

# Voltaje y corriente

# A2

## Objetivos

- Conocer la estructura atómica básica de conductores como el cobre y el aluminio, y entender por qué tienen un uso tan amplio en el campo.
- Entender cómo se establece el voltaje terminal de una batería o de cualquier fuente de cd, y cómo crea un flujo de carga en el sistema.
- Entender cómo se establece la corriente en un circuito y cómo se afecta su magnitud por la carga que fluye en el sistema, así como el tiempo implicado.
- Familiarizarse con los factores que afectan el voltaje terminal de una batería y cuanto tiempo permanecerá efectiva una batería.
- Ser capaz de aplicar correctamente un voltímetro o un amperímetro para medir el voltaje y la corriente de una red.

## A2.1 INTRODUCCIÓN

Observe que ya se establecieron los fundamentos para el estudio de la electricidad y la electrónica, y por lo tanto pueden investigarse los conceptos de voltaje y corriente. El término **voltaje** se presenta prácticamente todos los días. Todos hemos reemplazado las baterías de nuestras linternas, máquinas contestadoras, calculadoras, automóviles, etcétera, que tenían un voltaje nominal específico. Sabemos que la mayoría de las tomas de corriente en nuestras casas son de 120 volts. Aunque la **corriente** puede ser un término menos conocido, sabemos lo que sucede cuando conectamos demasiados aparatos eléctricos en la misma toma de corriente: el cortacircuito se abre debido a la excesiva corriente resultante. Es bien sabido que la corriente es algo que se mueve a través de los cables y que provoca chispas y posiblemente fuego si hay un “cortocircuito”. La corriente calienta los serpentines de un calefactor eléctrico o el hornillo de una estufa eléctrica; genera luz cuando pasa a través del filamento de un foco, y con el tiempo retuerce el cable de una plancha eléctrica, etcétera. En resumidas cuentas, los términos *voltaje y corriente* son parte del vocabulario de la mayoría de las personas.

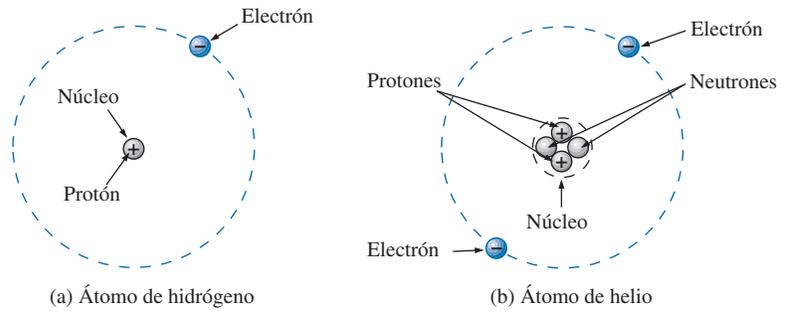
En este anexo se presentan y analizan con cierto detalle el impacto básico de la corriente y el voltaje, así como sus propiedades; quizá de esta manera desaparezcan los misterios que rodean las características generales de cada uno y se comprenda con claridad su respectivo impacto en un circuito eléctrico o electrónico.

## A2.2 LOS ÁTOMOS Y SU ESTRUCTURA

Una comprensión básica de los conceptos fundamentales de corriente y voltaje requiere un conocimiento básico del átomo y su estructura. El más simple de los átomos es el átomo de hidrógeno, compuesto de dos partículas básicas, el **protón** y el **electrón**, en las posiciones relativas que se muestran en la figura A2.1(a). El **núcleo** del átomo de hidrógeno es el protón, una partícula cargada positivamente.

*El electrón en órbita porta una carga negativa de magnitud igual a la carga positiva del protón.*



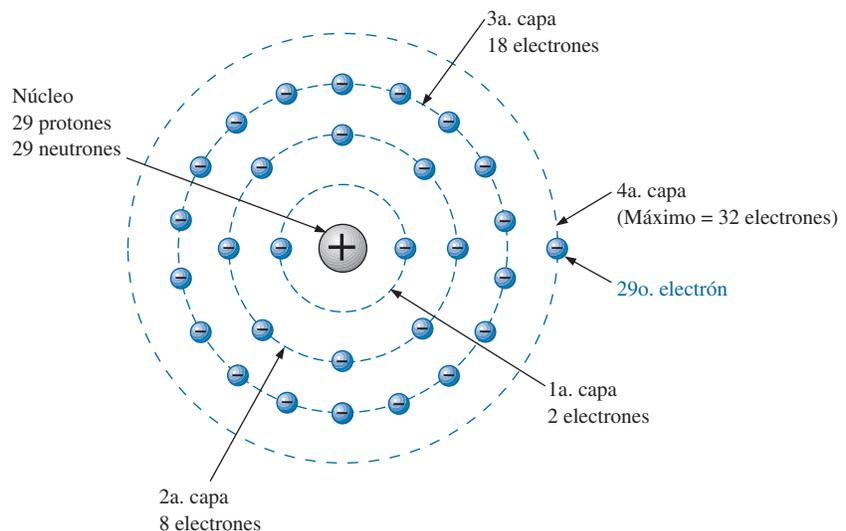


**FIG. A2.1**  
*Átomos de hidrógeno y de helio.*

En todos los demás elementos, el núcleo también contiene **neutrones**, los cuales son un poco más pesados que los protones y no tienen *carga eléctrica*. El átomo de helio, por ejemplo, tiene dos neutrones además de dos electrones y dos protones, como se muestra en la figura A2.1(b). En general, *la estructura atómica de cualquier átomo estable tiene un número igual de electrones y protones.*

Los diferentes átomos tienen varios números de electrones en órbitas concéntricas llamadas *capas* alrededor del núcleo. La primera capa, la cual es la más cercana al núcleo, puede contener sólo dos electrones. Si un átomo tiene tres electrones, el electrón extra debe colocarse en la capa siguiente. El número de electrones en cada capa subsiguiente es  $2n^2$ , donde  $n$  es el número de la capa. Luego cada capa se divide en subcapas donde el número de electrones está limitado a 2, 6, 10 y 14 en ese orden a medida que nos alejamos del núcleo.

El **cobre** es el metal más comúnmente utilizado en la industria eléctrica y electrónica. Un examen de su estructura revelará por qué se utiliza tanto. Como se muestra en la figura A2.2 tiene 29 electrones en órbitas alrededor del núcleo con el 29o. solo en la 4a. capa. Observe que el número de electrones en cada capa y subcapa es como se definió antes. Hay dos cosas im-



**FIG. A2.2**  
*Estructura atómica del cobre.*



portantes que observar en la figura A2.2. Primero, la 4a. capa, la cual puede tener un total de  $2n^2 = 2(4)^2 = 32$  electrones, sólo tiene un electrón. La capa más externa está incompleta y, en realidad, está lejos de estar completa porque tiene sólo un electrón. Los átomos con capas completas (es decir, con un número de electrones igual a  $2n^2$ ) suelen ser bastante estables. Los átomos con un pequeño porcentaje del número definido para la capa más externa normalmente se consideran un tanto inestables y volátiles. Segundo, el 29o. electrón es el electrón más alejado del núcleo. Las cargas opuestas se atraen entre sí, pero cuanto más separadas estén, menor es la atracción. En realidad, la fuerza de atracción entre el núcleo y el 29o. electrón del cobre se determina por la **ley de Coulomb**, desarrollada por Charles Augustin Coulomb (figura A2.3) a finales del siglo XVIII:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (\text{newtons, N}) \quad (\text{A2.1})$$

donde  $F$  está en newtons (N),  $k = \text{una constante} = 9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ ,  $Q_1$  y  $Q_2$  son las cargas en coulombs (unidad de medición que se estudia en la siguiente sección), y  $r$  es la distancia entre las dos cargas en metros.

En este momento, lo más importante que hay que señalar es que la distancia entre las cargas aparece como un término elevado al cuadrado en el denominador. En primer lugar, el hecho de que este término esté en el denominador revela con claridad que a medida que se incrementa, la fuerza se reduce. Sin embargo, como es un término elevado al cuadrado, la fuerza se reducirá dramáticamente a  $1/4$  porque  $(2)^2 = 4$ . Si la distancia se incrementa por un factor de 4, se reducirá en  $1/16$ , y así sucesivamente. Por consiguiente, la fuerza de atracción entre el 29o. electrón y el núcleo es significativamente menor que entre un electrón situado en la primera capa y el núcleo. El resultado es que el 29o. electrón está débilmente enlazado a la estructura atómica, y con un poco de presión de fuentes externas podría animarse a abandonar el átomo padre.

Si este 29o. electrón adquiere suficiente energía del medio circundante para que abandone el átomo padre, se llama **electrón libre**. En una pulgada cúbica de cobre a temperatura ambiente, hay aproximadamente  $1.4 \times 10^{24}$  electrones libres. Expandido, hay 1,400,000,000,000,000,000,000,000 electrones libres en un cubo de una pulgada por lado. El punto es que lidiamos con números enormes de electrones cuando nos referimos al número de electrones en un alambre de cobre, no sólo a unos cuantos que tranquilamente pudiéramos contar. Además, los números implicados son una clara evidencia de la necesidad de dominar el uso de potencias de diez para representar números y utilizarlos en cálculos matemáticos.

Otros metales que presentan las mismas propiedades que el cobre, pero a un grado diferente, son la plata, el oro y el aluminio, y algunos metales raros como el tungsteno. En las secciones siguientes se hacen comentarios adicionales sobre las características de los conductores.

## A2.3 VOLTAJE

Si separamos el 29o. electrón del resto de la estructura atómica del cobre con una línea de rayas como se muestra en la figura A2.4(a), creamos regiones que tienen una carga positiva y negativa neta como se muestra en la figura A2.4(b) y (c). Para la región dentro de la línea de rayas, el número de protones en el núcleo excede el número de electrones en órbita por 1, por lo que la carga es positiva como se muestra en ambas figuras. Esta región positiva creada por la separación del electrón libre de la estructura

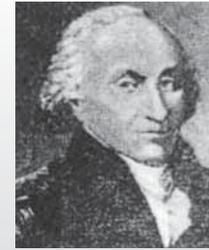


FIG. A2.3

Charles Augustin Coulomb. Cortesía del Smithsonian Institution, fotografía núm. 52,597.

Francés (Angoulême, París)  
(1736-1806) Científico e inventor  
Ingeniero militar, Indias Occidentales

Asistió a la escuela de ingeniería en Mézières, la primera escuela de su clase. Formuló la *ley de Coulomb*, la cual define la fuerza entre dos cargas eléctricas y es, de hecho, una de las fuerzas principales en reacciones atómicas. Realizó una extensa investigación sobre la fricción que ocurre en la maquinaria y los molinos de viento, y la elasticidad del metal y de las fibras de seda.

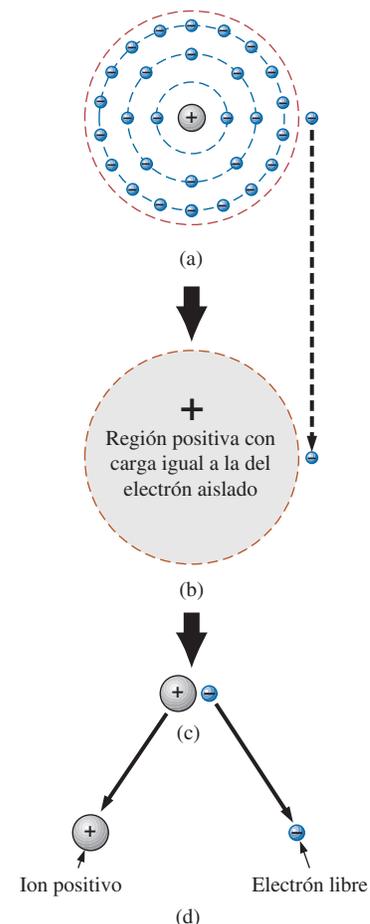


FIG. A2.4

Definición del ion positivo.

atómica básica se llama **ion positivo**. Si el electrón libre luego abandona las inmediaciones del átomo padre como se muestra en la figura A2.4(d), se establecen regiones de carga positiva y negativa.

Esta separación de carga para establecer regiones de carga positiva y negativa es la acción que ocurre en todas las baterías. Por medio de una acción química, se establece una fuerte concentración de carga positiva (iones positivos) en la terminal positiva, con una concentración igualmente fuerte de carga negativa (electrones) en la terminal negativa.

Po lo general,

*toda fuente de voltaje se establece con sólo separar las cargas positivas y negativas.*

Es así de sencillo: Si desea crear un nivel de voltaje de cualquier magnitud, simplemente establezca regiones de carga positiva y negativa. A mayor voltaje requerido, mayor será la cantidad de carga positiva y negativa.

En la figura A2.5(a), por ejemplo, un paquete de iones positivos estableció una región de carga positiva, y un paquete de una cantidad parecida de electrones estableció una región de carga negativa, separadas por una distancia  $r$ . Como no tendría caso hablar sobre el voltaje establecido por la separación de un solo electrón, un paquete de electrones llamado un **coulomb (C)** de carga se definió como sigue:

*Un coulomb de carga es la carga total asociada con  $6.242 \times 10^{18}$  electrones.*

Un coulomb de carga positiva tendría la misma magnitud pero polaridad opuesta.

En la figura A2.5(b), si tomamos un coulomb de carga negativa cerca de la superficie de la carga positiva y lo acercamos a la carga negativa, debemos gastar energía para vencer las fuerzas repelentes de la carga negativa más grande y las fuerzas de atracción de la carga positiva. En el proceso de mover la carga del punto  $a$  al punto  $b$  en la figura A2.5(b):

*Si se utiliza un total de 1 joule (J) de energía para mover la carga negativa de 1 coulomb (C), hay una diferencia de 1 volt (V) entre los dos puntos.*

La ecuación definitoria es

$$V = \frac{W}{Q} \quad \begin{array}{l} V = \text{volts (V)} \\ W = \text{joules (J)} \\ Q = \text{coulombs (C)} \end{array} \quad (\text{A2.2})$$

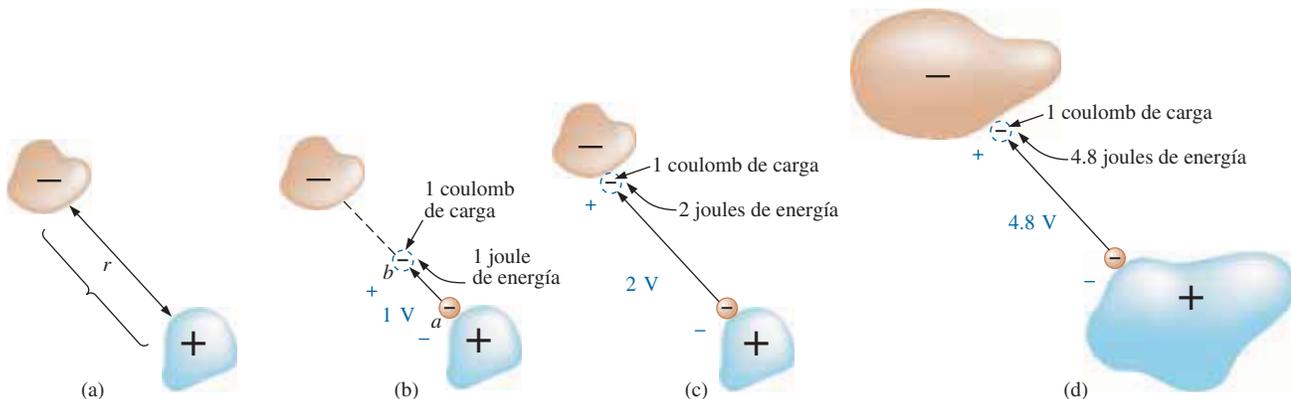


FIG. A2.5

*Definición del voltaje entre dos puntos.*



Observe, en particular, que la carga está en coulombs, la energía en joules y el voltaje en volts. Se eligió la unidad de medición **volt** para honrar los esfuerzos de Alessandro Volta, quien demostró que un voltaje se podía establecer por medio de una acción química (figura A2.6).

Si ahora la carga se mueve hasta la superficie de la carga negativa más grande como se muestra en la figura A2.5(c), consumiendo 2 J de energía en el viaje, hay 2 V entre los dos cuerpos cargados. Si el paquete de carga positiva y negativa es mayor, como se muestra en la figura A2.5(d), se tendrá que consumir más energía para vencer las fuerzas repelentes más grandes de carga negativa grande y las fuerzas de atracción de la carga positiva grande. Como se muestra en la figura A2.5(d), se consumieron 4.8 J de energía, y el resultado fue un voltaje de 4.8 V entre los dos puntos. Por consiguiente, podemos concluir que se requerirían 12 J de energía para mover 1 C de carga negativa de la terminal positiva a la terminal negativa de la batería de 12 V de un automóvil.

Mediante manipulaciones algebraicas, podemos definir una ecuación para determinar la energía requerida para mover una carga a través de una diferencia de voltaje:

$$W = QV \quad (\text{joules, J}) \quad (\text{A2.3})$$

Por último, si deseamos saber cuánta carga estuvo implicada, utilizamos

$$Q = \frac{W}{V} \quad (\text{coulombs, C}) \quad (\text{A2.4})$$

**EJEMPLO A2.1** Determine el voltaje entre dos puntos si se requieren 60 J de energía para mover la carga de 20 C entre los dos puntos.

**Solución:** Ecuación (A2.2):  $V = \frac{W}{Q} = \frac{60 \text{ J}}{20 \text{ C}} = 3 \text{ V}$

**EJEMPLO A2.2** Determine la energía consumida para mover una carga de 50  $\mu\text{C}$  entre dos puntos, si el voltaje entre los puntos es de 6 V.

**Solución:** Ecuación (A2.3):

$$W = QV = (50 \times 10^{-6} \text{ C})(6 \text{ V}) = 300 \times 10^{-6} \text{ J} = 300 \mu\text{J}$$

Hay varias formas de separar una carga para establecer el voltaje deseado. La más común es la acción química que se utiliza en las baterías automotrices y de linternas y, de hecho, en todas las baterías portátiles. Otras fuentes emplean métodos mecánicos, como generadores automotrices y plantas eléctricas de vapor, o bien fuentes alternativas como celdas solares y molinos de viento. Sin embargo, el único propósito del sistema es crear una separación de carga. En el futuro, por consiguiente, cuando vea una terminal positiva y una terminal negativa en cualquier tipo de batería, puede considerarlas como un punto donde se ha concentrado una gran cantidad de carga para crear un voltaje entre los dos puntos. Más importante es reconocer que existe un voltaje entre dos puntos; en una batería está entre las terminales positiva y negativa. Conectarse sólo a la terminal positiva o a la terminal negativa de una batería y no a la otra no tendría sentido.

*Ambas terminales deben estar conectadas para definir el voltaje aplicado.*



FIG. A2.6

Conde Alessandro Volta.  
Cortesía del Smithsonian Institution,  
fotografía núm. 55,393.

**Italiano** (Como, Pavia)  
(1745–1827)  
**Físico**  
**Profesor de física,**  
Pavia, Italia

Realizó experimentos eléctricos a la edad de 18 años junto con otros investigadores europeos. Su contribución más importante fue el desarrollo en 1800 de una fuente de energía eléctrica basada en la acción química. Por primera vez, la energía eléctrica estuvo disponible de forma continua y podía ser utilizada para propósitos prácticos. Desarrolló el primer *condensador*; hoy conocido como *capacitor*. Fue invitado a París para que mostrara la *celda voltaica* a Napoleón. El International Electrical Congress reunido en París en 1881 honró sus esfuerzos al elegir el *volt* como unidad de medición de fuerza electromotriz.

Al mover el 1 C de carga de la figura A2.5(b), la energía consumida dependería de dónde nos encontráramos en el trayecto. Por tanto, la *posición* de la carga es un factor cuando se trata de determinar el nivel de voltaje en cada punto del trayecto. Como la **energía potencial** asociada con un cuerpo está definida por su posición, a menudo se aplica el término *potencial* para definir niveles de voltaje. Por ejemplo, la diferencia de potencial es de 4 V entre los dos puntos, o la **diferencia de potencial** entre un punto y tierra es de 12 V, etcétera.

## A2.4 CORRIENTE

La pregunta ¿qué fue primero, la gallina o el huevo?, también puede aplicarse en este caso porque una persona inexperta en la materia quizá tienda a utilizar indistintamente los términos *corriente* y *voltaje* como si ambos fueran fuentes de energía. Es el momento de aclarar las cosas.

*El voltaje aplicado es el mecanismo de activación; la corriente es una reacción al voltaje aplicado.*

En la figura A2.7(a), un alambre de cobre permanece aislado sobre un banco de laboratorio. Si lo cortamos con un plano perpendicular imaginario, se produce la sección transversal circular que se muestra en la figura A2.7(b), y nos sorprendería ver que hay electrones libres cruzando la superficie en ambas direcciones. Los electrones libres generados a temperatura ambiente están en constante movimiento en direcciones aleatorias. Sin embargo, en cualquier momento, el número de electrones que cruzan el plano imaginario en una dirección es exactamente igual a los que cruzan en dirección opuesta, por lo que el *flujo neto en cualquier dirección es cero*. Aun cuando el alambre parece estar inerte sobre el banco, internamente está bastante activo. Lo mismo aplicaría para cualquier otro buen conductor.

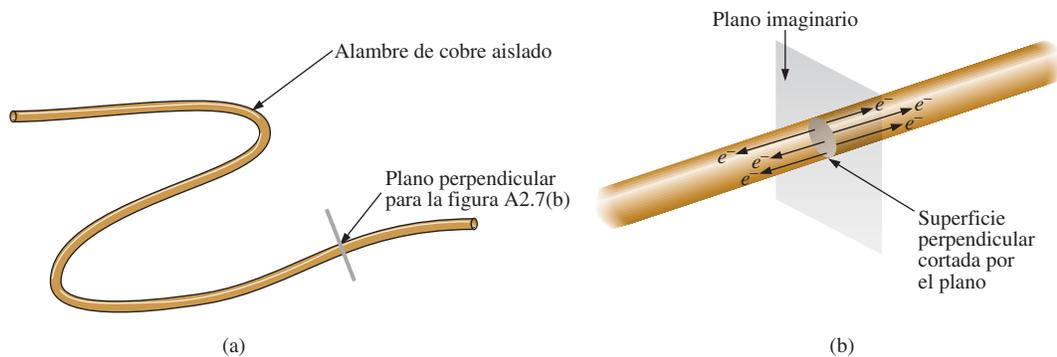


FIG. A2.7

*Hay un movimiento de portadores libres en un pedazo de alambre de cobre aislado, pero el flujo de carga no tiene una dirección particular.*

Ahora, para hacer que este flujo de electrones trabaje para nosotros, tenemos que darle una dirección y ser capaces de controlar su magnitud. Esto se logra con sólo aplicar un voltaje a través del alambre para hacer que los electrones se muevan hacia la terminal positiva de la batería, como se muestra en la figura A2.8. En cuanto se coloca el alambre entre las terminales, los electrones libres en él se dirigen hacia la terminal positiva. Los iones positivos en el alambre de cobre simplemente oscilan en una posición media fija. Conforme los electrones pasan a través del alambre, la terminal negativa de

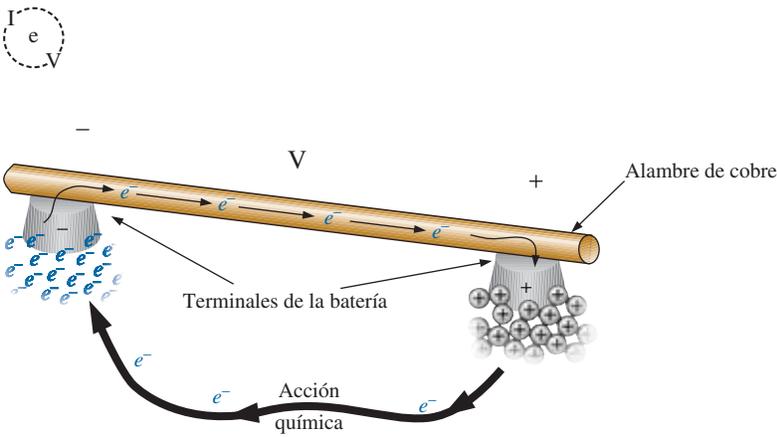


FIG. A2.8

*Movimiento de electrones cargados negativamente en un alambre de cobre cuando se coloca a través de las terminales con una diferencia de potencial de volts (V).*

la batería actúa como una fuente de electrones adicionales para mantener el proceso en movimiento. Los electrones que llegan a la terminal positiva son absorbidos, y por la acción química de la batería, más electrones se depositan en la terminal negativa para compensar los que se fueron.

Para llevar el proceso un paso más adelante, considere la configuración en la figura A2.9, donde se utilizó un alambre de cobre para conectar un foco a una batería para crear el más simple de los circuitos eléctricos. En el momento en que se hace la conexión final, los electrones libre de carga negativa se dirigen a la terminal positiva, mientras los iones positivos que se quedan atrás simplemente oscilan en una posición media fija. El flujo de carga (los electrones) que pasa a través del foco calienta el filamento de éste por fricción al punto que se calienta al rojo y emite la luz deseada.

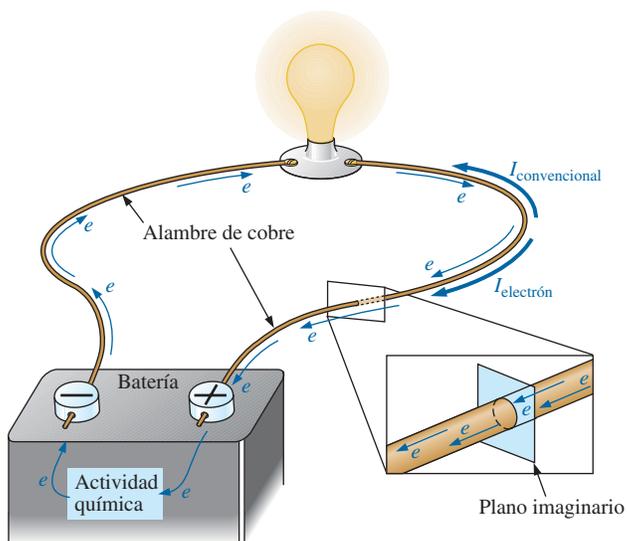


FIG. A2.9

*Circuito eléctrico básico.*

Por consiguiente, el voltaje aplicado estableció un flujo de electrones en una dirección particular. De hecho, por definición,

*si  $6.242 \times 10^{18}$  electrones (1 coulomb) pasan a través del plano imaginario en la figura A2.9 en 1 segundo, se dice que el flujo de carga, o corriente, es de un ampere (A).*



**FIG. A2.10**  
*André Marie Ampère.*  
 Cortesía del Smithsonian Institution,  
 fotografía núm. 76,524.

**Francés** (Lyon, París)  
**(1775–1836)**  
**Matemático y físico**  
**Profesor de matemáticas,**  
 École Polytechnique, París

El 18 de septiembre de 1820, André Marie Ampère presentó un nuevo campo de estudio, la electrodinámica, dedicada al efecto de la electricidad en movimiento, incluida la interacción entre corrientes en conductores adjuntos y el juego entre los campos magnéticos circundantes. Construyó el primer *solenóide* y demostró cómo se podría comportar como un imán (el primer *electroimán*). Sugirió el nombre de *galvanómetro* para un instrumento diseñado para medir niveles de corriente.

Se eligió la unidad de medición de corriente, **ampere**, para honrar los esfuerzos de André Marie Ampère en el estudio de la electricidad en movimiento (figura A2.10).

Utilizando el coulomb como unidad de carga, podemos determinar la corriente en amperes a partir de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{Q}{t} \quad \begin{array}{l} I = \text{amperes (A)} \\ Q = \text{coulombs (C)} \\ t = \text{tiempo (s)} \end{array} \quad (\text{A2.5})$$

Se eligió la letra mayúscula *I* de la palabra francesa *intensité* para corriente. La abreviatura SI para cada cantidad en la ecuación (A2.5) se da a la derecha de la ecuación. La ecuación revela claramente que con intervalos de tiempo iguales, cuanto más carga fluya a través del alambre, más grande será la carga resultante.

Mediante operaciones algebraicas, las otras dos cantidades se determinan como sigue:

$$Q = It \quad (\text{coulombs, C}) \quad (\text{A2.6})$$

y

$$t = \frac{Q}{I} \quad (\text{seconds, s}) \quad (\text{A2.7})$$

**EJEMPLO A2.3** La carga que fluye a través de una superficie imaginaria en la figura A2.9 es de 0.16 C cada 64 ms. Determine la corriente en amperes.

**Solución:** Ecuación (A2.5):

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{0.16 \text{ C}}{64 \times 10^{-3} \text{ s}} = \frac{160 \times 10^{-3} \text{ C}}{64 \times 10^{-3} \text{ s}} = \mathbf{2.50 \text{ A}}$$

**EJEMPLO A2.4** Determine cuánto tiempo se requerirá para que  $4 \times 10^{16}$  electrones pasen a través de la superficie imaginaria en la figura A2.9 si la corriente es de 5 mA.

**Solución:** Determine la carga en coulombs:

$$4 \times 10^{16} \text{ electrones} \left( \frac{1 \text{ C}}{6.242 \times 10^{18} \text{ electrones}} \right) = 0.641 \times 10^{-2} \text{ C} \\ = 6.41 \text{ mC}$$

$$\text{Ecuación (A2.7): } t = \frac{Q}{I} = \frac{6.41 \times 10^{-3} \text{ C}}{5 \times 10^{-3} \text{ A}} = \mathbf{1.28 \text{ s}}$$

Por consiguiente,

*el voltaje aplicado (o diferencia de potencial) en un sistema eléctrico/electrónico es la “presión” para poner el sistema en movimiento y la corriente es la reacción a dicha presión.*

Una analogía que a menudo se utiliza para explicar esto es la sencilla manguera de jardín. Sin presión, el agua permanece quieta en la manguera sin ninguna dirección, del mismo modo que los electrones no tienen una dirección neta sin un voltaje aplicado. Sin embargo, si se abre la llave la pre-

sión aplicada hace que el agua fluya a través de la manguera. Asimismo, aplique un voltaje al circuito y el resultado es un flujo de carga o corriente.

Un segundo vistazo a la figura A2.9 revela que se indicaron dos direcciones de flujo de carga. Una se llama *flujo convencional*, y la otra se llama *flujo de electrones*. Este texto se ocupa sólo del flujo convencional por varias razones, a saber: es el más utilizado en instituciones educativas y en la industria, se emplea en el diseño de todos los símbolos de dispositivos electrónicos, y es la opción popular para todos los paquetes de software importantes. La controversia del flujo es el resultado de una suposición cuando se descubrió la electricidad, de que la carga positiva era la partícula en movimiento en conductores metálicos. Tenga la certeza de que la selección del flujo convencional no creará mayor dificultad ni confusión en los textos de estos anexos o en los capítulos del libro. Una vez establecida la dirección de  $I$  la controversia se termina y el análisis puede continuar sin confusiones.

## Consideraciones de seguridad

Es importante tener en cuenta que incluso si pequeñas cantidades de corriente fluyen a través del cuerpo humano, pueden provocar efectos colaterales graves y peligrosos. Resultados experimentales revelan que el cuerpo humano comienza a reaccionar a corrientes de sólo unos cuantos miliamperes. Aunque la mayoría de las personas pueden soportar corrientes quizás hasta de 10 mA durante lapsos muy cortos sin efectos colaterales graves, cualquier corriente de más de 10 mA deberá considerarse peligrosa. En realidad, las corrientes de 50 mA pueden provocar un choque grave, y las corrientes de más de 100 mA pueden ser fatales. En la mayoría de los casos, la resistencia de la piel cuando está seca es lo bastante alta para limitar la corriente que fluye a través del cuerpo a niveles relativamente seguros a niveles de voltaje como los de una instalación doméstica. Sin embargo, si la piel se humedece debido al sudor, al baño, etcétera; o si la barrera de la piel se rompe por una herida, la resistencia de la piel se reduce dramáticamente y los niveles de corriente podrían elevarse a niveles peligrosos con el mismo choque de voltaje. Por consiguiente, baste recordar que *el agua y la electricidad no se mezclan*. De acuerdo, en la actualidad se utilizan dispositivos de seguridad en los hogares, como el cortacircuitos por falla de conexión a tierra (GFCI, del inglés *ground fault circuit interrupt breaker*, que se estudia en el capítulo 1 del libro), y que están diseñados específicamente para usarse en áreas húmedas como el baño y la cocina, pero aún así pueden suceder accidentes. Trate la electricidad con respeto, no con temor.

## A2.5 FUENTES DE VOLTAJE

El término **cd**, que se utiliza a lo largo del texto, es una abreviatura de **corriente directa**, la cual comprende todos los sistemas donde hay un flujo de carga unidireccional (en una dirección). En esta sección repasaremos las fuentes de voltaje de cd que aplican un voltaje fijo a sistemas eléctricos y electrónicos.

El símbolo gráfico para todas las fuentes de voltaje de cd se muestra en la figura A2.11. Observe que la longitud relativa de las barras en cada extremo define la polaridad de la fuente. La barra larga representa el lado positivo; la corta, el lado negativo. Observe también el uso de la letra  $E$  para indicar *fuerza de voltaje*. Esto se deriva de que

*una fuerza electromotriz (fem) es una fuerza que establece el flujo de carga (o corriente) en un sistema por la aplicación de una diferencia en el potencial.*

Por lo común, las fuentes de voltaje de cd se dividen en tres tipos básicos: (1) baterías (de acción química o energía solar); (2) generadores (electromecánicos), y (3) fuentes de potencia (rectificación, un proceso de conversión que se describirá en sus cursos de electrónica).

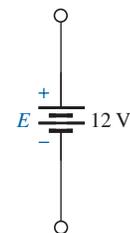


FIG. A2.11

*Símbolo estándar para una fuente de voltaje de cd.*





FIG. A2.13  
Baterías primarias de litio.

Otro tipo de celda primaria popular es la batería de litio que se muestra en la figura A2.13. De nueva cuenta, observe que el voltaje es el mismo para cada una, pero el tamaño se incrementa sustancialmente con la capacidad de ampere-hora, y la corriente de carga nominal. Es particularmente útil a bajas temperaturas.

Por consiguiente,

*para baterías del mismo tipo, la capacidad de ampere-hora, y no la capacidad de voltaje terminal, dicta principalmente el tamaño.*

### Celdas secundarias (recargables)

**Plomo-ácido:** La batería de 12 V de la figura A2.14, de uso común en automóviles, tiene un electrolito de ácido sulfúrico y electrodos de plomo esponjoso (Pb), y peróxido de plomo ( $PbO_2$ ). Cuando se aplica carga a sus terminales, se transfieren electrones del electrodo de plomo esponjoso al electrodo de peróxido de plomo a través de la carga. Esta transferencia de electrones continúa hasta que la batería se descarga por completo. El tiempo

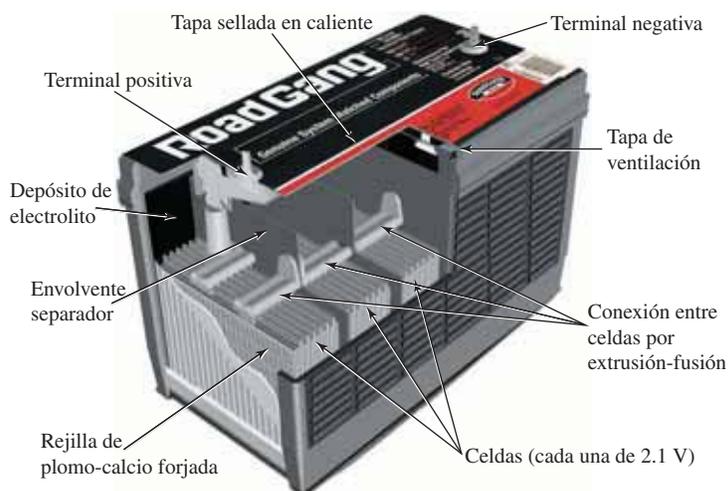


FIG. A2.14  
Batería de plomo-ácido sin mantenimiento de 12 V (en realidad de 12.6 V).  
(Cortesía de Remy International Inc.).



de descarga está determinado por cuánto se ha diluido el ácido y por el espesor del recubrimiento de sulfato de plomo en cada placa. El estado de descarga de la celda de almacenamiento de plomo puede determinarse midiendo la **gravedad específica** del electrolito con un hidrómetro. La gravedad específica de una sustancia se define como la relación del peso de un volumen dado de la sustancia con el peso de un volumen igual de agua a 4 °C. En baterías totalmente cargadas, la gravedad específica deberá oscilar entre 1.28 y 1.30. Cuando la gravedad específica se reduce a aproximadamente 1.1, hay que recargar la batería.

Como la celda de almacenamiento de plomo es una celda secundaria, puede recargarse a cualquier nivel durante la fase de descarga con sólo aplicar una fuente de **corriente de cd** a través de la celda que haga pasar corriente a través de ella en dirección opuesta a aquella en la cual la celda suministró corriente a la carga. Así se elimina el sulfato de plomo de las placas y se restaura la concentración del ácido sulfúrico.

El rendimiento de una celda de almacenamiento de plomo durante la mayor parte de la fase de descarga es de aproximadamente 2.1 V. En las baterías de almacenamiento de plomo comerciales utilizadas en automóviles, seis celdas en serie pueden producir 12.6 V, como se muestra en la figura A2.14. Por lo común, las baterías de almacenamiento de plomo-ácido se utilizan en situaciones en las que se requiere una alta corriente durante periodos relativamente cortos. En algún tiempo todas las baterías de plomo-ácido contaban con ventilación. Los gases creados durante el ciclo de descarga podían escapar, y los tapones de ventilación permitían reponer el agua o el electrolito, y verificar el nivel del ácido con un hidrómetro. El uso de una rejilla hecha de aleación de plomo y calcio forjada, en lugar de la rejilla de plomo-antimonio fundida que se usaba comúnmente, ha dado por resultado baterías que no requieren mantenimiento, como la que se muestra en la figura A2.14. La estructura de plomo-antimonio era susceptible a la corrosión, a la sobrecarga, a la creación de gases, al consumo de agua y a la autodescarga. El diseño mejorado con rejilla de plomo-calcio ha eliminado o reducido sustancialmente la mayoría de estos problemas.

Parecería que con tantos avances tecnológicos, el tamaño y el peso de la batería de plomo-ácido se habrían reducido significativamente en años recientes, pero incluso en la actualidad se utiliza más que cualquier otra batería en automóviles y en todo tipo de maquinaria. Sin embargo, las cosas están comenzando a cambiar con el interés en las baterías de hidruro de metal de níquel y de ion de litio, ya que ambas almacenan más potencia por tamaño unitario que las de plomo ácido. Ambas se describirán en las secciones siguientes.

**Hidruro de metal de níquel (NiMH):** La batería recargable de hidruro de metal de níquel ha estado atrayendo un enorme interés y desarrollo en años recientes. En 2008, Toyota anunció que el Toyota Prius y otros dos automóviles híbridos utilizarían baterías de NiMH en lugar de las de plomo-ácido. En aplicaciones como linternas, máquinas de afeitar, televisiones portátiles, taladros eléctricos, etcétera; las baterías recargables como las de hidruro de metal de níquel que se muestran en la figura A2.15 a menudo son las baterías secundarias que se utilizan. Estas baterías están tan bien hechas que pueden sobrevivir a más de 1000 ciclos de carga/descarga durante años.

Es importante reconocer que si un aparato requiere una batería recargable como una de NiMH, no deberá utilizar una batería primaria. El aparato puede tener una red de carga interna que sería disfuncional con una celda primaria. Además, observe que las baterías de NiMH son aproximadamente de 1.2 V por celda, en tanto que las primarias comunes por lo general son de 1.5 V por celda.

Hay cierta ambigüedad en cuanto a la frecuencia con que se debe recargar una celda secundaria. Por lo común, la batería puede ser utilizada hasta que haya una indicación de que el nivel de energía está bajo, por ejemplo la


**FIG. A2.15**

*Baterías recargables de hidruro de metal de níquel (NiMH).*

(© Eveready Battery Company, Inc., St. Louis, Missouri).

luz atenuada de una linterna, menos potencia en un taladro, o la señal de un indicador de batería baja. Tenga en cuenta que las baterías secundarias tienen algo de “memoria”. Si se recargan continuamente después de ser utilizadas durante poco tiempo, es posible que comiencen a creer que son unidades de corta duración y en realidad dejen de retener la carga durante el periodo de tiempo nominal. En todo caso, siempre procure evitar una descarga “dura”, que haga que se consuma un poco de energía de una celda. Demasiados ciclos de descarga dura acortarán el ciclo de duración de la batería. Por último, tenga en cuenta que el mecanismo de carga en las celdas de níquel-cadmio es muy diferente del de baterías de plomo-ácido. La batería de níquel-cadmio se carga por medio de una fuente de corriente constante, con el voltaje terminal prácticamente constante durante todo el ciclo de carga. La batería de plomo-ácido se carga por medio de una fuente de voltaje constante, lo que permite que la corriente varíe según el estado de la batería. La capacidad de la batería de NiMH se incrementa casi linealmente durante la mayor parte del ciclo de carga. Las baterías de níquel-cadmio se calientan cuando se cargan. Cuanto más bajo está el nivel de la batería cuando se carga, más alta es la temperatura de la celda. A medida que la batería se aproxima a la capacidad nominal, la temperatura de la celda se aproxima a la temperatura ambiente.

**Ion de litio (Li-ion):** La batería más investigada y desarrollada en años recientes es la batería de ion de litio. Porta más energía en un espacio más pequeño que cualquiera de las baterías recargables de plomo-ácido o de NiMH. Sus características positivas son tales que una vez que pueda ser canalizada de una manera segura y eficiente a un precio razonable podría barrer con todas las demás. Sin embargo, por el momento se utiliza extensamente en aplicaciones pequeñas como computadoras, varios productos de consumo, y de manera reciente en herramientas eléctricas. Aún tiene camino por recorrer antes de que se apropie del mercado automotriz. El Chevrolet Volt, un automóvil híbrido de contacto de General Motors, utiliza una batería de ion de litio, pero su autonomía está limitada a 40 millas antes de que necesite utilizar un pequeño motor de gasolina. El elegante Tesla Roadster con su batería de más de 6800 celdas de ion de litio es capaz de recorrer unas 250 millas, pero su paquete de baterías cuesta entre 10,000 y 15,000 dólares. Otro problema es la vida de almacenamiento. Una vez que se fabrican, estas baterías comienzan a morir lentamente aunque pueden pasar por ciclos de carga y descarga normales, lo cual las hace semejantes a



FIG. A2.16

Batería de ion de litio de una computadora portátil Dell: 11.1 V, 4400 mAh.

una celda primaria normal, así que su duración es un problema importante. Quizá recuerde las laptop que se incendiaron en 2006, y que Sony tuvo que retirar del mercado aproximadamente 6 millones de computadoras. La causa del problema fue la batería de ion de litio, que simplemente se sobrecalentaba; la presión aumentaba, y ocurría una explosión. Esto se debió a impurezas en el electrolito que impedían que los iones de litio se movieran de un lado de la cámara de la batería al otro. Desde entonces este problema se ha corregido, y las baterías de ion de litio como la que aparece en la figura A2.16 se utilizan casi exclusivamente en computadoras portátiles.

La industria es consciente de las numerosas características positivas de esta fuente de potencia y está aportando dinero a manos llenas para su investigación. El uso reciente de la nanotecnología y las microestructuras ha resuelto muchos de los problemas que aquí se mencionaron.

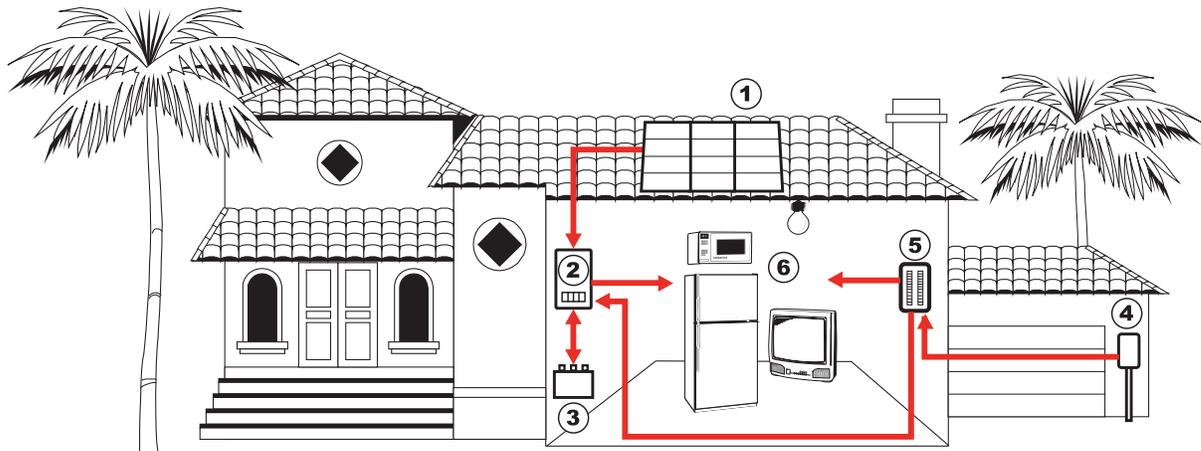
### Celda solar

El uso de celdas solares como parte del esfuerzo para generar energía “limpia” ha crecido exponencialmente en los últimos años. En otro tiempo, el costo y la baja eficiencia de conversión fueron los principales impedimentos para el uso generalizado de la celda solar. Sin embargo, la compañía Nanosolar ha reducido significativamente el costo de los paneles solares al emplear un proceso de impresión que utiliza mucho menos material de silicio caro en el proceso de fabricación. Considerando que el costo de generar electricidad solar es aproximadamente de 20 a 30 ¢/kWh, comparado con un promedio de 11 ¢/kWh utilizando una compañía de electricidad local, este nuevo proceso de impresión tendrá un impacto significativo en la reducción del costo. Otro factor que reducirá los costos es el nivel mejorado de eficiencia obtenido por los fabricantes. Antes, el nivel de eficiencia de conversión aceptado era entre 10 y 14%. Recientemente, sin embargo, se ha obtenido casi 20% en el laboratorio, y se tiene la sensación de que una eficiencia de 30 a 60% es una posibilidad en el futuro. Dado que la potencia en watts máxima disponible en un día soleado promedio es de 100 mW/cm<sup>2</sup>, la eficiencia es un elemento importante en cualesquier planes futuros de expansión de la potencia solar. Con una eficiencia de 10 a 14% la potencia máxima disponible por cm<sup>2</sup> sería sólo de 10 a 14 mW. Para un m<sup>2</sup> el rendimiento sería de 100 a 140 W. Sin embargo, si la eficiencia pudiera elevarse a 20%, el rendimiento sería significativamente más alto, a 200 W para el panel de 1-m<sup>2</sup>.

La unidad solar relativamente pequeña de tres paneles que aparece en el techo de la cochera de la casa de la figura A2.17(a) puede proporcionar 550 watts-hora (la unidad de medición watt-hora de energía se analiza en detalle en el capítulo 1 del libro). Dicha unidad puede proporcionar suficiente energía eléctrica para hacer funcionar un refrigerador energéticamente eficiente durante 24 horas por día, al mismo tiempo que una TV de colores durante 7 horas, un horno de microondas por 15 minutos, un foco de 60 W durante 10 horas, y un reloj eléctrico durante 10 horas. El sistema básico opera como se muestra en la figura A2.17(b). Los paneles solares (1) convierten la luz del sol en potencia eléctrica. Un inversor (2) convierte la potencia de cd en potencia de ca estándar para usarla en la casa (6). Las baterías (3) pueden almacenar energía del sol para usarla cuando haya luz solar insuficiente o falle la corriente. De noche o en días nublados, cuando la demanda excede el suministro de la batería y del panel solar, la compañía de electricidad local (4) puede proporcionar energía a los electrodomésticos (6) mediante una conexión especial en el panel eléctrico (5). Aunque se incurre en un gasto inicial para montar el sistema, es vitalmente importante darse cuenta que la fuente de energía es gratuita, pues no hay que habérselas con un recibo mensual por la luz solar, y que proporcionará una cantidad significativa de energía durante un periodo muy largo.



(a)



(b)

FIG. A2.17

Sistema solar: (a) paneles instalados en el techo de la cochera; (b) operación del sistema. (Cortesía de SolarDirect.com).

## Generadores

El **generador de cd** es muy distinto de la batería, tanto en construcción (figura A2.18) como en el modo de operación. Cuando la flecha del generador gira a la velocidad nominal debido al momento de torsión aplicado por una fuente externa de potencia mecánica, aparece un voltaje de valor nominal a través de las terminales externas. El voltaje terminal y las capacidades de manejo de potencia del generador de cd suelen ser más altas que las de la mayoría de las baterías, y su construcción determina su duración. Por lo común, los generadores de cd comercialmente utilizados son de 120 V o de 240 V. Para los propósitos de este texto, se utilizan los mismos símbolos para una batería y un generador.

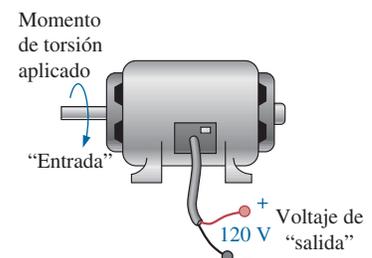


FIG. A2.18  
Generador de cd.

## Fuentes de potencia

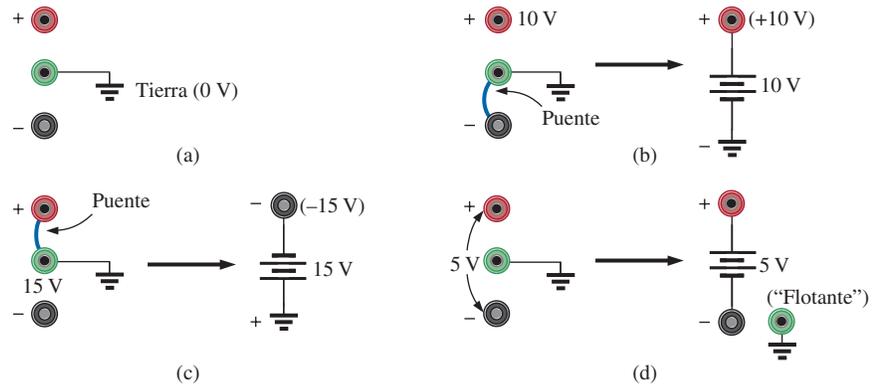
La fuente de potencia de cd de más uso en el laboratorio utiliza procesos de **rectificación** y **filtración** como medios para obtener un voltaje de cd constante. Estos procesos los estudiará en detalle en sus cursos de electrónica. En



**FIG. A2.19**  
Una fuente de potencia de cd digital  
de 0 a 60 V, 0 a 1.5 A.  
(Cortesía de B+K Precision).

total, un voltaje variable (como un voltaje de ca disponible en una toma de corriente doméstica) se convierte en un voltaje de magnitud fija. En la figura A2.19 se muestra una fuente de cd de laboratorio de este tipo.

La mayoría de las fuentes de cd de laboratorio cuentan con una salida de voltaje ajustable regulada con tres terminales disponibles, como se muestran alineadas horizontalmente en la parte inferior de la figura A2.19 y verticalmente en la figura A2.20(a). El símbolo de tierra o potencial cero (la referencia) también se muestra en la figura A2.20(a). Si se requieren 10 V por encima del potencial de tierra, la conexión se hace como se muestra en la figura A2.20(b). Si se requieren 15 V por debajo del potencial de tierra, la conexión se hace como se muestra en la figura A2.20(c). Si las conexiones están como se muestra en la figura A2.20(d), decimos que tenemos un voltaje “flotante” de 5 V puesto que no se incluye el nivel de referencia. Rara vez se utiliza la configuración de la figura A2.20(d) puesto que no protege al operador ya que proporciona una trayectoria directa de baja resistencia hacia tierra, y establecer una tierra común para el sistema. En todo caso, *las terminales positiva y negativa deben formar parte de cualquier configuración de circuito.*



**FIG. A2.20**

Fuente de cd de laboratorio: (a) terminales disponibles; (b) voltaje positivo con respecto a (c.r.a) tierra; (c) voltaje negativo c.r.a tierra, y (d) suministro flotante.

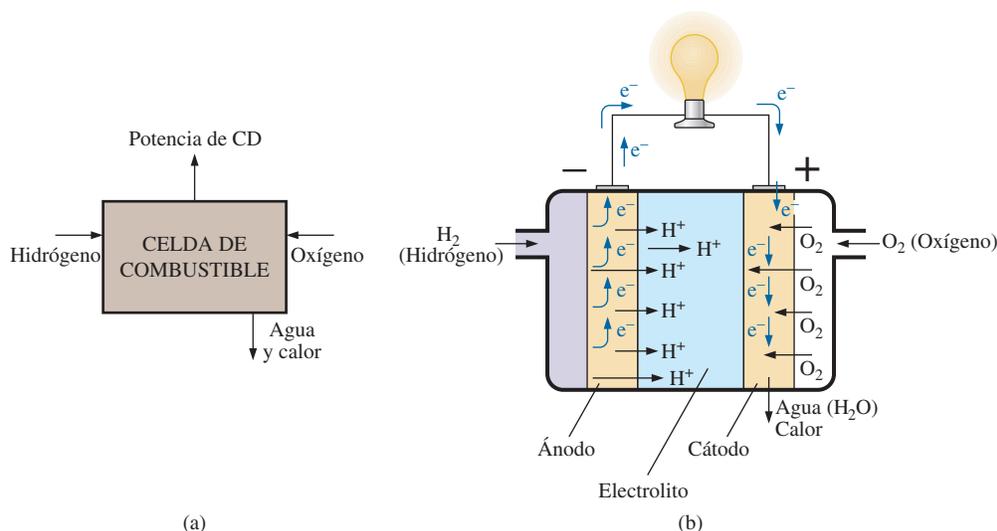
## Celdas de combustible

Uno de los desarrollos más emocionantes en años recientes han sido las **celdas de combustible** como fuente alternativa de energía. Las celdas de combustible se están utilizando en pequeñas plantas eléctricas estacionarias, transporte (autobuses) y en una amplia variedad de aplicaciones en las que la portabilidad es un factor importante, como el transbordador espacial. Los principales fabricantes de automóviles están gastando millones para construir vehículos con celdas de combustible asequibles.

Las celdas de combustible ofrecen la clara ventaja de operar con eficiencias de 70 a 80% en lugar de la eficiencia común de 20 a 25% del motor de combustión interna de los automóviles de hoy día. Incluso no tienen partes móviles, producen poca o ninguna contaminación, generan muy poco ruido y utilizan combustibles como hidrógeno y oxígeno fácilmente disponibles. Las celdas de combustible se consideran celdas primarias (de la variedad de alimentación continua) pero no se les puede recargar. Retienen sus características en tanto se suministren el combustible (hidrógeno) y oxígeno a la celda. Los únicos subproductos del proceso de conversión son pequeñas cantidades de calor (el cual a veces se puede utilizar en otra parte del sistema), agua (la cual también puede ser reutilizada) y niveles insignificantes de algunos óxidos, según los componentes del proceso. Pero sobre todo, las celdas de combustible son amigables con el medio ambiente.

La operación de la celda de combustible es esencialmente opuesta a la del proceso químico de electrólisis, mediante el cual se hace pasar corriente a través de un electrolito para disgregar sus componentes fundamentales. Un electrolito es cualquier solución que permite la conducción por el movimiento de iones entre electrodos adjuntos. Por ejemplo, si hace pasar corriente a través de agua, el resultado es un gas de hidrógeno en el cátodo (terminal negativa) y gas oxígeno en el ánodo (terminal positiva). En 1839, Sir William Grove creía que este proceso podía revertirse y demostró que la aplicación apropiada del gas hidrógeno y del oxígeno produce una corriente a través de una carga aplicada conectada a los electrodos del sistema. La primera unidad comercial se utilizó en un tractor en 1959, seguida por un paquete de energía en 1965 en el programa Gemini. En 1996, se diseñó la primera pequeña planta eléctrica, y en la actualidad es un componente importante del programa del transbordador espacial.

Los componentes básicos de una celda de combustible se ilustran en la figura A2.21(a), con detalles de su construcción en la figura A2.21(b). Se suministra gas hidrógeno (el combustible) al sistema a una tasa proporcional a la corriente requerida por la carga. En el extremo opuesto de la celda se suministra oxígeno como se requiera. El resultado neto es un flujo de electrones a través de la carga y una descarga de agua con una emisión de un poco de calor desarrollado en el proceso. La cantidad de calor es mínima, aunque también se puede utilizar como componente en el diseño para mejorar la eficiencia de la celda. El agua (muy limpia) simplemente puede ser descargada o utilizada para otras aplicaciones como enfriamiento en toda la aplicación. Si se retira la fuente de hidrógeno o de oxígeno el sistema se descompone. El diagrama de flujo del sistema es relativamente sencillo, como se muestra en la figura A2.21(a). En una celda real, como la que se muestra en la figura A2.21(b), el gas hidrógeno se aplica a un electrodo poroso llamado *ánodo* el cual está recubierto con un catalizador de platino. El catalizador en el ánodo acelera el proceso de descomposición del átomo de hidrógeno en iones de hidrógeno positivos y electrones libres. El electrolito entre los electrodos es una solución o membrana que permite el paso de iones de hidrógeno positivos pero no de electrones. Al enfrentarse a esta pared, los electrones eligen pasar a través de la carga y encender el foco, en tanto que los iones de hidrógeno positivos migran hacia el cátodo. En el cátodo poroso (también recubierto con el catalizador), los átomos de oxí-


**FIG. A2.21**

*Celda de combustible (a) componentes; (b) construcción básica.*

geno que llegan se combinan con los iones de hidrógeno que también arriban y los electrones del circuito para generar agua ( $H_2O$ ) y calor. El circuito, por consiguiente, está completo. Se generan electrones y luego son absorbidos. Si se interrumpe el suministro de hidrógeno, la fuente de electrones se detiene, y el sistema deja de ser una celda de combustible operante.

En algunas celdas de combustible, se utiliza un líquido o una membrana de electrolito fundido. Dependiendo de qué sistema se utilice, las reacciones químicas cambiarán un poco pero no de forma dramática con respecto a las que se acaban de describir. La celda de combustible de ácido fosfórico es una celda popular que utiliza un electrolito líquido, mientras que la PEM utiliza una membrana de electrolito de polímero. Por lo común, el tipo líquido o fundido se utiliza en plantas eléctricas estacionarias, en tanto que las de tipo membrana se utilizan en vehículos.

El rendimiento de una sola celda de combustible es una salida de bajo voltaje y alta corriente de cd. Colocando las celdas en serie o en paralelo se incrementa el voltaje de salida o nivel de corriente.

Las celdas de combustible están recibiendo una gran atención y esfuerzo de desarrollo. Es ciertamente posible que las celdas de combustible algún día puedan reemplazar a las baterías en la mayoría de las aplicaciones que requieran una fuente de energía portátil. La figura A2.22 muestra los componentes de un automóvil de celda de combustible.

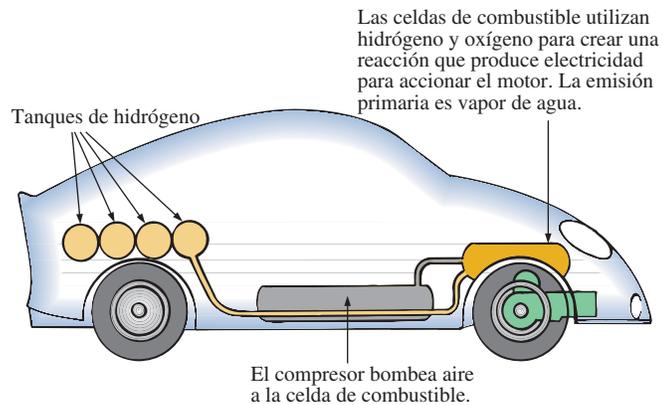


FIG. A2.22  
Automóvil de celda de combustible de hidrógeno.

## A2.6 CAPACIDAD DE AMPERES-HORA

La pieza de información más importante para cualquier batería (además de su valor de voltaje) es su **capacidad de amperes-hora (Ah)**. Probablemente ha observado en las fotografías de baterías de este texto que en cada batería aparecen tanto el valor de voltaje como el de amperes-hora.

*La capacidad de amperes-hora (Ah) indica durante cuánto tiempo una batería de voltaje fijo será capaz de suministrar una corriente particular.*

En teoría, una batería con una capacidad de amperes-hora de 100 proporcionará una corriente de 1 A durante 100 horas, 10 A durante 10 horas, o 100 A durante 1 hora. Desde luego, cuanto más grande es la corriente, más corto es el tiempo. Una ecuación para determinar cuánto tiempo una batería suministrará una corriente en particular es la siguiente:

$$\text{Duración (horas)} = \frac{\text{valor de amperes-hora (Ah)}}{\text{amperes absorbidos (A)}} \quad (\text{A2.8})$$



**EJEMPLO A2.5** ¿Cuánto tiempo una batería de 9 V con una capacidad de amperes-hora de 520 mAh proporcionará una corriente de 20 mA?

**Solución:** Ecuación (A2.8): Duración =  $\frac{520 \text{ mAh}}{20 \text{ mA}} = \frac{520}{20} \text{ h} = 26 \text{ h}$

**EJEMPLO A2.6** ¿Cuánto tiempo puede una batería de linterna de 1.5 V proporcionar una corriente de 250 mA para encender el foco, si la capacidad de amperes-hora es de 16 Ah?

**Solución:** Ec. (A2.8): Duración =  $\frac{16 \text{ Ah}}{250 \text{ mA}} = \frac{16}{250 \times 10^{-3}} \text{ h} = 64 \text{ h}$

## A2.7 FACTORES DE DURACIÓN DE UNA BATERÍA

La sección anterior dejó claro que la duración de una batería está relacionada directamente con la magnitud de la corriente absorbida de la fuente. Sin embargo, hay factores que afectan la capacidad de amperes-hora proporcionada de una batería, por lo que podemos encontrar que una batería con una capacidad de amperes-hora de 100 puede suministrar una corriente de 10 A durante 10 horas, pero puede suministrar una corriente de 100 A durante sólo 20 minutos en vez de la hora completa que se calculara utilizando la ecuación (A2.8). En otras palabras,

*la capacidad de una batería (en amperes-hora) cambiará con el cambio en la demanda de corriente.*

Esto no quiere decir que la ecuación (A2.8) sea del todo inválida. Siempre se le puede utilizar para tener una idea de cuánto tiempo una batería puede suministrar una corriente particular. Sin embargo, hay que tener presente que hay factores que afectan la capacidad de amperes-hora. Tal como con la mayoría de los sistemas, incluido el cuerpo humano, cuanto más grande es la demanda, más corto es el tiempo que puede mantenerse el nivel de salida. Las curvas de la figura A2.23 comprueban esto con claridad para la celda D Eveready Energizer. A medida que se incrementa la carga de corriente constante, la capacidad de amperes-hora se reduce desde aproximadamente 18 Ah a 25 mA hasta alrededor de 12 Ah a 300 mA.

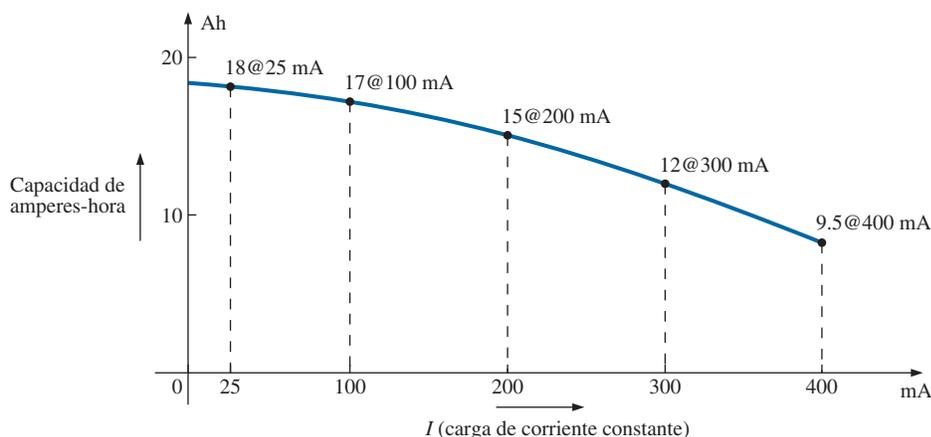


FIG. A2.23

Capacidad de amperes-hora contra corriente de carga de una celda D Energizer®.

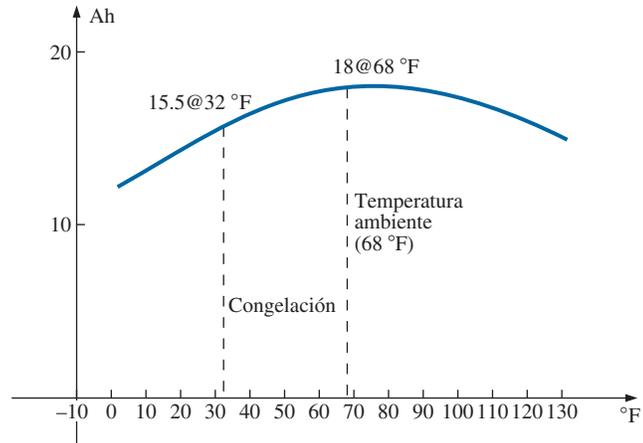


FIG. A2.24

*Capacidad de amperes-hora contra temperatura para una celda D Energizer®.*

Otro factor que afecta la capacidad de amperes-hora es la temperatura de la unidad y el medio circundante. En la figura A2.24, la capacidad de la misma batería que se muestra en la figura A2.23 muestra un valor máximo cerca de la temperatura ambiente de 68 °F. A temperaturas muy frías y muy calientes, la capacidad disminuye. Desde luego, la capacidad de amperes-hora se proporcionará a o cerca de la temperatura ambiente para darle un valor máximo, pero tenga en cuenta que se reducirá ante un incremento o disminución de temperatura. La mayoría hemos observado que la batería de un automóvil, radio, radio de dos vías, linterna, etcétera, parece tener menos potencia en un clima realmente frío. Parecería, entonces, que la capacidad de la batería aumentaría a temperaturas más altas, lo que, sin embargo, no siempre es el caso. Por consiguiente,

*la capacidad de amperes-hora de una batería se reducirá a partir del nivel a temperatura ambiente con temperaturas muy frías y muy calientes.*

Otro factor interesante que afecta el desempeño de una batería, es cuánto tiempo se le exige que suministre un voltaje particular con una corriente de carga continua. Observe las curvas en la figura A2.25, donde el voltaje terminal se redujo con cada nivel de corriente de absorción a medida que transcurre el tiempo de descarga. Cuanto más baja sea la absorción de corriente, más

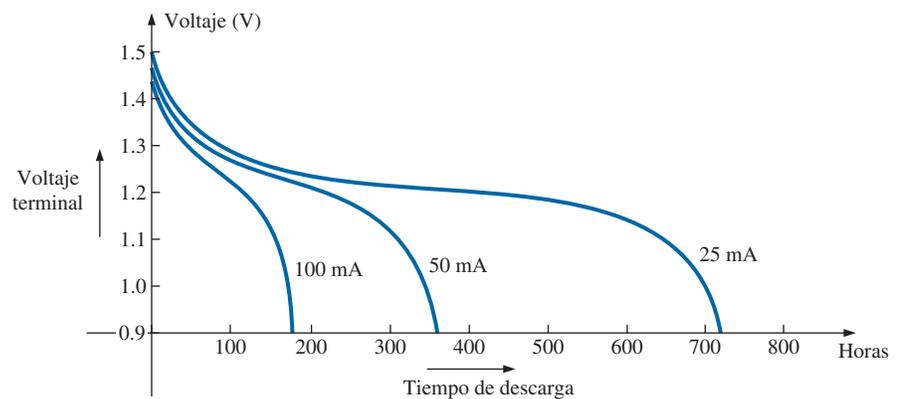


FIG. A2.25

*Voltaje terminal contra tiempo de descarga con corrientes de drenaje específicas de una celda D Energizer®.*



tiempo podría suministrar la corriente deseada. En 100 mA estaba limitado a casi 100 horas cerca del voltaje nominal, pero a 25 mA, no se redujo por debajo de 1.2 V sino hasta después de aproximadamente 500 horas. Es decir un incremento en el tiempo de 5:1, lo cual es significativo. El resultado es que

*el voltaje terminal de una batería se reducirá con el tiempo (en cualquier nivel de absorción de corriente) si el periodo de descarga continua es demasiado largo.*

## A2.8 CONDUCTORES Y AISLANTES

Diferentes cables colocados a través de las mismas dos terminales de una batería permiten que fluyan diferentes cantidades de carga entre las terminales. Muchos factores, como la densidad, la movilidad y las características de estabilidad de un material, explican estas variaciones del flujo de carga. Sin embargo,

*los conductores son aquellos materiales que permiten un flujo generoso de electrones con muy poca fuerza externa (voltaje) aplicada.*

Además,

*los buenos conductores suelen tener sólo un electrón en el anillo (más alejado del núcleo) de valencia.*

Como el **cobre** se utiliza con más frecuencia, sirve como estándar de comparación de la conductividad relativa en la tabla A2.1. Observe que el aluminio, el cual ha encontrado un cierto uso comercial, tiene sólo 60% del nivel de conductividad del cobre. Sin embargo, la selección del material se debe ponderar contra los factores de costo y peso.

*Los aislantes son aquellos materiales que tienen muy pocos electrones libres y que requieren un gran potencial aplicado (voltaje) para establecer un nivel de corriente medible.*

Un uso común del material aislante es para recubrir alambre que transportan corriente, los cuales, si no están aislados podrían provocar efectos secundarios peligrosos. Los trabajadores de líneas eléctricas utilizan guantes de hule y se paran sobre tapetes de hule como medidas de seguridad cuando trabajan con líneas de transmisión de alto voltaje. En la figura A2.26 aparecen algunos tipos diferentes de aislantes y sus aplicaciones

Tenga en cuenta, sin embargo, que incluso el mejor aislante se romperá (y permitirá que fluya carga a través de él) si a través de él se aplica un potencial suficientemente grande. Las fuerzas de ruptura de algunos aislantes

TABLA A2.1  
Conductividad relativa de varios materiales.

Metal	Conductividad relativa (porcentaje)
Plata	105
Cobre	<b>100</b>
Oro	70.5
Aluminio	61
Tungsteno	31.2
Níquel	22.1
Hierro	14
Constantán	3.52
Nicromo	1.73
Calorita	1.44

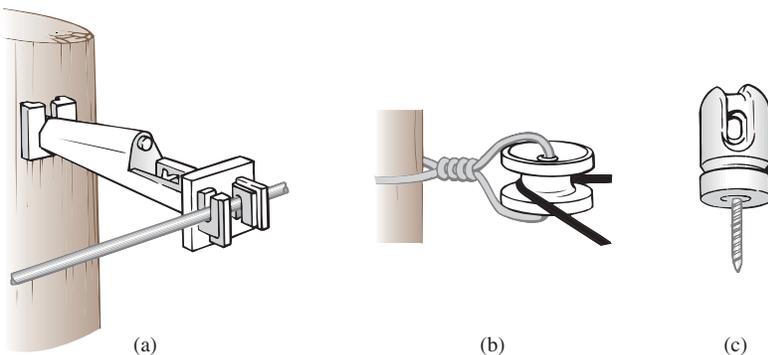


FIG. A2.26

Varios tipos de aislantes y sus aplicaciones. (a) Aislante extensible Fi-Shock; (b) Aislante de esquina Fi-Shock; (c) Aislante de pija Fi-Shock.

TABLA A2.2

Fuerza de ruptura de algunos aislantes comunes.

Material	Fuerza de ruptura promedio (kV/cm)
Aire	30
Porcelana	70
Aceites	140
Bakelita®	150
Hule	270
Papel (cubierta de parafina)	500
Teflón®	600
Vidrio	900
Mica	2000

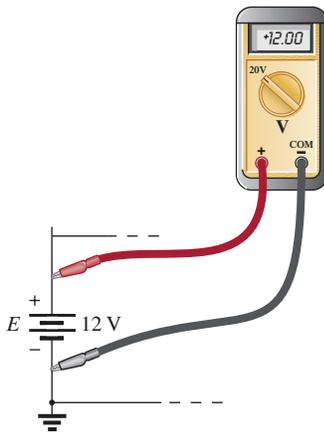


FIG. A2.27

Conexión de un voltímetro para una lectura (+) de escala alta.

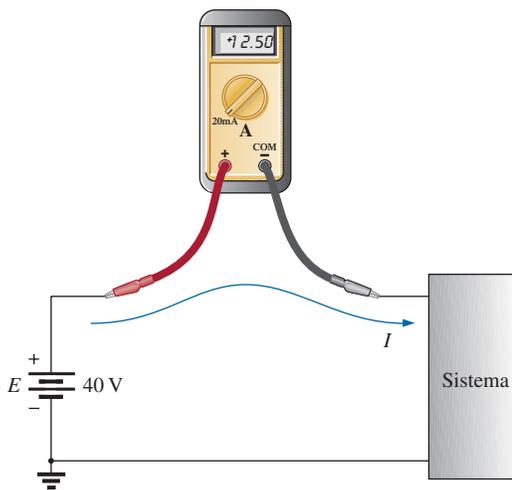


FIG. A2.28

Conexión de un amperímetro para una lectura de escala alta (+).

comunes se enuncian en la tabla A2.2. De acuerdo con esta tabla, para aislantes con la misma forma geométrica se requerirían  $270/30 = 9$  veces este potencial para que la corriente pase a través del hule que a través del aire, y aproximadamente 67 veces el voltaje para que la corriente pase a través de la mica que a través del aire.

## A2.9 SEMICONDUCTORES

*Los semiconductores son un grupo específico de elementos que exhiben características entre las de los aislantes y las de los conductores.*

El prefijo, *semi*, incluido en la terminología, está definido en el diccionario como *medio*, *parcial* o *entre*, según su uso. Toda la industria electrónica depende de esta clase de materiales puesto que los dispositivos electrónicos y los circuitos integrados (CI) se construyen con materiales semiconductores. Aunque el *silicio* (Si) es el material más utilizado, el *germanio* (Ge) y el *arseniuro de galio* (GaAs) también se utilizan en muchos dispositivos importantes.

*Por lo común, los materiales semiconductores tienen cuatro electrones en el anillo de valencia más externo.*

Los semiconductores se caracterizan además por ser fotoconductores y por tener un coeficiente de temperatura negativo. La fotoconductividad es un fenómeno en el cual los fotones (pequeños paquetes de energía) de la luz incidente pueden incrementar la densidad portadora en el material y, por ende, el nivel de flujo de carga. Un coeficiente de temperatura negativo indica que la resistencia (una característica que se describirá minuciosamente en el siguiente anexo) se reduce con un aumento en la temperatura (opuesto al de la mayoría de los conductores). Acerca de los semiconductores se hablará mucho de ellos en el anexo siguiente, en los primeros capítulos del libro, y en sus cursos básicos de electrónica.

## A2.10 AMPERÍMETROS Y VOLTÍMETROS

Es importante ser capaz de medir los niveles de corriente y voltaje de un sistema eléctrico en operación para verificar su funcionamiento, aislar las disfunciones e investigar los efectos imposibles de predecir en documentos. Como sus nombres lo indican, los **amperímetros** se utilizan para medir niveles de corriente; con los **voltímetros**, se mide la diferencia de potencial entre dos puntos. Si los niveles de corriente suelen estar en miliamperes, al instrumento para su medición se le conocerá como *miliamperímetro*, y si esos mismos niveles están en el rango de microamperes, el instrumento será el *microamperímetro*. Lo mismo se puede decir de los niveles de voltaje. En la industria, los niveles de voltaje se miden con más frecuencia que los niveles de corriente, sobre todo porque la medición de los primeros no implica perturbar las conexiones de la red.

La diferencia de potencial entre dos puntos se mide conectando los cables del medidor a través de los dos puntos, como se indica en la figura A2.27. Una lectura de escala alta se obtiene conectando el cable positivo del medidor al punto de mayor potencial de la red y el cable común o negativo al punto de menor potencial. La conexión inversa da por resultado una lectura negativa o una indicación por debajo de cero.

Los amperímetros se conectan como se muestra en la figura A2.28. Como los amperímetros miden el flujo de carga, el medidor debe colocarse en la red de modo que la carga fluya a través del medidor. La única forma en que esto puede hacerse es abrir la trayectoria donde se va a medir la corriente y colocar el medidor entre las dos terminales resultantes. Para la configuración de la figura A2.28, el cable (+) de la fuente de voltaje debe desconectarse del

sistema e insertar el amperímetro como se muestra. Se obtendrá una lectura de escala alta si las polaridades en las terminales del amperímetro son tales que la corriente del sistema entre por la terminal positiva.

La introducción de cualquier medidor en un sistema eléctrico o electrónico plantea una preocupación sobre si el medidor afectará el comportamiento del sistema. Esta pregunta y otras se examinarán en los anexos 4 y 5 una vez que se hayan presentado términos y conceptos adicionales. Por el momento podemos decir que como los voltímetros y amperímetros no tienen componentes internos, sí afectarán la red cuando se introduzcan para propósitos de medición. El diseño de los medidores, sin embargo, es tal que el impacto es mínimo.

Existen instrumentos diseñados para medir sólo niveles de corriente o sólo niveles de voltaje. Sin embargo, los medidores de laboratorio más comunes incluyen el *miliamperímetro volt-ohm (VOM)* y el *multímetro digital (DMM)*, mostrados en las figuras A2.29 y A2.30, respectivamente. Ambos instrumentos miden voltaje y corriente y una tercera cantidad, la resistencia (que se presenta en el siguiente anexo). El VOM utiliza una escala analógica, la cual requiere interpretar la posición de una aguja sobre una escala continua, en tanto que el DMM proporciona una pantalla de números con precisión de decimales determinada por la escala seleccionada. A lo largo del texto se harán comentarios sobre las características y uso de varios medidores. Sin embargo, el estudio principal de los medidores se dejará para las sesiones de laboratorio.

## A2.11 APLICACIONES

A lo largo del texto se han incluido secciones de aplicaciones como ésta para permitir una investigación más a fondo de los términos, cantidades o sistemas presentados. El propósito principal de estas aplicaciones es vincular los conceptos teóricos del texto con el mundo real. Aunque es posible que no se haya introducido la mayoría de los componentes que aparecen en un sistema (y, de hecho, algunos componentes no se examinarán hasta estudios más avanzados), los temas se seleccionaron con cuidado y deberán ser bastante interesantes para todo estudiante nuevo en la materia. Se incluyen suficientes comentarios para tener una idea superficial del rol de cada una de las partes del sistema, con el entendimiento de que los detalles llegarán más tarde. Como los ejercicios sobre la materia de las aplicaciones no aparecen al final del texto, el contenido está diseñado no para desafiar al estudiante sino para estimular su interés y responder algunas preguntas básicas, por ejemplo, cómo se ve el sistema por dentro, qué rol específico desempeñan los elementos en el sistema, y, por supuesto, cómo funciona el sistema. En efecto, cada sección de aplicaciones brinda la oportunidad de establecer un conocimiento práctico más allá del contenido en el texto. No se preocupe si no entiende todos los detalles de cada aplicación, cuya comprensión llegará con el tiempo y la experiencia. Por ahora, asimile cuanto pueda de los ejemplos y luego prosiga con el material.

## Linterna

Aunque la linterna utiliza uno de los circuitos eléctricos más sencillos, algunos fundamentos sobre su operación nos llevan a sistemas más complejos. En primer lugar, y bastante obvio, es un sistema de cd con una duración totalmente dependiente del estado de las baterías y del foco. A menos que sea recargable, cada vez que se utiliza se le resta algo de duración. Durante muchas horas la brillantez no se reducirá de manera notable. Sin embargo, a



FIG. A2.29  
*Miliamperímetro analógico Volt-ohm (VOM).*  
(Cortesía de Simpson Electric Co.).



FIG. A2.30  
*Multímetro digital (DMM).*  
(Cortesía de Fluke Corporation.  
Reproducida con permiso).

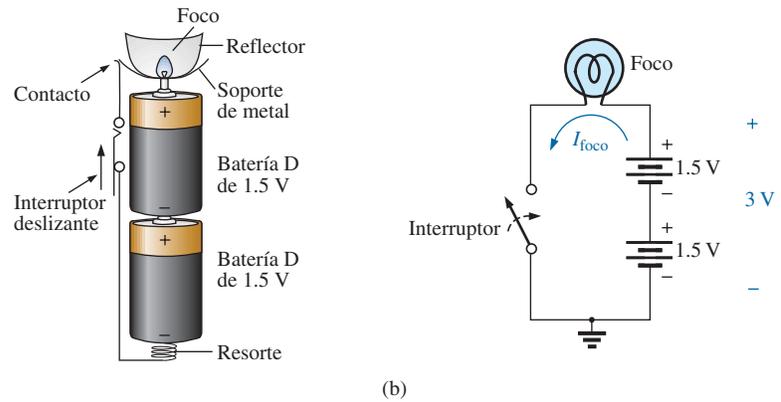


FIG. A2.31

(a) Linterna de celdas D Eveready®; (b) esquema eléctrico de la linterna de la parte (a); y (c) batería D Duracell® Powercheck™.

medida que llega al final de su capacidad de amperes-hora, la luz palidece cada vez más rápido (casi exponencialmente). En la figura A2.31(a) se muestra la linterna de dos baterías estándar junto con su esquema eléctrico en la figura A2.31(b). Cada batería de 1.5 V tiene una capacidad de amperes-hora de aproximadamente 18, como se indica en la figura A2.12(b). El contacto único entre el soporte de metal miniatura y la base del foco tiene un voltaje de 2.5 V y un amperaje de 300 mA con buena brillantez y duración de aproximadamente 30 horas. Treinta horas puede no ser considerada como una larga duración, pero tiene que considerar cuánto tiempo usa una linterna en cada ocasión. Si suponemos que el foco consume 300 mA de la batería cuando está en uso, la duración de la batería, según la ecuación (A2.8) es de aproximadamente 60 horas. Comparando la duración de 60 horas de la batería con la duración esperada de 30 horas del foco, vemos que por lo común tenemos que reemplazar focos con más frecuencia que baterías.

No obstante, la mayoría hemos experimentado el efecto contrario. Podemos cambiar baterías dos o tres veces antes de que tengamos que reemplazar el foco. Esto es simplemente un ejemplo de que no podemos guiarnos sólo por las especificaciones de cada componente de un diseño eléctrico. Deben considerarse las condiciones de operación, las características terminales, y los detalles sobre la respuesta concreta del sistema durante lapsos cortos y largos. Como antes se mencionó, la batería pierde algo de su potencia cada vez que se utiliza. Aunque es posible que el voltaje terminal no cambie mucho al principio, su capacidad de proporcionar el mismo nivel de corriente se reduce con cada uso. Además, las baterías se descargan lentamente debido a “corrientes de fuga” incluso si el interruptor no está en la posición de encendido. El aire en torno a la batería no está “limpio” en el sentido de que la humedad y otros elementos presentes en el aire pueden crear una trayectoria de conducción para las corrientes de fuga a través del aire y a través de la batería misma, o a través de superficies cercanas, y a la larga la batería se descarga. ¿Qué tan a menudo hemos dejado una linterna con baterías nuevas en el automóvil durante mucho tiempo, sólo para darnos cuenta que su luz está muy débil o que las baterías están descargadas cuando más la necesitamos? Otro problema son las fugas de ácido que aparecen como manchas cafés o corrosión en la cubierta de la batería. Estas fugas también afectan la duración de la batería. Además, cuando se enciende la linterna, hay una oleada inicial de corriente que descarga la batería aún más que

el uso continuo durante algún tiempo. En otras palabras, el encendido y apagado continuos de la linterna causan un efecto muy perjudicial en su duración. También debemos tener en cuenta que la capacidad de 30 horas del foco es para uso continuo, es decir, con 300 mA fluyendo a través del foco durante 30 horas continuas. Ciertamente, el filamento del foco y éste se calentarán más con el tiempo, y este calor tiene un efecto perjudicial sobre el filamento. Cuando la linterna se enciende y apaga, el foco tiene la oportunidad de enfriarse y de recuperar sus características normales, con lo cual se evita cualquier daño real. Por consiguiente, con el uso normal, podemos esperar que el foco dure más de las 30 horas especificadas para uso continuo.

Aun cuando el bulbo está valorado para que opere a 2.5 V, parecería que las dos baterías producirían un voltaje aplicado de 3 V, lo que sugiere condiciones de operación deficiente. Sin embargo, un foco para 2.5 V puede manejar con facilidad 2.5 V o 3 V. Además, como se señaló en este anexo, el voltaje terminal se reduce con la demanda y uso de corriente. En condiciones de operación normales, se considera que una batería de 1.5 V está en buenas condiciones si el voltaje terminal con carga es de 1.3 a 1.5 V. Cuando se reduce al rango de 1 a 1.1 V, está débil, y cuando lo hace al rango de 0.8 a 0.9 V, ha perdido su efectividad. Los niveles pueden relacionarse directamente con la banda de prueba que ahora aparece en las baterías “Duracell®” como las que se muestran en la figura A2.31(c). En la banda de prueba de esta batería, el área de voltaje alto (en color verde) está cerca de 1.5 V (etiquetada a 100%); el área más clara a la derecha, desde aproximadamente 1.3 hasta 1 V, y el área de reemplazar (en color rojo) en la extrema derecha, por debajo de 1 V.

Tenga en cuenta que el voltaje total suministrado de 3 V se obtendrá sólo si las baterías se conectan como se muestra en la figura A2.31(b). Si accidentalmente se colocan las dos terminales positivas juntas se tendrá un voltaje de 0 V, y el foco no encenderá. *Para la mayoría de sistemas con más de una batería, la terminal positiva de una batería siempre se conectará a la terminal negativa de otra. En el caso de baterías de bajo voltaje, el extremo del niple es la terminal positiva, y el extremo plano es la terminal negativa. Además, el extremo plano o negativo de una batería siempre se conecta a su funda con un resorte helicoidal para mantener las baterías en su lugar. El extremo positivo de la batería siempre se conecta a una conexión de muelle plana o al elemento que se va a operar.* Si examinamos con cuidado el foco, veremos que el niple conectado al extremo positivo de la batería está aislado de la funda alrededor de la base del foco. La funda es la segunda terminal de la batería utilizada para completar el circuito con el interruptor de encendido/apagado.

Si una linterna deja de funcionar sin ningún problema aparente, lo primero que hay que revisar es el estado de las baterías. Es mejor reemplazar las dos a la vez. Un sistema con una batería buena y una casi al final de su vida útil, presionará a la buena para que suministre la demanda de corriente y, en realidad, la batería mala consumirá a la buena. A continuación, revise el foco para ver si el filamento se abrió en algún punto a causa de un nivel de corriente continuo de larga duración, o porque se haya dejado caer la linterna. Si la batería y el foco parecen estar bien, la siguiente área de interés son los contactos entre la terminal positiva, el foco, y el interruptor. Una limpieza de ambos con lija casi siempre elimina el problema.

## Cargador de baterías automotrices de 12 V

Los cargadores de baterías son una pieza de equipo doméstico común, que se utilizan para cargar todo, desde pequeñas baterías de linterna hasta baterías marinas y de plomo-ácido para trabajo pesado. Como todos se enchufan en una toma de corriente de ca de 120 V como la de una casa, su construcción

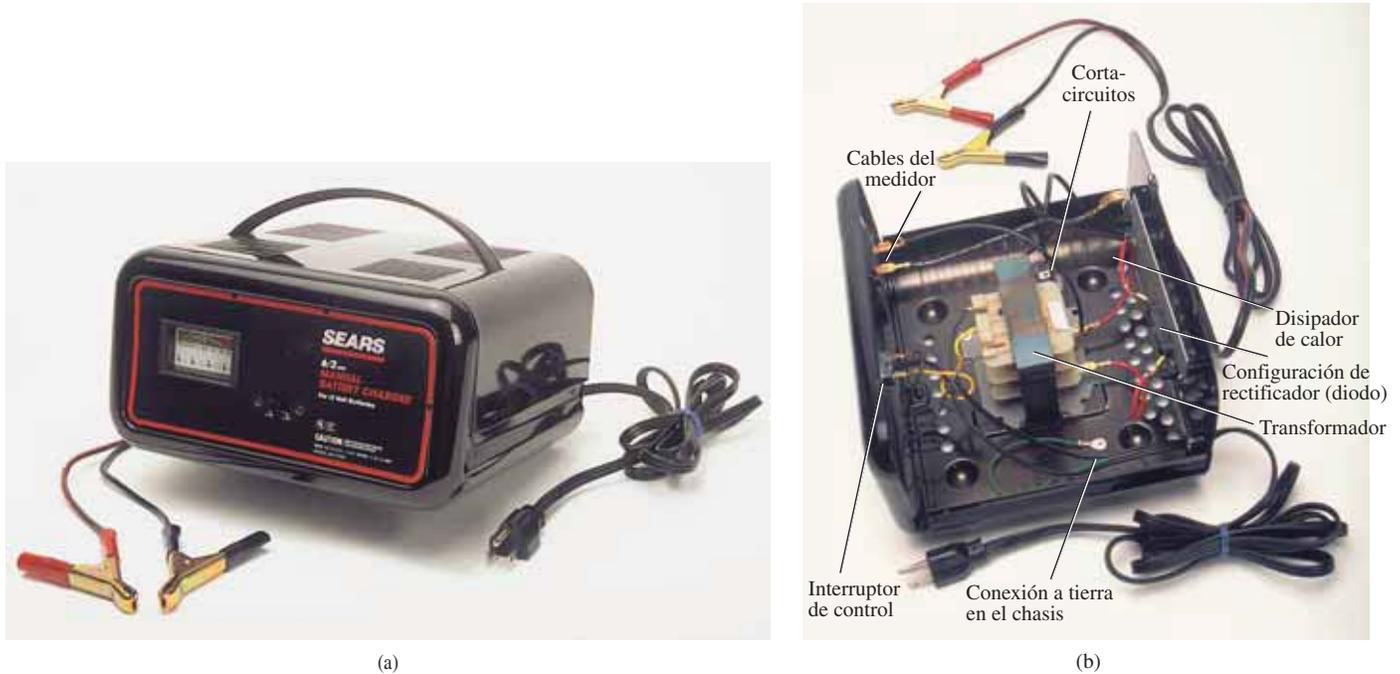


FIG. A2.32  
Cargador de batería; (a) apariencia externa; (b) construcción interna.

básica es prácticamente semejante. En todo sistema de carga se debe incluir un *transformador* (capítulo 17) para recortar el voltaje de ca a un nivel apropiado para el nivel de cd que se va a establecer. Debe incluirse una configuración de *diodo* (también llamado *rectificador*) para convertir el voltaje de ca, el cual cambia con el tiempo, en un nivel de cd fijo, como se describe en este anexo. Los diodos o rectificadores se analizarán detenidamente en su primer curso de electrónica. Algunos cargadores también incluyen un *regulador* para mejorar el nivel de cd (uno que varíe menos con el tiempo o carga). A continuación se describe el cargador de baterías automotriz, uno de los más comunes.

La figura A2.32 presenta la apariencia externa y la construcción interna de un Cargador de Baterías Manual Sears 6/2 AMP. Observe en la figura A2.32(b) que el transformador (como en la mayoría de los cargadores) ocupa la mayor parte del espacio interno. El espacio vacío adicional y los agujeros en la caja están ahí para que se disipe el calor que se desarrollará debido a los niveles de corriente resultantes.

El esquema en la figura A2.33 incluye todos los componentes básicos del cargador. Observe primero que los 120 V de la toma de corriente se aplican directamente a través del primario del transformador. La tasa de carga de 6 o 2 A se determina con el interruptor, el cual simplemente controla cuántas vueltas del primario estarán en el circuito para la tasa de carga seleccionada. Si la batería se carga al nivel de 2 A, todo el primario estará en el circuito, y la relación de vueltas en el primario con las vueltas en el secundario será máxima. Si se está cargando a un nivel de 6 A, habrá pocas vueltas del primario en el circuito, y la relación se reduce. Si la relación del primario al secundario se reduce, el voltaje también lo hace. El efecto contrario ocurre si las vueltas en el secundario exceden las del primario. (Puede consultar lo referente a los transformadores en el capítulo 17 del libro, donde verá que el voltaje en el primario y el secundario está en relación directa con la *relación de vueltas*).

La apariencia general de las formas de onda se presenta en la figura A2.33 con el nivel de carga de 6 A. Observe que hasta ahora el voltaje de ca

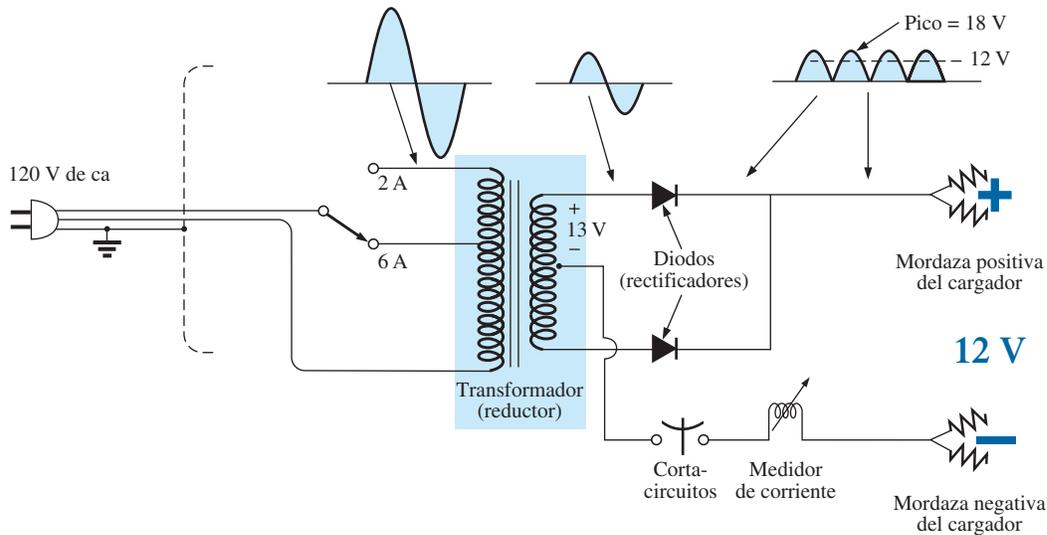


FIG. A2.33

Esquema eléctrico del cargador de baterías de la figura A2.32.

tiene la misma forma de onda a través del primario y del secundario. La única diferencia está en el valor pico de las formas de onda. Ahora los diodos se hacen cargo y convierten la forma de onda de ca, la cual tiene un valor promedio de cero (la forma de onda de arriba es igual a la de abajo), en una que tiene un valor promedio (toda sobre el eje) como se muestra en la misma figura. Por el momento basta que reconozca que los diodos son dispositivos electrónicos semiconductores que permiten que fluya a través de ellos sólo corriente convencional en la dirección indicada por la flecha en el símbolo. Aun cuando la forma de onda resultante por la acción del diodo tiene una apariencia pulsante con un valor pico de aproximadamente 18 V, carga la batería de 12 V siempre que su voltaje sea mayor que el de la batería, como se muestra por medio del área sombreada. Por debajo del nivel de 12 V, la batería no puede descargarse de vuelta hacia la red de carga porque los diodos permiten que la corriente fluya en sólo una dirección.

En particular, observe en la figura A2.32(b) la gran placa que transporta la corriente desde la configuración del rectificador (diodo) hasta la terminal positiva de la batería. Su propósito principal es funcionar como *disipador de calor* (un lugar para que el calor se distribuya al aire circundante) para la configuración del diodo. De lo contrario, con el tiempo los diodos se fundirían y se autodestruirían debido a los niveles de corriente resultantes. Como referencia, cada componente de la figura A2.33 se rotuló con cuidado en la figura A2.32(b).

Cuando se aplica corriente por primera vez a una batería con la tasa de carga de 6 A, la demanda de corriente indicada por el medidor puede elevarse a 7 o a casi 8 A. Sin embargo, el nivel de la corriente se reduce a medida que la batería se carga hasta que se reduce a un nivel de 2 o de 3 A. En unidades como ésta que no se apagan automáticamente, es importante desconectar el cargador cuando la corriente llega al nivel de carga total; de lo contrario, la batería se sobrecarga y puede dañarse. Una batería que está en un nivel de 50% puede requerir hasta 10 horas para cargarse, de modo que no espere que sea una operación de 10 minutos. Además, si una batería está en muy mala forma con un voltaje menor que el normal, la corriente de carga inicial puede ser demasiado alta para el diseño. Como protección ante tales situaciones, el cortacircuito se abre y detiene el proceso de carga. Debido a los niveles de alta corriente, es importante que las instrucciones proporcionadas con el cargador se lean y apliquen con cuidado.

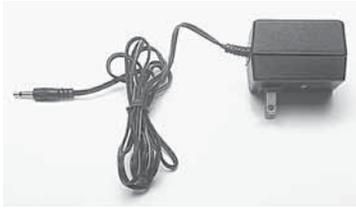


FIG. A2.34

Fuente de 9 V de cd para máquina contestadora o teléfono.



FIG. A2.35

Construcción interna de la fuente de 9 V de cd en la figura A2.34.

## Fuente de cd de máquinas contestadoras y teléfonos

Una amplia variedad de sistemas en el hogar y la oficina reciben su voltaje de operación de un sistema de conversión ca/cd enchufado directamente en una toma de corriente de ca de 120 V. Las computadoras portátiles, las máquinas contestadoras y teléfonos, los radios, los relojes, los teléfonos celulares, los reproductores de discos compactos (CD), etcétera, reciben su potencia de cd de un sistema encapsulado como el que se muestra en la figura A2.34. La conversión de ca en cd ocurre dentro de la unidad, la cual se enchufa directamente en la toma de corriente. El voltaje de cd está disponible al final del cable, el cual está diseñado para enchufarse en la unidad en operación. Tan pequeña como puede ser la unidad, contiene básicamente los mismos componentes que el cargador de baterías de la figura A2.32.

En la figura A2.35, puede ver el transformador que se utiliza para reducir el voltaje a niveles apropiados (de nuevo el componente más grande del sistema). Observe que los dos diodos establecen un nivel de cd y se agrega un filtro capacitivo (vea el capítulo 5 del libro) para alisar la cd como se muestra. El sistema puede ser relativamente pequeño debido a que los niveles de corriente de operación son bastante pequeños, lo que permite utilizar alambres delgados para construir el transformador y limitar su tamaño. Las corrientes bajas también reducen el calentamiento, lo que permite una estructura de alojamiento más pequeña. La unidad de la figura A2.35, de 9 V a 200 mA, se utiliza comúnmente para proporcionar potencia a máquinas contestadoras y teléfonos. El voltaje de cd se alisa más con un regulador incorporado a la unidad receptora. Normalmente el regulador es un pequeño chip de circuito integrado colocado en la unidad receptora para separar el calor que ésta genera del calor que genera el transformador, con lo cual se reduce el calor neto a la salida cercana a la pared. Además, su colocación en la unidad receptora reduce la posibilidad de captar ruido y oscilaciones a lo largo del cable de la unidad de conversión a la unidad de operación, y garantiza que el voltaje nominal completo esté disponible en la unidad misma, no a un valor menor debido a pérdidas a lo largo de la línea.

## A2.12 ANÁLISIS CON COMPUTADORA

En algunos textos, el procedimiento para seleccionar una fuente de voltaje de cd y colocarla en el esquema por medio de métodos de computadora se presenta en este punto. Sin embargo, este método requiere que los estudiantes regresen a este anexo para el procedimiento cuando se instale y examine la primera red completa. Por consiguiente, el procedimiento se presenta en el capítulo 1 del libro cuando se examina la primera red completa, y de este modo se ubica el material y se elimina la necesidad de volver a leer tanto este anexo como el anexo 3.

## PROBLEMAS

### SECCIÓN A2.2 Los átomos y su estructura

1. a. Los números de átomos en órbita en el aluminio y la plata son 13 y 47, respectivamente. Trace la configuración electrónica para cada uno y explique brevemente por qué cada uno es un buen conductor.
  - b. Utilizando Internet, encuentre la estructura atómica del oro, y explique por qué es un excelente conductor de la electricidad.
2. Determine la fuerza de atracción en newtons entre las cargas  $Q_1$  y  $Q_2$  en la figura A2.36 cuando
  - a.  $r = 1$  m
  - b.  $r = 3$  m
  - c.  $r = 10$  m
  - d. ¿Se reduce con rapidez la fuerza con un aumento en la distancia?

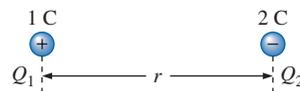


FIG. A2.36  
Problema 2.



- \*3. Determine la fuerza repelente en newtons entre  $Q_1$  y  $Q_2$  en la figura A2.37 cuando
- $r = 1$  m
  - $r = 10$  pies
  - $r = 1/16$  pulg.

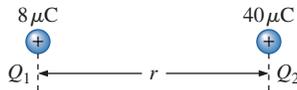


FIG. A2.37  
Problema 3.

- \*4. a. Trace la fuerza de atracción (en newtons) contra la separación (en pulgadas) entre dos cargas distintas de  $2 \mu\text{C}$ . Aplique un rango de 1 a 10 pulg. en incrementos de 1 pulg. Comente sobre la forma de la curva. ¿Es lineal o no lineal? ¿Qué le indica respecto al trazo de una función cuya magnitud se ve afectada por un término al cuadrado en el denominador de la ecuación?
- b. Utilizando la curva del inciso (a), determine la fuerza de atracción con una separación de 2.5 pulg.
- c. Calcule la fuerza de atracción con una separación de 2.5 pulg. y compare con el resultado del inciso (b).
- \*5. Para dos cargas similares, la fuerza  $F_1$  existe para una separación de  $r_1$  metros. Si la distancia se aumenta a  $r_2$ , determine el nuevo nivel de  $F_2$  en función de la fuerza original y la distancia implicada.
- \*6. Determine la distancia entre dos cargas de  $20 \mu\text{C}$  si la fuerza entre las dos cargas es de  $3.6 \times 10^4 \text{ N}$ .
- \*7. Dos cuerpos cargados  $Q_1$  y  $Q_2$ , cuando se separan por una distancia de 2 m, experimentan una fuerza repelente de 1.8 N.
- ¿Cuál será la fuerza repelente cuando estén a 10 m uno de otro?
  - Si la relación  $Q_1/Q_2 = 1/2$ , determine  $Q_1$  y  $Q_2$  ( $r = 10$  m).

### SECCIÓN A2.3 Voltaje

8. ¿Cuál es el voltaje entre dos puntos si se requieren 1.2 J de energía para mover  $20 \mu\text{C}$  entre los dos puntos?
9. Si la diferencia de potencial entre dos puntos es de 60 V, ¿cuánta energía se consume para llevar  $8 \mu\text{C}$  de un punto al otro?
10. Determine la carga en electrones que requiere 120  $\mu\text{J}$  de energía para ser movida a través de una diferencia de potencial de 20 mV.
11. ¿Cuánta carga pasa a través de una batería de radio de 9 V si la energía consumida es de 72 J?
- \*12. a. ¿Cuánta energía en electrón-volts se requiere para mover un billón (1 millón de millones) de electrones a través de una diferencia de potencial de 40 V?
- b. ¿Cuántos joules de energía representa el resultado del inciso (a)?
- c. Compare los resultados (a) y (b). ¿Qué puede decir sobre el uso de joules y electrón-volts como unidad de medición? ¿En qué condiciones se deben aplicar?

### SECCIÓN A2.4 Corriente

13. Determine la corriente en amperes si  $12 \mu\text{C}$  de carga pasan a través de un cable en 2.8 s.
14. Si 312 C de carga pasan a través de un cable en 2 min, determine la corriente en amperes.

15. Si hay una corriente de 40 mA durante 0.8 min, ¿cuántos coulombs de carga han pasado a través del cable?
16. ¿Cuántos coulombs de carga pasan a través de una lámpara en 1.2 min si la corriente se mantiene constante a 250 mA?
17. Si la corriente en un conductor se mantiene constante a 2 mA, ¿cuánto tiempo se requiere para que pasen  $6 \mu\text{C}$  a través del conductor?
18. Si  $21.847 \times 10^{+18}$  electrones pasan a través de un cable en 12 s, determine la corriente.
19. ¿Cuántos electrones pasan a través de un conductor en 1 min y 30 s si la corriente es de 4 mA?
20. ¿Se “fundirá” un fusible de 1 A si a través de él pasan 86 C en 1.2 min?
- \*21. Si  $0.84 \times 10^{+16}$  electrones pasan a través de un cable en 60 ms, determine la corriente.
- \*22. ¿Qué preferiría?
- ¿Un centavo por cada electrón que pasa a través de un cable en  $0.01 \mu\text{s}$  con una corriente de 2 mA?
  - ¿O un dólar por cada electrón que pasa a través de un cable en 1.5 ns si la corriente es de  $100 \mu\text{A}$ .
- \*23. Si un conductor con una corriente de 200 mA que pasa a través del conductor convierte 40 J de energía eléctrica en calor en 30 s, ¿cuál es la caída de potencial a través del conductor?
- \*24. Está fluyendo carga a través de un conductor a razón de 420 C/min. Si 742 J de energía eléctrica se convierten en calor en 30 s, ¿cuál es la caída de potencial a través del conductor?
- \*25. La diferencia de potencial entre dos puntos en un circuito eléctrico es de 24 V. Si 0.4 J de energía se disiparon en un periodo de 5 ms, ¿cuál sería la corriente entre los dos puntos?

### SECCIÓN A2.6 Capacidad de amperes-hora

26. En teoría, ¿qué corriente proporcionará una batería con una capacidad de Ah de 200 durante 40 h?
27. ¿Cuál es la capacidad de Ah de una batería que puede proporcionar 0.8 A durante 75 h?
28. En teoría, ¿durante cuántas horas una batería con una capacidad de Ah de 32 proporcionará una corriente de 1.28 A?
29. Una batería automotriz estándar de 12 V tiene una capacidad de amperes-hora de 40 Ah, en tanto que una batería para trabajo pesado tiene una capacidad de 60 Ah. ¿Cómo compararía los niveles de energía de cada una y la corriente disponible para propósitos de arranque?
30. ¿A qué consumo de corriente se reducirá la capacidad de amperes-hora de la celda D Energizer de la figura A2.23 a 75% de su valor a 25 mA?
31. ¿Cuál es la pérdida en porcentaje de la capacidad de amperes-hora desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de congelación de la celda D Energizer de la figura A2.24?
32. Utilizando la gráfica de la figura A2.25, ¿cuánto tiempo puede mantener 1.2 V a una tasa de descarga de 25 mA comparada con una descarga a 100 mA?
- \*33. Una televisión portátil que utiliza una batería recargable de 12 V y 3 Ah puede funcionar alrededor de 6 h. ¿Cuál es la corriente promedio extraída durante este periodo? ¿Cuál es la energía consumida por la batería en joules?



### SECCIÓN A2.8 Conductores y aislantes

34. Comente dos propiedades de la estructura atómica del cobre que lo hacen ser un buen conductor.
35. Explique los términos *aislante* y *fuerza de ruptura*.
36. Mencione tres usos de los aislantes no mencionados en la sección A2.8.
37. a. Utilizando la tabla A2.2, determine el nivel del voltaje aplicado necesario para establecer la conducción a través de 1/2 pulg. de aire.  
b. Repita el inciso (a) con 1/2 pulg. de hule.  
c. Compare los resultados de los incisos (a) y (b).

### SECCIÓN A2.9 Semiconductores

38. ¿Qué es un semiconductor? ¿Cómo se compara con un conductor y un aislante?
39. Consulte un texto de electrónica sobre el semiconductor, y observe el uso extensivo de los materiales semiconductores germanio y silicio. Revise las características de cada material.

### SECCIÓN A2.10 Amperímetros y voltímetros

40. ¿Cuáles son las diferencias significativas en la forma en que se conectan los amperímetros y los voltímetros?
41. Compare las escalas analógica y digital:
  - a. ¿Con cuál se siente más cómodo? ¿Por qué?
  - b. ¿Cuál proporciona usualmente un mayor grado de precisión?
  - c. ¿Puede considerar algunas ventajas de la escala analógica sobre la escala digital? Tenga en cuenta que la mayoría de los instrumentos en la cabina de un avión o en el cuarto de control de plantas eléctricas importantes son analógicos.
  - d. ¿Cree que es necesario ser un experto en la lectura de escalas analógicas? ¿Por qué?

## GLOSARIO

**Aislantes** Materiales en los cuales se debe aplicar un voltaje muy alto para producir un flujo de corriente medible.

**Ampere (A)** Unidad de medición SI aplicada al flujo de corriente a través de un conductor.

**Amperímetro** Instrumento diseñado para leer niveles de corriente por medio de elementos en serie con el medidor.

**Capacidad de amperes-hora (Ah)** Capacidad aplicada a una fuente de energía que revelará durante cuánto tiempo puede ser absorbido un nivel particular de corriente de dicha fuente.

**Celda** Fuente básica de energía eléctrica desarrollada a través de la conversión de energía química o solar.

**Celda de combustible** Fuente no contaminante de energía que puede establecer una corriente a través de una carga mediante la simple aplicación de niveles correctos de hidrógeno y oxígeno.

**Celda primaria** Fuentes de voltaje que no pueden recargarse.

**Celda secundaria** Fuentes de voltaje que pueden recargarse.

**Celda solar** Fuentes de voltaje disponibles mediante la conversión de energía luminosa (fotones) en energía eléctrica.

**Cobre** Material cuyas propiedades físicas lo hacen particularmente útil como conductor de electricidad.

**Conductores** Materiales que permiten un flujo generoso de electrones con muy poco voltaje aplicado.

**Corriente** Flujo de carga producido por la aplicación de una diferencia en el potencial entre dos puntos en un sistema eléctrico.

**Corriente directa (cd)** Corriente que circula en una sola dirección (unidireccional) y una magnitud fija a lo largo del tiempo.

**Coulomb (C)** Unidad de medición fundamental SI de carga. Es igual a la carga transportada por  $6.242 \times 10^{18}$  electrones.

**Diferencia de potencial** Diferencia algebraica de potencial (o voltaje) entre dos puntos en un sistema eléctrico.

**Electrólisis** Proceso de hacer que pase corriente a través de un electrolito para disgregar sus componentes fundamentales.

**Electrolitos** Elemento de contacto y fuente de iones entre los electrodos de la batería.

**Electrón** Partícula con polaridad negativa que orbita el núcleo de un átomo.

**Electrón libre** Electrón no asociado con ningún átomo particular, relativamente libre para moverse a través de una estructura cristalina por la influencia de fuerzas externas.

**Energía potencial** Energía que posee una masa gracias a su posición.

**Fuente de corriente de cd** Fuente que proporcionará un nivel de corriente fijo aun cuando la carga a la cual se aplica puede hacer que su voltaje terminal cambie.

**Generador de cd** Fuente de voltaje disponible mediante la rotación de la flecha del dispositivo originada por algún medio externo.

**Gravedad específica** Relación del peso de un volumen dado de una sustancia con el peso de un volumen igual de agua a 4 °C.

**Ion positivo** Átomo que tiene una carga positiva neta debida a la pérdida de uno de sus electrones negativamente cargados.

**Ley de Coulomb** Ecuación que define la fuerza de atracción o rechazo entre dos cargas.

**Neutrón** Partícula sin carga eléctrica situada en el núcleo del átomo.

**Núcleo** Centro estructural de un átomo que contiene tanto protones como neutrones.

**Protón** Partícula de polaridad positiva que se encuentra en el núcleo de un átomo.

**Rectificación** Proceso mediante el cual una señal de ca se transforma en una que tiene un nivel promedio de cd.

**Semiconductor** Material que tiene un valor de conductancia entre la de un aislante y la de un conductor. De primordial importancia en la fabricación de dispositivos electrónicos.

**Volt (V)** Unidad de medición aplicada a la diferencia de potencial entre dos puntos. Si se requiere un (1) joule de energía para mover un (1) coulomb de carga entre dos puntos, se dice que la diferencia de potencial es de 1 volt.

**Voltaje** Término aplicado a la diferencia de potencial entre dos puntos establecido por la separación de cargas opuestas.

**Voltímetro** Instrumento para medir el voltaje a través de un elemento o entre dos puntos cualesquiera de una red.