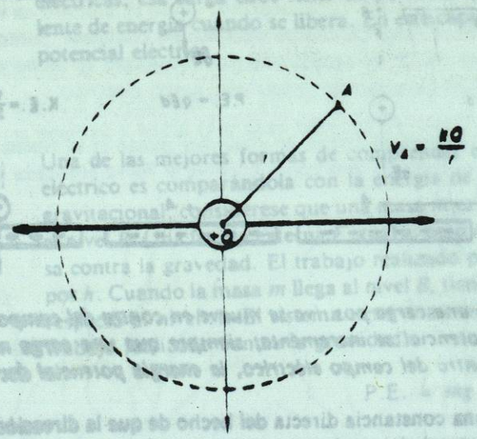



**Fig. 32-6** Cálculo del potencial a una distancia $r$ de una carga $+Q$.

Así *un potencial de un volt en un punto A significa que para una carga de un coulomb tendrá una energía potencial de un joule en ese punto*. En general, cuando se conoce el potencial en un punto $A$, la energía potencial debida a la carga $q$ en ese punto puede calcularse a partir de

$$\boxed{P.E. = qV_A} \qquad (32\text{-}8)$$

## 32-4 DIFERENCIA DE POTENCIAL

En electricidad práctica, es escaso el interés por el trabajo por unidad de carga para trasladar una carga al infinito. Con mayor frecuencia, lo que se desea saber es la cantidad de trabajo necesario para mover cargas entre dos puntos. Esto lleva al concepto de *diferencia de potencial*.

La diferencia de potencial entre dos puntos es el trabajo por unidad de carga positiva realizado por fuerzas eléctricas para mover una pequeña carga de prueba desde el punto de mayor potencial hasta el punto de menor potencial.

Otra manera de establecer lo anterior sería decir que la diferencia de potencial entre dos puntos es la diferencia entre los potenciales en dichos puntos. Por ejemplo, si el potencial en algún punto $A$ es 100 V y el potencial en otro punto $B$ es 40 V, la diferencia de potencial es

$$V_A - V_B = 100\ \text{V} - 40\ \text{V} = 60\ \text{V}$$

Esto significa que se realizarán 60 J de trabajo por el campo eléctrico sobre cada coulomb de carga positiva para llevarla desde $A$ a $B$. En general, el trabajo realizado por el campo eléctrico para mover una carga $q$ desde el punto $A$ hasta el punto $B$ puede encontrarse de

$$\boxed{\text{Trabajo}_{A\to B} = q(V_A - V_B)}$$



## 32-6 ELECTRÓN-VOLT

Considérese la energía de una partícula cargada que se mueve a través de una diferencia de potencial. Existen diferentes opciones para medir esta energía, pero las unidades más familiares son inconvenientemente grandes. Considérese, por ejemplo, que una carga de 1 C se acelera a través de una diferencia de potencial de 1 V. De las ecuaciones (32-2) y (32-11), su energía cinética será

$$K.E. = qEd = qV$$
$$= (1\ \text{C})(1\ \text{V}) = 1\ \text{C}\cdot\text{V}$$

El coulomb-volt, es, por supuesto, un joule. Pero 1 C de carga es demasiado grande cuando se aplica a partículas elementales, y la unidad correspondiente de energía (el joule) también lo es. La unidad de energía más conveniente, en Física atómica y nuclear, es el electrón-volt (eV).

El electrón-volt es una unidad de energía equivalente a la energía adquirida por un electrón, que se acelera a través de una diferencia de potencial de un volt.

El electrón-volt difiere del coulomb-volt en el mismo orden que la diferencia en la carga de un electrón y la carga de 1 C. Para comparar las dos unidades supóngase que se calcula la energía en joules adquirida por un electrón, que ha sido acelerado a través de una diferencia de potencial de 1 V:

$$K.E. = qV$$
$$= (1.6 \times 10^{-19}\ \text{C})(1\ \text{V})$$
$$= 1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

Por lo tanto, 1 eV es equivalente a una energía de $1.6 \times 10^{-19}$ J.

# Corriente y resistencia

Ahora se deja la electrostática y se entra al estudio de las cargas en movimiento. Se han considerado fuerzas, campos eléctricos y energías potenciales en relación con conductores cargados. Por ejemplo, electrones en exceso, distribuidos uniformemente sobre una superficie esférica aislada, permanecerán en reposo. Empero, si un alambre se conecta desde la esfera a tierra, los electrones fluirán por el alambre hasta esta última. El flujo de carga constituye una *corriente eléctrica*. En este capítulo se ponen los cimientos para el estudio de corrientes directas y de resistencia eléctrica.

La corriente eléctrica $I$ es la rapidez del flujo de carga $Q$ que pasa por un punto dado $P$ en un conductor eléctrico.

$$I = \frac{Q}{t} \qquad (34\text{-}1)$$

La unidad de corriente eléctrica es el *ampere*. Un *ampere (A)* representa un flujo de carga con una rapidez de un *coulomb por segundo*, que pasa por cualquier punto.

$$1\ \text{A} = \frac{1\ \text{C}}{1\ \text{s}}$$

En el ejemplo de la descarga del capacitor, la corriente se origina en el movimiento de los electrones, como se observa en la figura 34-2. Las cargas positivas en el alambre están fuertemente ligadas y no pueden moverse. El campo eléctrico creado en el interior del alambre se debe a la diferencia de potencial entre las placas y ocasiona que los electrones libres en el alambre experimenten un impulso hacia la placa positiva. Los electrones son en repetidas ocasiones frenados, acelerados y sufren deflexiones debido a un proceso que tiene que ver con impurezas y el movimiento térmico de los átomos. En consecuencia, el movimiento de los electrones no es acelerado sino un arrastre o proceso de difusión. La velocidad media de arrastre de los electrones es típica del orden de 4 m/h. Esta velocidad con la que se mueve la carga, que es una *distancia* por unidad de tiempo, no debe ser confundida con la corriente, que es la *cantidad* de carga por unidad de tiempo.

Es útil la analogía del agua que fluye por una tubería para comprender el flujo de corriente. La rapidez del flujo de agua (gasto) en galones por minuto, es

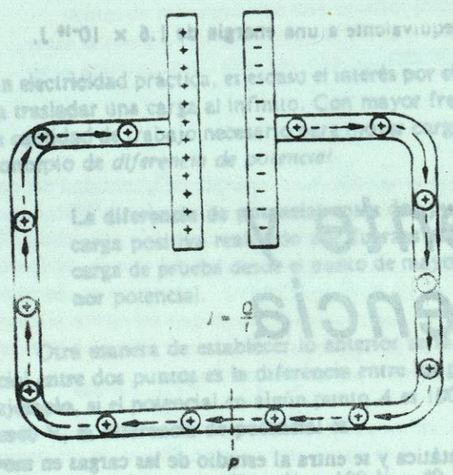



**Fig. 34-2** La corriente se origina por el movimiento de los electrones y es una medida de la cantidad de carga que pasa por un punto dado en la unidad de tiempo.

análoga a la rapidez del flujo de carga en coulombs por segundo. Para una corriente de 1 A, $6.25 \times 10^{-18}$ electrones (1 C) pasan por un punto dado cada segundo. En la misma forma que la sección transversal y la longitud del tubo afectan el flujo de agua, la sección transversal y la longitud del conductor afectan el flujo de electrones.



**EJEMPLO 34-1** ¿Cuántos electrones pasan por un punto en 5 s si en un conductor se mantiene una corriente constante de 8 A?

**Solución** De la ecuación (34-1),

$$Q = It = (8\ \text{A})(5\ \text{s})$$
$$= (8\ \text{C/s})(5\ \text{s}) = 40\ \text{C}$$
$$= (40\ \text{C})(6.25 \times 10^{18}\ \text{electrones/C})$$
$$= 2.50 \times 10^{20}\ \text{electrones}$$

## 34-2 DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

Hasta ahora sólo se ha estudiado la magnitud de la corriente eléctrica. La selección de la dirección es meramente arbitraria en tanto la definición se aplique de manera permanente. El flujo de carga originado por un campo eléctrico en un gas o un líquido, consta de un flujo de iones positivos en la dirección opuesta al campo. Como se ha visto, la corriente en un material metálico consiste en electrones que fluyen contra la dirección del campo. Sin embargo, una corriente que consta de partículas negativas que se mueven en una dirección es eléctricamente la misma que una corriente que consta de cargas positivas moviéndose en dirección opuesta.

Hay buen número de razones para preferir el movimiento de cargas positivas como un indicador de la dirección. En primer lugar, todos los conceptos introducidos en electrostática se definieron en términos de cargas positivas, es decir, la intensidad del campo eléctrico, la energía potencial, y la diferencia de potencial. Un electrón fluye en dirección contraria al campo eléctrico y acaba una subida de potencial, desde la placa negativa a la positiva. Si se define la corriente como el flujo de carga *positiva* la pérdida en energía a medida que la carga encuentra resistencia será de + a — o "sufre una caída de potencial". Por conveniencia, se considera que todas las corrientes consisten en un flujo de carga positiva.

*La dirección de una corriente convencional siempre es la misma que aquella en la que se moverían las cargas positivas, aun si la corriente realmente consiste en un flujo de electrones.*

Tanto el flujo de electrones como la corriente convencional de un alambre conductor metálico se pueden ver en la figura 34-3. La línea en zig-zag se usa para indicar la resistencia eléctrica $R$. Obsérvese que el flujo de corriente convencional fluye de la placa positiva del capacitor y neutraliza la carga negativa en la otra placa. La corriente convencional tiene la misma dirección que el campo eléctrico E que produce la corriente.

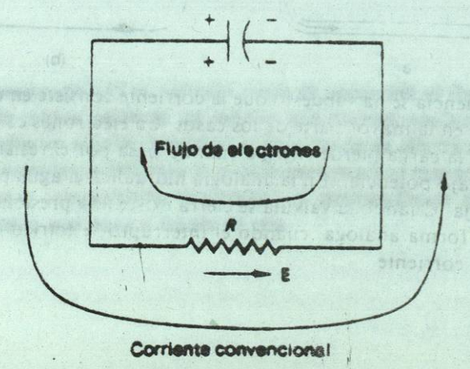



**Fig. 34-3** En un conductor metálico la dirección de la corriente convencional es de en sentido opuesto al flujo de electrones.

## 34-3 FUERZA ELECTROMOTRIZ

Las corrientes estudiadas en las secciones anteriores se llaman *corrientes transitorias* porque su existencia es únicamente por corto tiempo. Una vez que el capacitor se haya descargado por completo, no habrá una diferencia de potencial que provoque el flujo de carga adicional. Si existiera algún medio disponible para que pudiera estar continuamente cargado el capacitor, se lograría mantener una corriente continua. Esto requeriría estar suministrando electrones, en forma constante, a la placa negativa para reemplazar a aquellos que salen de ella. O sea debe suministrarse energía para sustituir su pérdida por la carga en el circuito externo; de esta manera se mantendría la diferencia de potencial entre las placas, de tal modo que permaneciera un flujo continuo de carga. Un dispositivo con la capacidad de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos se llama *fuente de fuerza electromotriz* (fem).

Las fuentes más familiares de fem son los acumuladores y los generadores. Los acumuladores convierten la energía química en energía eléctrica y los generadores transforman energía mecánica en energía eléctrica. La naturaleza y operación detallada de estos dispositivos se estudiará en un capítulo posterior.

> Una fuente de fuerza electromotriz (fem) es un dispositivo que convierte energía química, mecánica u otras formas de energía en la energía eléctrica necesaria para mantener un flujo continuo de carga eléctrica.

En un circuito eléctrico, la fuente de fem suele representarse mediante el símbolo $\mathcal{E}$.

La función de una fuente de fem en un circuito eléctrico es similar a la función de una bomba de agua para mantener el flujo continuo de agua a través de sistema de tubería. En la figura 34-4*a* la bomba de agua debe realizar trabajo sobre cada unidad de volumen de agua necesario para reemplazar la pérdida de energía por cada unidad de carga que pase a través de ésta a fin de elevarla a un potencial mayor. Este trabajo debe suministrarse con una rapidez igual a la rapidez con la cual se pierde la energía al fluir por el circuito.

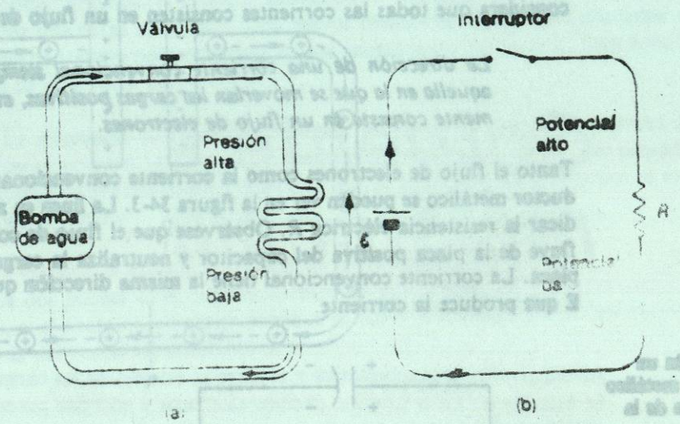



**Fig. 34-4** Para explicar la función de una fuente de fem en un circuito eléctrico, puede utilizarse la analogía mecánica de la bomba de agua.

Por conveniencia se ha supuesto que la corriente consiste en un flujo de carga positiva aunque en la mayor parte de los casos son electrones cuya carga es negativa. Por tanto, la carga pierde energía cuando pasa por el resistor desde un alto potencial a un bajo potencial. En la analogía hidráulica el agua pasa desde la presión alta a la baja. Cuando la válvula se cierra existe una presión pero no hay flujo de agua. En forma análoga, cuando el interruptor eléctrico está *abierto*, hay voltaje pero no corriente.



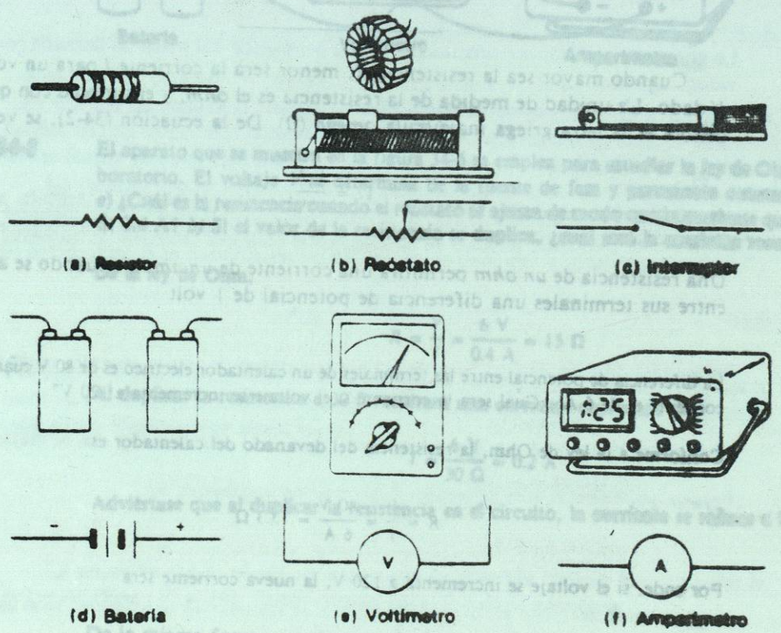
Puesto que la fem es trabajo por unidad de carga, se expresa con la misma unidad que la diferencia de potencial, o sea, el joule por coulomb, o volt.

> *Una fuente de fem de un volt realizará un joule de trabajo sobre cada coulomb de carga que pasa por ella.*

Por ejemplo, un acumulador de 12 V realiza un trabajo de 12 J sobre cada coulomb de carga transferida desde el borne de bajo potencial (terminal negativa) al borne de alto potencial (terminal positiva). Suele dibujarse una flecha (↑) próxima al símbolo $\mathcal{E}$ de la fem para indicar la dirección en que la fuente actúa tan sólo para provocar movimiento de carga positiva por el circuito externo. La corriente convencional tiene una dirección de la terminal (+) del acumulador a la terminal (—) del mismo y la carga positiva fluye como la corriente a través de la resistencia externa perdiendo energía potencial.

En las siguientes secciones, los diagramas de circuitos semejantes a los mostrados en la figura 34-4*b* se usarán con frecuencia para describir sistemas

**Fig. 34-5** Símbolos convencionales que se emplean en los diagramas de circuitos eléctricos.




eléctricos. Muchos de los símbolos que serán empleados se definen en la figura 34-5.

## 34-4 LEY DE OHM; RESISTENCIA

La resistencia ($R$) es definida como la oposición al flujo de carga eléctrica. Aunque la mayor parte de los metales son buenos conductores de la electricidad, todos ofrecen alguna oposición al flujo de carga eléctrica que pasa a través de ellos. Esta resistencia eléctrica es estable para muchos materiales específicos de tamaño, forma y temperatura conocidos; es independiente de la fem aplicada y de la corriente que pasa a través de ella.