

Electrodinámica

La electrodinámica estudia el movimiento de las cargas y sus efectos en los circuitos eléctricos y electrónicos.

Corriente Alterna y Continua

Corriente Continua

La importancia de la generación de corriente continua es muy alta en el campo de la electrónica, porque todo lo que conocemos funciona alimentándose de algún tipo de corriente y, según el tipo de dispositivo al que nos estemos refiriendo, se tratara de continua o alterna.

La corriente continua da inicio a los primeros circuitos eléctricos. La pila de Volta fue el primer dispositivo que almaceno corriente continua sin la necesidad de regenerarla.

Una corriente continua se caracteriza porque los electrones libres siempre se mueven en el mismo sentido por el conductor con una intensidad constante.

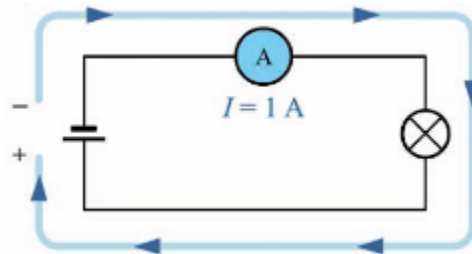


Figura 1: Un generador de corriente continua mantiene invariable la polaridad de sus terminales.

En la figura 2 se ha representado la C.C. de 1 A. Observa que este valor se mantiene invariable con el paso del tiempo.

Los usos que se hacen de la C.C. son muy variados: baños electrolíticos, alimentación de aparatos electrónicos, tracción eléctrica (coches, tranvías, etc.) y otros muchos más.

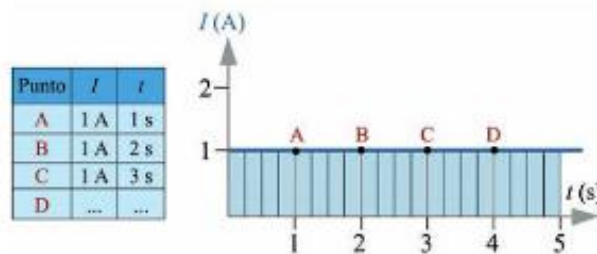


Figura 2: Representación gráfica de una corriente continua.

Corriente Alterna

La forma de onda sinusoidal u onda seno es el tipo fundamental de corriente alterna (ca) y voltaje alterno. También se conoce como onda sinusoidal o, simplemente, senoide.

El servicio eléctrico provisto por la compañía de electricidad es en la forma de voltaje y corriente sinusoidales. Además, otros tipos de formas de onda repetitivas se componen de muchas ondas seno individuales llamadas armónicas.

Dos tipos de fuentes producen voltajes sinusoidales: las máquinas eléctricas rotatorias (generadores de ca) y los circuitos osciladores electrónicos, los cuales se utilizan en instrumentos comúnmente conocidos como generadores de señales electrónicas. La figura 3 muestra el símbolo utilizado para representar cualquier fuente de voltaje sinusoidal.



Figura 3: Símbolo para una fuente de voltaje sinusoidal.

La figura 4 es una gráfica que muestra la forma general de una onda seno, la cual puede ser o una corriente alterna o un voltaje alterno. El voltaje (o la corriente) se muestra en el eje vertical y el tiempo (t) en el eje horizontal. Advierta cómo varía el voltaje (o la corriente) con el tiempo. Comenzando en cero, el voltaje (o la corriente) se incrementa hasta un máximo positivo (pico), regresa a cero, y luego se incrementa hasta un máximo negativo (pico) antes de regresar otra vez a cero, y así completa un ciclo.

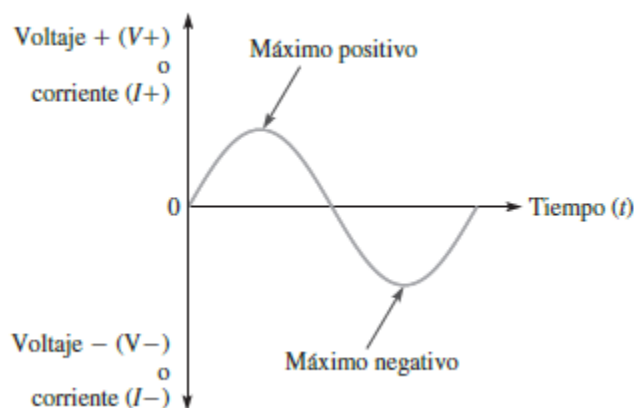


Figura 4: Gráfica de un ciclo de una onda seno.

Polaridad de una onda seno.

Como ya se mencionó, una onda seno cambia de polaridad en su valor cero; esto es, alterna entre valores positivos y negativos. Cuando se aplica una fuente de voltaje sinusoidal (V_s) a un circuito resistivo, como en la figura 5, se produce una corriente sinusoidal. Cuando el voltaje cambia de polaridad la corriente, en correspondencia, cambia de dirección como se indica.

Durante la alternación positiva del voltaje aplicado, V_s , la corriente fluye en la dirección mostrada en la figura 5. Durante una alternación negativa del voltaje aplicado, la corriente fluye en la dirección opuesta, según muestra la figura 6. Las alternaciones positivas y negativas combinadas forman un ciclo de una onda seno.

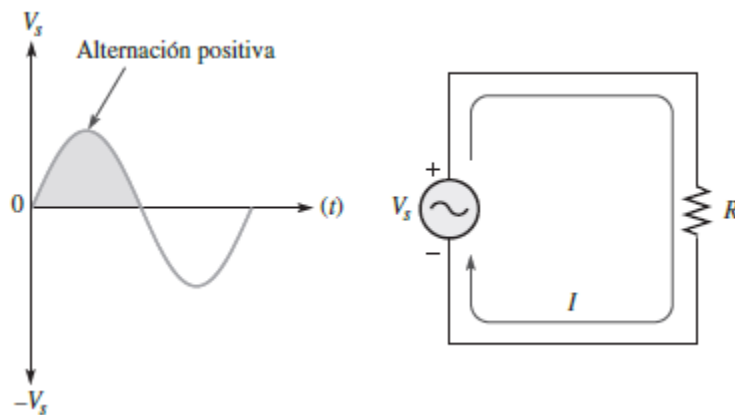


Figura 5 : Durante una alternación positiva de voltaje, la corriente fluye en la dirección mostrada.

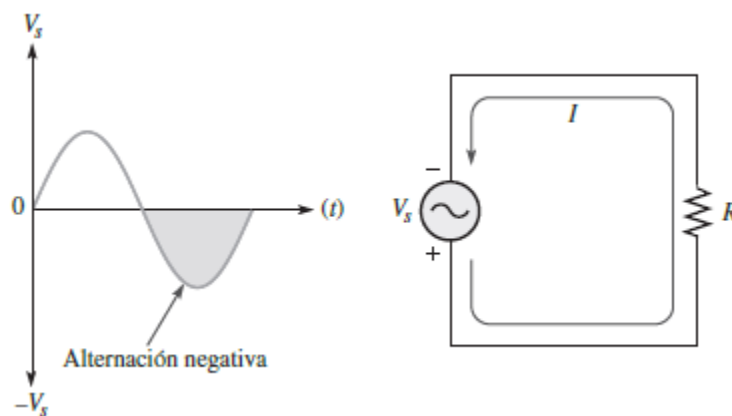


Figura 6 : Durante una alternación negativa de voltaje, la corriente invierte su dirección como se muestra

Periodo de una onda seno

Una onda seno varía con el tiempo (t) de una manera que es definible.

El tiempo requerido para que una onda seno complete todo un ciclo se llama periodo (T)

La figura 7 (a) ilustra el periodo de una onda seno. De modo característico, una onda seno continúa repitiéndose a sí misma en ciclos idénticos, según muestra la figura 7 (b). Como todos los ciclos de una onda seno repetitiva son iguales, el periodo siempre es un valor fijo para una onda seno dada. El periodo de una onda seno se puede medir desde su cruce por cero hasta el siguiente cruce por cero correspondiente, como indica la figura 11-4(a). En un ciclo dado, el periodo también puede medirse desde cualquier pico hasta el correspondiente pico alcanzado en el siguiente ciclo.

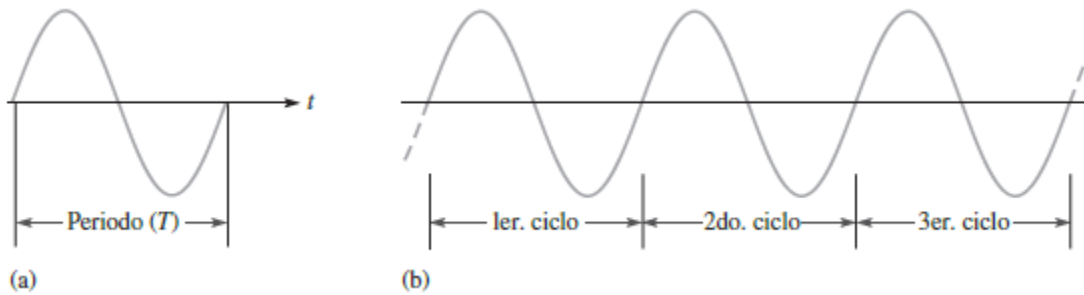
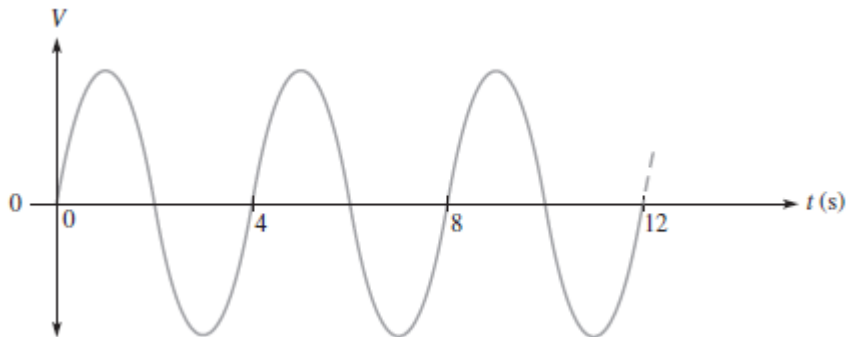
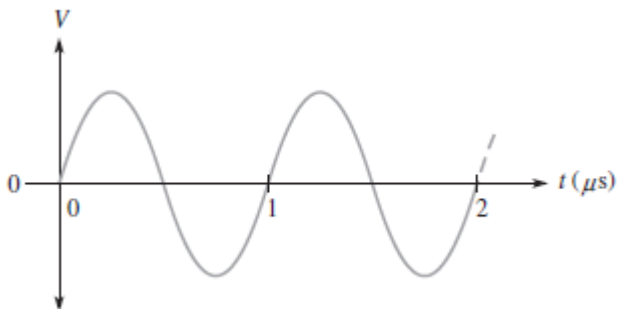


Figura 7 : El período de una onda seno es el mismo para cada ciclo.

Ejercicio: ¿Cuál es el periodo de la onda seno mostrada en la figura?



Ejercicio: Explique tres formas posibles de medir el periodo de la onda seno mostrada en la figura. ¿Cuántos ciclos se muestran?



BIOGRAFÍA



Heinrich Rudolf Hertz
1857–1894

Hertz, un físico alemán, fue el primero en transmitir y recibir ondas electromagnéticas (radio). Produjo ondas electromagnéticas en el laboratorio y midió sus parámetros. Hertz también comprobó que la naturaleza de la reflexión y refracción de las ondas electromagnéticas eran las mismas que las de la luz. La unidad de frecuencia fue nombrada en su honor. (Crédito de la fotografía: Deutsches Museum, cortesía de AIP Emilio Segrè Visual Archives).

Frecuencia de una onda seno

La frecuencia (f) es el número de ciclos que una onda seno completa en un segundo.

Mientras más ciclos se completan en un segundo, más alta es la frecuencia. La frecuencia (f) se mide en unidades de hertz. Un hertz (Hz) equivale a un ciclo por segundo; 60 Hz son 60 ciclos por segundo, 50 Hz son 50 ciclos por segundo, por ejemplo. La figura 11-8 muestra dos ondas seno. En la parte (a), la onda seno completa dos ciclos en un segundo. En la parte (b), completa cuatro ciclos en un segundo. Por consiguiente, la onda seno de la parte (b) tiene dos veces la frecuencia de la onda mostrada en la parte (a).

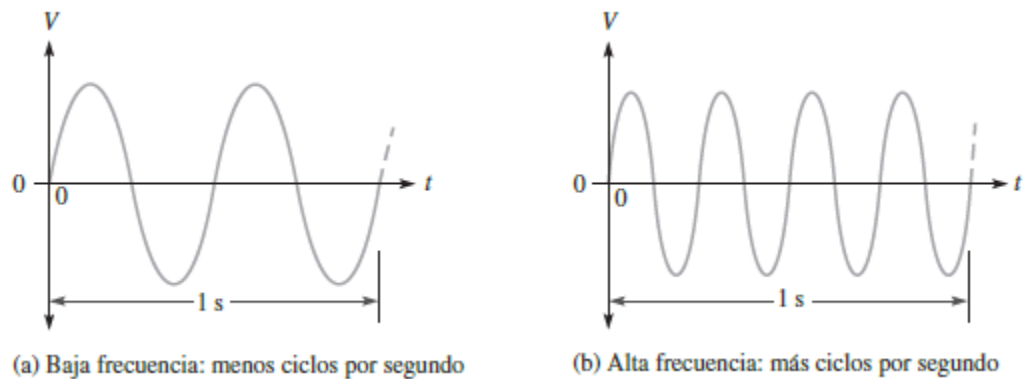


Figura 8: Ilustración de frecuencia

$$1 \text{ hertz (Hz)} = 1 \text{ ciclo por segundo (cps)}$$

Relación de frecuencia y periodo

Las fórmulas para calcular la relación entre frecuencia (f) y periodo (T) son las siguientes:

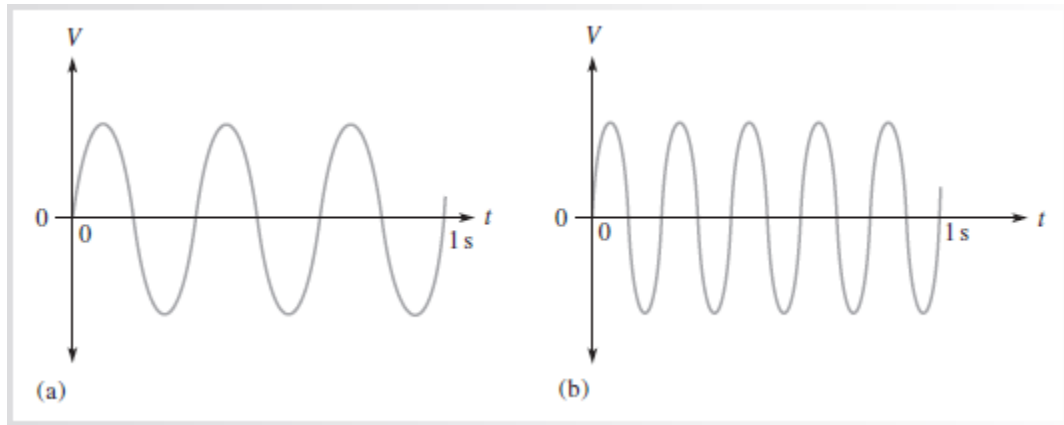
$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

Existe una relación recíproca entre f y T . Conociendo una, se puede calcular la otra mediante la tecla x^{-1} o $1/x$ de una calculadora. Esta relación inversa tiene sentido porque

una onda seno con un periodo más largo realiza menos ciclos en un segundo que una con un periodo más corto.

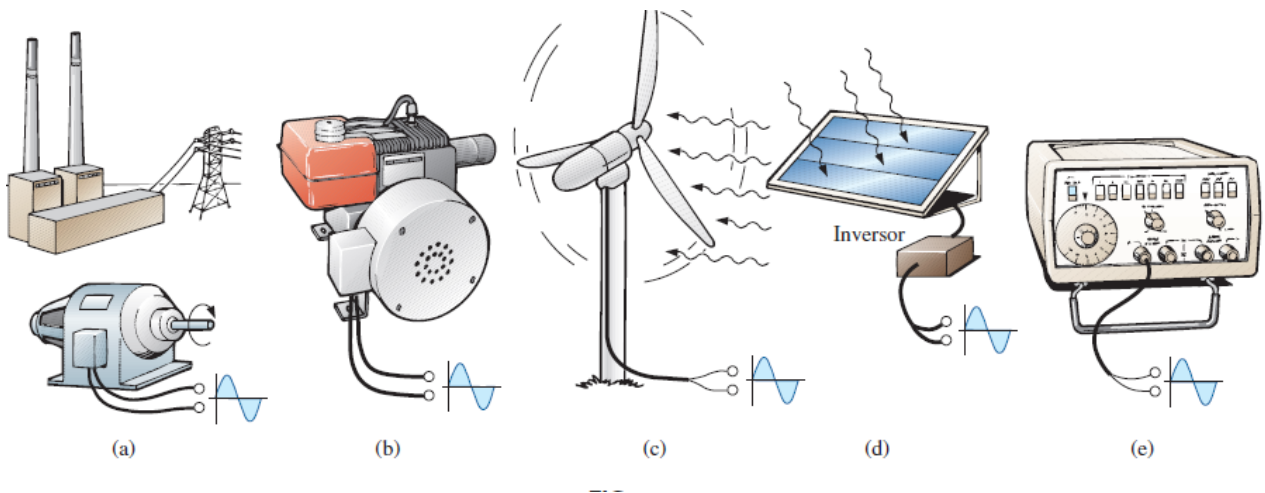
Ejercicio: ¿Cuál onda seno de las mostradas en la siguiente figura tiene la frecuencia más alta? Determine la frecuencia y el periodo de ambas formas de onda.



Ejercicio: El periodo de cierta onda seno es de 10 ms. ¿Cuál es la frecuencia?

Ejercicio: La frecuencia de una onda seno es de 50 Hz. ¿Cuál es el periodo?

Fuentes de energía de potencia de CA.



Intensidad de corriente y tensión

Voltaje

Como se ha visto en unidades anteriores, existe una fuerza de atracción entre una carga positiva y una negativa. Se debe aplicar cierta cantidad de energía, en forma de trabajo, para vencer dicha fuerza y separar las cargas a determinada distancia. Todas las cargas opuestas poseen cierta energía potencial a causa de la separación que hay entre ellas. La diferencia en la energía potencial por carga es la diferencia de potencial o voltaje. En circuitos eléctricos, el voltaje es la fuerza propulsora y es lo que establece la corriente.

Como una analogía, considere un tanque de agua que está soportado a varios pies sobre el nivel del suelo. Se debe ejercer una cantidad dada de energía, en forma de trabajo, para subir agua y llenar el tanque. Una vez almacenada en el tanque, el agua tiene cierta energía potencial que, si es liberada, puede utilizarse para realizar trabajo.

El voltaje, simbolizado mediante V , se define como energía o trabajo por unidad de carga.

$$V = \frac{W}{Q}$$

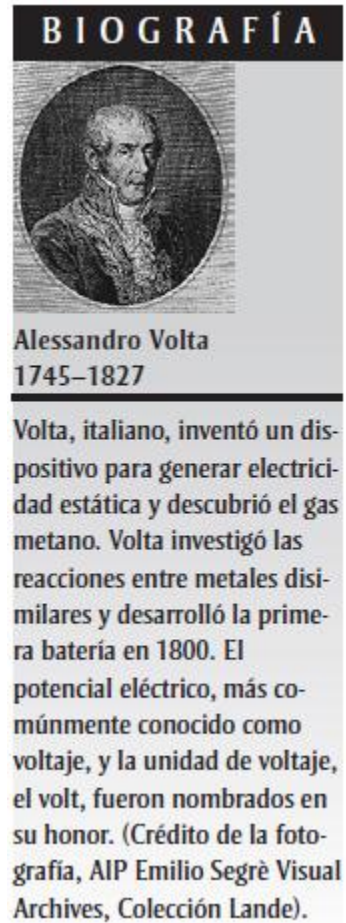
donde: V = voltaje en volts (V)
 W = energía en joules (J)
 Q = carga en coulombs (C)

La unidad de voltaje es el volt, simbolizada mediante V.

*Un **volt** es la diferencia de potencial (voltaje) entre dos puntos cuando se utiliza un joule de energía para mover un coulomb de carga de un punto a otro.*

Ejercicio: Si por cada 10 C de carga están disponibles 50 J de energía, ¿cuál es el voltaje?

Ejercicio ¿Cuánta energía se utiliza para mover 50 C de un punto a otro cuando el voltaje entre los dos puntos es de 12 V?



Corriente

El voltaje proporciona energía a los electrones, lo que les permite moverse por un circuito. Este movimiento de electrones es la corriente, la cual produce trabajo en un circuito eléctrico.

En todos los materiales conductores y semiconductores están disponibles electrones libres. Estos electrones se mueven al azar en todas direcciones, de un átomo a otro, dentro de la estructura del material.

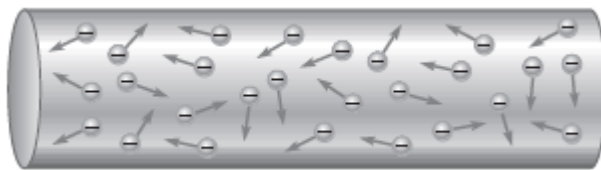


Figura 9: Movimiento aleatorio de electrones libres en un material

Si en un material conductor o semiconductor se establece voltaje, un extremo del material se vuelve positivo y el otro negativo. La fuerza repulsiva producida por el voltaje negativo en el extremo izquierdo hace que los electrones libres (cargas negativas) se muevan hacia la derecha. La fuerza de atracción producida por el voltaje positivo en el extremo derecho tira de los electrones libres hacia la derecha. El resultado es un movimiento neto de los electrones libres desde el extremo negativo del material hasta el extremo positivo.

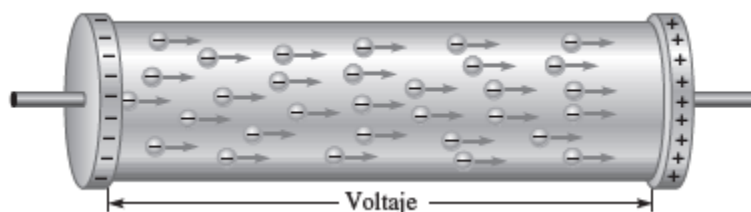


Figura 10: Los electrones fluyen de negativo a positivo cuando se aplica un voltaje a través de un material conductor o semiconductor.

El movimiento de estos electrones libres del extremo negativo del material al extremo positivo es la corriente eléctrica, simbolizada mediante I .

La corriente eléctrica es la velocidad que lleva el flujo de la carga.



En 1820 Ampère, francés, desarrolló una teoría de electricidad y magnetismo que resultó fundamental para los desarrollos efectuados en el siglo XIX en estos campos. Fue el primero en construir un instrumento para medir flujo de carga (corriente). La unidad de corriente eléctrica fue nombrada en su honor. (Crédito de la fotografía: AIP Emilio Segrè Visual Archives).

En un material conductor, el número de electrones (cantidad de carga) que fluyen más allá de cierto punto en una unidad de tiempo determinan la corriente.

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

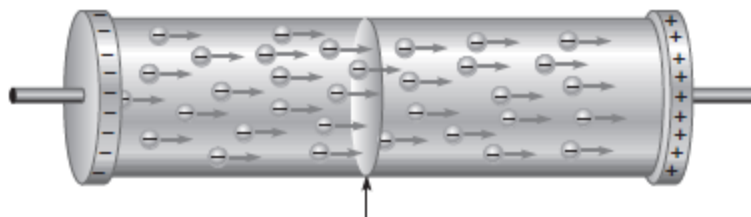
donde: I = corriente en amperes (A)

Q = carga en coulombs (C)

t = tiempo en segundos (s)

Un ampere (1 A) es la cantidad de corriente que existe cuando cierto número de electrones, cuya carga total es de un coulomb (1 C), pasa por un área de sección transversal dada en un segundo (1 s).

Recuerde que un coulomb es la carga transportada por 6.25×10^{18} electrones.



Cuando cierto número de electrones que tienen una carga total de 1 C pasan por un área de sección transversal en 1 s, la corriente es de 1 A.

Figura 11: Ilustración de 1 A de corriente (1C/s) en un material.

Ejercicio: Diez coulombs de carga fluyen más allá de cierto punto en un alambre en 2 s.
¿Cuál es la corriente en amperes?

Ejercicio: Si 8 A de corriente circulan por el filamento de una lámpara, ¿cuántos coulombs de carga se mueven por el filamento en 1.5 s?

Fuentes de Voltaje y de corriente

Una fuente de voltaje proporciona energía eléctrica o fuerza electromotriz (fem), más comúnmente conocida como voltaje. El voltaje se produce por medio de energía química, energía luminosa y energía magnética combinadas con movimiento mecánico. Una fuente de corriente proporciona una corriente constante a una carga.

La fuente de voltaje

BIOGRAFÍA



Ernst Werner von Siemens
1816–1872

Siemens nació en Prusia. Mientras se encontraba en prisión por haber participado en un duelo, comenzó a experimentar con la química, esto lo llevó a inventar el primer sistema de electrodeposición o electrochapeado. En 1837, Siemens comenzó a hacer mejoras al incipiente telégrafo y contribuyó muchísimo al desarrollo de los sistemas telegráficos. La unidad de conductancia fue nombrada en su honor. (Crédito de la fotografía: AIP Emilio Segrè Visual Archives, E. Scott Barr Collection).

La fuente de voltaje ideal: Una fuente de voltaje ideal puede proporcionar un voltaje constante para cualquier corriente requerida por un circuito. La fuente de voltaje ideal no existe pero puede ser aproximada en la práctica. Se supondrá ideal a menos que se especifique lo contrario.

Las fuentes de voltaje pueden ser de cd o de ca. Un símbolo común para una fuente de voltaje de cd se muestra en la figura (a), y uno para una fuente de voltaje de ca lo indica la parte (b).

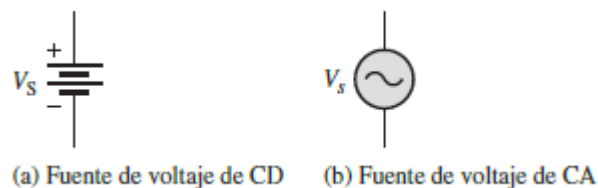


Figura 12: Fuentes de voltaje

Una gráfica que muestra el voltaje contra la corriente para una fuente ideal de voltaje de cd recibe el nombre de característica V-I, y se ilustra en la figura 13. Como puede advertirse, el voltaje es constante para cualquier corriente (dentro de ciertos límites) generada por la fuente. En el caso de una fuente de voltaje práctica conectada en un circuito, el voltaje disminuye un poco a medida que se incrementa la corriente. Siempre se extrae corriente de una fuente de voltaje cuando a ésta se conecta una carga tal como una resistencia.

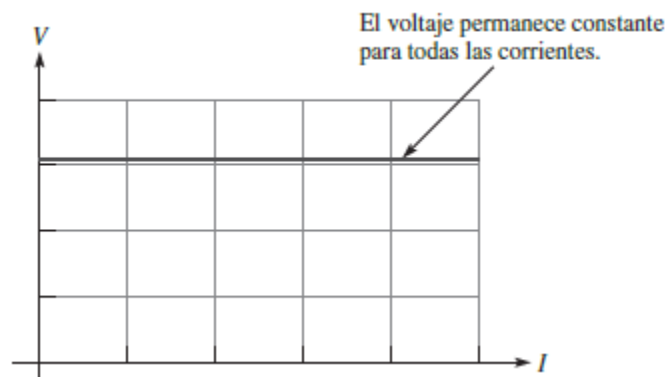


Figura 13: Característica V-I de una fuente de voltaje ideal.

Tipos de fuentes de voltaje de CD

Baterías

Una batería es un tipo de fuente de voltaje que convierte energía química en energía eléctrica. Una batería se compone de una o más celdas electroquímicas conectadas eléctricamente.

Una celda está constituida por cuatro componentes básicos: un electrodo positivo, un electrodo negativo, un electrolito, y un separador poroso. El electrodo positivo tiene deficiencia de electrones debido a una reacción química, el electrodo negativo tiene electrones en demasía debido a una reacción química, el electrolito proporciona un mecanismo para que fluya la carga entre los electrodos positivo y negativo, y el separador aísla eléctricamente los electrodos positivo y negativo. La figura 14 muestra un diagrama básico de una celda de batería.

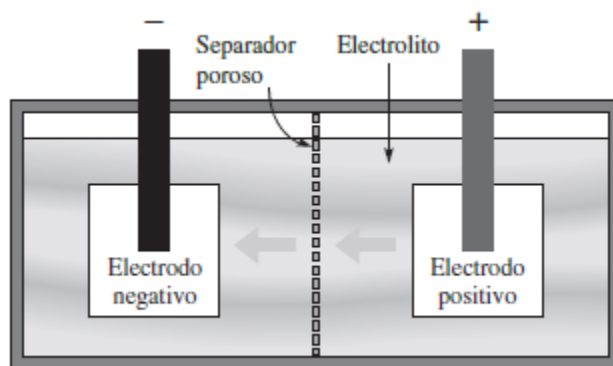


Figura 14: Diagrama de una celda de batería.

Los materiales utilizados en una celda de batería determinan el voltaje que se produce. En cada uno de los electrodos, la reacción química produce un potencial fijo. Por ejemplo, en una celda de plomo-ácido, en el electrodo positivo se produce un potencial de -1.685 V y en el negativo un potencial de $+0.365$ V. Esto significa que entre los dos electrodos de una celda el voltaje es de 2.05 V, lo cual es el potencial estándar en un electrodo de plomo-ácido. Factores tales como la concentración del ácido afectarán este valor hasta cierto grado, de modo que el voltaje típico de una celda de plomo-ácido comercial es de 2.15 V. El voltaje de cualquier celda de batería depende de la química de ésta. Las celdas de níquel-cadmio son aproximadamente de 1.2 V, y las de litio pueden ser hasta de 4 V.

Aunque el voltaje de una celda de batería está determinado por su química, la capacidad es variable y depende de la cantidad de materiales presentes en la celda. En esencia, la capacidad de una celda es el número de electrones que puede ser obtenido de ella, y se mide por la cantidad de corriente que puede ser suministrada a lo largo del tiempo.

Las baterías se componen, por lo general, de múltiples celdas eléctricamente conectadas entre sí en su interior. La forma en que se conectan las celdas y su tipo determinan el voltaje y la capacidad de la batería. Si el electrodo positivo de una celda está conectado al electrodo negativo de la siguiente celda, y así sucesivamente, como se ilustra en la figura 2-15(a), el voltaje de la batería es la suma de los voltajes de las celdas individuales. Esto se llama conexión en serie. Para incrementar la capacidad de la batería los electrodos positivos de varias celdas se conectan entre sí, e igual se hace con todos los electrodos negativos, como se ilustra en la figura 15(b). A esto se le denomina conexión en paralelo. Además, utilizando celdas más grandes, y que por tanto tienen mayor cantidad de material, la capacidad de suministrar corriente puede ser incrementada pero el voltaje no se ve afectado.

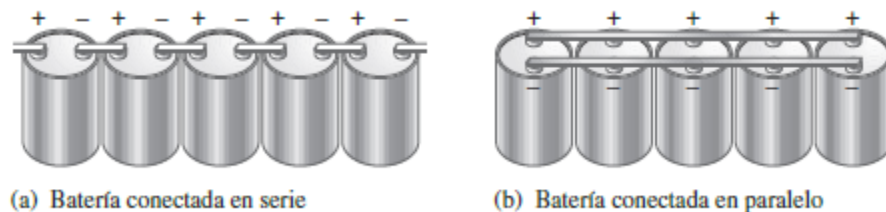


Figura 15: conexión en serie y paralelo de baterías

Las baterías se dividen en dos clases principales: primaria y secundaria. Las baterías primarias se utilizan una vez y luego se desechan porque sus reacciones químicas son irreversibles; las baterías secundarias pueden ser recargadas y reutilizadas muchas veces ya que se caracterizan por reacciones químicas reversibles.

Existen muchos tipos, tamaños y formas de baterías. Algunos de los tamaños más conocidos son AAA, AA, C, D y 9 V. También existe un tamaño menos común llamado AAAA, el cual es más pequeño que el AAA. Las baterías para instrumentos auditivos, relojes y otras aplicaciones en miniatura presentan, por lo general, una configuración plana y redonda y, a menudo, se conocen como baterías botón o baterías moneda. Las grandes baterías multiceldas se utilizan en linternas y aplicaciones industriales y, desde luego, está la conocida batería automotriz.

Además de los muchos tamaños y formas que presentan, generalmente las baterías se clasifican -de acuerdo con su composición química- como sigue. Cada una de estas clasificaciones están disponibles en varias configuraciones físicas.

- Alcalina-MnO₂ Ésta es una batería primaria que se utiliza comúnmente en computadoras tipo palma de la mano, equipo fotográfico, juguetes, radios y grabadoras.
- Litio-MnO₂ Es una batería primaria que se utiliza generalmente en equipo fotográfico y electrónico, alarmas contra humo, organizadores personales, respaldo de memoria, y equipo de comunicaciones.

- Zinc aire Batería primaria empleada a menudo en instrumentos auditivos, dispositivos de monitoreo médico, localizadores, y en otras aplicaciones que utilizan frecuencia.
- Óxido de plata Ésta es una batería primaria muy utilizada en relojes, equipo fotográfico, instrumentos auditivos y artefactos electrónicos que requieren baterías de alta capacidad.
- Híbridas de níquel-metal Batería secundaria (recargable) utilizada comúnmente en computadoras portátiles, teléfonos celulares, videograbadoras y otros aparatos electrónicos.
- Plomo-ácido Batería secundaria (recargable) que a menudo se utiliza en aplicaciones automotrices, marinas y similares.

Celdas solares

La operación de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, que es el proceso mediante el cual la energía luminosa se convierte directamente en energía eléctrica. Una celda solar básica se compone de dos capas de diferentes tipos de materiales semiconductores asociados para formar una unión. Cuando una capa se expone a la luz, muchos electrones adquieren la energía suficiente como para desprenderse de sus átomos padre y cruzar la unión. Este proceso forma iones negativos en un lado de la unión y positivos en el otro y, por tanto, se desarrolla una diferencia de potencial (voltaje). La figura 16 muestra la construcción de una celda solar básica.

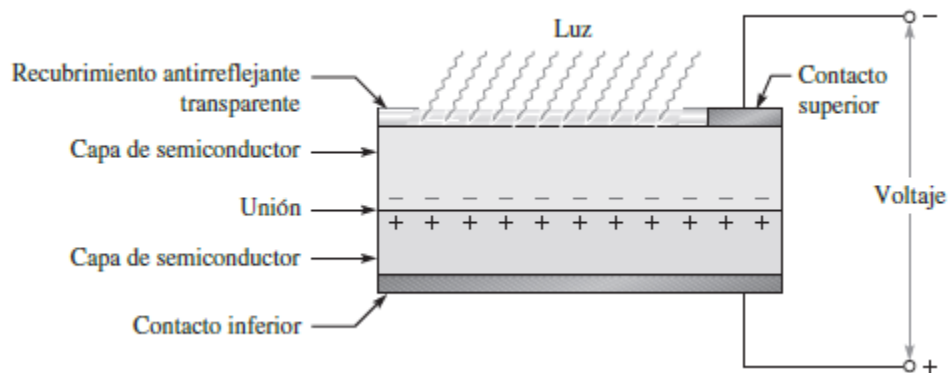


Figura 16: Construcción de una celda solar básica

Generador

Los generadores eléctricos convierten la energía mecánica en energía eléctrica por medio de un principio llamado *inducción electromagnética*. Se hace girar un conductor a través de un campo magnético, y de este modo se produce un voltaje que pasa por el conductor. La figura 17 ilustra un generador típico.

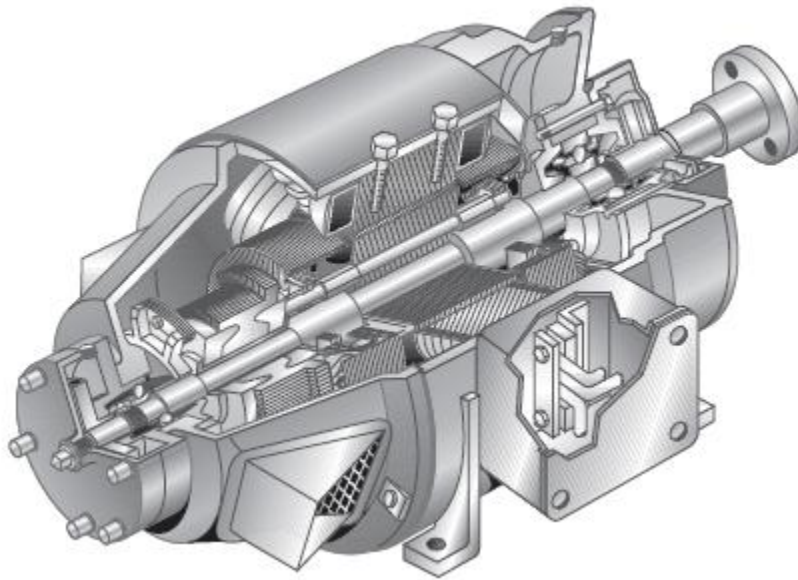


Figura 17: Vista de corte de un generador de voltaje de cd.

La fuente de potencia electrónica

Las fuentes de potencia electrónica convierten el voltaje de ca de una toma de corriente de pared en voltaje constante de cd que está disponible a través de dos terminales, como se indica en la figura 2-18(a). En la figura 2-18(b) se muestran fuentes de potencia comerciales típicas.

Termopares

El termopar es una fuente de voltaje tipo termoeléctrica utilizada comúnmente para detectar temperatura. Un termopar se forma por la unión de dos metales disimilares y su operación se basa en el efecto Seebeck, el cual describe el voltaje generado en la unión de los metales como una función de la temperatura.

Los metales específicos utilizados caracterizan los tipos estándar de termopar. Estos termopares estándar producen voltajes de salida predecibles en un intervalo de temperaturas. El más común es el tipo K, fabricado en cromel y alumel. Otros tipos también se designan mediante las letras E, J, N, B, R y S. La mayoría de los termopares están disponibles en forma de alambre o sensor.

Sensores piezoeléctricos

Estos sensores actúan como fuentes de voltaje y están basados en el efecto piezoeléctrico, en el cual se genera voltaje cuando un material piezoeléctrico es deformado mecánicamente por una fuerza externa. El cuarzo y la cerámica son dos tipos de material piezoeléctrico.

Se utilizan sensores piezoeléctricos en sensores de presión, de fuerza, acelerómetros, micrófonos, dispositivos ultrasónicos, y en muchas otras aplicaciones.

La fuente de corriente

La fuente de corriente ideal como se sabe, una fuente de voltaje ideal puede proporcionar voltaje constante para cualquier carga. Una fuente de corriente ideal puede proporcionar una corriente constante para cualquier carga. Al igual que en el caso de una fuente de voltaje, la fuente de corriente ideal no existe pero puede ser aproximada en la práctica. Se supondrá ideal a menos que se especifique lo contrario..

El símbolo utilizado para identificar una fuente de corriente se muestra en la figura 19(a). La característica I-V de una fuente de corriente ideal es una línea horizontal como la ilustrada por la figura 19(b). Observe que la corriente es constante para cualquier voltaje de la fuente de corriente.

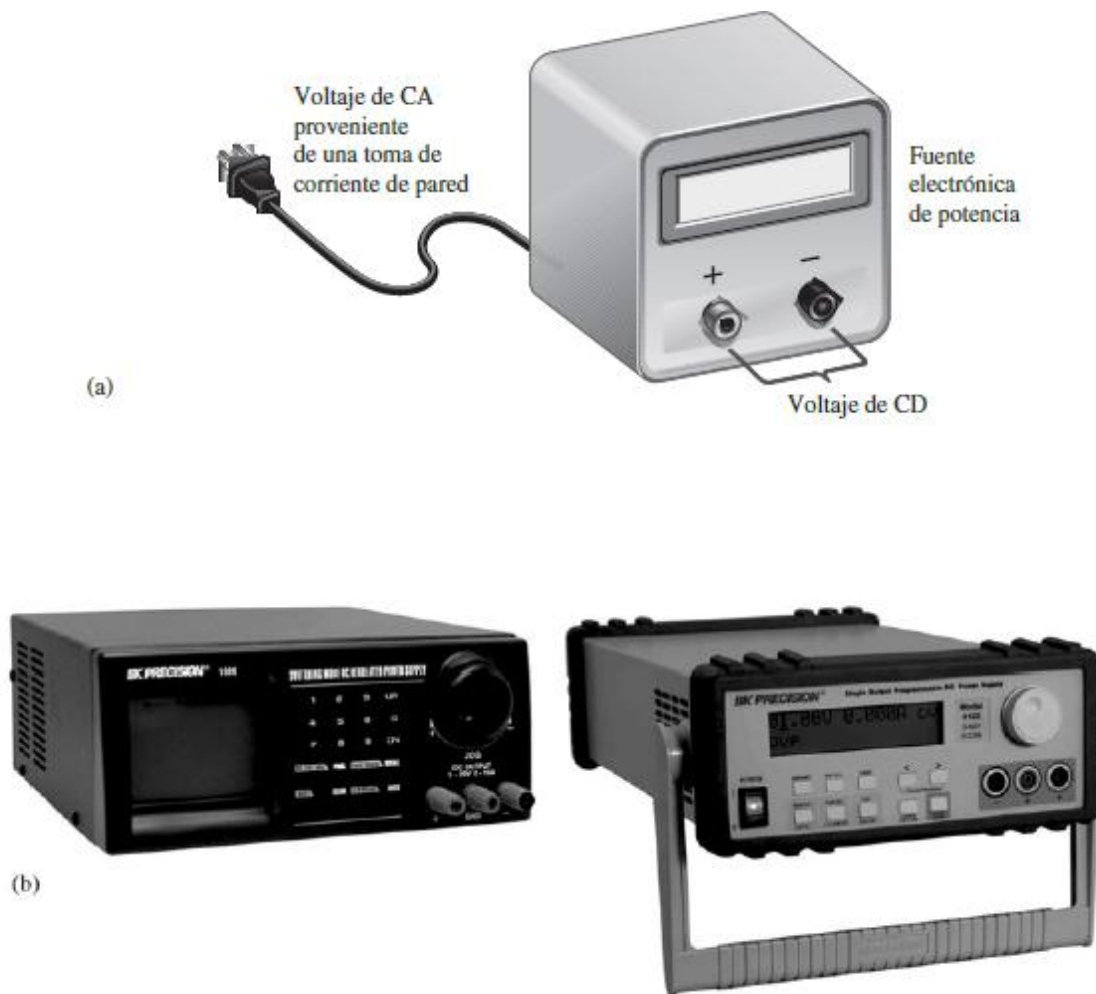


Figura 18: Fuentes electrónicas de potencia. (Cortesía de B+K Precision).

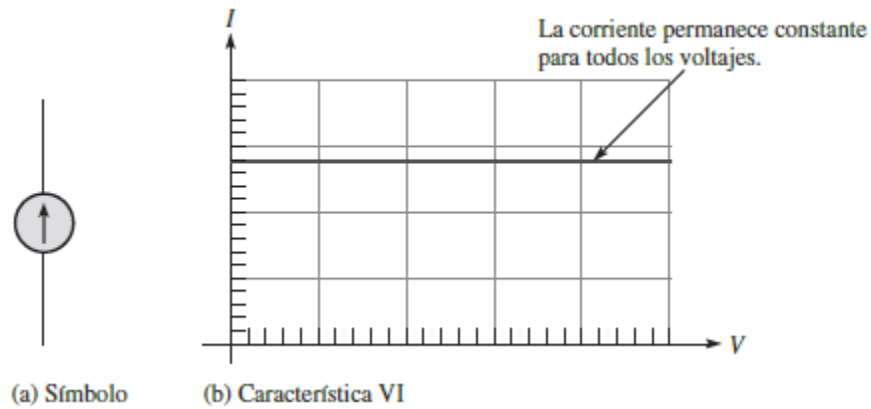


Figura 19: Fuente de corriente.

Fuentes de corriente reales

A las fuentes de potencia normalmente se les considera como fuentes de voltaje porque son la fuente más común que se encuentra en el laboratorio. Sin embargo, también las fuentes de corriente pueden ser consideradas como un tipo de fuente de potencia. En la figura 20 se ilustran fuentes de corriente constante comerciales típicas.

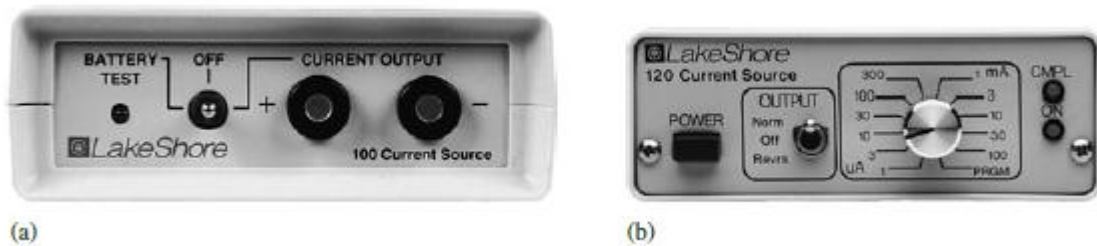


Figura 20: Fuentes de corriente comerciales típicas. (Cortesía de Lake Shore Cryotronics).

En la mayoría de los circuitos transistorizados, el transistor actúa como fuente de corriente porque una parte de la curva característica I - V es una línea horizontal como lo muestra la característica de transistor ilustrada en la figura 21. La parte plana de la gráfica indica dónde es constante la corriente del transistor dentro de un intervalo de voltajes. La región de corriente constante se utiliza para formar una fuente de corriente constante.

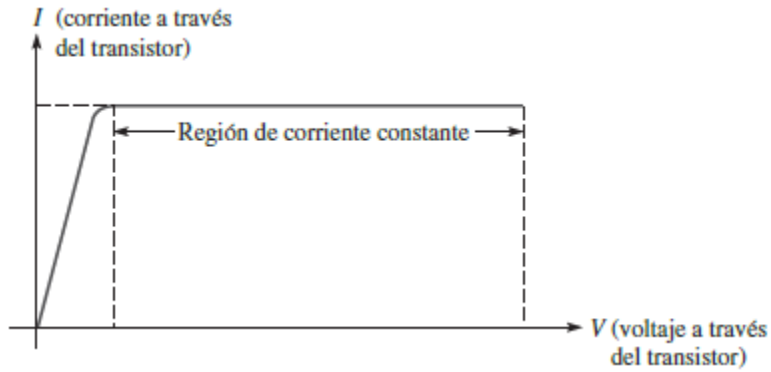


Figura 21: Curva característica de un transistor para mostrar la región de corriente constante.

Una aplicación común de una fuente de corriente constante se encuentra en los cargadores de batería de corriente constante, tal como se ilustra en forma simplificada en la figura 2-22. El rectificador es un circuito que actúa como fuente de voltaje de cd al convertir el voltaje de **ca** proveniente de una toma de corriente de pared estándar en un voltaje de **cd** constante. Ese voltaje es aplicado efectivamente en paralelo con una batería que va a ser cargada y en serie con una fuente de corriente constante. El voltaje de la batería inicialmente está bajo, pero con el tiempo se incrementa debido a la corriente de carga constante. El voltaje total a través de la fuente de corriente es el voltaje del rectificador menos el de la batería, el cual se incrementa conforme la batería se carga.

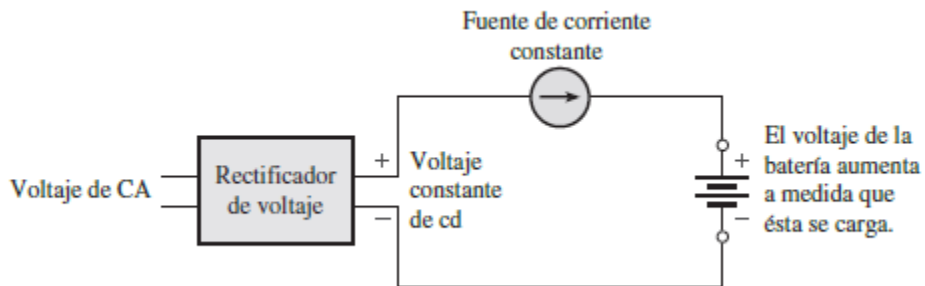


Figura 22: Cargador de batería como ejemplo de una aplicación de fuente de corriente.