



(¿qué?) (¿cómo?) (¿cuándo?)
 En 1825, Kirchhoff descubrió la ley de conservación de la energía en el espectroscopio y fundaron la ciencia de la espectroscopia, la cual se estudiara en el capítulo 40. Descubrieron los elementos cesio y rubidio e inventaron la espectroscopia astronómica. Kirchhoff formuló otra regla, a saber, "una sustancia fría absorberá luz de la misma longitud de onda que emite cuando está caliente". (AIP ES-VA/W.F. Meggers Collection)

Experimento sorpresa

Dibuje una espira cerrada de forma arbitraria que no se cruce a sí misma. Marque cinco puntos sobre la espira (a , b , c , d y e) y asigne un número aleatorio a cada punto. Ahora comience en el punto a y recorra su camino alrededor de la espira calculando la diferencia entre cada par de números adyacentes. Algunas de estas diferencias serán positivas y algunas serán negativas. Ahora sume todas las diferencias asegurándose de que conserva con precisión los signos algebraicos. ¿Cuál es la suma de las diferencias a todo lo largo de la espira?

2. La suma de las diferencias de potencial a través de todos los elementos de cualquier espira de circuito cerrado debe ser cero:

$$\sum_{\text{circuito cerrado}} \Delta V = 0 \quad (28.10)$$

La primera regla de Kirchhoff es un enunciado de la conservación de la carga eléctrica. Toda la corriente que entra a un punto dado en un circuito debe salir de ese punto ya que la carga no puede acumularse en un punto. Si se aplica esta regla a la unión que se muestra en la figura 28.11a, se obtiene

$$I_1 = I_2 + I_3$$

La figura 28.11b representa una analogía mecánica de esta situación, en la cual fluye agua a través de un tubo ramificado sin fugas. La rapidez de flujo dentro de la tubería es igual a la rapidez de flujo total afuera de las dos ramas en la derecha.

La segunda regla de Kirchhoff surge de la ley de la conservación de la energía. Suponga el movimiento de una carga alrededor de la espira. Cuando la carga regresa al punto de partida, el sistema carga-circuito debe tener la misma energía que tenía cuando la carga partió de ahí. La suma de los incrementos en energía en algunos elementos de circuito debe ser igual a la suma de los decrementos en energía en otros elementos. La energía potencial disminuye cada vez que la carga se mueve a través de una caída de potencial $-IR$ a través de un resistor, o cada vez que se mueve en la dirección contraria a través de una fuente de fem. La energía potencial se incrementa cada vez que la carga pasa a través de una batería desde la terminal negativa hacia la terminal positiva. La segunda regla de Kirchhoff se aplica sólo en circuitos en los cuales se define un potencial eléctrico en cada punto; este criterio no puede satisfacerse si hay campos electromagnéticos variables, como se verá en el capítulo 31.

Al justificar la pretensión de que la segunda regla de Kirchhoff es un enunciado de la conservación de la energía, se supone conduciendo una carga alrededor de una espira. Cuando aplique esta regla imagínese *viajando* alrededor del lazo y considere los cambios en el *potencial eléctrico* en lugar de los cambios en la *energía potencial* descrita en los párrafos anteriores. Debe usted tomar en cuenta las siguientes convenciones de signos cuando use la segunda regla:

- Ya que las cargas se mueven del extremo de alto potencial de un resistor al extremo de menor potencial, si se recorre un resistor en la dirección de la corriente, el cambio de potencial ΔV a través del resistor es $-IR$ (Fig. 28.12a).
- Si un resistor se recorre en la dirección *opuesta* a la corriente, el cambio de potencial ΔV a través del resistor es $+IR$ (Fig. 28.12b).
- Si una fuente de fem (la cual se supone con resistencia interna cero) se recorre en la dirección de la fem (de $-$ a $+$), el cambio en el potencial ΔV es $+\mathcal{E}$ (Fig. 28.12c). La fem de la batería aumenta el potencial eléctrico conforme se mueve a través de la misma en dicha dirección.
- Si una fuente de fem (la cual se supone con resistencia interna cero) se atraviesa en la dirección opuesta de la fem (de $+$ a $-$), el cambio en el potencial ΔV es $-\mathcal{E}$ (Fig. 28.12d). En este caso la fem de la batería reduce el potencial eléctrico conforme se mueve a través de ella.

Existen limitaciones en el número de veces que usted puede aplicar de manera útil las reglas de Kirchhoff al analizar un circuito dado. La regla de unión puede usarse tan frecuentemente como sea necesario, siempre y cuando cada vez que escriba una ecuación incluya en ella una corriente que no se haya usado en una ecuación anterior de la regla de unión. En general, el número de veces que se puede usar la regla de unión es un poco menor que el número de puntos de unión en el

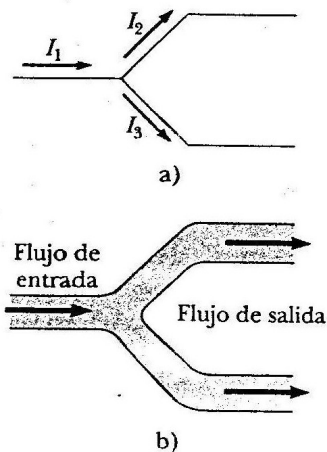


Figura 28.11 a) Regla de la unión de Kirchhoff. La conservación de la carga requiere que toda la corriente que entra a una unión debe salir de dicha unión. Por tanto, $I_1 = I_2 + I_3$. b) Una analogía mecánica de la regla de la unión: la cantidad de agua que fluye hacia afuera de las ramas en la derecha debe ser igual a la cantidad que fluye en la rama individual a la izquierda.

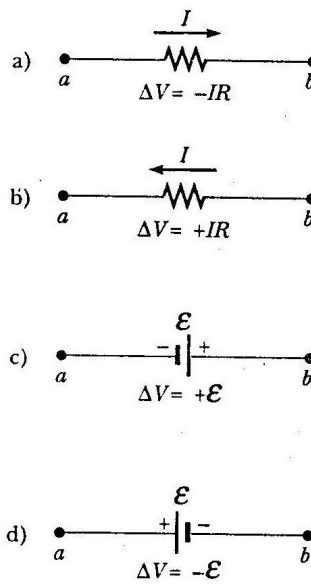


Figura 28.12 Reglas para determinar los cambios de potencial a través de un resistor y una batería. (Se supone que la batería no tiene resistencia interna.) Cada elemento de circuito es recorrido de izquierda a derecha.

circuito. La regla de la espira se puede usar con la frecuencia necesaria siempre que un nuevo elemento de circuito (resistor o batería) o una nueva corriente aparezca en cada nueva ecuación. En general, **para resolver un problema de circuito particular**, el número de ecuaciones independientes que usted necesita obtener de las dos reglas es igual al número de corrientes desconocidas.

Las redes complejas contienen muchas espiras y uniones que generan un gran número de ecuaciones lineales independientes y un correspondiente gran número de incógnitas. Estas situaciones pueden manejarse formalmente utilizando álgebra de matrices. También pueden escribirse programas de computadora para resolver las incógnitas.

Los siguientes ejemplos ilustran cómo usar las reglas de Kirchhoff. En todos los casos se supone que los circuitos han alcanzado las condiciones de estado estable —es decir, las corrientes en las diferentes ramas son constantes—. Cualquier capacitor actúa como un **circuito abierto**; es decir, la corriente en la rama que contiene al capacitor es cero en condiciones de estado estable.

Sugerencias para resolver problemas

Reglas de Kirchhoff

- Dibuje un diagrama de circuito y marque todas las cantidades conocidas y desconocidas. Debe asignar una *dirección* a las corrientes en cada rama del circuito. No se alarme si indica la dirección de una corriente de modo incorrecto; su resultado será negativo, pero su *magnitud será correcta*. A pesar de que la asignación de las direcciones de corriente es arbitraria, usted debe apegarse rigurosamente a las direcciones asignadas cuando aplique las reglas de Kirchhoff.
- Aplique la regla de la unión a cualquier unión en el circuito que proporcione nuevas relaciones entre las diversas corrientes.