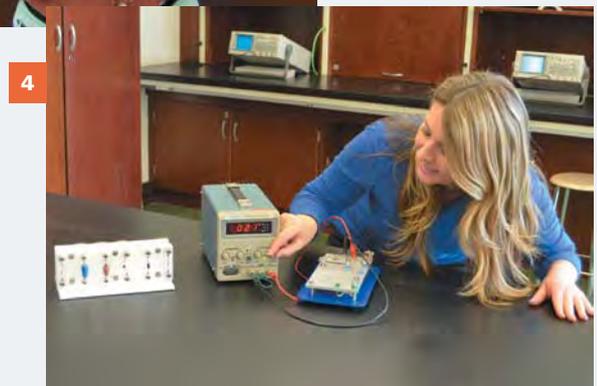
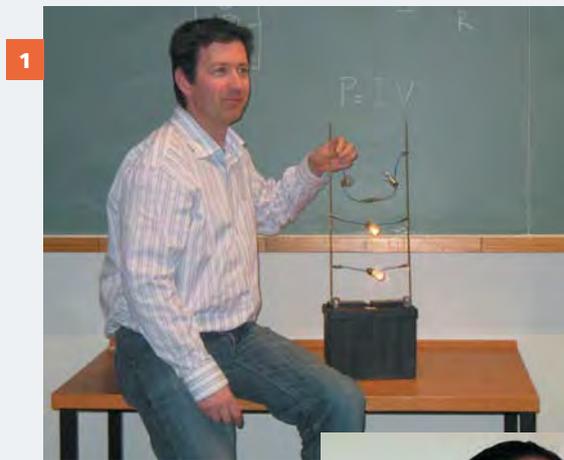


23

CAPÍTULO 23

Corriente eléctrica

- 23.1 Flujo de carga y corriente eléctrica
- 23.2 Fuentes de voltaje
- 23.3 Resistencia eléctrica
- 23.4 La ley de Ohm
- 23.5 Corriente directa y corriente alterna
- 23.6 Rapidez y fuente de los electrones en un circuito
- 23.7 Potencia eléctrica
- 23.8 Lámparas
- 23.9 Circuitos eléctricos



1 Para construir un circuito en paralelo, David Housden sujeta lámparas a terminales alargadas de una batería común de automóvil. Pide a sus alumnos que predigan el brillo relativo de las lámparas idénticas en la rama superior. **2** Juliet Layugan incita una polémica en su clase sobre las eficiencias relativas de las lámparas LED, CFL e incandescente. **3** Will Maynez muestra a su clase de laboratorio cómo conectar baterías en serie y luego en paralelo, y predecir los efectos sobre la iluminación de las lámparas. **4** La fuente de poder que Jill Johnsen muestra a sus estudiantes de laboratorio suministra 2.1 volts a través de un par de resistores en serie.

La corriente eléctrica es el flujo de carga, presionada a moverse por el voltaje y amortiguada por la resistencia. La relación matemática entre las tres cantidades de corriente, voltaje y resistencia se atribuye al científico alemán Georg Simon Ohm, quien nació en 1789. Su padre fue cerrajero y su madre era hija de un sastre. Ninguno tuvo educación formal. El padre autodidacta de Ohm impartió a sus hijos una excelente enseñanza en casa, y su hermano Martin se convirtió en un conocido matemático.



En 1805, a los 15 años de edad, Ohm ingresó a la Universidad de Erlangen. Pero, en lugar de concentrarse en sus estudios, pasaba mucho tiempo bailando, patinando en hielo y jugando billar. El padre de Ohm, enojado porque Georg estaba desperdiciando su oportunidad educativa, lo envió a Suiza, donde, en septiembre de 1806, a los escasos 16 años de edad, se convirtió en profesor de matemáticas. Dejó su puesto de profesor 2½ años después

y se convirtió en tutor, pero continuó con su pasión por estudiar matemáticas. Sus estudios rindieron frutos. De regreso a la Universidad de Erlangen, Ohm obtuvo su doctorado en 1811 y se unió al personal docente de dicha universidad como profesor de matemáticas. Pero las clases se pagaban tan mal que pronto las abandonó y pasó los siguientes 6 años enseñando en escuelas mediocres de Bavaria. Durante esta época escribió un libro elemental de geometría. El libro impresionó al rey Guillermo III de Prusia, quien ofreció a Ohm una posición de profesor en Colonia. Por fortuna, el laboratorio de física de la escuela estaba bien equipado, de modo que Ohm se dedicó a la experimentación en física. Su experiencia práctica con las actividades de cerrajería de su padre le resultó útil.

Ohm escribió mucho. Sin embargo, la ley de Ohm no se apreció por completo en su época. Finalmente su obra fue reconocida en 1841 por la Royal Society, que le otorgó la prestigiosa medalla Copley. Ohm llegó a ser profesor de física experimental en la Universidad de Munich, donde permaneció hasta su muerte a los 65 años de edad.

La unidad del SI de resistencia eléctrica, el ohm (símbolo Ω), recibe su nombre en honor a él.

23.1 Flujo de carga y corriente eléctrica

A partir del estudio del calor y la temperatura, se sabe que, cuando los extremos de un material conductor están a diferente temperatura, la energía térmica fluye de la temperatura más alta a la temperatura más baja. El flujo cesa cuando ambos extremos alcanzan la misma temperatura. De igual modo, si los extremos de un conductor eléctrico están a potenciales eléctricos diferentes, cuando hay una **diferencia de potencial**, la carga fluye de un extremo al otro.¹ El flujo de carga persiste en tanto haya una diferencia de potencial. Sin una diferencia de potencial no fluye carga. Conecta un extremo de un alambre a la esfera cargada de un generador Van de Graaff, por ejemplo, y el otro extremo a tierra, y una oleada de carga fluirá por el alambre. Sin embargo, el flujo será breve, porque la esfera alcanzará con rapidez un potencial común con la tierra.

Para lograr un flujo sostenido de carga en un conductor, se debe hacer algún arreglo que permita mantener una diferencia de potencial mientras la carga fluye de un extremo al otro. La situación es semejante a la del agua que fluye de un depósito más alto a uno más bajo (Figura 23.1a). El agua fluirá en una tubería que conecte los depósitos sólo mientras exista una diferencia en los niveles de agua. El flujo de agua en la tubería, al igual que el flujo de carga en el alambre que conecta el generador Van de Graaff al suelo, cesará cuando las presiones de los dos extremos sean iguales (esto es lo que se da a entender cuando se dice que el agua busca su propio nivel). Un flujo continuo es posible si la diferencia en los niveles de agua, y por tanto la diferencia de presiones del agua, se conserva con el uso de una bomba adecuada (Figura 23.1b).

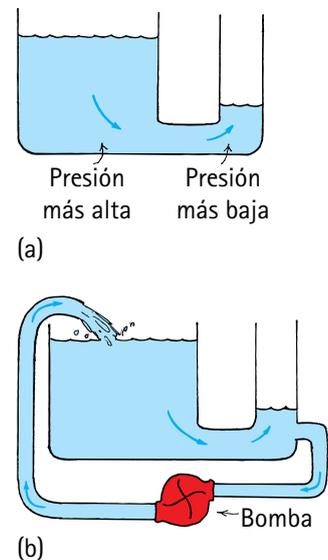


FIGURA 23.1

(a) El agua fluye del depósito de presión más alta al depósito de presión más baja. El flujo se detiene cuando cesa la diferencia de presión. (b) El agua sigue fluyendo porque se mantiene una diferencia de presión mediante la bomba.

¹Cuando se dice que la carga fluye, se entiende que las *partículas* cargadas fluyen. La carga es una propiedad de partículas singulares, más significativamente electrones, protones e iones. Cuando el flujo es de carga negativa, electrones o iones negativos constituyen el flujo. Cuando el flujo de carga es positivo, protones o iones positivos son los que fluyen.



SCREENCAST: Agua y circuitos de electrones



Con frecuencia uno piensa que la corriente fluye por un circuito, pero no lo digas cerca de alguien muy quisquilloso con la gramática porque la expresión “la corriente fluye” es redundante. Es más correcto decir “la carga fluye”, que es la corriente.

pti

- Con frecuencia se menciona a Andre Marie Ampere como “el Newton de la electricidad”. En la década de 1820, demostró que alambres paralelos que portaban corriente en la misma dirección se atraían mutuamente, y postuló que la carga en circulación era la que ocasionaba el magnetismo. En su honor, las unidades de corriente son los amperes, con frecuencia acortada a *amps*.



FIGURA 23.2

Cada coulomb de carga que fluye en un circuito que conecta los extremos de esta pila de linterna de 1.5 V está energizada con 1.5 J.

pti

- Una sola pila de linterna suministra 1.5 V. Dentro de una batería de 9 V hay seis pilas pequeñas de 1.5 V cada una.

PUNTO DE CONTROL

Bien, entonces, una diferencia de potencial a través de los extremos de un alambre produce una corriente. En lugar de decir *diferencia de potencial*, ¿puedes decir también *voltaje*?

COMPRUEBA TU RESPUESTA

Sí. Recuerda del Capítulo 22 que *diferencia de potencial* y *voltaje* son términos que se usan de manera indistinta: la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos en una ruta conductora. Ambos se miden en unidades de volts.

Así como la corriente de agua es el flujo de moléculas de H_2O , la **corriente eléctrica** es tan sólo el flujo de carga eléctrica. En los circuitos de alambres metálicos, los electrones constituyen el flujo de carga. Esto es así porque uno o más electrones de cada átomo metálico tienen libertad de moverse a lo largo de la retícula atómica. Estos portadores de carga se llaman *electrones de conducción*. Los protones, por otra parte, no se mueven porque están ligados en el interior de los núcleos de los átomos que están más o menos bloqueados en posiciones fijas. Sin embargo, en los fluidos conductores —como en una batería de automóvil— tanto iones positivos como electrones componen el flujo de la carga eléctrica.

La *tasa* de flujo eléctrico se mide en *amperes*. Un ampere es una tasa de flujo igual a 1 coulomb de carga por segundo. (Recuerda que 1 coulomb, la unidad estándar de carga, es la carga eléctrica de 6.25×10^{18} electrones.) En un alambre que porta 5 amperes, por ejemplo, 5 coulombs de carga pasan por cualquier sección transversal del alambre cada segundo. ¡Son muchos electrones! En un alambre que porta 10 amperes, el doble de electrones pasa por cualquier sección transversal cada segundo.

23.2 Fuentes de voltaje

Las cargas fluyen sólo cuando se “empujan” o se “impulsan”. Para sostener la corriente es indispensable un dispositivo de bombeo apropiado que proporcione una diferencia de potencial eléctrico: un voltaje. Si cargas una esfera metálica positivamente y otra negativamente, puedes desarrollar un gran voltaje entre las esferas. Esta fuente de voltaje no es una buena bomba eléctrica porque, cuando las esferas se conectan con un conductor, los potenciales se igualan con una sola afluencia breve de cargas en movimiento, como si descargaras un generador Van de Graaff. No es práctico. Los generadores o las baterías químicas, por otra parte, son bombas adecuadas en los circuitos eléctricos y pueden mantener un flujo estable.

Las baterías y los generadores eléctricos realizan trabajo para alejar las cargas negativas de las positivas. En general, mas no siempre, en las baterías químicas este trabajo lo realiza la desintegración química de zinc o plomo en ácido, y la energía almacenada en los enlaces químicos se convierte en energía potencial eléctrica.² Los generadores, como los alternadores en los automóviles, separan carga mediante inducción electromagnética, un proceso que se describirá en el Capítulo 25. El trabajo realizado por cualquier medio para separar las cargas opuestas se encuentra en las terminales de la batería o generador. Estos valores diferentes de energía por carga crean una diferencia de potencial (voltaje). Este voltaje proporciona la “presión eléctrica” que mueve los electrones por un circuito.

²La vida de una batería depende del tiempo que comparte su energía química con los dispositivos del circuito. Al igual que las tuberías de agua que se obstruyen con el uso excesivo y el paso del tiempo, las baterías acumulan resistencia que acorta aún más sus vidas útiles. Una explicación de cómo funcionan las baterías puede encontrarse en casi cualquier libro de química.

La unidad de la diferencia de potencial eléctrico (voltaje) es el *volt*.³ Una batería de automóvil común proporciona una presión eléctrica de 12 V a un circuito conectado a través de sus terminales. Entonces, a cada coulomb de carga se le suministran 12 J de energía que se hace fluir en el circuito unido a dichas terminales.

Suele haber cierta confusión acerca de la carga que fluye *dentro* de un circuito y el voltaje colocado, o establecido, *en* un circuito. Para distinguir entre estas ideas, piensa en una tubería larga llena de agua. El agua fluirá *dentro* de la tubería si existe una diferencia de presión *en* (o entre) sus extremos. El agua fluye del extremo de presión alta al extremo de presión baja. Sólo el agua fluye, no la presión. De igual modo, la carga eléctrica fluye debido a las diferencias de presión eléctrica (voltaje). Puedes decir que las cargas fluyen *dentro* de un circuito debido a un voltaje aplicado en el circuito. No dices que el voltaje fluye dentro de un circuito. El voltaje no va a ningún lado; la carga es la que se mueve. El voltaje produce una corriente (si hay un circuito completo).



FIGURA 23.3 Una fuente inusitada de voltaje. El potencial eléctrico entre la cabeza y la cola de la anguila eléctrica (*Electrophorus electricus*) puede ser de hasta 600 V.



Guarda tus baterías en un lugar frío y seco. Si las pones en un refrigerador durarán un poco más.

PUNTO DE CONTROL

¿El voltaje entre dos puntos en un circuito eléctrico guarda relación con el flujo de los electrones entre los puntos?

COMPRUEBA TU RESPUESTA

Sí, y pronto verás que guarda relación con la cantidad de energía dada a los electrones.

23.3 Resistencia eléctrica

Se sabe que una batería o generador de algún tipo es el motor principal y la fuente de voltaje de un circuito eléctrico. Cuánta corriente existe depende no sólo del voltaje sino también de la **resistencia eléctrica** que ofrece el conductor al flujo de carga. Esto es similar a la tasa a la que fluye el agua en una tubería, que depende no sólo de la diferencia de presión entre los extremos de la tubería, sino también de la resistencia que ofrece la propia tubería. Una tubería corta ofrece menos resistencia al flujo de agua que una tubería larga; cuanto más ancha sea la tubería, menor será la resistencia. Lo mismo ocurre con la resistencia de los alambres que portan corriente. La resistencia de un alambre depende tanto del grosor como de la longitud del alambre y de su conductividad particular. Los alambres gruesos tienen menos resistencia que los alambres delgados. Los alambres más largos tienen más resistencia que los alambres cortos. El alambre de cobre tiene menos resistencia que el alambre de acero del mismo tamaño. La resistencia eléctrica también depende de la temperatura. Mientras mayores sean los empujones entre los átomos dentro del conductor, mayor será la resistencia que ofrezca el conductor al flujo de carga. En la mayoría de los conductores, un aumento de temperatura significa un aumento de resistencia.⁴ La resistencia de algunos materiales llega a cero a temperaturas muy bajas. Se trata de los superconductores estudiados brevemente en el Capítulo 22.

³La terminología de esta área de la física puede ser confusa, así que quizá sea conveniente aclarar algunos términos: *potencial eléctrico* y *potencial* significan la misma cosa: energía potencial eléctrica por unidad de carga. Sus unidades son los volts. El término *voltaje* por lo general se usa para indicar la *diferencia* de potencial eléctrico entre dos puntos de una ruta conductora. Las unidades de voltaje también son los volts.

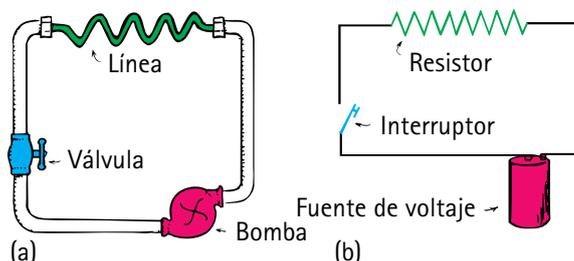
⁴El carbono es una excepción interesante. A medida que aumenta la temperatura, más átomos de carbono se quitan de encima un electrón. Esto aumenta la corriente eléctrica. De modo que la resistencia del carbono disminuye con el aumento de temperatura. Esto y su alto punto de fusión (principalmente) es por lo que el carbono se usa en las lámparas de arco.

pti

- Mientras Alessandro Volta experimentaba con metales y ácidos en 1791, tocó una cuchara de plata y un pedazo de estaño con la lengua (la saliva es un poco ácida) y las conectó con un pedazo de alambre de cobre. El gusto amargo indicaba electricidad. Prosiguió con el ensamblado de una pila de celdas para construir una batería. En honor a Volta, el potencial eléctrico se mide en "volts". (Toca las dos terminales de una batería de 9 volts con la lengua para experimentar esto por ti mismo.)

FIGURA 23.4

(a) En un circuito hidráulico, una tubería estrecha (verde) ofrece resistencia al flujo de agua.
 (b) En un circuito eléctrico, una lámpara u otro dispositivo (que se muestran con el símbolo en zigzag para resistencia) ofrecen resistencia al flujo de electrones.



La resistencia eléctrica se mide en unidades llamadas *ohms*. La letra griega mayúscula omega, Ω , se usa normalmente como símbolo del ohm. Como se mencionó al comienzo de este capítulo, a esta unidad se le llamó así en honor a Georg Simon Ohm, quien, en 1826, descubrió una relación simple y muy importante entre voltaje, corriente y resistencia.

PUNTO DE CONTROL

Cuando los electrones fluyen en el delgado filamento de una lámpara experimentan "fricción". ¿Cuál es el resultado práctico de esto?

COMPRUEBA TU RESPUESTA

¡Calor y luz!



La unidad de resistencia eléctrica es el ohm, Ω , como en la antigua canción: "Ω, Ω on the Range".



VIDEO: Ley de Ohm



SCREENCAST: Ley de Ohm



FIGURA 23.5

Por una manguera gruesa fluye más agua que por una manguera delgada conectada al sistema de aguas de la ciudad (misma presión de agua). Lo mismo ocurre con la corriente eléctrica en alambres gruesos y delgados conectados a través de la misma diferencia de potencial.

23.4 La ley de Ohm

La relación entre el voltaje, la corriente y la resistencia se resume en la **ley de Ohm**. Ohm descubrió que la corriente en un circuito es directamente proporcional al voltaje establecido en el circuito e inversamente proporcional a la resistencia del circuito. En forma abreviada,

$$\text{Corriente} = \frac{\text{voltaje}}{\text{resistencia}}$$

O, en unidades,

$$\text{Amperes} = \frac{\text{volts}}{\text{ohms}}$$

De modo que, para un circuito dado de resistencia constante, la corriente y el voltaje son proporcionales entre sí.⁵ Esto significa que se obtendrá el doble de corriente con el doble de voltaje. Cuanto mayor sea el voltaje, mayor será la corriente. Pero si la resistencia de un circuito se duplica, la corriente será la mitad de lo que sería de otro modo. Cuanto mayor sea la resistencia, menor será la corriente. La ley de Ohm tiene mucho sentido.

La ley de Ohm dice que una diferencia de potencial de 1 V establecida en un circuito que tenga una resistencia de 1 Ω producirá una corriente de 1 A. Si se aplica un voltaje de 12 V al mismo circuito, la corriente será de 12 A. La resistencia de un cable de alimentación típico de una lámpara es mucho menor que 1 Ω , en tanto que una bombilla incandescente típica tiene una resistencia de más de 100 Ω . Una plancha o un tostador eléctrico tiene una resistencia de 15-20 Ω . Recuerda que, para una diferencia de potencial dada, menos resistencia significa más corriente. En el interior de

⁵Muchos textos utilizan V para voltaje, I para corriente y R para resistencia, y expresan la ley de Ohm como $V = IR$. Entonces, $I = \frac{V}{R}$ y $R = \frac{V}{I}$; si cualesquiera dos variables son conocidas, la tercera puede encontrarse. Las unidades se abrevian V para volts, A para amperes y Ω para ohms.

dispositivos eléctricos como computadoras y receptores de televisión, la corriente se regula mediante elementos de circuito llamados *resistores*, cuya resistencia puede ser de algunos ohms o de millones de ohms.

PUNTO DE CONTROL

1. ¿Cuánta corriente consume un resistor de 60 Ω cuando se le aplica un voltaje de 12 V?
2. ¿Cuál es la resistencia de un sartén eléctrico que consume 12 A cuando se conecta a un circuito de 120 V?

COMPRUEBA TUS RESPUESTAS

1. 1/5 A. De acuerdo con la ley de Ohm: $\text{Corriente} = \frac{\text{voltaje}}{\text{resistencia}} = \frac{12 \text{ V}}{60 \Omega} = 0.2 \text{ A}$.
2. 10 Ω. Reordena la ley de Ohm: $\text{Resistencia} = \frac{\text{voltaje}}{\text{corriente}} = \frac{120 \text{ V}}{12 \text{ A}} = 10 \Omega$.

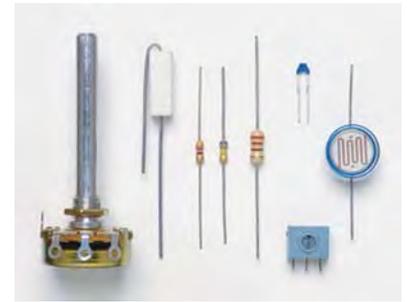


FIGURA 23.6 Resistores. El símbolo de resistencia en un circuito eléctrico es $\sim\text{---}\sim$.

La ley de Ohm y el choque eléctrico

Los efectos dañinos de un choque eléctrico son resultado de la corriente que pasa por el cuerpo. ¿Qué causa un choque eléctrico en el cuerpo: la corriente o el voltaje? Por la ley de Ohm, puedes ver que esta corriente depende tanto del voltaje que se aplica como de la resistencia eléctrica del cuerpo humano. La resistencia del cuerpo, que depende de su condición, varía de unos 100 Ω si está mojado con agua salada, a cerca de 500,000 Ω si la piel está muy seca. Si tocas los dos electrodos de una batería con los dedos secos, y completas el circuito que va de una mano a la otra, puedes esperar que ofrezcas una resistencia de aproximadamente 100,000 Ω. En general, no puedes sentir la corriente producida por 12 V, y 24 V apenas hormiguean. Si tu piel está húmeda, 24 V pueden ser muy incómodos. La Tabla 23.1 indica los efectos de diferentes cantidades de corriente sobre el cuerpo humano.



La corriente es un flujo de carga, puesta en movimiento por el voltaje y frenada por la resistencia.

TABLA 23.1 EFECTO DE LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS SOBRE EL CUERPO

Corriente (A)	Efecto
0.001	Puede sentirse.
0.005	Es doloroso.
0.010	Causa contracciones musculares involuntarias (espasmos).
0.015	Provoca pérdida de control muscular.
0.070	Si pasa a través del corazón, provoca trastornos graves; puede ser letal si la corriente dura más de 1 s.

Muchas personas mueren cada año por la corriente de circuitos eléctricos comunes de 120 V. Si tocas una lámpara defectuosa de 120 V con la mano, mientras estás de pie sobre el suelo, hay una “presión eléctrica” de 120 V entre tu mano y el suelo, de modo que es probable que la corriente no sea suficiente para causar un daño serio. Pero si estás de pie descalzo en una tina húmeda conectada por su tubería al suelo, la resistencia entre tú y el suelo es muy pequeña. Tu resistencia global es tan baja que la diferencia de potencial de 120 V puede producir una corriente peligrosa en tu cuerpo. Manipular dispositivos eléctricos mientras te bañas definitivamente no debe hacerse. Las gotas de agua que se acumulan alrededor de los interruptores de encendido de dispositivos como secadoras de cabello pueden conducir corriente al usuario. Aunque el agua destilada es un buen



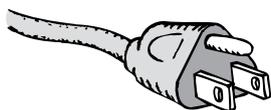
VIDEO: Manipulación de alambres eléctricos

**FIGURA 23.7**

El ave puede pararse sin peligro sobre un alambre de alto potencial, ¡pero más vale que no trate de alcanzar y agarrar un alambre cercano!



VIDEO: Aves y alambres de alto voltaje

**FIGURA 23.8**

La pata redonda conecta el cuerpo del aparato directamente a tierra. En consecuencia, cualquier carga que se acumule sobre un aparato se conduce a tierra, lo que evita choques accidentales.

aislante, los iones en el agua de grifo ordinaria reducen mucho la resistencia eléctrica. Estos iones son el resultado de los materiales disueltos, en especial sales. Por lo general, en tu piel queda una capa de sal producida por la transpiración que, cuando tu piel está húmeda, reduce la resistencia de la piel a algunos cientos de ohms o menos, dependiendo de la distancia sobre la que actúa el voltaje.

Para recibir un choque, debe haber una *diferencia* de potencial eléctrico entre una parte de tu cuerpo y otra. La mayor cantidad de la corriente pasará a lo largo de la trayectoria de menor resistencia eléctrica que conecta estos dos puntos. Supón que caes desde un puente y logras agarrarte de un cable eléctrico de alto voltaje, que detiene tu caída. Mientras no toques nada más con un potencial diferente, no recibirás ningún choque. Aun cuando el alambre esté a unos cuantos miles de volts sobre el potencial del suelo y tú cuelgues de él con las dos manos, no fluirá una carga considerable de una mano a la otra. Esto es así porque entre tus manos no hay una diferencia considerable de potencial eléctrico. Sin embargo, si estiras una mano y agarras un alambre con diferente potencial... ¡zap! Todo mundo ha visto aves paradas en los alambres de alto voltaje. Cada parte de sus cuerpos está al mismo alto potencial que el alambre, de modo que no sienten efectos nocivos.

PUNTO DE CONTROL

Si las dos patas de un ave sobre el alambre de alto potencial de un cable eléctrico están muy separadas, ¿no recibirá un choque?

COMPRUEBA TU RESPUESTA

No, porque no hay una *diferencia* considerable de potencial entre sus patas.

La mayoría de los enchufes y tomacorrientes eléctricos de hoy en día están alambrados con tres conectores en lugar de dos. Las dos patas principales de un enchufe eléctrico son para el cable portador de corriente de doble alambre, del cual una parte está “viva” (energizada) y la otra es neutra, mientras que la pata redonda se conecta a un alambre en el sistema eléctrico que está aterrizado: conectado directamente a tierra (Figura 23.8). Por tanto, el aparato eléctrico en el otro extremo del enchufe está conectado a los tres alambres. Si el alambre vivo del aparato por accidente entra en contacto con la superficie metálica del aparato y tú tocas el aparato, podrías recibir un choque peligroso. Esto no ocurrirá cuando la cubierta del aparato esté aterrizada con el alambre a tierra, lo que asegura que la cubierta del aparato siempre esté a potencial de tierra cero.

El choque eléctrico puede sobrecalentar los tejidos del cuerpo e interrumpir las funciones nerviosas normales. Puede alterar los patrones eléctricos rítmicos que mantienen el latido cardíaco adecuado y puede alterar el centro nervioso que controla la respiración. Para rescatar a una víctima de un choque, lo primero que debes hacer es ubicar y apagar la fuente de electricidad. Luego realizar reanimación cardiopulmonar (RCP) hasta que llegue la ayuda. Para víctimas de un ataque cardíaco, por otra parte, un choque eléctrico administrado de manera correcta en ocasiones puede ayudar a que el latido cardíaco se reanude.

PUNTO DE CONTROL

1. Si la resistencia de tu cuerpo es $100,000 \Omega$, ¿cuánta corriente experimentarás si tocas las terminales de una batería de 12 V?
2. Si tu piel está muy húmeda, de modo que tu resistencia sea de sólo $1,000 \Omega$, y nuevamente tocas las terminales de la batería, ¿cuánta corriente experimentarás?

COMPRUEBA TUS RESPUESTAS

- Corriente = $\frac{\text{voltaje}}{\text{resistencia}} = \frac{12 \text{ V}}{100,000 \ \Omega} = 0.00012 \text{ A}$.
- Corriente = $\frac{\text{voltaje}}{\text{resistencia}} = \frac{12 \text{ V}}{1,000 \ \Omega} = 0.012 \text{ A}$. ¡Ay!

23.5 Corriente directa y corriente alterna

La corriente eléctrica puede ser CD o CA. Por *CD*, se entiende **corriente directa**, que se refiere al flujo de cargas en *una dirección*. Una batería produce una corriente directa en un circuito porque cada terminal de una batería siempre tiene el mismo signo: la terminal positiva siempre es positiva, y la terminal negativa siempre es negativa. Los electrones se mueven de la terminal negativa que los repele a la terminal positiva que los atrae, y siempre se mueven por el circuito en la misma dirección. Inclusive si la corriente ocurre en pulsos inestables, siempre que los electrones se muevan sólo en una dirección, es CD.

La **corriente alterna** (CA) actúa como su nombre lo sugiere. Los electrones en el circuito se mueven primero en una dirección y luego en la dirección contraria, alternando de ida y vuelta en torno a posiciones relativamente fijas. Esto se logra al alternar la polaridad del voltaje en el generador u otra fuente de voltaje. Casi todos los circuitos CA comerciales en Estados Unidos involucran voltajes y corrientes que alternan de ida y vuelta a una frecuencia de 60 ciclos por segundo. Esto es una corriente de 60 hertz. En algunos lugares se usan corrientes de 25 hertz, 30 hertz o 50 hertz. En todo el mundo, la mayoría de los circuitos residenciales y comerciales son CA porque la energía eléctrica en la forma de CA puede subirse con facilidad a un voltaje alto para la transmisión a largas distancias con pequeñas pérdidas de calor, y luego bajarse a voltajes convenientes donde se consume la energía. En el Capítulo 25 estudiarás por qué esto es así.

El voltaje de CA en Estados Unidos suele ser de 120 V. En los primeros días de la electricidad, voltajes más altos quemaban los filamentos de las bombillas eléctricas. Dice la leyenda que primero se adoptaron 110 V como estándar porque hacían que las bombillas de día brillaran tanto como una lámpara de gas. De modo que los cientos de plantas eléctricas construidas en Estados Unidos antes de 1900 producían electricidad a 110 V (o 115 V o 120 V). Para cuando la electricidad se generalizó en Europa, los ingenieros pensaron cómo fabricar bombillas que no se quemaran tan rápido a voltajes más altos. La transmisión de electricidad es más eficiente a voltajes más altos, de modo que Europa adoptó 220 volts como el estándar. Estados Unidos siguió usando 110 V (en la actualidad, oficialmente 120 V) porque ya estaban instalados muchos equipos de 110 V. (Algunos electrodomésticos, como las estufas eléctricas y las secadoras de ropa, en la actualidad usan un voltaje más alto.)

El principal uso de la corriente eléctrica, ya sea CD o CA, es transferir energía de un modo silencioso, flexible y conveniente de un lugar a otro.

Conversión de CA a CD

La corriente doméstica es CA. La corriente en un aparato que funciona con baterías, como una laptop, es CD. Puedes hacer funcionar estos aparatos con CA en lugar de baterías si usas un convertidor CA-CD. Además de un transformador para reducir el voltaje (consulta el Capítulo 25), el convertidor utiliza un *diodo*, un pequeño dispositivo electrónico que actúa como válvula de una vía que permite el flujo de electrones sólo en una dirección (Figura 23.10). Dado que la corriente alterna cambia su dirección cada medio ciclo, la corriente pasa por un diodo sólo la mitad de cada periodo. La salida es una CD burda, y está apagada la mitad del tiempo. Para mantener una corriente continua mientras se suavizan los “brincos”, se usa un capacitor (Figura 23.11).

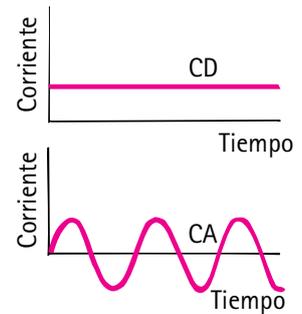


FIGURA 23.9
Gráficas en el tiempo de CD y CA.



En los circuitos CA, 120 V es el promedio “valor cuadrático medio” del voltaje. El voltaje real en un circuito CA de 120 V varía entre -170 volts y 170 volts, lo que suministra la misma potencia a una plancha o a un tostador que un circuito CD de 120 V.



VIDEO: Corriente alterna

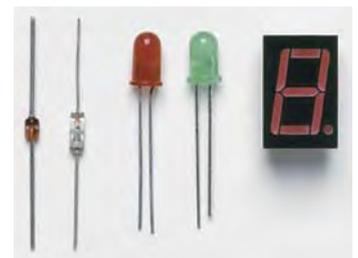
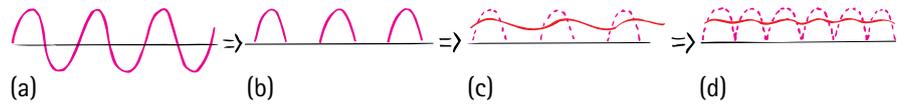


FIGURA 23.10
Diodos. Como sugiere el símbolo $\rightarrow|$, la corriente fluye en la dirección de la flecha mas no en la dirección contraria.

**FIGURA 23.11**

(a) Cuando la entrada a un diodo es CA, (b) la salida es una CD que pulsa. (c) La carga y descarga lentas de un capacitor suministran una corriente continua y más regular. (d) En la práctica, se usa un par de diodos, de modo que no hay brechas en la salida de corriente. El par de diodos invierte la polaridad de los medios ciclos alternos en lugar de eliminarlos.

**FIGURA 23.12**

El agua puede entrar al depósito en forma de chorros o pulsos repetidos, pero la salida es en forma de un torrente bastante regular. Lo mismo ocurre con un capacitor.

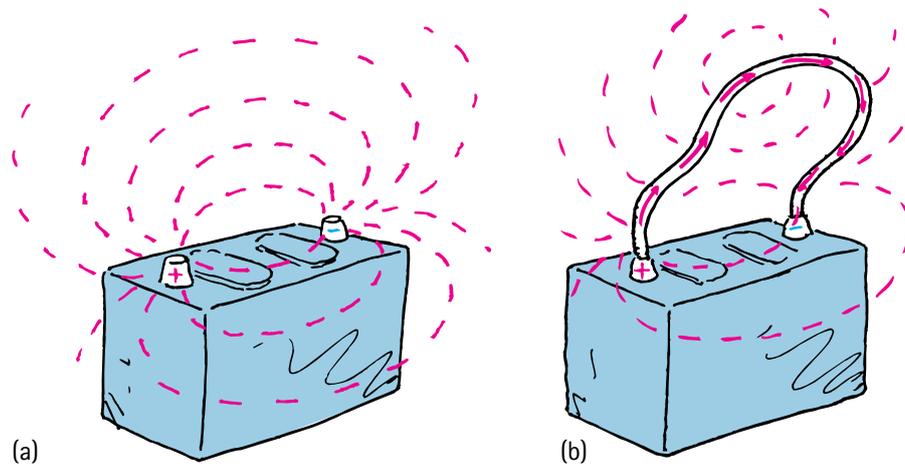
Recuerda del Capítulo 22 que un capacitor actúa como un depósito de almacenamiento para carga. Así como se necesita tiempo para que el nivel de agua suba en un depósito cuando se agrega agua, se necesita tiempo para agregar o quitar electrones de las placas de un capacitor. Por tanto, un capacitor produce un efecto retardador sobre los cambios del flujo de carga. Se opone a los cambios de voltaje y suaviza la salida en forma de pulsos.

23.6 Rapidez y fuente de los electrones en un circuito

Cuando se acciona el interruptor de luz en la pared y el circuito se completa, ya sea CA o CD, la lámpara parece brillar de inmediato. La corriente se establece a través de los alambres casi a la rapidez de la luz. *No* son los electrones los que se mueven con esta rapidez.⁶ Si bien los electrones dentro del metal a temperatura ambiente tienen una rapidez promedio de algunos millones de kilómetros por hora, no forman ninguna corriente porque se mueven en todas las direcciones posibles. No hay un flujo neto en ninguna dirección preferida. Pero, cuando se conecta una batería o un generador, en el interior del conductor se establece un campo eléctrico. Los electrones continúan sus movimientos aleatorios mientras que al mismo tiempo son empujados por este campo. El campo eléctrico es el que puede viajar por un circuito casi a la rapidez de la luz. El alambre conductor actúa como una guía o una “tubería” para las líneas del campo eléctrico (Figura 23.13). En el espacio afuera del alambre, el campo eléctrico tiene un patrón determinado por la ubicación de las cargas eléctricas, incluidas algunas cargas que se acumulan sobre la superficie del alambre. En el interior del alambre, el campo eléctrico se dirige a lo largo del alambre.

FIGURA 23.13

(a) Las líneas de campo eléctrico corren a través del espacio de la terminal positiva a la terminal negativa de una batería. (b) Cuando un alambre metálico grueso se conecta a las dos terminales, un campo eléctrico corre por el alambre, lo que impulsa una corriente, al tiempo que un campo eléctrico también se genera en el espacio que rodea al alambre por la carga que se acumula sobre la superficie del alambre. (No recibirás un choque si tocas este alambre de conexión, ¡pero puedes quemarte porque el alambre seguramente estará muy caliente!)



⁶Se invierte mucho esfuerzo y dinero para construir aceleradores de partículas que aceleren electrones y protones a rapidezces cercanas a la de la luz. Si los electrones de un circuito común viajaran con dicha rapidez, con sólo doblar un alambre en un ángulo agudo los electrones que viajaran por el alambre tendrían tal cantidad de movimiento que no podrían dar la vuelta y saldrían disparados, ¡lo que proporcionaría un haz similar al producido por los aceleradores!

Si la fuente de voltaje es CD, como la batería que se muestra en la Figura 23.13, las líneas de campo eléctrico se mantienen en una dirección en el conductor. Los electrones de conducción se aceleran por el campo en una dirección paralela a las líneas de campo. Antes de adquirir una rapidez considerable, “rebotan” en los iones metálicos anclados en sus trayectorias y les transfieren parte de su energía cinética. Es por esto que se calientan los alambres portadores de corriente. Estas colisiones interrumpen el movimiento de los electrones, de modo que la rapidez a la que migran por el alambre es en extremo baja. Este flujo neto de electrones es la *velocidad de deriva*. En un circuito CD común (por ejemplo, el sistema eléctrico de un automóvil) los electrones tienen una velocidad de deriva que promedia alrededor de una centésima de centímetro por segundo. A esta tasa, ¡un electrón tardaría más o menos 3 horas en recorrer 1 metro de alambre! Las corrientes grandes son posibles debido a la gran cantidad de electrones que fluyen. De este modo, aunque una señal eléctrica viaje a casi la rapidez de la luz en un alambre, los electrones que se mueven en respuesta a esta señal en realidad viajan más lento que el paso de un caracol.

En un circuito CA, los electrones de conducción no avanzan en absoluto a lo largo del alambre. Oscilan en forma rítmica de ida y vuelta en torno a posiciones relativamente fijas. Cuando hablas con tus amigos por un teléfono fijo convencional, es el *patrón* del movimiento oscilatorio el que se transmite a través de la ciudad a casi la rapidez de la luz. Los electrones que ya están en los alambres vibran al ritmo del patrón viajero.

Una idea equivocada que suele tenerse sobre las corrientes eléctricas es que la corriente se propaga por los alambres conductores mediante electrones que rebotan entre sí: que un pulso eléctrico se transmite en forma similar a la manera en que el pulso de una ficha de dominó golpeada se transmite a lo largo de una fila de fichas colocadas unas junto a otras. Esto simplemente no es cierto. La idea de las fichas de dominó es un buen modelo para la transmisión del sonido, mas no para la transmisión de la energía eléctrica. Los electrones que tienen libertad de movimiento en un conductor se aceleran por el campo eléctrico impuesto sobre ellos, no debido a que reboten entre sí. Cierto: rebotan unos con otros y con otros átomos, pero esto los desacelera y ofrece resistencia a su movimiento. Los electrones a lo largo de toda la trayectoria cerrada de un circuito reaccionan en forma simultánea al campo eléctrico.

Otra idea equivocada sobre la electricidad es la fuente de los electrones. En un depósito de materiales puedes comprar una manguera que esté vacía de agua. Pero no puedes comprar un trozo de alambre, una “tubería de electrones”, que esté vacía de electrones. La fuente de los electrones en un circuito es el material del circuito conductor mismo. Algunas personas creen que los tomacorrientes eléctricos de las paredes de sus casas son una fuente de electrones. Suponen de manera incorrecta que los electrones fluyen desde la planta eléctrica, por las líneas de transmisión y hacia los tomacorrientes de sus casas. Esta suposición es falsa. Los tomacorrientes de las casas son CA. Los electrones no realizan una migración neta por un alambre en un circuito CA.

Cuando conectas una lámpara en un tomacorriente, la *energía* fluye del tomacorriente a la lámpara, no los electrones. La energía es transportada por el campo eléctrico pulsátil y produce el movimiento vibratorio de los electrones que ya existen en el filamento de la lámpara. Si a una lámpara se le imprime un voltaje de 120 V, entonces un promedio de 120 J de energía se disipa por cada coulomb de carga que se hace vibrar. La mayor parte de esta energía eléctrica aparece como calor, en tanto que otra parte se transforma en luz. Las instalaciones eléctricas no venden electrones. Venden *energía*. Tú suministras los electrones.

De este modo, cuando te sacude un choque eléctrico, los electrones que constituyen la corriente en tu cuerpo se originan en tu cuerpo. Los electrones no salen del alambre y pasan a través de tu cuerpo hacia el suelo; lo hace la energía. La energía tan sólo hace que los electrones libres ya existentes en tu cuerpo vibren al unísono. Las vibraciones pequeñas producen hormigueo; las vibraciones grandes pueden ser letales.

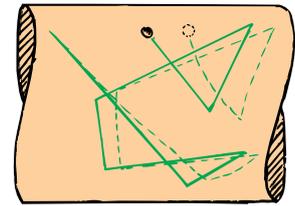


FIGURA 23.14

Las líneas sólidas sugieren la trayectoria aleatoria de un electrón que da empujones en una retícula atómica con una rapidez promedio de más o menos $1/200$ la rapidez de la luz. Las líneas punteadas sugieren una vista exagerada e idealizada de cómo se altera esta trayectoria cuando se aplica un campo eléctrico. El electrón se mueve hacia la derecha con una *velocidad de deriva* que es muy baja.



Después de fracasar más de 6,000 veces antes de perfeccionar la primera bombilla eléctrica, Edison afirmó que sus ensayos no habían sido fracasos porque logró descubrir 6,000 formas que no funcionaban.

pti

- Thomas Edison hizo mucho más que inventar una bombilla incandescente funcional en 1879. Resolvió los problemas de construir los dinamos, los sistemas de cableado y las conexiones para alumbrar la ciudad de Nueva York. Hizo que el teléfono funcionara de manera adecuada y legó la grabación de música y películas. También inventó un método de invención: su laboratorio de New Jersey fue el precursor de los modernos laboratorios de investigación industriales.



¿Por qué es correcto decir que la energía de la batería de un automóvil a final de cuentas proviene del combustible que consume el automóvil?



PUNTO DE CONTROL

Piensa en los integrantes de una banda musical que están de pie y en reposo. Puedes ponerlos en movimiento en dos formas: (1) Da a la última persona de la fila un empujón que viaje en cascada hasta la primera persona de la fila. (2) Emite la orden “adelante, marchen”. ¿Cuál de estas dos se asemeja a la forma en que se mueven los electrones en un circuito cuando se cierra el interruptor, y cuál se parece a la forma en la que viaja el sonido?

COMPRUEBA TU RESPUESTA

Emitir la orden “adelante, marchen” se parece a la manera como los electrones se mueven cuando perciben el campo eléctrico que energiza el circuito cuando se cierra el interruptor. Un integrante de la banda que choca contra el otro se parece a la forma en que viaja el sonido.



SCREENCAST: Potencia eléctrica

23.7 Potencia eléctrica

A menos que sea en un superconductor, una carga que se mueve en un circuito gasta energía. Esto puede resultar en el calentamiento del circuito o en el encendido de un motor. La tasa a la que la energía eléctrica se convierte en otra forma, como energía mecánica, calor o luz, se llama **potencia eléctrica**. La potencia eléctrica es igual al producto de la corriente y el voltaje:⁷

$$\text{Potencia} = \text{corriente} \times \text{voltaje}$$

Si el voltaje se expresa en volts y la corriente en amperes, entonces la potencia se expresa en watts. De modo que, en unidades,

$$\text{Watts} = \text{amperes} \times \text{volts}$$

Una bombilla incandescente de 60 W extrae una corriente de 0.5 A ($60 \text{ W} = 0.5 \text{ A} \times 120 \text{ V}$). Una bombilla de 100 W extrae alrededor de 0.8 A. Es interesante que una lámpara fluorescente compacta (CFL, por sus siglas en inglés) de 26 W proporcione más o menos la misma cantidad de luz que una bombilla incandescente de 100 W, ¡sólo un cuarto de la potencia por la misma luz!⁸

La relación entre energía y potencia es un asunto práctico. De la definición de potencia = energía por unidad de tiempo, se deduce que energía = potencia \times tiempo. De modo que una unidad de energía puede ser una unidad de potencia multiplicada por una unidad de tiempo, como kilowatt-hora (kWh). Un kilowatt-hora es la cantidad de energía transferida en 1 hora a la tasa de 1 kW. Por tanto, en una localidad en la que la energía eléctrica cueste 15 centavos por kWh, una plancha de 1,000 W puede funcionar durante 1 hora a un costo de 15 centavos. Un refrigerador, que suele clasificarse en aproximadamente 500 W, cuesta menos por una hora, pero mucho más durante el transcurso de un mes.

PUNTO DE CONTROL

A 15¢/kWh, ¿cuánto cuesta hacer funcionar una secadora de cabello de 1,200 W durante 1 h?

COMPRUEBA TU RESPUESTA

18¢: $1,200 \text{ W} = 1.2 \text{ kW}$, de modo que $1.2 \text{ kW} \times 1 \text{ h} \times 15¢/\text{kWh} = 18¢$.

⁷Recuerda, del Capítulo 7, que potencia = trabajo/tiempo; 1 watt = 1 J/s. Observa que las unidades para potencia mecánica y potencia eléctrica coinciden (trabajo y energía se miden ambas en joules):

$$\text{Potencia} = \frac{\text{carga}}{\text{tiempo}} \times \frac{\text{energía}}{\text{carga}} = \frac{\text{energía}}{\text{tiempo}}$$

⁸Resulta que la fórmula de potencia, $P = IV$, no funciona para las CFL. Esto es así porque, en una CFL, el voltaje alterno y la corriente están fuera de fase una con respecto a la otra, y el producto de la corriente y el voltaje es mayor que el consumo de potencia real. ¿Qué tan mayor? Revisa los datos impresos en la base de una CFL.

23.8 Lámparas

El brillo de las bombillas incandescentes puede determinarse por su vataje. Una bombilla de 100 W, por ejemplo, es más brillante que una bombilla de 60 W. Pero la mayor parte de la potencia que disipan estas bombillas no es luz, es calor. Al menos 90% de la energía transferida por una bombilla incandescente es calor. Por otra parte, las lámparas fluorescentes emiten mucho menos calor, por lo que puedes tocarlas sin quemarte. Las bombillas incandescentes se están sustituyendo por las CFL, que son un tipo de lámpara fluorescente que embona en un portalámparas estándar. Por el mismo vataje, las CFL emiten mucho más luz y mucho menos calor que las incandescentes. Es por ello que puedes sustituir una bombilla incandescente de 100 W con una CFL de alrededor de 25 W y obtener más o menos la misma cantidad de luz. De modo que, a menos que uses bombillas incandescentes para calentar una habitación (cosa que hacen los granjeros en los gallineros durante el invierno), es probable que te convenga más usar una CFL con un vataje menor. Además, la duración de las CFL suele ser de más de 10 veces la de las bombillas incandescentes.

Una fuente de luz que dura incluso más tiempo es el diodo emisor de luz (LED, por sus siglas en inglés); el más rudimentario de éstos es la pequeña luz roja que te dice si tu computadora u otro dispositivo electrónico están encendidos o apagados. Ahora existen LED más grandes para iluminación general. Su costo más alto se compensa con el ahorro de energía durante la larga vida de las bombillas.

Con las CFL y los LED que se usan en la actualidad, espera que las “antiguas” bombillas incandescentes sean historia. Y espera que las LED sustituyan a las CFL. En el Capítulo 30 se regresará a la física de las CFL y las LED.



Un inconveniente de las CFL son las pequeñas cantidades de mercurio que contienen. No obstante, la fuente más grande de emisiones de mercurio en el ambiente son las plantas eléctricas que queman carbón. De acuerdo con la EPA, cuando se usa la energía del carbón para iluminar una sola lámpara incandescente durante su vida normal, se libera más mercurio al ambiente del que existe en una CFL con una luminosidad semejante.



FIGURA 23.15

La potencia y el voltaje para esta CFL están dados como “13 W 120 V”.



FIGURA 23.16

Las versiones más grandes de este LED común ahora tienen portalámparas con rosca.

23.9 Circuitos eléctricos

Cualquier trayectoria a lo largo de la cual puedan fluir los electrones es un *circuito*. Para un flujo continuo de electrones debe haber un circuito completo, sin brechas. Por lo general, una brecha la proporciona un interruptor eléctrico que puede abrirse o cerrarse para cortar o permitir el flujo de energía. La mayoría de los circuitos tiene más de un dispositivo que recibe energía eléctrica. En general, estos dispositivos se conectan en un circuito en una de dos formas, en *serie* o en *paralelo*. Cuando se conectan en serie, forman una sola ruta para el flujo de electrones entre las terminales de la batería, generador o tomacorriente de la pared (que sólo es una extensión de estas terminales). Cuando se conectan en paralelo, forman ramas, cada una de las cuales es una ruta aparte para el flujo de electrones. Las conexiones en serie y en paralelo tienen sus propias características distintivas. Se analizarán de manera breve los circuitos que utilizan estos dos tipos de conexiones.



VIDEO: Circuitos eléctricos



SCREENCAST: Caída de voltaje



SCREENCAST: Resistencia equivalente

Circuitos en serie

En la Figura 23.17 se muestra un **circuito en serie** simple. Todos los aparatos, lámparas en este caso, están conectados extremo con extremo y forman una sola ruta para los electrones. La misma corriente existe casi de inmediato en las tres lámparas, y también en la batería, cuando el interruptor se cierra. Cuanto más grande sea la corriente de una lámpara, más brillante es. Los electrones no se “apilan” en ninguna lámpara, sino que fluyen *a través* de cada lámpara, en forma simultánea. Algunos electrones se alejan de la terminal negativa de la batería, algunos se mueven hacia la terminal positiva y algunos se mueven por el filamento de cada lámpara. Con el tiempo, es probable que los electrones se muevan por todo el circuito (la misma cantidad de corriente pasa a través de la batería). Ésta es la única ruta de los electrones a través del circuito. Un rompimiento en alguna parte de la ruta resulta en un circuito abierto, y el flujo de electrones se interrumpe. Con quemar el filamento de una de las lámparas o tan sólo abrir el interruptor, puede ocurrir dicho rompimiento.

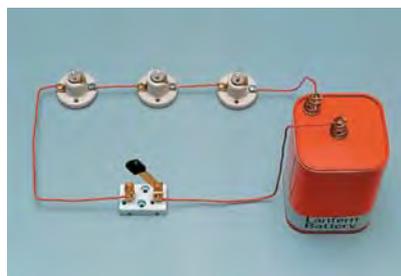
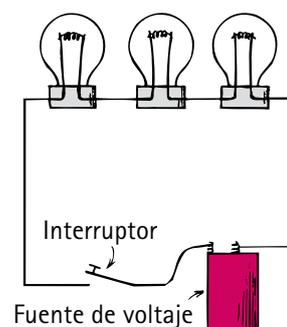


FIGURA 23.17

Un circuito en serie simple. La batería de 6 V proporciona 2 V a cada lámpara.



CELIDAS DE COMBUSTIBLE

Una batería es un dispositivo de almacenamiento de energía. Una vez que la energía química almacenada se convierte en energía eléctrica, su energía se agota. Entonces debe desecharse (si se trata de una batería desechable) o recargarse con un flujo opuesto de electricidad.

Una *celda de combustible*, por otra parte, convierte la energía química de un combustible en energía eléctrica de manera continua e indefinida, en tanto se le suministre el combustible. En una versión, el combustible de hidrógeno sufre una reacción química con el oxígeno proveniente del aire y produce electrones e iones —y agua—. Los iones fluyen internamente dentro de la celda en una dirección; los electrones fluyen externamente por un circuito unido en la otra dirección. Dado que esta reacción convierte directamente la energía química en electricidad, es más eficiente que si el combustible se quemara para producir calor, lo cual, a su vez, produce vapor que acciona turbinas para generar electricidad. El único “producto de desecho” de tal celda de combustible es agua pura, ¡adecuada para beber!

El transbordador espacial utiliza celdas de combustible de hidrógeno para satisfacer sus necesidades eléctricas. (Su hidrógeno y oxígeno se llevan a bordo en contenedores presurizados.) Las celdas también producen más de 100 galones de agua potable para los astronautas durante una misión habitual de una semana de duración. En la Tierra, los investigadores perfeccionan las celdas de combustible para varios tipos de vehículos. En muchas ciudades

circulan autobuses con celdas de combustible, como Vancouver, Columbia Británica y Chicago, Illinois. En el futuro, tanto los edificios comerciales como las casas podrán dotarse con celdas de combustible como una alternativa para recibir la electricidad proveniente de las estaciones regionales.

Entonces, ¿por qué las celdas de combustible no están tan difundidas en la actualidad? Hoy en día son más costosas que otras fuentes de electricidad. Pero, sobre todo, existe la pregunta sobre la disponibilidad del combustible elegido —hidrógeno—. Si bien el hidrógeno es el elemento más abundante en el Universo, y es abundante en los alrededores inmediatos, está alojado en moléculas de agua e hidrocarburos. No está disponible en estado libre (un hecho que AHORA pasan por alto las personas que celebran el uso de vehículos impulsados con hidrógeno). Para separar el hidrógeno de las moléculas en las que se encuentra firmemente ligado se necesita energía. La energía necesaria para producir hidrógeno en la actualidad la proporcionan fuentes de energía convencionales.

En efecto, el hidrógeno es un medio de almacenamiento de energía. Al igual que la electricidad, se crea en un lugar y se utiliza en otro. El hidrógeno es un gas muy volátil, difícil de almacenar, transportar y usar con seguridad. Las celdas de combustible serán atractivas en el futuro, cuando se reduzcan al mínimo estas dificultades, cuando baje el costo de las celdas de combustible, y, principalmente, cuando el hidrógeno necesario para alimentarlas se genere mediante otras fuentes de energía, como la eólica o la solar.



El circuito que se muestra en la Figura 23.17 ilustra las importantes características de los circuitos en serie:

1. La corriente eléctrica tiene una sola ruta a través del circuito. Esto significa que la corriente que pasa a través de la resistencia de cada dispositivo eléctrico a lo largo de la ruta es la misma.
2. A esta corriente se resiste la resistencia del primer dispositivo, la resistencia del segundo y también la del tercero, de modo que la resistencia total a la corriente en el circuito es la suma de cada una de las resistencias a lo largo de la ruta del circuito.
3. La corriente en el circuito es numéricamente igual al voltaje suministrado por la fuente, dividido entre la resistencia total del circuito. Esto coincide con la ley de Ohm.
4. El voltaje suministrado es igual a la suma de cada una de las “caídas de voltaje” a través de cada dispositivo. Esto es consistente con el hecho de que la energía total suministrada al circuito es igual a la suma de las energías suministradas a cada dispositivo.
5. La caída de voltaje a través de cada dispositivo es proporcional a su resistencia: la ley de Ohm se aplica por separado a cada dispositivo. Esto se deduce del hecho de que más energía se disipa cuando una corriente pasa a través de una resistencia grande que cuando la misma corriente pasa a través de una resistencia pequeña.

Es fácil ver la principal desventaja de un circuito en serie: si un dispositivo falla, la corriente en todo el circuito cesa. En tiempos pasados, las luces de los árboles de navidad estaban conectadas en serie. Cuando una bombilla se fundía, era divertido y entretenido (o frustrante) tratar de localizar la bombilla que había que sustituir.

Casi todos los circuitos están alambreados de modo que sea posible hacer funcionar varios dispositivos eléctricos, cada uno de manera independiente de los demás. En tu casa, por ejemplo, una lámpara puede encenderse o apagarse sin afectar el funcionamiento de otras lámparas o dispositivos eléctricos. Esto es así porque dichos dispositivos no están conectados en serie, sino en paralelo unos con otros.

PUNTO DE CONTROL

1. En un circuito en serie, ¿qué ocurre con la corriente de las demás lámparas si se quema una lámpara?
2. En un circuito en serie, ¿qué ocurre con el brillo de la luz de cada lámpara cuando se agregan más lámparas al circuito?

COMPRUEBA TUS RESPUESTAS

1. El circuito se rompe y todas las lámparas se apagan.
2. Agregar más lámparas en serie produce una resistencia de circuito más grande. Esto reduce la corriente en el circuito. Todos los voltajes deben sumarse para dar el mismo voltaje total, de manera que la caída de voltaje a través de cada lámpara también disminuye. Dado que la potencia es el producto del voltaje y la corriente, estos dos cambios actúan para volver menos brillantes las lámparas.

Circuitos en paralelo

En la Figura 23.18 se muestra un **circuito en paralelo** simple. Las tres lámparas están conectadas a los mismos dos puntos, A y B. Se dice que están *conectados en paralelo* los dispositivos eléctricos que están directamente conectados a los mismos dos puntos de un circuito eléctrico. La ruta para la corriente desde una terminal de la batería hasta la otra se completa sólo si *una* lámpara está encendida. En esta ilustración, el circuito se ramifica en tres rutas distintas de la A a la B. Un rompimiento en una ruta no interrumpe el flujo de carga en las otras rutas. Cada dispositivo funciona de forma independiente de los demás dispositivos.

¿Qué es lo que se “agota” en un circuito eléctrico: la corriente o la energía?



SCREENCAST: Resistencias de un circuito

pti

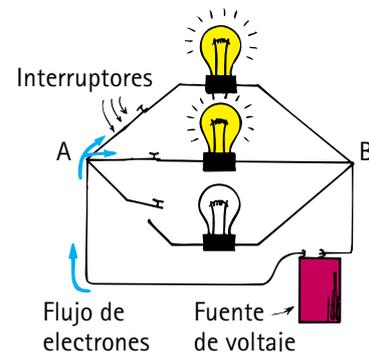
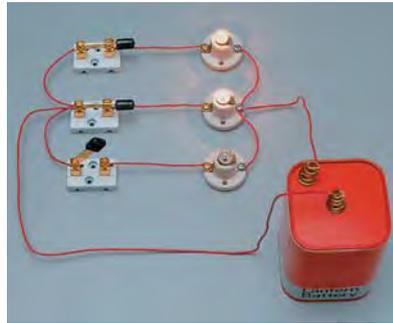
- Las palabras *abierto* y *cerrado* como se aplican a una puerta son diferentes cuando se aplican a los circuitos eléctricos. Para una puerta, *abierto* significa paso libre y *cerrado* significa bloqueo. Con los interruptores eléctricos, los términos tienen significados opuestos: *abierto* significa sin flujo y *cerrado* significa libre paso de electrones.



SCREENCAST: Bombillas en paralelo

FIGURA 23.18

Circuito en paralelo simple. Una batería proporciona 6 V a cada lámpara.



El circuito que se muestra en la Figura 23.18 ilustra las principales características de las conexiones en paralelo:

1. Cada dispositivo se conecta a los mismos dos puntos A y B del circuito. Por tanto, el voltaje es el mismo a través de cada dispositivo.
2. La corriente se divide entre las ramas paralelas. La ley de Ohm se aplica por separado a cada rama.
3. La corriente total del circuito es igual a la suma de las corrientes en sus ramas paralelas. Esta suma es igual a la corriente de la batería u otra fuente de voltaje.
4. A medida que aumenta el número de ramas paralelas, la resistencia global del circuito *disminuye*. La resistencia global se reduce con cada ruta agregada entre cualesquiera dos puntos del circuito. Esto significa que la resistencia global del circuito es menor que la resistencia de cualquiera de las ramas.



SCREENCAST: Demostración de una batería



SCREENCAST: Potencia de una batería

PUNTO DE CONTROL

1. En un circuito en paralelo, ¿qué sucede con la corriente en otras lámparas si una de las lámparas se quema?
2. En un circuito en paralelo, ¿qué pasa con el brillo de la luz de cada lámpara cuando se agregan más lámparas en paralelo?
3. ¿Qué ocurre con la corriente de la batería cuando se agregan más lámparas en paralelo?

COMPRUEBA TUS RESPUESTAS

1. Si una de las lámparas se quema, las demás lámparas no son afectadas. Esto se debe a que la corriente en cada rama, de acuerdo con la ley de Ohm, es igual a voltaje/resistencia, y como ningún voltaje ni ninguna resistencia se modifican en las otras ramas, la corriente en dichas ramas no es afectada.
2. El brillo de cada lámpara no cambia cuando se introducen (o se quitan) otras lámparas.
3. La corriente de la batería aumenta por una cantidad que alimenta a cada rama agregada. En el circuito global, las rutas agregadas significan una reducción de la resistencia. (También existe una resistencia en una batería, que aquí se supone despreciable.)

Circuitos en paralelo y sobrecarga

La electricidad dentro de una casa por lo general se alimenta mediante dos alambres llamados *líneas*. Estas líneas, que tienen una resistencia muy baja, se ramifican en circuitos en paralelo que conectan las luces del techo y los tomacorrientes de pared de cada habitación. Las luces y los tomacorrientes se conectan en paralelo, de modo que a todas llega el mismo voltaje, por lo general entre 110-120 V. A medida que se conectan más dispositivos y se encienden, más rutas para la corriente resultan en una reducción de la resistencia combinada de cada circuito. En consecuencia, en los circuitos pasa una mayor cantidad de corriente. La suma de estas corrientes es igual a la corriente de línea, que puede rebasar los límites de seguridad. Se dice entonces que el circuito está *sobrecargado*.

Puedes ver cómo ocurre la sobrecarga si consideras el circuito de la Figura 23.19. La línea de suministro está conectada en paralelo a un tostador eléctrico que extrae 8 A, a un calefactor eléctrico que extrae 10 A y a una lámpara eléctrica que extrae 2 A. Cuando sólo funciona el tostador y extrae 8 A, la corriente de línea total es de 8 A. Cuando el calefactor también opera, la corriente de línea total aumenta a 18 A (8 A hacia el tostador y 10 A hacia el calefactor). Si enciendes la lámpara, la corriente de línea aumenta a 20 A. Conectar más dispositivos aumenta la corriente todavía más. Conectar demasiados dispositivos en el mismo circuito sobrecalienta los alambres que alimentan el circuito, lo que puede provocar un incendio.

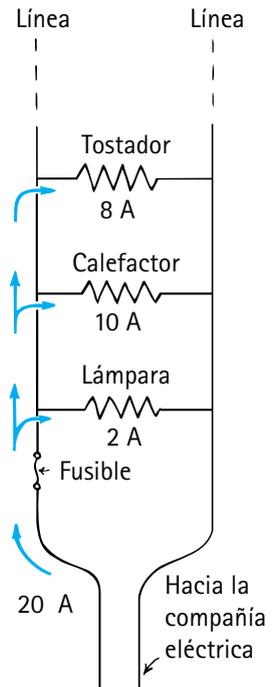


FIGURA 23.19 Diagrama de un circuito para los electrodomésticos conectados a un circuito doméstico.

Fusibles de seguridad

Para evitar la sobrecarga de los circuitos, pueden conectarse fusibles en serie a lo largo de la línea de suministro. De esta forma, toda la corriente de la línea debe pasar por el fusible. El fusible que se muestra en la Figura 23.20 está construido con un listón de alambre que se calentará y fundirá a una corriente determinada. Si el fusible está clasificado en 20 A, pasará 20 A pero no más. Una corriente mayor que 20 A fundirá el fusible, que se “apagará” y romperá el circuito. Antes de sustituir un fusible quemado, debes determinar y solucionar la causa de la sobrecarga. Con frecuencia, el aislamiento que separa a los alambres en un circuito se corroe y permite que los alambres se toquen. Esto reduce mucho la resistencia en el circuito, lo que acorta efectivamente la ruta del circuito, y se llama *cortocircuito*.

En las construcciones modernas, los fusibles se han sustituido por disyuntores (interruptor automático), que utilizan imanes o tiras bimetálicas para abrir un interruptor cuando la corriente es muy grande. Las compañías eléctricas usan disyuntores para proteger sus líneas durante todo el recorrido de vuelta hasta los generadores.

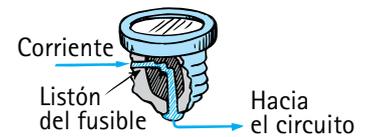


FIGURA 23.20 Fusible de seguridad.



SCREENCAST: Combinación de circuitos



FIGURA 23.21 El electricista Dave Hewitt muestra un fusible de seguridad y un disyuntor. Él prefiere los antiguos fusibles, que considera más confiables.