementos resistivos.

Elementos de seguridad

Artículo principal: [Cortocircuito](#)



Cuadro eléctrico de seguridad en una vivienda, compuesto por [limitador de potencia](#), interruptores magnetotérmicos e interruptores diferenciales.


Las instalaciones eléctricas disponen de varios elementos de seguridad para disminuir el riesgo de accidentes, como los causados por cortocircuitos, sobrecargas o contacto de personas o animales con elementos en tensión.

Un cortocircuito ocurre cuando falla un aparato o línea eléctrica por el que circula corriente, y esta pasa directamente:

- del conductor activo o fase al neutro o tierra
- entre dos fases en el caso de sistemas polifásicos en corriente alterna
- entre polos opuestos en el caso de corriente continua.

El cortocircuito se produce normalmente por fallos en el [aislante](#) de los conductores, cuando estos quedan sumergidos en un medio conductor como el agua o por contacto accidental entre conductores aéreos por fuertes vientos o rotura de los apoyos. Debido a que un cortocircuito puede causar daños importantes en las instalaciones eléctricas e incendios en edificios, las instalaciones están normalmente dotadas de fusibles, interruptores magnetotérmicos o diferenciales y tomas de tierra, a fin de proteger a las personas y las cosas.^{[48](#)}



 Fusible industrial de 200 [amperios](#).

- **Fusible**: es un dispositivo, constituido por un filamento o lámina de un metal o aleación de bajo [punto de fusión](#), que se intercala en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se funda, por efecto Joule, cuando la intensidad de corriente supere, por un cortocircuito o por un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio o destrucción de otros elementos.⁴⁹
- **Interruptor magnetotérmico**: también denominado disyuntor termomagnético, es un dispositivo utilizado para la protección de los circuitos eléctricos, contra cortocircuitos y sobrecargas, en sustitución de los fusibles. Tienen la ventaja frente a los fusibles de que no hay que reponerlos. Cuando desconectan el circuito debido a una sobrecarga o un cortocircuito, se rearmen de nuevo y siguen funcionando. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.⁵⁰
- **Interruptor diferencial**: también llamado disyuntor por corriente diferencial o residual, es un dispositivo electromecánico que se coloca en las instalaciones eléctricas con el fin de proteger a las personas de las derivaciones causadas por faltas de aislamiento entre los conductores activos y tierra o masa de los aparatos. En esencia, el interruptor diferencial consta de dos bobinas, colocadas en serie con los conductores de alimentación de

corriente y que producen campos magnéticos opuestos y un núcleo o armadura que mediante un dispositivo mecánico adecuado puede accionar unos contactos. El interruptor corta la corriente eléctrica cuando existe una derivación de corriente a tierra, que si pasa por un cuerpo humano puede tener consecuencias fatales.⁵¹



Instalación domiciliaria de toma a tierra mediante *pica* de cobre.

- **Toma de tierra**: también denominado hilo de tierra o simplemente tierra, se emplea en las instalaciones eléctricas para evitar el paso de corriente al usuario por un fallo del aislamiento de los conductores activos. La toma a tierra es un camino de poca [resistencia](#) a cualquier corriente de fuga para que cierre el circuito "a tierra" en lugar de pasar a través del usuario. Consiste en una pieza metálica enterrada en una mezcla especial de sales y conectada a la instalación eléctrica a través de un cable. En todas las instalaciones interiores según el reglamento, el cable de tierra se identifica por ser su aislante de color verde y amarillo.⁵²

Aplicaciones de la electricidad

Máquinas eléctricas

Artículo principal: [Máquinas eléctricas](#)

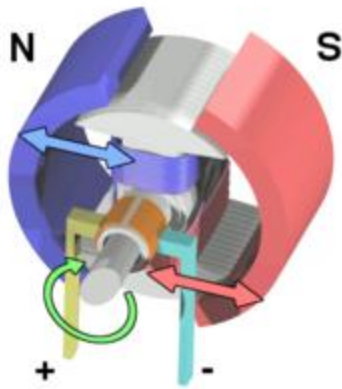
También se aplica la inducción electromagnética para la construcción de motores movidos por energía eléctrica, que permiten el funcionamiento de innumerables dispositivos.

Generador eléctrico

Artículo principal: [dinamo](#)

Motor eléctrico

Artículo principal: [Motor eléctrico](#)

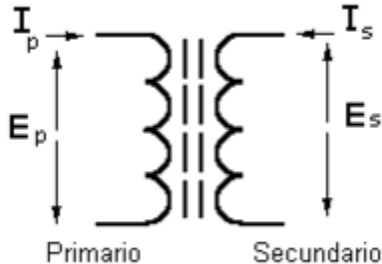


Esquema de un motor eléctrico.

Desde que Faraday describió el proceso de inducción y generación de la corriente eléctrica, se iniciaron experiencias y proyectos que culminaron con el invento y fabricación de los diferentes tipos de motores eléctricos que existen. El paso definitivo lo consiguió el ingeniero Tesla que, en 1887, fabricó el primer [motor asíncrono](#) trifásico de corriente alterna.

Transformador

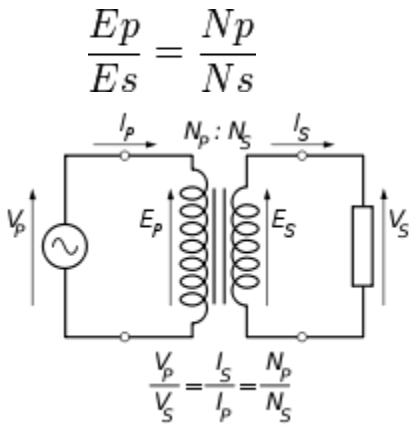
Artículo principal: [Transformador](#)



Representación esquemática del transformador.

El origen del transformador se remonta a 1851, cuando el físico alemán [Heinrich Daniel Ruhmkorff](#) diseñó la llamada [bobina de Ruhmkorff](#), precursora de los transformadores modernos. El transformador es una máquina eléctrica carente de movimiento que permite aumentar o disminuir el [voltaje o tensión](#) en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia y la potencia con un alto [rendimiento](#). 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. El funcionamiento se produce cuando 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 teórica 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) .



Esquema funcional de un transformador.

La razón de transformación del voltaje entre el bobinado primario y el secundario depende por tanto 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 con pequeñas pérdidas. El transformador ha hecho posible la distribución de energía eléctrica a todos los hogares, industrias, etc. Si no fuera por el transformador tendría que acortarse la distancia que separa a los generadores de electricidad de los consumidores. El transformador lo encontramos en muchos lugares, en las lámparas de bajo consumo, cargadores de pilas, vehículos, en sótanos de edificios, en las centrales hidroeléctricas y otros generadores de electricidad. Su tamaño puede variar desde muy pequeños a enormes transformadores que pueden pesar más de 500 t. ⁵³

Máquinas frigoríficas y aire acondicionado

Artículo principal: [Máquina frigorífica](#)





Máquina térmica de frío y calor.

La invención de las máquinas frigoríficas ha supuesto un avance importante en todos los aspectos relacionados con la conservación y trasiego de alimentos frescos que necesitan conservarse fríos para que tengan mayor duración en su estado natural, y en conseguir una [climatización](#) adecuada en viviendas y locales públicos. Las máquinas frigoríficas se clasifican en [congeladoras](#) y en [refrigeradoras](#). Las de uso industrial están ubicadas en empresas, barcos o camiones que trabajan con alimentos congelados o refrigerados; en el ámbito doméstico se utilizan máquinas conocidas con el nombre de [frigorífico](#) y congelador, así como aparatos de [aire acondicionado](#) que están presente en muchas viviendas variando en prestaciones y capacidad.

En 1784 [William Cullen](#) construye la primera máquina para enfriar, pero hasta 1927 no se fabrican los primeros refrigeradores domésticos (de [General Electric](#)). Cuatro años más tarde, [Thomas Midgley](#) descubre el [freón](#), que por sus propiedades ha sido desde entonces muy empleado como fluido de trabajo en máquinas de enfriamiento como equipos de aire acondicionado y refrigeradores, tanto a escala industrial como doméstica. Sin embargo, se ha demostrado que el freón y los compuestos químicos similares a él, también conocidos como clorofluorocarburos ([CFC](#)), son los principales causantes de la destrucción en la [capa de ozono](#), produciendo el agujero detectado en la Antártida, por lo que en 1987 se firmó el [Protocolo de Montreal](#) para restringir el uso de estos compuestos. En la actualidad (2008) todas las máquinas frigoríficas utilizan gases refrigerantes que no perjudican a la capa de ozono.⁵⁴

Una máquina frigorífica es un tipo de [máquina térmica](#) generadora que transforma algún tipo de energía, habitualmente mecánica, en [energía térmica](#) para obtener y mantener en un recinto una temperatura menor a la temperatura exterior. La energía mecánica necesaria puede ser obtenida previamente a partir de otro tipo de energía, como la energía eléctrica mediante un motor eléctrico. Esta transferencia se realiza mediante un [fluido frigorígeno](#) o refrigerante, que en distintas partes de la máquina sufre transformaciones de presión, temperatura y fase (líquida o gaseosa); y que es puesto en contacto térmico con los recintos para absorber calor de unas zonas y transferirlo a otras.

Una máquina frigorífica debe contener como mínimo los cuatro siguientes elementos:

- Compresor: es el elemento que suministra energía al sistema. El refrigerante llega en estado gaseoso al [compresor](#) y aumenta su presión.
- [Condensador](#): es un intercambiador de calor, en el que se disipa el calor absorbido en el evaporador (más adelante) y la energía del compresor. En el condensador el refrigerante cambia de fase pasando de gas a líquido.
- Sistema de expansión: el refrigerante líquido entra en el [dispositivo de expansión](#) donde reduce su presión y esta a su vez reduce bruscamente su temperatura.
- Evaporador: el refrigerante a baja temperatura y presión pasa por el [evaporador](#), que al igual que el condensador es un intercambiador de temperatura, y absorbe el calor del recinto donde está situado. El refrigerante líquido que entra al evaporador se transforma en gas al absorber el calor del recinto.

Tanto en el evaporador como en el condensador la transferencia energética se realiza principalmente en forma de [calor latente](#).

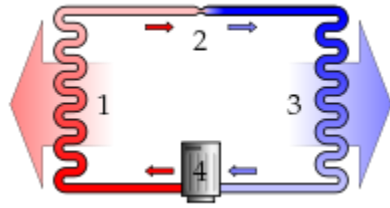


Diagrama del ciclo de una bomba térmica simple: 1) condensador, 2) válvula de expansión, 3) evaporador, 4) compresor.

Desde el punto de vista económico, el mejor ciclo de refrigeración es aquel que extrae la mayor cantidad de calor (Q_2) del foco frío (T_2) con el menor trabajo (W). Por ello, se define la [eficiencia](#) de una máquina frigorífica como el cociente Q_2/W :

$$\text{Eficiencia} = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1}$$

- Q_2 : Representa el calor extraído de la máquina frigorífica por los serpentines refrigerantes situados en su interior (congelador).
- W : Es el trabajo realizado por el motor que acciona el compresor.
- Q_1 : Es el calor cedido a los serpentines (o radiador) refrigerantes exteriores (en la parte posterior del aparato y que se elimina al ambiente por una circulación de aire (natural o forzada con auxilio de un ventilador, caso de los aparatos de aire refrigerado).

La máquina frigorífica se puede utilizar como [calentador](#) (véase [Ciclo de Carnot](#)). Para ello, basta con hacer que el foco caliente sea la habitación, T_1 , y el frío el exterior. Es el principio de funcionamiento de la [bomba de calor](#), que es más ventajosa de utilizar que un caldeo por resistencia eléctrica. Esta doble función de producir frío y calor se utiliza en los equipos modernos de aire acondicionado que se instalan en las viviendas.

El ingeniero francés [Nicolas Léonard Sadi Carnot](#) fue el primero que abordó el problema del rendimiento de un [motor térmico](#).

En España, todas las empresas que se dedican a las actividades relacionadas con máquinas frigoríficas y climatización se encuadran bajo el concepto de [frío industrial](#) y los profesionales dedicados a estas tareas reciben el nombre de [frigoristas](#).⁵⁵

Véase también: [Ciclo de Carnot](#)

Electroimanes

Artículo principal: [Electroimán](#)



Electroimán de grandes dimensiones empleado en [Fermilab](#).

Un electroimán es un tipo de [imán](#) en el que el [campo magnético](#) se produce mediante el flujo de una corriente eléctrica, desapareciendo en cuanto cesa dicha corriente. Fue inventado por el electricista británico [William Sturgeon](#) en 1825. Sturgeon podía regular su electroimán, lo que supuso el principio del uso de la energía eléctrica en máquinas útiles y controlables, estableciendo los cimientos para las comunicaciones electrónicas a gran escala.

El tipo más simple de electroimán es un trozo de cable enrollado. Una bobina con forma de tubo recto (parecido a un [tornillo](#)) se llama [solenoid](#), y cuando además se curva de forma que los extremos coincidan se denomina [toroide](#). Pueden producirse campos magnéticos mucho más fuertes si se sitúa un «[núcleo](#)» de material [paramagnético](#) o [ferromagnético](#) (normalmente [hierro dulce](#)) dentro de la bobina. El núcleo concentra el campo magnético, que puede entonces ser mucho más fuerte que el de la propia bobina.

La principal ventaja de un electroimán sobre un imán permanente es que el campo magnético puede ser rápidamente manipulado en un amplio rango controlando la cantidad de corriente eléctrica. Sin embargo, se necesita una fuente continua de energía eléctrica para mantener el campo. En aplicaciones donde no se necesita un campo magnético variable, los imanes permanentes suelen ser superiores. Adicionalmente, éstos pueden ser fabricados para producir campos magnéticos más fuertes que los electroimanes de tamaño similar. ^{[[cita requerida](#)]}

Los electroimanes se usan en muchas situaciones en las que se necesita un campo magnético variable rápida o fácilmente. Muchas de estas aplicaciones implican la deflexión de [haces de partículas cargadas](#), como en los casos del [tubo de rayos catódicos](#) y el [espectrómetro de masa](#).

Los electroimanes son los componentes esenciales de muchos interruptores, siendo usados en los frenos y embragues electromagnéticos de los automóviles. En algunos [tranvías](#), los [frenos electromagnéticos](#) se adhieren directamente a los [raíles](#). Se usan electroimanes muy potentes en [grúas](#) para levantar pesados bloques de hierro y acero, así como contenedores, y para separar magnéticamente metales en [chatarrerías](#) y [centros de reciclaje](#). Los [trenes de levitación magnética](#) emplean poderosos electroimanes para flotar sin tocar la pista y así poder ir a grandes velocidades. Algunos trenes usan fuerzas atractivas, mientras otros emplean fuerzas repulsivas.

Los electroimanes se usan en los motores eléctricos rotatorios para producir un [campo magnético rotatorio](#) y en los [motores lineales](#) para producir un campo magnético itinerante que impulse la [armadura](#). Aunque la [plata](#) es el mejor conductor de la electricidad, el [cobre](#) es el material usado más a menudo debido a su bajo coste. A veces se emplea [aluminio](#) para reducir el peso.

Calcular la fuerza sobre materiales [ferromagnéticos](#) es, en general, bastante complejo. Esto se debe a las líneas de campo de contorno y a las complejas geometrías. Puede simularse usando [análisis de elementos finitos](#). Sin embargo, es posible estimar la fuerza máxima bajo condiciones específicas. Si el campo magnético está confinado dentro de un material de alta permeabilidad, como es el caso de ciertas aleaciones de [acero](#), la fuerza máxima viene dada por:

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_o}$$

donde:

- F es la fuerza en [newtons](#);
- B es el campo magnético en [teslas](#);
- A es el área de las caras de los polos en [m²](#);
- μ_o es la [permeabilidad](#) del espacio libre. ⁵⁶

Véase también: [Motor eléctrico](#)

Electroquímica

Artículo principal: [Electroquímica](#)

El área de la [química](#) que estudia la conversión entre la energía eléctrica y la energía química es la electroquímica. Los procesos electroquímicos son reacciones [redox](#) en donde la energía liberada por una reacción espontánea se transforma en electricidad, o la electricidad se utiliza para inducir una reacción química no espontánea. A este último proceso se le conoce como [electrólisis](#).

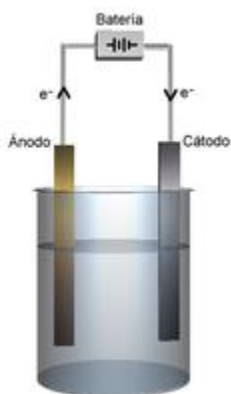


Diagrama simplificado del proceso de electrólisis.

La palabra *electrólisis* procede de dos radicales: *electro* que hace referencia a electricidad, y *lisis*, que quiere decir ruptura. La electrólisis consiste en la descomposición mediante una corriente

eléctrica de sustancias ionizadas denominadas [electrolitos](#). Por ejemplo, en la electrólisis del agua se desprenden oxígeno (O₂) e hidrógeno (H₂).

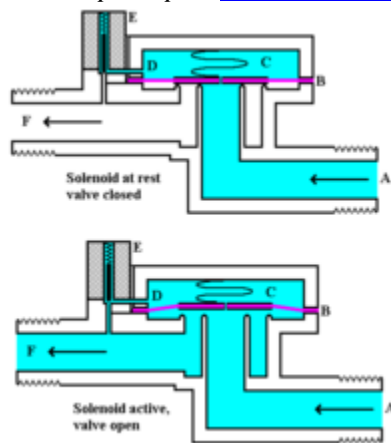
Las [reacciones químicas](#) se dan en la interfase de un conductor eléctrico (llamado [electrodo](#), que puede ser un [metal](#) o un [semiconductor](#)) y un conductor iónico (el electrolito) pudiendo ser una [disolución](#) y en algunos casos especiales, un sólido. Si una reacción química es conducida mediante un voltaje aplicado externamente, se hace referencia a una electrólisis, en cambio, si el voltaje o caída de potencial eléctrico, es creado como consecuencia de la reacción química, se conoce como un "*acumulador de energía eléctrica*", también llamado [batería](#) o [celda galvánica](#).

A finales del siglo XVIII ([Ilustración](#)), el anatomista y médico italiano [Luigi Galvani](#) marcó el nacimiento de la electroquímica de forma científica al descubrir que al pasar electricidad por las ancas de una rana muerta éstas se contraían, y al tocar ambos extremos de los nervios empleando el mismo escalpelo pero descargado no sucedía nada. Posteriormente, la fabricación de la primera batería de la [época moderna](#) fue realizada por [Alessandro Volta](#). Para mediados del siglo XIX, la modelización y estudio de la electroquímica se vieron aclarados por Michael Faraday (leyes de la electrólisis) y [John Daniell](#) (pila dependiente solo de iones metálicos zinc-cobre). A partir del siglo XX, la electroquímica permitió el descubrimiento de la carga del electrón por Millikan, y el establecimiento de la moderna teoría de ácidos y bases de [Brønsted](#). Dichas contribuciones han permitido que en la actualidad (2008) la electroquímica se emparente a temas tan diversos que van desde la electroquímica cuántica de [Revaz Dogonadze](#) o [Rudolph A. Marcus](#), hasta las celdas fotovoltaicas y la [quimioluminiscencia](#).⁵⁷

Véase también: [Electrólisis](#)

Electroválvulas

Artículo principal: [Electroválvula](#)



- A- Entrada
- B- Diafragma
- C- Cámara de presión
- D- Conducto de vaciado de presión

E- Solenoide

F- Salida.

Una electroválvula es un dispositivo diseñado para controlar el flujo de un [fluido](#) a través de un conducto como puede ser una [tubería](#). Es de uso muy común en los circuitos hidráulicos y neumáticos de maquinaria e instalaciones industriales.

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el [solenoide](#) y la [válvula](#). El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

Existen varios tipos de electroválvulas. En algunas electroválvulas el solenoide actúa directamente sobre la válvula proporcionando toda la energía necesaria para su movimiento. Es corriente que la válvula se mantenga cerrada por la acción de un [muelle](#) y que el solenoide la abra venciendo la fuerza del muelle.

También es posible construir electroválvulas biestables que usan un solenoide para abrir la válvula y otro para cerrar o bien un solo solenoide que abre con un impulso y cierra con el siguiente.

Las electroválvulas pueden ser *cerradas en reposo* o *normalmente cerradas* lo cual quiere decir que cuando falla la alimentación eléctrica quedan cerradas o bien pueden ser del tipo *abiertas en reposo* o *normalmente abiertas* que quedan abiertas cuando no hay alimentación.

Hay electroválvulas que en lugar de abrir y cerrar lo que hacen es bifurcar o repartir la entrada entre dos salidas. Este tipo de electroválvulas a menudo se usan en los sistemas de calefacción por zonas, lo que permite calentar varias zonas de forma independiente utilizando una sola bomba de circulación.

En otro tipo de electroválvula el solenoide no controla la válvula directamente sino que el solenoide controla una válvula piloto secundaria y la energía para la actuación de la válvula principal la suministra la presión del propio fluido.^{[58](#)}

Véase también: [Solenoide](#)

Iluminación y alumbrado

Artículo principal: [Iluminación física](#)



[Alumbrado](#) de vías públicas.

La iluminación o [alumbrado público](#) es la acción o efecto de iluminar usando electricidad, [vías públicas](#), monumentos, autopistas, aeropuertos, recintos deportivos, etc., así como la iluminación de las viviendas y especialmente la de los lugares de trabajo cuando las condiciones de luz natural no proporcionan la visibilidad adecuada.

En la técnica se refiere al conjunto de [lámparas](#), [bombillas](#), [focos](#), [tubos fluorescentes](#), entre otros, que se instalan para producir la iluminación requerida, tanto a niveles prácticos como decorativos. Con la iluminación se pretende, en primer lugar conseguir un nivel de iluminación, o [iluminancia](#), adecuado al uso que se quiere dar al espacio iluminado, cuyo nivel dependerá de la tarea que los usuarios hayan de realizar.

La iluminación en los centros de trabajo debe prevenir que se produzca [fatiga visual](#), que se ocasiona si los lugares de trabajo y las vías de circulación no disponen de suficiente iluminación, ya sea natural o artificial, adecuada y suficiente durante la noche y cuando no sea suficiente la luz natural.⁵⁹

Los locales, los lugares de trabajo y las vías de circulación en los que los trabajadores estén particularmente expuestos a riesgos en caso de avería de la iluminación artificial deben contar con una [iluminación de seguridad](#) de intensidad y duración suficiente. La iluminación deficiente ocasiona fatiga visual en los ojos, perjudica el [sistema nervioso](#), degrada la calidad del trabajo y es responsable de una buena parte de los [accidentes de trabajo](#).⁶⁰

La [fotometría](#) es la ciencia que se encarga de la medida de la luz como el brillo percibido por el [ojo humano](#). Es decir, estudia la capacidad que tiene la [radiación electromagnética](#) de estimular el [sistema visual](#). En este ámbito la iluminancia es la cantidad de [flujo luminoso](#) emitido por una fuente de luz que incide, atraviesa o emerge de una superficie por unidad de área. Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es el [Lux](#): 1 Lux = 1 [Lumen](#)/m².

En general, la iluminancia se define según la siguiente expresión:

$$E_V = \frac{dF}{dS}$$

donde:

- EV es la iluminancia, medida en luxes.
- F es el flujo luminoso, en lúmenes.
- dS es el elemento diferencial de área considerado, en metros cuadrados.

La siguiente tabla recoge las principales magnitudes fotométricas, su unidad de medida y la magnitud radiométrica asociada:

Magnitud fotométrica	Símbolo	Unidad	Abreviatura	Magnitud radiométrica asociada
Cantidad de luz o energía luminosa	Q_v	lumen •segundo	lm•s	Energía radiante
Flujo luminoso o potencia luminosa	F	lumen (= cd•sr)	lm	Flujo radiante o potencia radiante
Intensidad luminosa	I_v	candela	cd	Intensidad radiante
Luminancia	L_v	candela /metro ²	cd /m ²	Radiancia
Iluminancia	E_v	lux	lx	Irradiancia
Emitancia luminosa	M_v	lux	lx	Emitancia radiante

La candela es una [unidad básica](#) del SI. Las restantes unidades fotométricas se pueden derivar de unidades básicas.

Véase también: [Lámpara incandescente](#)

Producción de calor

Artículo principal: [Efecto Joule](#)





Un [secador de pelo](#) es un ejemplo doméstico del efecto Joule.

El físico británico [James Prescott Joule](#) descubrió en la década de 1860 que si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la [energía cinética](#) de los electrones se transforma en calor debido al choque que sufren con las moléculas del conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo. Este efecto es conocido como efecto Joule en honor a su descubridor. Este efecto fue definido de la siguiente manera: "La cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente". Matemáticamente se expresa como

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

donde

Q es la energía calorífica producida por la corriente;
 I es la intensidad de la corriente que circula y se mide en amperios;
 R es la resistencia eléctrica del conductor y se mide en ohmios;
 t es la tiempo el cual se mide en segundos.

Así, la [potencia](#) disipada por efecto Joule será:

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

donde V es la diferencia de potencial entre los extremos del conductor.

Microscópicamente el efecto Joule se calcula a través de la integral de volumen del [campo eléctrico](#) \vec{E} por la [densidad de corriente](#) \vec{J} :

$$P = \iiint_V \vec{J} \cdot \vec{E} dV$$

La resistencia es el componente que transforma la energía eléctrica en energía calorífica. En este efecto se basa el funcionamiento de los diferentes electrodomésticos que aprovechan el calor en sus prestaciones —braseros, tostadoras, secadores de pelo, calefacciones, etc.— y algunos aparatos empleados industrialmente —[soldadores](#), [hornos industriales](#), etc.— en los que el efecto útil buscado es, precisamente, el calor que desprende el conductor por el paso de la corriente. Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones de la electricidad es un efecto indeseado y la razón por la que los aparatos eléctricos y electrónicos necesitan un ventilador que disipe el calor generado y evite el calentamiento excesivo de los diferentes dispositivos.^{[61](#)}

Robótica y máquinas CNC

Artículo principal: [Control numérico por computadora](#)

Una de las innovaciones más importantes y trascendentales en la producción de todo tipo de objetos en la segunda mitad del siglo XX ha sido la incorporación de [robots](#), [autómatas programables](#) y máquinas guiadas por [Control numérico por computadora](#) (CNC) en las cadenas y máquinas de producción, principalmente en tareas relacionadas con la manipulación, trasiego de objetos, procesos de [mecanizado](#) y [soldadura](#). Estas innovaciones tecnológicas han sido viables entre otras cosas por el diseño y construcción de nuevas generaciones de motores eléctricos de corriente continua controlados mediante señales electrónicas de entrada y salida y el giro que pueden tener en ambos sentidos, así como la variación de su velocidad, de acuerdo con las instrucciones contenidas en el programa de ordenador que los controla. En estas máquinas se utilizan tres tipos de motores eléctricos: [motores paso a paso](#), [servomotores](#) o [motores encoder](#), y [motores lineales](#).⁶² La robótica es una rama de la tecnología que estudia el diseño y construcción de máquinas capaces de desempeñar tareas repetitivas, tareas en las que se necesita una alta precisión, tareas peligrosas para el ser humano o tareas irrealizables sin intervención de una máquina. Las ciencias y tecnologías en las que se basa son, entre otras, el [álgebra](#), los [autómatas programables](#), las [máquinas de estados](#), la mecánica, la [electrónica](#) y la [informática](#).

Un robot se define como una entidad hecha por el hombre y una conexión de retroalimentación inteligente entre el sentido y la acción directa bajo el control de un [ordenador](#) previamente programado con las tareas que tiene que realizar. Las acciones de este tipo de robots son generalmente llevadas a cabo por motores o actuadores que mueven extremidades o impulsan al robot. Hacia 1942, [Isaac Asimov](#) da una versión humanizada a través de su conocida serie de relatos, en los que introduce por primera vez el término robótica con el sentido de disciplina científica encargada de construir y programar robots. Además, este autor plantea que las acciones que desarrolla un robot deben ser dirigidas por una serie de reglas morales, llamadas las [Tres leyes de la robótica](#).⁶³

Los robots son usados hoy en día (2008) para llevar a cabo tareas sucias, peligrosas, difíciles, repetitivas o embotadas para los humanos. Esto usualmente toma la forma de un [robot industrial](#) usado en las líneas de producción. Otras aplicaciones incluyen limpieza de [residuos tóxicos](#), [exploración espacial](#), [minería](#), búsqueda y rescate de personas y localización de minas terrestres. La [manufactura](#) continúa siendo el principal mercado donde los robots son utilizados. En particular, los robots articulados (similares en capacidad de movimiento a un brazo humano) son los más usados comúnmente. Las aplicaciones incluyen soldado, pintado y carga de maquinaria. La [industria automotriz](#) ha tomado gran ventaja de esta nueva tecnología donde los robots han sido programados para reemplazar el trabajo de los humanos en muchas tareas repetitivas. Recientemente, se ha logrado un gran avance en los robots dedicados a la [medicina](#) que utiliza robots de última generación en procedimientos de [cirugía](#) invasiva mínima. La automatización de laboratorios también es un área en crecimiento. Los robots siguen abaratándose y empequeñeciéndose en tamaño, gracias a la miniaturización de los componentes electrónicos que se utilizan para controlarlos. También, muchos robots son diseñados en [simuladores](#) mucho antes de que sean construidos e interactúen con ambientes físicos reales.

Señales luminosas

Artículo principal: [Semáforo](#)

Se denomina señalización de seguridad al conjunto de señales que, referido a un objeto, actividad o situación determinada, proporcione una indicación o una obligación relativa a la seguridad o la salud en el trabajo mediante una señal en forma de panel, un color, una señal luminosa o acústica, una comunicación verbal o una señal gestual, según proceda.⁶⁴

Hay dos tipos de señales luminosas: las que actúan de forma intermitente y las que actúan de forma continuada. Las señales luminosas tienen el siguiente código de colores:

- Rojo: condiciones anormales que precisan de una acción inmediata del operario.
- Ámbar: atención o advertencia.
- Verde: máquina dispuesta.
- Blanco: circuito en tensión. Condiciones normales.
- Azul: cualquier significado no previsto por los colores anteriores

Cuando se utilice una señal luminosa intermitente, la duración y frecuencia de los destellos deberán permitir la correcta identificación del mensaje, evitando que pueda ser percibida como continua o confundida con otras señales luminosas.

Semáforos



Semáforo en vía pública.

Un [semáforo](#) es un dispositivo eléctrico que regula el tráfico de vehículos y peatones en las intersecciones de vías urbanas que soporten mucho tráfico. También se utilizan semáforos en las vías de trenes para regular el tráfico de convoyes por las vías. El tipo más frecuente tiene tres luces de colores:

- Verde, para avanzar

- Rojo, para detenerse
- Amarillo o ámbar, como paso intermedio del verde a rojo, o precaución si está intermitente.

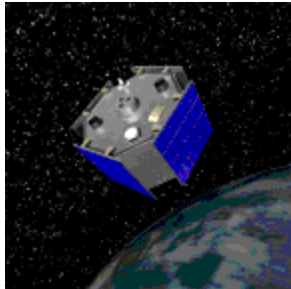
Fue en 1914 cuando se instaló el primer semáforo eléctrico, en [Cleveland](#) ([Estados Unidos](#)). Contaba con luces rojas y verdes, colocadas sobre unos soportes con forma de brazo y además incorporaba un emisor de zumbidos.

Los semáforos han ido evolucionando con el paso del tiempo y actualmente (2008) se están utilizando lámparas a [LED](#) para la señalización luminosa, puesto que las lámparas de LED utilizan sólo 10% de la energía consumida por las lámparas incandescentes, tienen una vida estimada 50 veces superior, y por tanto generan importantes ahorros de energía y de mantenimiento, satisfaciendo el objetivo de conseguir una mayor fiabilidad y seguridad pública.

La óptica de LED está compuesta por una placa de circuito impreso, policarbonato de protección, casquillo roscante E-27, todos estos elementos integrados sobre un soporte cónico. El circuito impreso, policarbonato de protección y envoltorio cónica, poseen orificios de ventilación para facilitar la evacuación de calor de su interior.^{[65](#)}

Telecomunicaciones

Artículo principal: [Telecomunicaciones](#)



[Satélite artificial de comunicaciones.](#)

El término *telecomunicación* quedó definido en [1973](#) por la [Unión Internacional de Telecomunicaciones](#) (ITU) en los términos siguientes: "*Telecomunicación es toda transmisión, emisión o recepción, de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos*".^{[66](#)}

La base matemática sobre la que se apoyan las telecomunicaciones fue desarrollada por el físico inglés [James Clerk Maxwell](#). Maxwell, en el prefacio de su obra *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873), predijo que era posible propagar ondas por el espacio libre utilizando descargas eléctricas, hecho que corroboró [Heinrich Hertz](#) en 1887, ocho años después de la muerte de Maxwell, y que, posteriormente, supuso el inicio de la era de la comunicación rápida a distancia. Hertz desarrolló el primer transmisor de radio generando radiofrecuencias entre 31 MHz y 1.25 GHz.

Las telecomunicaciones comienzan en la primera mitad del siglo XIX con el [telégrafo eléctrico](#). Más tarde se desarrolló el [teléfono](#), con el que fue posible comunicarse utilizando la voz, y, posteriormente, se produjo la revolución de la comunicación inalámbrica: las ondas de [radio](#). A principios del siglo XX aparece el [teletipo](#) que, utilizando el [código Baudot](#), permitía enviar y recibir texto en algo parecido a una máquina de escribir. En [1923](#) se presentó el primer aparato de [televisión](#), existiendo controversia sobre quién fue el inventor del mismo: [Vladimir Kosma Zworykin](#) o [Philo Taylor Farnsworth](#). Ambos hombres estaban trabajando en la creación del aparato de TV al mismo tiempo pero en distintos lugares. Aunque Zworykin consiguió una patente para la televisión en EE.UU. y por ello se le cita habitualmente como el primer inventor, Farnsworth fue capaz de producir primero una verdadera imagen de televisión el 7 de septiembre de [1927](#).⁶⁷

El auge de las telecomunicaciones empieza cuando se sitúan en el espacio los primeros satélites de comunicaciones donde las [ondas electromagnéticas](#) se transmiten gracias a la presencia en el espacio de [satélites artificiales](#) situados en [órbita](#) alrededor de la [Tierra](#). Un satélite actúa básicamente como un repetidor situado en el espacio: recibe las señales enviadas desde la estación terrestre y las reemite a otro satélite o de vuelta a los receptores terrestres. Los satélites son puestos en órbita mediante cohetes espaciales que los sitúan circundando la Tierra a distancias relativamente cercanas fuera de la atmósfera. Las antenas utilizadas preferentemente en las comunicaciones vía satélite son las [antenas parabólicas](#), que tienen forma de [parábola](#) y la particularidad de que las señales que inciden sobre su superficie se reflejan e inciden sobre el foco de la parábola, donde se encuentra el elemento receptor.

Con la puesta en marcha de los satélites de comunicaciones ha sido posible disponer de muchos [canales de televisión](#), el impresionante desarrollo de la [telefonía móvil](#) y de [Internet](#). Internet es un método de interconexión descentralizada de [redes de computadoras](#) implementado en un conjunto de protocolos denominado [TCP/IP](#) y garantiza que redes físicas [heterogéneas](#) funcionen como una red lógica única, de alcance mundial. Sus orígenes se remontan a 1969, cuando se estableció la primera conexión de computadoras, conocida como [ARPANET](#), entre tres universidades en [California](#) y una en [Utah](#), [EE. UU.](#).

En el siglo XXI las telecomunicaciones están evolucionando hacia la interconexión global a través de múltiples dispositivos, cada vez más rápidos, compactos, potentes y multifuncionales. Ya no es necesario establecer enlaces físicos entre dos puntos para transmitir la información de un punto a otro. Los hechos ocurridos en un sitio pueden transmitirse a todo el mundo, lo que facilita las comunicaciones, el comercio globalizado y emplear nuevas técnicas de gestión como el [método justo a tiempo](#).

Uso doméstico

Artículo principal: [Electrodoméstico](#)



El empleo de bombillas de bajo consumo supone un ahorro de hasta un 80% de energía respecto a las convencionales.

El uso doméstico de la electricidad se refiere a su empleo en los hogares. Los principales usos son [alumbrado](#), [electrodomésticos](#), [calefacción](#) y [aire acondicionado](#). Se está investigando en producir aparatos eléctricos que tengan la mayor [eficiencia energética](#) posible, así como es necesario mejorar el acondicionamiento de los hogares en cuanto a aislamiento del exterior para disminuir el consumo de electricidad en el uso de la calefacción o del aire acondicionado, que son los aparatos de mayor consumo eléctrico.

Se denominan electrodomésticos a todas las máquinas o aparatos eléctricos que realizan tareas domésticas rutinarias, como pueden ser cocinar, conservar los alimentos o limpiar, tanto para un hogar como para instituciones, comercios o industrias. Los electrodomésticos se clasifican comercialmente en tres grupos:

- La línea marrón hace referencia al conjunto de electrodomésticos de vídeo y audio, tales como [televisores](#), [reproductores de música](#), [home cinema](#), etc.
- La línea blanca se refiere a los principales electrodomésticos vinculados a la cocina y limpieza del hogar, tales como [cocina](#), [horno](#), [lavadora](#), [frigorífico](#), [lavavajillas](#), [congelador](#), [aire acondicionado](#), [secadora](#), etc.
- Los pequeños electrodomésticos son aparatos eléctricos pequeños que se utilizan para muchas tareas diferentes como las [planchas](#), [aspiradoras](#), [estufas](#), [ventiladores](#), [microondas](#), [cafeteras](#), [batidoras](#), [freidoras](#) o [depiladoras](#).

En los países de la [Unión Europea](#) los fabricantes de electrodomésticos están obligados a etiquetar sus productos con la llamada [etiqueta energética](#), con el fin de contribuir al [ahorro energético](#) y a la preservación del [medio ambiente](#).

La etiqueta energética es una herramienta informativa que indica la cantidad de energía que consume un electrodoméstico y la eficiencia con que utiliza esa energía, además de otros datos complementarios del aparato. Existen siete clases de etiquetas energéticas que se tipifican, en función de los consumos eléctricos, en diferentes colores y con letras del abecedario de la A (más eficiente) hasta la G (menos eficiente). De esta manera, los usuarios pueden valorar y comparar en el mismo momento de la compra el rendimiento energético de los distintos modelos de un mismo tipo de electrodoméstico. Las comparaciones únicamente se pueden hacer entre electrodomésticos del mismo tipo. Por ejemplo, no es comparable el consumo eléctrico de una


lavadora de clase A con el de un lavavajillas de la misma clase, pero sí con el de otra lavadora de clase C.

La etiqueta tiene que estar siempre visible en el aparato expuesto. En los casos de ventas por catálogo, por Internet o por cualquier otro medio donde el consumidor no pueda ver los aparatos personalmente también se tienen que incluir las prestaciones energéticas descritas en la etiqueta.

Los electrodomésticos que, según la normativa de la Unión Europea, deben llevar obligatoriamente etiqueta energética son los siguientes: frigoríficos, congeladores y aparatos combinados, lavadoras, secadoras y lava-secadoras, lavavajillas, fuentes de luz, aparatos de aire acondicionado, hornos eléctricos, calentadores de agua y otros aparatos que almacenen agua caliente.⁶⁸

Uso en la industria



 Diversos tipos de motores eléctricos.

Los principales consumidores de electricidad son las industrias, destacando aquellas que tienen en sus procesos productivos instalados grandes hornos eléctricos, tales como siderúrgicas, cementeras, cerámicas y químicas. También son grandes consumidores los procesos de [electrólisis](#) (producción de [cloro](#) y [aluminio](#)) y las plantas de [desalación](#) de agua de mar.

En algunos países, por ejemplo España, existen unos contratos de suministro especiales con estos grandes consumidores de electricidad a los que se les concede una tarifa muy baja a cambio de la posibilidad de cortarles el suministro eléctrico (lo que les obliga a un paro técnico), cuando las previsiones meteorológicas prevén olas de calor o de frío intenso, para evitar la saturación del suministro a causa del alto consumo doméstico de aire acondicionado o calefacción. Estos grandes consumidores hacen también funcionar sus hornos más potentes en horario nocturno cuando la tarifa eléctrica es más reducida. En el caso español, el uso de estas tarifas especiales podría ser prohibido por la Comisión Europea al considerarlas incentivos injustos a costa de los demás usuarios de electricidad.⁶⁹

Las industrias también consumen electricidad para suministrar iluminación eléctrica cuando no es posible la iluminación natural, a fin de prevenir que se produzca **fatiga visual** en los trabajadores, que se ocasiona si los lugares de trabajo y las vías de circulación no disponen de suficiente iluminación, adecuada y suficiente durante la noche.⁷⁰

Otro campo general de consumo eléctrico en las empresas lo constituye el dedicado a la activación de las máquinas de [climatización](#) tanto de [aire acondicionado](#) como de [calefacción](#). El consumo de electricidad de este capítulo puede ser muy elevado si las instalaciones no están construidas de acuerdo con principios ecológicos de [ahorro de energía](#).

Asimismo, es de uso industrial la electricidad que se emplea en los diferentes tipos de [soldadura](#) eléctrica, procesos de [electrólisis](#), [hornos eléctricos](#) industriales utilizados en muchas tareas diferentes, entre otros.

Un campo sensible del uso de la electricidad en las empresas o instituciones lo constituyen la alimentación permanente y la tensión constante que deben tener las instalaciones de [ordenadores](#), porque un corte imprevisto de energía eléctrica puede dañar el trabajo que se realiza en el momento del corte. Para evitar estos daños existen unos dispositivos de emergencia que palían de forma momentánea la ausencia de suministro eléctrico en la red.

Véanse también: [Electrólisis](#), [Horno eléctrico](#), [Motor eléctrico](#), [Horno](#), [Soldadura](#) y [Automatización industrial](#)

Uso en el transporte

Artículo principal: [Locomotora](#)



Vehículos híbridos en [Expo 2005](#).

La electricidad tiene una función determinante en el funcionamiento de todo tipo de vehículos que funcionan con [motores de explosión](#). Para producir la electricidad que necesitan estos vehículos para su funcionamiento llevan incorporado un [alternador](#) pequeño que es impulsado mediante una transmisión por polea desde el eje del [cigüeñal](#) del motor. Además tienen una [batería](#) que sirve de reserva de electricidad para que sea posible el arranque del motor cuando este se encuentra parado, activando el [motor de arranque](#). Los componentes eléctricos más importantes de un vehículo de transporte son los siguientes: [alternador](#), [batería](#), equipo de alumbrado, equipo de encendido, motor de arranque, equipo de señalización y emergencia, instrumentos de control, entre otros.

La sustitución de los motores de explosión por motores eléctricos es un tema aún no resuelto, debido principalmente a la escasa capacidad de las baterías y a la lentitud del proceso de carga así como a su autonomía limitada. Se están realizando avances en el lanzamiento de automóviles híbridos con un doble sistema de funcionamiento: un motor de explosión térmico que carga acumuladores y unos motores eléctricos que impulsan la tracción en las ruedas.

Un campo donde ha triunfado plenamente la aplicación de las máquinas eléctricas ha sido el referido al funcionamiento de los ferrocarriles.



[Tren de alta velocidad.](#)

El proceso de electrificación se ha desarrollado en dos fases. La primera fue la sustitución de las locomotoras que utilizaban carbón por las locomotoras llamadas diésel que utilizaban gasóleo. Las locomotoras diésel-eléctricas consisten básicamente en dos componentes, un motor diésel que mueve un generador eléctrico, y varios motores eléctricos (conocidos como motores de tracción) que comunican a las ruedas la fuerza tractiva que mueve a la locomotora. Los motores de tracción se alimentan con corriente eléctrica y luego, por medio de engranajes, mueven las ruedas.

La puesta en servicio de locomotoras eléctricas directas constituyó un avance tecnológico importante. Las locomotoras eléctricas son aquellas que utilizan como fuente de energía la energía eléctrica proveniente de una fuente externa, para aplicarla directamente a motores de tracción eléctricos. Estas locomotoras requieren la instalación de cables de alimentación a lo largo de todo el recorrido, que se sitúan a una altura por encima de los trenes a fin de evitar accidentes. Esta instalación se conoce como catenaria. Las locomotoras toman la electricidad por un trole, que la mayoría de las veces tiene forma de pantógrafo y como tal se conoce. En los años 1980 se integraron como propulsores de vehículos eléctricos ferroviarios los motores asíncronos, y aparecieron los sistemas electrónicos de regulación de potencia que dieron el espaldarazo definitivo a la elección de este tipo de tracción por las compañías ferroviarias. El hito de los trenes eléctricos lo constituyen los llamados trenes de alta velocidad cuyo desarrollo ha sido el siguiente:

- En 1964 se inauguró el Shinkansen o tren bala japonés con motivo de los Juegos Olímpicos de Tokio, el primer tren de alta velocidad en utilizar un trazado propio,
- En 1979 se instaló en Hamburgo el primer tren de levitación magnética para la Exposición Internacional del Transporte (IVA 79), desarrollando patentes anteriores.

Hubo pruebas posteriores de trenes similares en Inglaterra y actualmente operan comercialmente líneas en Japón y China. Se combinan con el sistema de [monorraíl](#).

- En [1981](#) se inauguró la primera línea de [Train à Grande Vitesse](#) (Tren de Gran Velocidad), conocido como [TGV](#), un tipo de tren eléctrico de alta velocidad desarrollado por la empresa francesa [Alstom](#). El TGV es uno de los trenes más veloces del mundo, operando en algunos tramos a velocidades de hasta 320 km/h teniendo el récord de mayor velocidad media en un servicio de pasajeros y el de mayor velocidad en condiciones especiales de prueba. En 1990 alcanzó la velocidad de 515,3 km/h, y en el 2007 superó su propio registro al llegar a los 574,8 km/h en la línea París-Estrasburgo.⁷¹

A pesar del desarrollo de las locomotoras eléctricas directas, en amplias zonas del planeta se siguen utilizando locomotoras diésel.

Uso en la medicina

Artículo principal: [Electromedicina](#)

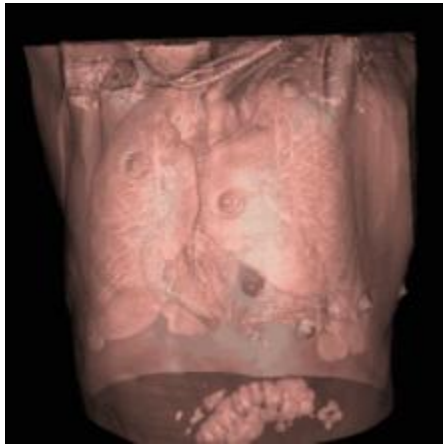


Imagen radiológica en [3D](#).

El 8 de noviembre de 1895, el físico alemán [Wilhelm Conrad Röntgen](#) descubrió que, cuando los electrones que se mueven a elevada velocidad chocan con la materia, dan lugar a una forma de radiación altamente penetrante. A esta radiación se le denominó [radiación X](#) y su descubrimiento es considerado como uno de los más extraordinarios de la ciencia moderna.⁷² Los rayos X han mostrado una gran utilidad en el campo de la [Medicina](#), concretamente en el [diagnóstico](#) médico, porque permiten captar [estructuras óseas](#), permitiendo así diagnosticar [fracturas](#) o cualquier trastorno óseo.⁷³

La [radiología](#) es la especialidad médica que emplea distintos tipos de radiaciones con fines [diagnósticos](#) (detección de enfermedades o dolencias) y terapéuticos (la curación de las mismas). La práctica más extendida es la de los rayos X.⁷⁴ En desarrollos posteriores de la radiología se desarrollaron la [tomografía axial computarizada](#) TAC y la [angiografía](#).

Otras técnicas de imagen médica que no utilizan radiaciones pero sí aparatos eléctricos son la [resonancia magnética nuclear](#) (IRM), los [ultrasonidos](#) o la [ecografía](#).

Para los trastornos coronarios, se utilizan los [electrocardiogramas](#) para el diagnóstico y los [marcapasos](#), el [corazón artificial](#) y los [desfibriladores](#) para el tratamiento. También la [neurología](#) y la [neurofisiología](#) utilizan equipamientos electrónicos de diagnosis y tratamiento. Asimismo se utiliza [láser](#) de alta resolución para intervenciones de lesiones oculares y [audífonos](#) para mejorar la audición. Se han equipado los [quirófanos](#) y [unidades de rehabilitación y cuidados intensivos](#) (UVI) o (UCI) con equipos electrónicos e informáticos de alta tecnología. La [radioterapia](#) utiliza radiaciones ionizantes para tratar el [cáncer](#).

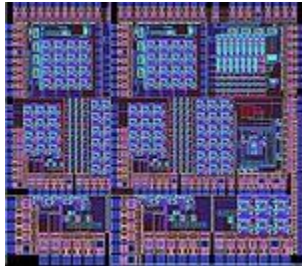
Por último, la electricidad ha permitido mejorar los instrumentos y técnicas de [análisis clínico](#), por ejemplo mediante [microscopios electrónicos](#) de gran resolución.

Véanse también: [Rayos X](#), [Tomografía axial computarizada](#), [Láser](#), [Resonancia magnética nuclear](#), [Electroterapia](#) y [Neurología](#)

Electrónica

Electrónica digital

Artículo principal: [Circuito integrado](#)



Detalle de un [circuito integrado](#).

La **electrónica** es la rama de la física y, fundamentalmente, una especialización de la [ingeniería](#), que estudia y emplea sistemas cuyo funcionamiento se basa en la conducción y el control del flujo microscópico de los electrones u otras partículas cargadas eléctricamente.⁷⁵ Mediante el diseño y la construcción de [circuitos electrónicos](#) se pueden resolver muchos problemas prácticos. Forma parte de los campos de la [ingeniería electrónica](#), [Ingeniería electromecánica](#) y la [informática](#) en el diseño de [software](#) para su control.

Se considera que la electrónica comenzó con el diodo de vacío inventado por [John Ambrose Fleming](#) en 1904. El funcionamiento de este dispositivo está basado en el [efecto Edison](#). Conforme pasaba el tiempo las [válvulas de vacío](#) se fueron perfeccionando y mejorando, apareciendo otros tipos de válvulas. Dentro de los perfeccionamientos de las válvulas se encontraba su miniaturización. Pero fue definitivamente con el [transistor](#), aparecido de la mano de [John Bardeen](#), [Walter Houser Brattain](#) y [William Bradford Shockley](#) de los [Laboratorios Bell Telephone](#) en 1948, cuando se permitió aún una mayor miniaturización de los aparatos. El [transistor de unión](#) apareció algo más tarde, en 1949, y es el dispositivo utilizado para la mayoría de las aplicaciones de la electrónica. Sus ventajas respecto a las válvulas son entre otras: menor

tamaño y fragilidad, mayor rendimiento energético y menores tensiones de alimentación. El transistor no funciona en vacío como las válvulas, sino en un estado sólido semiconductor (silicio), razón por la que no necesitan centenares de voltios de tensión para funcionar. En 1958 se desarrolló el primer [circuito integrado](#), que integraba seis transistores en un único [chip](#). En 1970 se desarrolló el primer [microprocesador](#), [Intel 4004](#).

En la actualidad, los campos de desarrollo de la electrónica son tan vastos que se ha dividido en varias ciencias especializadas. La mayor división consiste en distinguir la [electrónica analógica](#) de la [electrónica digital](#). La electrónica desarrolla en la actualidad una gran variedad de tareas. Los principales usos de los circuitos electrónicos son el control, el procesado, la distribución de información, la conversión y la distribución de la energía eléctrica. Se puede decir que la electrónica abarca en general las siguientes áreas de aplicación: [electrónica de control](#), [telecomunicaciones](#) y [electrónica de potencia](#).⁷⁶

Consumo de energía y eficiencia energética



Contador doméstico de electricidad.

Artículo principal: [Eficiencia energética](#)

Los aparatos eléctricos cuando están funcionando generan un consumo de energía eléctrica en función de la potencia que tengan y del tiempo que estén en funcionamiento. En España, el consumo de energía eléctrica se contabiliza mediante un dispositivo precintado que se instala en los accesos a la vivienda, denominado contador, y que cada dos meses revisa un empleado de la compañía suministradora de la electricidad anotando el consumo realizado en ese período. El kilovatio hora (kWh) es la unidad de [energía](#) en la que se factura normalmente el consumo doméstico o industrial de electricidad. Equivale a la energía consumida por un aparato eléctrico cuya potencia fuese un [kilovatio](#) (kW) y estuviese funcionando durante una hora.

Ejemplo de factura de consumo de energía eléctrica en un periodo de dos meses ([España, 2008](#))

Concepto	Cálculo	Valor
----------	---------	-------

Potencia contratada	5,5 kW x 2 meses x 1,642355 €/ (kW • mes)	18,07 €
Coste consumo	966 kWh x 0,091437 €/kWh	88.33 €
Impuesto electricidad	106,40 € x 1,05113 x 4,864 %	5,44 €
Alquiler de contador	0,60 €/mes x 2 meses	1,20 €
Impuesto valor añadido (IVA)	16% x suma anterior	18,09 €
Total factura		131,13 €



El [refrigerador](#) es el electrodoméstico de los hogares que consume más electricidad, por lo cual se debe hacer un uso racional del mismo para conseguir un buen ahorro.

Dado el elevado coste de la energía eléctrica y las dificultades que existen para cubrir la demanda mundial de electricidad y el efecto nocivo para el medio ambiente que supone la producción masiva de electricidad se impone la necesidad de aplicar la máxima eficiencia energética posible en todos los usos que se haga de la energía eléctrica.

La **eficiencia energética** es la relación entre la cantidad de energía consumida de los productos y los beneficios finales obtenidos. Se puede lograr aumentarla mediante la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales en la comunidad.⁷⁷

Salud y electricidad

Artículo principal: [Riesgo eléctrico](#)



Señal de peligro eléctrico.

Se denomina **riesgo eléctrico** al riesgo originado por la [energía eléctrica](#). Dentro de este tipo de riesgo se incluyen los siguientes:⁷⁸

- Choque eléctrico por contacto con elementos en [tensión](#) (contacto eléctrico directo), o con masas puestas accidentalmente en tensión (contacto eléctrico indirecto).
- [Quemaduras](#) por choque eléctrico, o por [arco eléctrico](#).
- Caídas o golpes como consecuencia de choque o arco eléctrico.
- Incendios o explosiones originados por la electricidad.

La corriente eléctrica puede causar efectos inmediatos como quemaduras, calambres o [fibrilación](#), y efectos tardíos como trastornos mentales. Además puede causar efectos indirectos como caídas, golpes o cortes.

Los principales factores que influyen en el riesgo eléctrico son:⁷⁹

- La [intensidad de corriente eléctrica](#).
- La duración del contacto eléctrico.
- La [impedancia](#) del contacto eléctrico, que depende fundamentalmente de la humedad, la [superficie](#) de contacto y la tensión y la frecuencia de la tensión aplicada.
- La tensión aplicada. En sí misma no es peligrosa pero, si la resistencia es baja, ocasiona el paso de una intensidad elevada y, por tanto, muy peligrosa. La relación entre la intensidad y la tensión no es lineal debido al hecho de que la impedancia del cuerpo humano varía con la tensión de contacto.
- [Frecuencia](#) de la corriente eléctrica. A mayor frecuencia, la impedancia del cuerpo es menor. Este efecto disminuye al aumentar la tensión eléctrica.
- [Trayectoria](#) de la corriente a través del cuerpo. Al atravesar órganos vitales, como el corazón, pueden provocarse lesiones muy graves.

Los accidentes causados por la electricidad pueden ser leves, graves e incluso mortales. En caso de muerte del accidentado, recibe el nombre de [electrocución](#).

En el mundo laboral los empleadores deberán adoptar las medidas necesarias para que de la utilización o presencia de la energía eléctrica en los lugares de trabajo no se deriven riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores o, si ello no fuera posible, para que tales riesgos se reduzcan al mínimo.⁷⁸

Véanse también: [Descarga electrostática](#) y [Radiación no ionizante](#)

Electricidad en la naturaleza

Mundo inorgánico

] Descargas eléctricas atmosféricas

El fenómeno eléctrico más común del mundo inorgánico son las descargas eléctricas atmosféricas denominadas [rayos](#) y [relámpagos](#). Debido al rozamiento de las partículas de agua o hielo con el aire, se produce la creciente separación de cargas eléctricas positivas y negativas en las nubes, separación que genera campos eléctricos. Cuando el campo eléctrico resultante excede el de [ruptura dieléctrica](#) del medio, se produce una descarga entre dos partes de una nube, entre dos nubes diferentes o entre la parte inferior de una nube y tierra. Esta descarga ioniza el aire por calentamiento y excita transiciones electrónicas moleculares. La brusca dilatación del aire genera el [trueno](#), mientras que el decaimiento de los electrones a sus niveles de equilibrio genera [radiación electromagnética](#), luz.

Son de origen similar las [centellas](#) y el [fuego de San Telmo](#). Este último es común en los barcos durante las tormentas y es similar al [efecto corona](#) que se produce en algunos cables de alta tensión.

El daño que producen los rayos a las personas y sus instalaciones puede prevenirse derivando la descarga a tierra, de modo inocuo, mediante [pararrayos](#).

Campo magnético terrestre



 [Aurora boreal](#).

Aunque no se puede verificar experimentalmente, la existencia del [campo magnético terrestre](#) se debe casi seguramente a la circulación de cargas en el [núcleo externo líquido](#) de la Tierra. La hipótesis de su origen en materiales con [magnetización permanente](#), como el hierro, parece desmentida por la constatación de las inversiones periódicas de su sentido en el transcurso de las [eras geológicas](#), donde el polo norte magnético es remplazado por el sur y viceversa. Medido en

tiempos humanos, sin embargo, los polos magnéticos son estables, lo que permite su uso, mediante el antiguo invento chino de la [brújula](#), para la orientación en el mar y en la tierra.

El campo magnético terrestre desvía las partículas cargadas provenientes del [Sol](#) ([viento solar](#)). Cuando esas partículas chocan con los átomos y moléculas de [oxígeno](#) y [nitrógeno](#) de la [magnetosfera](#), se produce un [efecto fotoeléctrico](#) mediante el cual parte de la energía de la colisión excita los átomos a niveles de energía tales que cuando dejan de estar excitados devuelven esa energía en forma de luz visible. Este fenómeno puede observarse a simple vista en las cercanías de los polos, en las [auroras polares](#).

Mundo orgánico

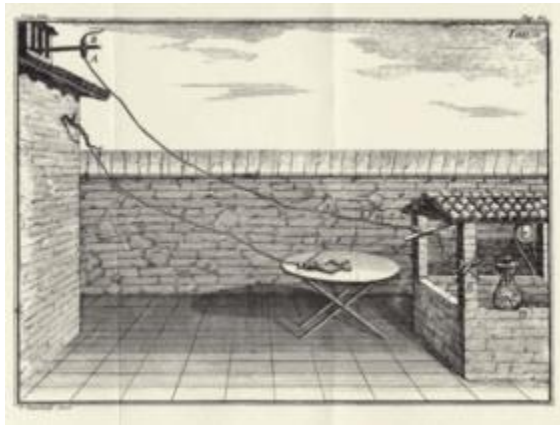
Artículo principal: [Bioelectromagnetismo](#)

El [bioelectromagnetismo](#) (a veces denominado parcialmente como bioelectricidad o biomagnetismo) es el fenómeno biológico presente en todos los [seres vivos](#), incluidas todas las plantas y los animales, consistente en la producción de [campos electromagnéticos](#) (se manifiesten como eléctricos o magnéticos) producidos por la [materia viva](#) ([células](#), [tejidos](#) u [organismos](#)). Los ejemplos de este fenómeno incluyen el [potencial eléctrico](#) de las [membranas celulares](#) y las [corrientes eléctricas](#) que fluyen en [nervios](#) y [músculos](#) como consecuencia de su [potencial de acción](#). No debe confundirse con la [bioelectromagnética](#), que se ocupa de los efectos de una fuente externa de electromagnetismo sobre los organismos vivos.

Véanse también: [Bioenergética](#), [Electrocito](#), [Electroencefalografía](#), [Electrofisiología](#), [Electromiografía](#) y [Potencial de membrana](#)

Impulso nervioso

Artículo principal: [Impulso nervioso](#)



Grabado antiguo mostrando la excitación del [nervio crural](#) de una rana mediante una máquina electrostática.

El fenómeno de excitación de los músculos de las patas de una rana, descubierto por [Galvani](#), puso en evidencia la importancia de los fenómenos eléctricos en los organismos vivos.

Aunque inicialmente se pensó que se trataba de una clase especial de electricidad, se verificó gradualmente que estaban en juego las cargas eléctricas usuales de la [física](#). En los organismos con sistema nervioso las [neuronas](#) son los canales por los que se transmiten a los [músculos](#) las señales que comandan su contracción y relajación. Las neuronas también transmiten al [cerebro](#) las [señales](#) de los órganos internos, de la piel y de los [transductores](#) que son los órganos de los sentidos, señales como dolor, calor, textura, presión, imágenes, sonidos, olores y sabores. Los mecanismos de propagación de las señales por las neuronas, sin embargo, son muy diferentes del de conducción de electrones en los cables eléctricos. Consisten en la modificación de la concentración de [iones](#) de [sodio](#) y de [potasio](#) a ambos lados de una membrana celular. Se generan así [diferencias de potencial](#), variables a lo largo del interior de la neurona, que varían en el tiempo propagándose de un extremo al otro de la misma con altas velocidades.



Los pequeños hoyos en la cabeza de este [lucio](#) contiene neuromastos del sistema de la línea lateral.



El [pez torpedo](#) es uno de los "fuertemente eléctricos".

Véase también: [Galvanismo](#)

Uso biológico

Artículo principal: [Bioelectromagnetismo](#)

Muchos [peces](#) y unos pocos mamíferos tienen la capacidad de detectar la variación de los campos eléctricos en los que están inmersos, entre los que se cuentan los [teleostei](#), las [rayas](#)⁸⁰ y los [ornitorrincos](#). Esta detección es hecha por neuronas especializadas llamadas [neuromastos](#),⁸¹ que en los [gimnótidos](#) están ubicadas en la [línea lateral](#) del pez.⁸²

La localización por medios eléctricos ([electrorrecepción](#)) puede ser pasiva o activa. En la localización pasiva el animal sólo detecta la variación de los campos eléctricos circundantes, a

los que no genera. Los "peces poco eléctricos" son capaces de generar campos eléctricos débiles a través de órganos y circuitos especiales de neuronas, cuya única función es detectar variaciones del entorno y comunicarse con otros miembros de su especie. Los voltajes generados son inferiores a 1 V y las características de los sistemas de detección y control varían grandemente de especie a especie.⁸³

Algunos peces, como las [anguilas](#) y las [rayas eléctricas](#) son capaces de producir grandes descargas eléctricas con fines defensivos u ofensivos, son los llamados [peces eléctricos](#). Estos peces, también llamados "peces fuertemente eléctricos", pueden generar voltajes de hasta 2.000 V y corrientes superiores a 1 A. Entre los peces eléctricos se cuentan los [Apterontidae](#), [Gymnotidae](#), [Electrophoridae](#), [Hypopomidae](#), [Rhamphichthyidae](#), [Sternopygidae](#), [Gymnarchidae](#), [Mormyridae](#) y [Malapteruridae](#).⁸⁴

Véanse también: [Magnetorrecepción](#), [Paloma mensajera](#) y [Bacteria magnética](#)