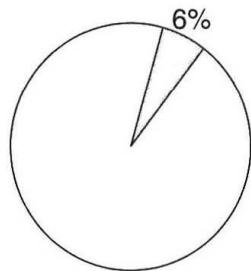


## C A P Í T U L O 1 6

# Riesgos eléctricos



*Porcentaje de notificaciones de OSHA  
a la industria general relacionados  
con este tema*

Cada año, el Centro Nacional de Estadísticas de Salud (*National Center for Health Statistics*) informa de 500 a 1 000 electrocuciones accidentales en los Estados Unidos. Aproximadamente una de cada cuatro está relacionada con industrias y granjas. Todos saben que una descarga eléctrica puede ser mortal, pero el mecanismo del riesgo es un misterio para la mayoría, en gran medida por el hecho de que la electricidad es invisible. El uso de la electricidad en nuestras casas ha llevado a cierto grado de complacencia, lo que es un factor en la mayor parte de las electrocuciones.

### RIESGOS DE ELECTROCUCIÓN

El primer paso de la seguridad contra electrocución es derribar el mito de que “los circuitos ordinarios de 110 volts son seguros”. La verdad es que estos circuitos pueden matar con facilidad, y de hecho lo hacen, a mucha más gente que los circuitos de 220 o 440 volts, que casi todos respetan. Con todo, persiste el mito de los 110 volts porque casi todo el mundo ha resistido sin mayores daños una descarga en casa o en el trabajo. Estos accidentes llevan a las víctimas a la falsa conclusión de que, aunque una descarga de 110 volts es desagradable, no será mortal. Aunque saben que otras personas han muerto por tales descargas, de alguna manera se sienten resistentes o demasiado fuertes.

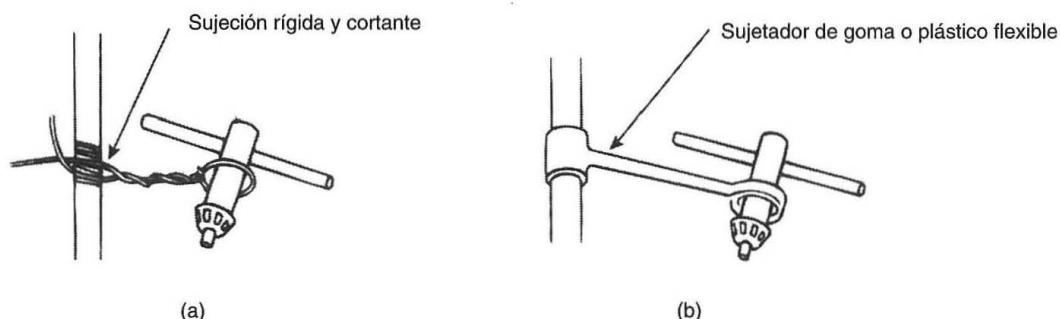
Es cierto que algunas personas son más resistentes a los riesgos de electrocución que otras, pero un factor mucho más importante es el conjunto de condiciones que rodea al accidente. Se sabe que emplazamientos mojados o húmedos son peligrosos, pero aun el sudor o la transpiración del cuerpo aportan la humedad que puede hacer el contacto eléctrico mortal. Otra condición importante es el punto de contacto. Si el flujo de corriente entra al cuerpo por los dedos y sale por un contacto en el codo, ningún órgano vital sufre una exposición directa. Pero si el flujo va de la mano a los pies, afecta el corazón, los músculos del pecho y el diafragma, con posibles resultados mor-

alimentación interna. ¿Tendrá el sistema cerrado algún impacto sobre la seguridad y el sistema de alambrado indicado?

## EJERCICIOS DE INVESTIGACIÓN

- 16.41** Averigüe en Internet quién publica el *National Electrical Code®*. ¿Qué otros auxiliares de seguridad eléctrica ofrece esta organización?
- 16.42** Revise las estadísticas recientes sobre el número de electrocuciones anuales en su localidad. ¿Qué porcentaje ocurre “en el trabajo?” ¿Esta cantidad de electrocuciones aumenta o disminuye?
- 16.43** La frecuencia de las notificaciones de la OSHA cambia un poco cada año. Revise las estadísticas de imposición para determinar las cinco normas eléctricas más notificadas. ¿Corresponden a la información de este capítulo?

- 16.31** Calcule el voltaje pico para una línea con un voltaje efectivo de 240 volts CA.
- 16.32** Un circuito CA tiene voltajes pico de  $\pm 80$  volts. Calcule el voltaje efectivo.
- 16.33** Un circuito CA tiene voltajes pico de  $\pm 170$  volts. Calcule el flujo de corriente *efectivo* en este circuito, si la carga total utiliza 60 watts de potencia. Calcule el flujo de corriente pico.
- 16.34** Explique por qué es tan importante que la resistencia sea baja en la trayectoria del “tercer alambre” hacia tierra. (*Nota:* “La electricidad sigue la trayectoria de menor resistencia” no es la respuesta correcta).
- 16.35** Explique por qué las herramientas eléctricas “en corto” pueden continuar operando. Hay por lo menos dos condiciones que llevarán a este fenómeno.
- 16.36** Explique por qué a menudo el común defecto de un alambrado de “tierra abierta” pasa inadvertido.
- 16.37** ¿Está bien utilizar equipo aprobado para división 1 en emplazamientos peligrosos de división 2? ¿Por qué? ¿Está bien utilizar equipo aprobado para clase I en emplazamientos peligrosos de clase II? ¿Por qué?
- 16.38** **Caso de diseño.** En una historia real de deceso por electrocución, la figura 16.17(a) ilustra cómo estaba sujeta al cable de energía una llave de mandril para un taladro manual, de forma que siempre a la mano para que el operador cambiara con ella las brocas. El deceso ocurrió cuando el alambre retorcido perforó el aislante del cable después de un uso continuado. La figura 16.17(b) muestra una manera mucho más segura de sujetar la llave de mandril. ¿Qué otros factores contribuyeron también al deceso y cómo se pudieron haber evitado? Suponga que la terminal de tierra de la clavija del taladro había sido cortada. ¿Cómo habría influido esta infracción en la muerte?



**Figura 16-17** Causa de una muerte por electrocución: la llave de mandril asegurada al cable mediante un amarre de alambre retorcido. (a) Sujeción poco segura e improvisada de la llave de mandril. El alambre o la cinta dañarán finalmente el aislamiento del cable. (b) Método más seguro de sujetar la llave de mandril.

- 16.39** **Caso de diseño.** Una empresa de diseño e ingeniería arquitectónica busca consejo acerca de las normas de seguridad federal para el alambrado de un nuevo proceso para fabricar pigmentos. El proceso utiliza clorobenceno y libera concentraciones inflamables en las cercanías del equipo de proceso. Especifique la clasificación de clase, división y grupo apropiadas para el alambrado y el equipo eléctrico localizados en el área.
- 16.40** **Caso de diseño.** En el caso del ejercicio 16.15, suponga que otro proveedor de equipo de proceso propone un sistema totalmente cerrado en el cual las liberaciones ocurrirían sólo durante reparaciones o en caso de fuga. Tales situaciones surgen de la necesidad de limpiar cada tanto el mecanismo de

- 16.16** En el ejercicio 16.15, si toda la corriente que fluye por el alambre pasara por el corazón de una persona, ¿sería una corriente mortal?
- 16.17** Un trabajador de mantenimiento alambra una lámpara eléctrica de 110 volts sin desconectar el circuito. Sin carga energizada en el circuito, el trabajador hace contacto accidentalmente con el alambre de corriente desnudo. ¿Qué es probable que ocurra? ¿En qué condiciones moriría el trabajador?
- 16.18** En el ejercicio 16.17, suponga que el alambre tocado fuera el alambre neutro. ¿Qué es probable que ocurra? ¿Existen condiciones en las cuales el trabajador moriría?
- 16.19** En el ejercicio 16.17, suponga que el alambre tocado fuera el alambre de tierra del equipo. ¿Qué es probable que ocurra?
- 16.20** Las “luces de extensión” portátiles utilizadas en reparaciones de automóviles han causado muchos decesos. Explique los mecanismos de riesgo.
- 16.21** Explique la diferencia entre un ICFT y un cortacircuitos ordinario.
- 16.22** Explique por qué es tan difícil de detectar el defecto de alambrado de “tierra puenteadal neutro”.
- 16.23** Un trabajador se electrocutó cuando taladraba una pared. La broca hizo contacto con un alambre eléctrico y perforó el aislante. La terminal de tierra de la clavija eléctrica del taladro había sido cortada. Describa cómo pudo haberse evitado esta muerte.
- 16.24** En la muerte descrita en el ejercicio 16.23, la terminal de tierra cortada era una infracción al código. ¿Cómo contribuyó esto al riesgo? ¿Qué hubiera pasado si la terminal de tierra hubiese estado intacta?
- 16.25** Se puede decir que el “aterrizaje”, con respecto a la electricidad, puede ser tanto bueno como malo. Explique lo “bueno y lo malo” del aterrizaje eléctrico.
- 16.26** Explique la diferencia entre los términos “conductor aterrizado” y “conductor aterrizante”.
- 16.27** En cada una de las situaciones siguientes, explique la naturaleza del riesgo y describa los resultados probables.
- (a) Un trabajador roza con la pernera de su pantalón una tira terminal de 120 volts con tornillos terminales expuestos. Cada tercer tornillo tiene corriente, con tornillos neutros en medio.
- (b) La bota de un trabajador hace contacto con una barra bus de 440 volts. Se crea una trayectoria a tierra por el pie del trabajador y los clavos de la suela de la bota hasta el piso de concreto. La resistencia de la trayectoria a tierra es de 10,000 ohms.
- (c) Un trabajador alambra un circuito “activo” de 220 volts utilizando un destornillador con mango de madera. El destornillador resbala y su parte metálica hace un corto directo por la terminal activa y el neutro adyacente.
- (d) Un trabajador cambia un contacto de pared de 120 volts en un garaje, de pie en un piso de concreto. El circuito está energizado, pero el trabajador tiene cuidado de no tocar los alambres de corriente y neutro al mismo tiempo.
- 16.28** Un trabajador diestro está reparando un receptáculo para foco de luz de 120 volts con un destornillador de mango aislado. Está utilizando una camisa de manga corta, y su brazo derecho desnudo está apoyado en una tubería de agua. Un alambre de corriente desnudo hace contacto con la carcasa metálica del receptáculo que el trabajador sostiene en una mano mientras aplica el destornillador con la otra. Se forma una trayectoria a tierra con una resistencia total de 600 ohms. Calcule el flujo de corriente y describa la trayectoria probable. ¿Se activará el cortacircuitos? ¿Hay riesgo de electrocución? De ser así, ¿qué factores contribuyen?
- 16.29** Describa el fenómeno de la fibrilación y su efecto probable.
- 16.30** ¿Qué característica de la energía eléctrica agrava el riesgo de fibrilación?

## RESUMEN

Iniciamos el capítulo con algunas reflexiones sobre lo que la electricidad, aun en cantidades pequeñas, puede hacerle al cuerpo humano. El mayor riesgo lo presentan los circuitos de 110 voltos, no los de 220 voltos o mayores, debido a su popularidad y a la complacencia de quienes los usan. Además de los riesgos de electrocución, la electricidad también implica riesgos de incendio, sin mencionar quemaduras y otros riesgos de exposición eléctrica.

Unos probadores simples pueden evidenciar rápidamente algunos errores de alambrado frecuentes, que de lo contrario pasarían inadvertidos en una operación normal. Pero algunos probadores son demasiado simples e ignoran errores comunes como la “tierra puenteada al neutro”.

Adquirir equipo eléctrico para procesos industriales que producen vapores, polvos o fibras inflamables es una tarea difícil y costosa. Las definiciones y los códigos para los emplazamientos peligrosos con atmósferas explosivas son también complicados y engañosos. Se recomienda al gerente de seguridad e higiene que busque las marcas requeridas en el equipo eléctrico instalado en emplazamientos peligrosos, a fin de asegurarse de que el equipo está aprobado para la clase y la división de su emplazamiento.

Las infracciones a los códigos eléctricos son a menudo por situaciones fáciles de corregir. El aspecto más importante que hay que recordar es el aterrizaje (el aterrizaje de equipo tanto portátil como fijo y de los circuitos que lo sirven). De menor frecuencia, pero de gran importancia, son las notificaciones de la OSHA por el uso de conductos y equipo eléctrico no aprobado en atmósferas explosivas de vapores o polvos inflamables.

## EJERCICIOS Y PREGUNTAS DE ESTUDIO

- 16.1 ¿Cuáles son los dos principales riesgos de la electricidad?
- 16.2 ¿Aproximadamente cuánta gente muere cada año por electrocución en los Estados Unidos?
- 16.3 Compare los riesgos de la electricidad de 110, 220 y 440 voltos.
- 16.4 ¿Aproximadamente qué flujo de corriente sostenida por el corazón y los pulmones se vuelve mortal?
- 16.5 ¿Qué función desempeña el aterrizaje en los circuitos eléctricos? ¿Por qué requieren las reglamentaciones de seguridad que el equipo esté aterrizado?
- 16.6 Compare las funciones de los alambres de corriente, neutro y de tierra.
- 16.7 ¿Qué es un ICFT y dónde se utiliza?
- 16.8 Explique el término *doble aislamiento*.
- 16.9 ¿Cuáles son los riesgos de la polaridad invertida?
- 16.10 Compare los “arcos” y “chispas” eléctricas.
- 16.11 Explique la diferencia entre emplazamientos peligrosos clase I, II, y III.
- 16.12 ¿Qué significan los términos *división* y *grupo* en la clasificación de emplazamientos peligrosos?
- 16.13 Explique la diferencia entre un probador de continuidad y un probador de circuitos.
- 16.14 Mencione algunas de las violaciones más frecuentes al código eléctrico.
- 16.15 Cierta serie de luces para árbol de Navidad tiene ocho luces, todas de cinco watts. Si no hay falla a tierra, ¿cuánta corriente fluye por alambre de corriente en la clavija del receptáculo? ¿Cuánta fluye por el neutro?

## Partes vivas expuestas

Las partes vivas expuestas se encuentran casi tan a menudo como el equipo portátil sin aterrizar. Si los conductores del equipo no pueden aislarse ni cubrirse las terminales, se deben utilizar recintos con cerrojo para no exponer a los trabajadores. Con mucha frecuencia se observan partes energizadas expuestas en instalaciones eléctricas descuidadas, a las que no se colocaron las tapas de las cajas de unión o en las que falta la placa de cubierta de los receptáculos. Una caja de interruptores, fusibles o caja de cortacircuitos que tenga la puerta abierta también constituye una “parte viva expuesta”.

## Uso inapropiado de cables flexibles

Las instalaciones hechas o temporales están prohibidas, igual que sustituir el alambrado permanente con cables flexibles. Ejemplos obvios son los cables flexibles que corren en las perforaciones en paredes, techos, suelos, puertas o ventanas.

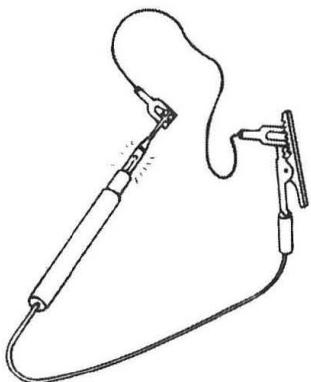
## Señalización de desconectadores

Este punto es fácil de corregir. La caja de desconectadores o el tablero de interruptores para motores y aparatos debe estar identificado, de forma que pueda desconectarse el equipo rápida y confiablemente. También se debe etiquetar el principio de los circuitos derivados o ramales, como por ejemplo en la caja del cortacircuitos, para indicar su propósito. Si del emplazamiento o la instalación del desconectador resulta obvio qué máquinas o circuitos controla, la señalización quizás no sea necesaria. Muy pocas de las infracciones de señalización de desconectadores son calificadas como “serias”.

## Conexión de clavijas a cables

Éste es otro elemento bastante simple. Cuando se repara la clavija de un cable de extensión, del cable de un aparato o de cualquier cable flexible, asegúrese de amarrar un nudo en el cable o hacer algo que evite que un tirón en éste se transmita directamente a las uniones o tornillos terminales. Se trata sólo un principio básico de mantenimiento eléctrico.

**Figura 16-16** Probador de continuidad.



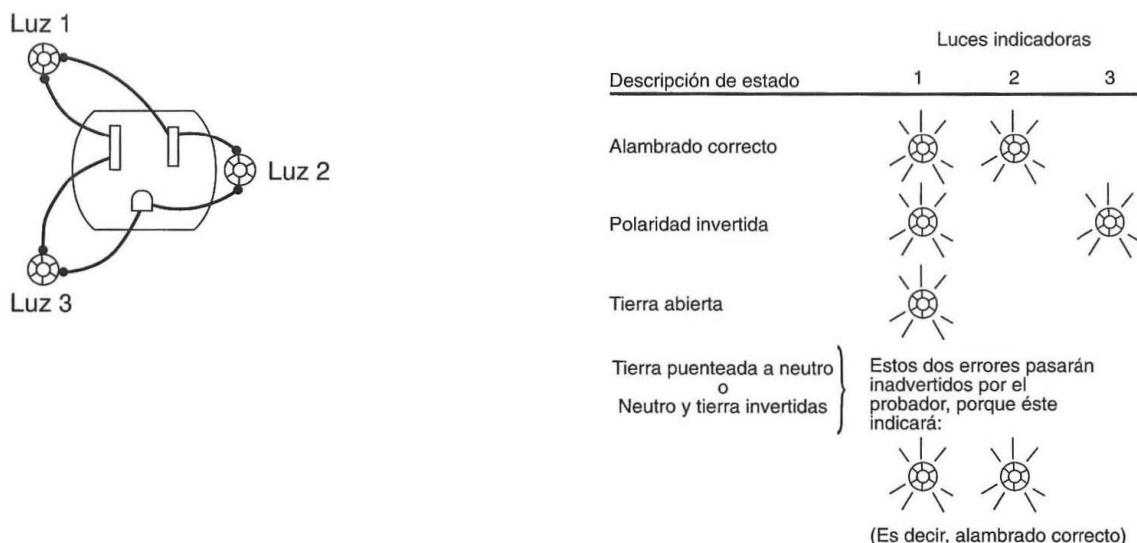


Figura 16-15 Esquema del probador de alambrado de receptáculos.

para dar energía a la luz. El probador de continuidad tiene una resistencia eléctrica mucho menor que la del probador de circuitos debido a que se utiliza en circuitos muertos. Si el probador de continuidad se emplea en un circuito de 110 volts energizado, volará inmediatamente un fusible o activará un cortacircuitos.

Una aplicación importante del probador de continuidad es para verificar la trayectoria a tierra. Una terminal del probador se conecta a la carcasa expuesta del equipo de la máquina que se examina, y la otra a un objeto que se sabe que está aterrizado. Si el foco se enciende, la máquina está aterrizada. En caso contrario, hay una falta de continuidad o ruptura en alguna parte de la trayectoria a tierra.

## VIOLACIONES FRECUENTES

Una vez instruido en los principios de los riesgos eléctricos, el gerente de seguridad e higiene debe saber qué buscar cuando haga una inspección. Pero como repaso, en el resto del capítulo describiremos las infracciones más notificadas por el *National Electrical Code®*.

## Aterrizaje de herramientas y aparatos portátiles

A nadie sorprenderá que el código eléctrico notificado con mayor frecuencia sea el que concierne al aterrizaje. Éste es el código notificado para taladros eléctricos, lijadoras, sierras y demás equipo manual portátil no aterrizado. El equipo no portátil, como refrigeradores, congeladores y acondicionadores de aire, también debe aterrizar. Debe darse especial atención al uso de herramientas eléctricas portátiles, utilizadas en emplazamientos húmedos o mojados y, por supuesto, a clavijas a las que se les haya eliminado la terminal de tierra.

## EQUIPO DE PRUEBA

En aras de la seguridad eléctrica general, hay varios equipos de prueba baratos a los que el gerente de seguridad y salud debe acudir para realizar inspecciones internas ocasionales. A continuación veremos unas descripciones breves de tales artículos.

### Probador de circuitos

El probador de circuitos (figura 16.13) tiene simplemente dos alambres terminales conectados por un pequeño foco, casi siempre de neón. Cada vez que una de las terminales toca un alambre con corriente y la otra un conductor aterrizado, lo que completa el circuito, el foco se enciende. El probador funciona sólo para cierto margen voltaje, pero la mayor parte son capaces de manejar circuitos tanto de 110 como 220 volts. El probador de circuitos es de alguna manera un dispositivo de seguridad, pues con él los trabajadores de mantenimiento se aseguran que la energía está desactivada antes de tocar los cables de corriente. El probador de circuitos se puede utilizar también para determinar si las partes expuestas de las máquinas o los conductores están *vivas* o *energizadas*.

### Probador de alambrado de receptáculos

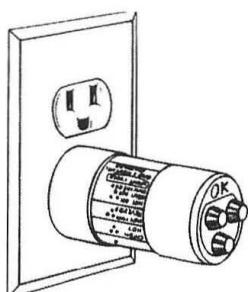
Uno de los dispositivos de prueba más simples y de más uso es el probador de alambrado de receptáculos, que uno puede llevar en el bolsillo (véase la figura 16.14). No necesita baterías ni cables. El usuario se reduce a conectar el dispositivo en cualquier contacto normal de 110 volts e interpreta las luces indicadoras para determinar si el receptáculo está mal alambrado. Observe en el enunciado precedente la forma “mal alambrado”, en lugar de “bien”. En efecto, el dispositivo sólo detectará ciertos errores, y una indicación con las luces “correctas” significa nada más que no se encontraron esos errores. El receptáculo aún podría estar mal alambrado.

La figura 16.15 revela que el probador de alambrado de receptáculos no es más que un conjunto de tres probadores de circuito. La porción inferior de la figura muestra los errores de alambrado que se interpretan con las luces indicadoras. El probador muestra como correcto uno de los errores de alambrado más comunes, a saber, “tierra puenteada a neutro”.

### Probador de continuidad

A veces es útil verificar un circuito muerto simplemente para ver si todas las conexiones están completas o si ha ocurrido alguna rotura en el conductor. La figura 16.16 ilustra un probador de continuidad simple, que es igual a un probador de circuitos, excepto por la pequeña batería que se incluye

**Figura 16-14** Probador de alambrado de receptáculos.



Un error común cuando se eligen receptáculos eléctricos para emplazamientos peligrosos es confundir los contactos eléctricos a prueba de intemperie con equipo aprobado. Los contactos para intemperie ordinarios, como se ve en la figura 16.12, no están aprobados para ningún emplazamiento peligroso, ni en división 1 ni en 2. La cubierta con resorte protege al receptáculo en la intemperie cuando no está en uso, pero si se inserta una clavija, el receptáculo queda tan expuesto como un contacto convencional.

El gerente de seguridad e higiene puede sentirse desconcertado al leer las etiquetas del equipo y ver que el equipo está clasificado y etiquetado por clase y *grupo*, en lugar de clase y *división*. Al igual que la designación de clase, la designación de grupo identifica la clase de material presente en la atmósfera, pero lo hace con más detalle. En la tabla 16.2 se resumen cuatro de los grupos pertenecientes a la clase I y tres de la clase II.

Lo habitual es que las etiquetas de clasificación digan, por ejemplo, “aprobado para clase I, grupos A y B”, y omitan la designación de división. Cuando esto ocurre, la clasificación es invariablemente aceptable para emplazamientos de división 1 y 2. Si el equipo está sólo sellado contra vapor y aprobado únicamente para división 2, la designación de división debe aparecer en la etiqueta. En general, el equipo clase I estará aprobado ya sea para grupos C y D o para los cuatro grupos de la clase I: A, B, C y D.

Tabla 16.2 Grupos y Clases

Clase	Grupo	Descripción	Ejemplos	Industrias
I	A		Acetileno	Generadores de combustible de soldadura
	B	Gases y algunos líquidos muy inflamables	Hidrógeno	Productos químicos y plásticos
	C	Productos químicos muy inflamables	Éter etilo, sulfuro de hidrógeno	Hospitales, plantas químicas
	D	Combustibles y productos químicos inflamables	Gasolina	Refinerías, plantas químicas, áreas de pintura con pistola de aire
II	E	Polvos de metal	Magnesio	Plantas químicas
	F	Carbón, coque, polvo de carbón	Negro de humo	Minas, laminación de acero, plantas de energía eléctrica
	G	Polvos de grano	Harina, almidón	Molinos y elevadores de grano

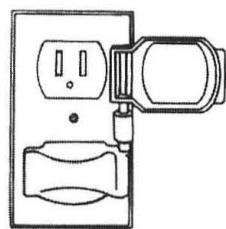


Figura 16-12 Los contactos de intemperie ordinarios no están aprobados para emplazamientos peligrosos.

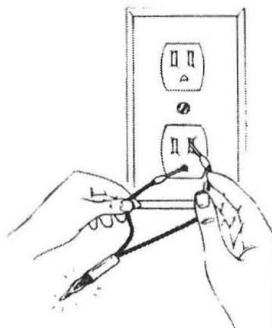
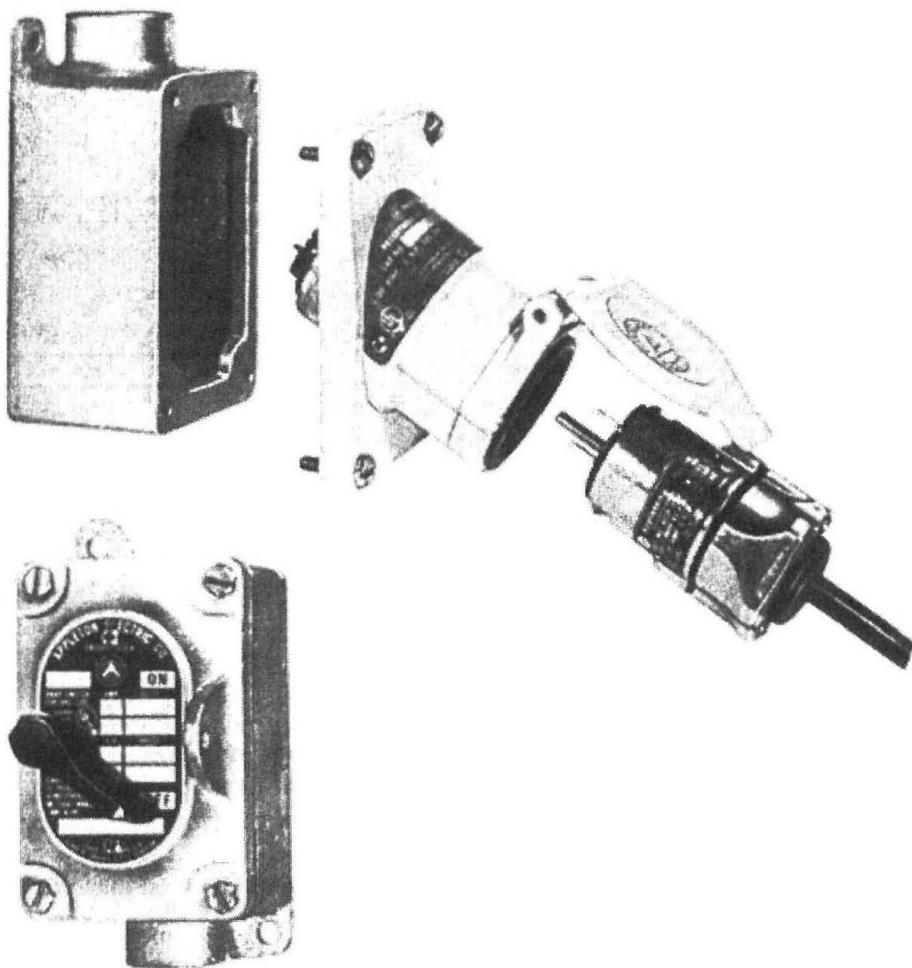


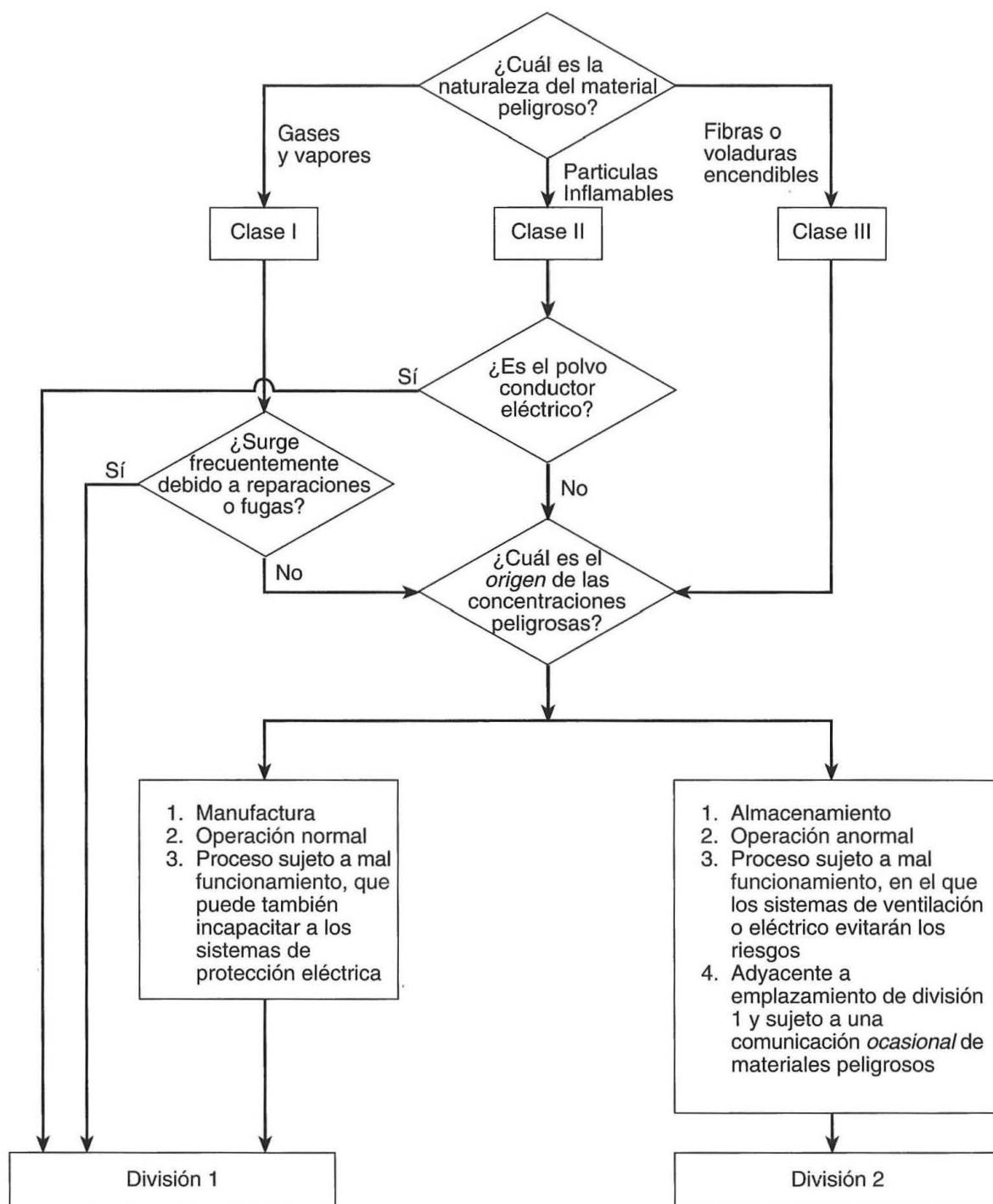
Figura 16-13 Probador de circuitos.



**Figura 16-11** Equipo eléctrico a prueba de explosión, aprobado para emplazamientos Clase I, División 1. Observe los componentes maquinados para servicio pesado. (a) Clavija exterior y receptáculo eléctrico; (b) interruptores de pared. (Fuente: Cortesía de Appleton Electric Co.)

En contraste, *casi todo* el tiempo, el equipo eléctrico de división 2 goza de cierto aislamiento de vapores explosivos peligrosos. Por tanto, si el equipo de división 2 se puede sellar apropiadamente con juntas para que sea a prueba de vapor, será seguro. El equipo de clase I, división 2 se caracteriza por ser hermético contra el vapor, en tanto que el equipo de clase I, división 1 *no* es hermético contra el vapor, pero es a prueba de explosiones. Por supuesto, si el equipo está clasificado de clase I, división 1 (a prueba de explosiones), también es aceptable para uso en áreas clase I, división 2, aunque el equipo no sea hermético contra el vapor.

La comparación anterior entre equipo y emplazamientos de división 1 y división 2 se basa en la generalización de que todo equipo aprobado para emplazamientos de división 1 es también aceptable para emplazamientos de división 2 *de la misma clasificación*. Sin embargo, debe observarse que el equipo aprobado para emplazamientos clase I no está aprobado necesariamente para clase II o III. Los mecanismos de riesgo de polvos inflamables clase II o fibras clase III son diferentes a los riesgos de los vapores clase I. Polvos y fibras pueden asentarse sobre equipo caliente, con lo que aíslan e impiden la disipación de calor necesaria durante la operación. Tal aislamiento hace que se acumule mucho calor en el equipo, lo que puede dar por resultado la ignición del polvo y una explosión.



**Figura 16-10** Diagrama de decisión para la clasificación de emplazamientos peligrosos, desde el punto de vista de la ignición de materiales en el aire.

que recordar es que la clase es el material y la división es el grado de riesgo. Así, uno puede decir que emplazamientos de división 1 son más peligrosos que emplazamientos de división 2, pero no puede decir con seguridad que localizaciones clase I sean más peligrosas que las localizaciones clase II o III.

Dado, pues, que la clasificación es tan compleja, la industria se apoya en ejemplos comunes de industrias similares para decidir si un emplazamiento es división 1 o 2 o no representa un riesgo suficiente para clasificar en absoluto. En la tabla 16.1 se dan algunos ejemplos de emplazamientos peligrosos.

Por lo regular, la calificación del equipo para emplazamientos peligrosos es válida para las divisiones 1 y 2. Cuando hay dudas, casi todas las industrias prefieren utilizar equipo aprobado para la división 1, a fin de estar preparadas para lo peor. La mayor parte de las infracciones al código no son por selección de equipo de división 2 cuando se debería haber seleccionado división 1, sino por el uso de conductos de pared delgada y equipo eléctrico convencional en emplazamientos de división 1 o 2.

La “aprobación” del equipo eléctrico para uso en emplazamiento peligroso significa que el diseño del fabricante ha sido probado y aprobado por un laboratorio de pruebas reconocido, como el Underwriters’ o Factory Mutual. Si el equipo pretende ser utilizado en emplazamientos peligrosos, deberá tener una etiqueta que indique su clasificación.

La figura 16.11 muestra varios ejemplos de *equipo a prueba de explosión* aprobado para emplazamientos clase I, división 1. El conducto a prueba de explosión se parece más a un tubo que el conducto de pared delgada convencional, que se parece más una tubería. Las cajas de unión a prueba de explosión son piezas fundidas, a diferencia con las cajas de lámina de metal convencionales, que son embutidas. Las complicadas estructuras para teléfonos y hasta para los interruptores de luz hacen obvio el hecho de que el equipo a prueba de explosión cuesta varias veces más que el equipo convencional.

En emplazamientos de división 1, se acepta el hecho de que no hay manera de garantizar que los vapores se mantendrán fuera del conducto y del equipo. Durante el mantenimiento, la instalación y otros períodos abiertos, entrarán vapores al sistema. Por tanto, el diseñador del equipo eléctrico asume esta realidad y diseña el equipo de división 1 para que soporte una explosión interna y enfríe los gases conforme escapan, antes de que puedan encender toda el área en una explosión devastadora.

**Tabla 16.1** Clasificación de riesgos comunes

Descripción	Clasificación
Áreas de pintura con pistola de aire (pintura inflamable)	clase I, división 1
Áreas adyacentes, pero fuera de cabina de pintura con pistola de aire	clase I, división 2
Áreas de depósitos o cubas abiertas de solventes volátiles inflamables	clase I, división 2
Áreas de almacenamiento de líquidos inflamables	clase I, división 2
Dentro de refrigeradores que contienen recipientes abiertos o de fácil ruptura con líquidos volátiles inflamables	clase I, división 1
Cuartos para generador de gas	clase I, división 1
Molinos o procesadores de grano	clase II, división 1
Áreas de almacenamiento de grano	clase II, división 2
Áreas de pulverización de carbón	clase II, división 1
Molino de magnesio pulverizado	clase II, división 1
Emplazamiento de despepitadora de algodón	clase III, división 1
Áreas de almacenamiento de viruta de madera	clase III, división 2
Tubería cerrada para líquidos inflamables (tubería sin válvulas, válvulas de una vía, medidores, o equipo similar)	No clasificada

## Arcos y chispas

Siempre que dos conductores hagan contacto físico para completar un circuito, un arco eléctrico diminuto (o no tan diminuto) salva la brecha en el aire justo antes del contacto. Este arco puede ser tan pequeño que es indetectable, pero está lo bastante caliente para encender vapores o polvos explosivos que se encuentren en sus límites peligrosos de concentración.

Cuando el arco eléctrico es la descarga instantánea de un objeto con carga estática, a menudo se le llama *chispa*. Las chispas son capaces de encender una mezcla explosiva, como ocurre con la chispa de encendido de los motores de los autos. Se evitan las chispas conectando eléctricamente, o “ligando”, dos objetos que puedan tener una carga estática diferente. Esto es muy importante cuando se vacían líquidos inflamables de un recipiente a otro.

Es prácticamente imposible evitar el arco que ocurre cuando se cierra un circuito eléctrico ordinario. Esto significa que interruptores, luces, receptáculos, motores y casi cualquier dispositivo eléctrico, hasta el teléfono, son una fuente de ignición para concentraciones riesgosas de vapores o polvos explosivos. En el capítulo 10 analizamos los márgenes de los vapores explosivos y definimos los límites explosivos LEI y LES. Ya que el arco es imposible de evitar, hay que acudir a algunos medios de separar el arco de concentraciones peligrosas en el aire. Para ello se utiliza alambre, conducto o equipo que o bien esté sellado contra vapor o bien sea lo bastante resistente para contener y prevenir la propagación de una explosión dentro del conducto o equipo. Es un proyecto costoso y resulta tentador tomar atajos. El *National Electrical Code®* tiene un código estricto para el alambrado y equipo eléctrico diseñado para emplazamientos riesgosos. El gerente de seguridad e higiene debe ser capaz de identificar en la planta operaciones o emplazamientos peligrosos que requieren alambrado y equipo eléctrico especial. De acuerdo con lo anterior, a continuación nos ocuparemos del tema de la identificación.

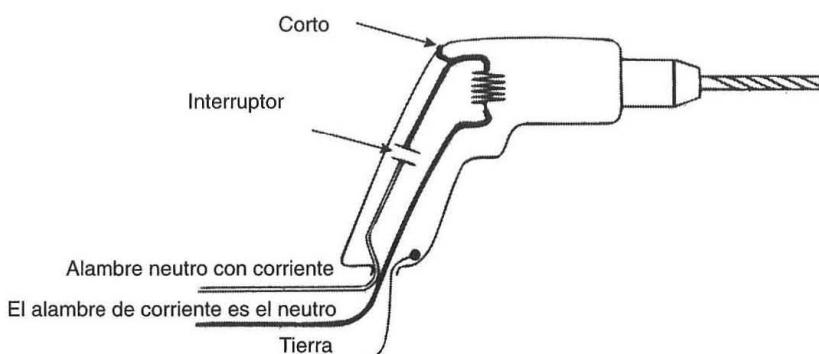
## Emplazamientos peligrosos

Una de las tareas más difíciles en el campo de la seguridad industrial es la definición de los emplazamientos industriales que requieren alambrado y equipo especial para evitar explosiones. Los procesos industriales son tan diversos que no se prestan a una definición general. Además, varían los mecanismos de ignición de los materiales. Por ejemplo, el riesgo de acumulación de calor en carcasas de equipo eléctrico y balines cubiertos con polvos inflamables es totalmente diferente del riesgo de ignición por chispa de vapores explosivos derivados de líquidos inflamables. Aunque el problema sea difícil, se debe encarar porque ciertos emplazamientos industriales son demasiado peligrosos para permitir que se expongan a fuentes eléctricas de ignición.

El *National Electrical Code®* define meticulosamente diversas condiciones para clasificar los emplazamientos peligrosos en seis clases generales. Dentro de estas clasificaciones hay varios grupos que identifican la sustancia que provoca el riesgo.

La clasificación principal obedece a la clase física del material peligroso presente en el aire, que se designa como *clase*. La siguiente clasificación se llama *división*, y añade al grado de riesgo considerando la frecuencia relativa con la que el proceso libera al aire materiales riesgosos. Los criterios para las divisiones son subjetivos, no cuantitativos, excepto en lo que se refiere a las áreas de pintura a pistola de aire. Esta subjetividad introduce problemáticas áreas ambiguas.

La figura 16.10 es un diagrama de decisión que simplifica el complicado proceso de clasificar emplazamientos peligrosos. La gráfica es sólo aproximada, porque una definición estricta requeriría enumerar páginas de excepciones y condiciones, muchas de las cuales se superpondrían. Lo que hay



**Figura 16-8** Polaridad invertida. Un corto en la posición indicada en el circuito para este taladro hará que opere de continuo, independientemente del interruptor.

Estos tres casos de mal alambrado no son los únicos errores que pueden cometerse, y ni siquiera son los más peligrosos. Pero dado que permiten que los circuitos eléctricos “funcionen normalmente”, pasan inadvertidos por usuarios mal informados del equipo conectado a dichos circuitos. Se cometen con frecuencia debido a que estos errores no impiden en lo inmediato el funcionamiento. Algunas verificaciones simples con probadores poco costosos pueden poner fácilmente de manifiesto estos problemas. Más adelante los examinaremos.

## RIESGOS DE INCENDIO

La mayoría de la gente piensa en la electrocución cuando se habla de seguridad eléctrica, pero los códigos eléctricos tienen tanto que ver con riesgos de incendio como con la electrocución. Muchos sistemas, como los fusibles o cortacircuitos, protegen tanto contra incendio como contra electrocución, pero su función principal es la prevención de incendios.

### Incendios en alambres

Una de las causas más comunes de incendio de origen eléctrico es la de alambres que se calientan en exceso, porque conducen demasiada corriente. El diámetro de los alambres (calibre) debe ser el adecuado para manejar la carga de corriente esperada, y la protección contra corriente en exceso (fusibles o cortacircuitos) debe garantizar que no se excedan las cargas. La sustitución de fusibles con centavos de cobre es un método común para suprimir la protección contra excesos de corriente, con la finalidad que el circuito maneje cargas más elevadas. Si no hay ningún fusible para quemarse, el alambre mismo funcionará como el siguiente eslabón más débil. Si el alambre se calienta lo suficiente para quemarse y partirse en dos, cualquier contacto con materiales combustibles por donde corra tiene probabilidades de producir un incendio.



**Figura 16-9** Riesgos de la polaridad invertida en el receptáculo de una lámpara: (a) receptáculo alambrado correctamente; (b) receptáculo con polaridad invertida.

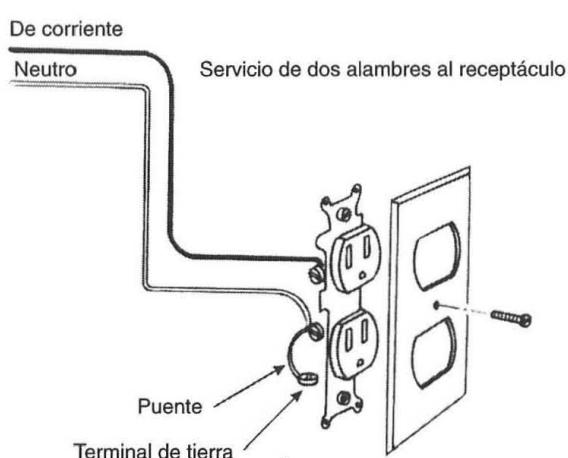


Figura 16-7 Tierra puenteadas con el neutro.

El riesgo principal de puentear la tierra con el neutro es que puede crear bajos voltajes en las partes expuestas del equipo. La caja o carcaza del equipo está conectada al alambre de tierra. Puesto que normalmente no fluye ninguna corriente por el alambre de tierra, es un método excelente para mantener el voltaje en la carcaza del equipo cerca de cero con respecto a tierra. Pero el neutro sí lleva una corriente considerable. Con la ley de Ohm se puede calcular que esta corriente en el neutro puede hacer que la terminal del neutro tenga un bajo voltaje respecto a tierra, especialmente si el alambre del neutro debe recorrer una larga distancia de regreso a tierra hasta el medidor. Si el circuito lleva una corriente de 20 amperes y la resistencia del alambre neutro es de 1/2 ohm, el voltaje en la carcaza del equipo se calcula será

$$V = IR = 20 \times 1/2 = 10 \text{ volts}$$

Éste es un voltaje bajo, pero teóricamente es capaz de producir una corriente mortal en el cuerpo, si las condiciones son exactamente las correctas (más bien, las equivocadas). Sin embargo, el verdadero riesgo es que cuando una conexión suelta o corroída en alguna parte del circuito del neutro incremente su resistencia, quizás a cuatro o cinco ohms, hace que el voltaje aumente varias veces.

Otro error común es la *inversión de polaridad*, lo que simplemente significa que los alambres de corriente y del neutro están invertidos. Éste es otro problema sutil, porque la mayor parte del equipo operará a la perfección con la polaridad invertida. Un riesgo es que como las terminales designadas (terminal negra, de corriente; blanca, neutro) están invertidas, la confusión podría provocarle un accidente a un técnico que no se lo espera. Otro riesgo es que un corto a tierra entre el interruptor y la carga podría provocar que el equipo funcione indefinidamente, sea que el interruptor esté conectado o no (véase la figura 16.8). Por último, si la polaridad está invertida, los receptáculos de los focos de luz pueden volverse peligrosos. En la figura 16.9(a), un receptáculo bien alambrado muestra que la rosca es neutra. Pero en un receptáculo con polaridad invertida, como el de la figura 16.9(b), los filetes expuestos de la rosca se vuelven vivos, y el botón, que está más protegido en el fondo del receptáculo, es el neutro.

Quizás el error de alambrado más común de todos es no conectar la terminal de tierra a un alambre de tierra, situación que se conoce como *tierra abierta* o “tierra no continua”. Éste es otro error que fácilmente puede pasar inadvertido, porque el equipo que se conecte a estos circuitos funcionará normalmente. Pero si ocurre un corto accidental a la carcaza del equipo, el trabajador corre el peligro de electrocutarse.

o alambre de tierra, están en que genera un corto de muy baja resistencia y alta corriente hacia tierra, que activará el fusible o cortacircuitos de inmediato, antes de que *otras* trayectorias de cortocircuito a tierra (como las que pasan por el cuerpo de una persona) puedan hacer su daño.

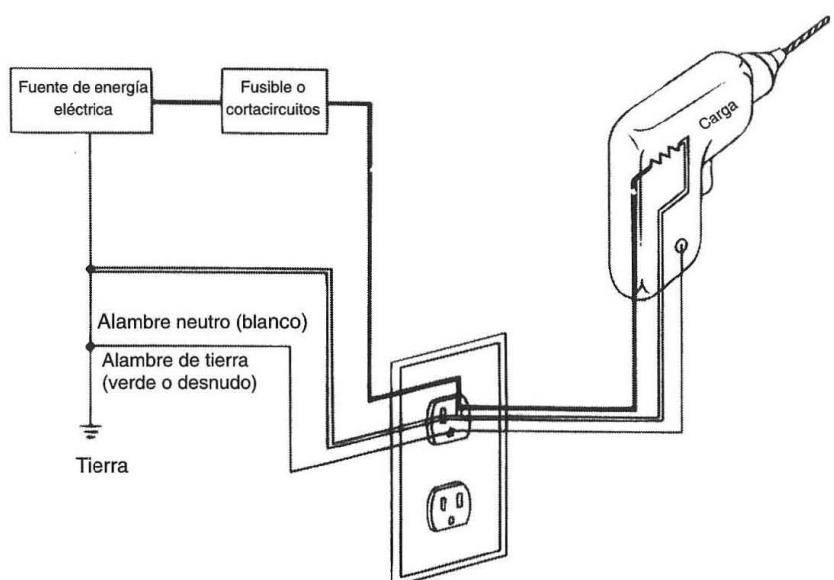
## Doble aislamiento

Menos de la mitad de las herramientas manuales eléctricas están bien aterrizadas. Los estudios de equipo devuelto a la fábrica para reparaciones han demostrado que gran cantidad de unidades han sido alteradas, de forma que el sistema de aterrizaje ya no está intacto. Una alteración común es cortar la tercera terminal de la clavija, de forma que pueda conectarse en un receptáculo antiguo de dos alambres. Para contrarrestar esta práctica, en vez de aterrizar el equipo se permite el uso de herramientas con “doble aislamiento”. Una segunda capa de aislamiento da una medida adicional de protección al operador de herramientas con doble aislamiento, en caso de un corto a la carcasa del equipo.

La mayor parte de las herramientas con doble aislamiento tienen carcasa de plástico, no conductora, pero ésta no es una indicación totalmente confiable de que tengan doble aislamiento. La segunda capa de aislamiento debe aplicarse de acuerdo con especificaciones precisas, antes de que la herramienta pueda calificar para la designación de “doble aislamiento”. Las herramientas calificadas tienen la marca del fabricante como “de doble aislamiento” o un cuadrado dentro de otro,  a fin de indicar el aislamiento doble.

## Peligros de un mal alambrado

En el trabajo de alambrado original, a menudo los electricistas cometén errores o usan prácticas antiguas que incrementan los riesgos. Una de estas prácticas es “puentejar” (conectar) el alambre de tierra con el neutro. En realidad, éste es un truco que funcionará y usualmente nadie lo discute, pero la práctica presenta riesgos. La figura 16.6 muestra el alambrado correcto de un circuito y revela que tanto el alambre neutro como el de tierra están conectados directamente a tierra. Así, en la figura 16.7, en la que la tierra ha sido puenteada con el neutro, el sistema de alambrado no utiliza tercer alambre.



**Figura 16-6** Circuito de 110 voltios correctamente alambrado.

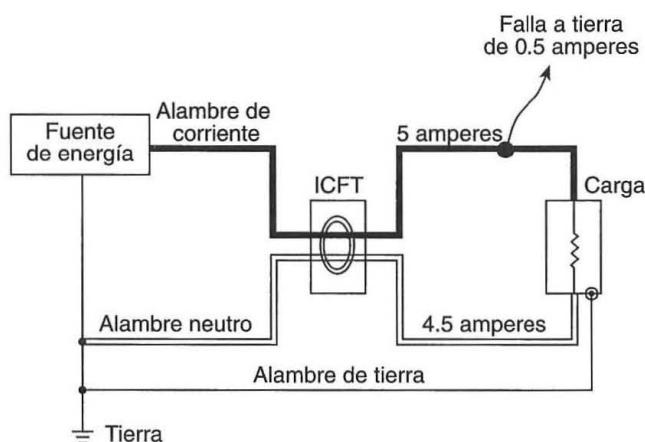
rriente como el neutro llevan la misma corriente, pero el de corriente tiene un voltaje efectivo de 110 voltios con respecto a tierra, en tanto que el voltaje del neutro tiene es cerca de cero con respecto a tierra.

El tercer alambre es el alambre de tierra, y por lo regular es verde o bien simplemente es un alambre desnudo. Su propósito es de seguridad. Si algo sale mal, de forma que el alambre de corriente haga contacto con la carcasa del equipo o con alguna otra parte conductora del equipo, en su trayectoria hacia tierra la corriente puede pasar por alto la carga y hacer un circuito reducido, comúnmente llamado *corto*. Dado que la carga en sí es ignorada, el corto es una trayectoria a tierra de muy baja resistencia y, según la ley de Ohm, consume una corriente muy elevada. En los circuitos protegidos, esta corriente “volará” un fusible o “activará” un cortacircuitos casi de inmediato, dependiendo de la clase de protección, y detendrá todo flujo de corriente.

Por supuesto, es posible tener un corto sin alambre de tierra. Por su emplazamiento o instalación, el equipo puede estar aterrizado o bien el alambre de corriente hace contacto con el neutro de alguna manera. Algunas veces, el corto a tierra es sólo parcial, porque hay una resistencia considerable en la trayectoria a tierra, y no siempre se detecta, pues el flujo de corriente es de un amperaje insuficiente para hacer que la corriente total del circuito active la protección contra excesos de corriente. En este caso, la corriente continuará fluyendo y las cargas del equipo seguirán operando en presencia de estos cortos, o *fallas a tierra*. Las fallas a tierra pueden ser peligrosas en las construcciones. Este riesgo es la base de los interruptores de circuitos por falla a tierra (ICFT) en las construcciones. La protección ICFT se instala además de las protecciones contra excesos de corriente como cortacircuitos o fusibles.

La figura 16.5 explica cómo funciona un ICFT. Siempre que el flujo de corriente en el neutro sea menor que el flujo de corriente en el alambre de corriente, se indica una falla de tierra, y un interruptor corta todo el circuito y detiene el flujo de corriente. Una dificultad de los ICFT es que es casi imposible evitar algunas fugas a tierra, en particular cuando las condiciones son húmedas o los cables de extensión demasiado largos. Esto hace que el ICFT se active aunque no haya ningún riesgo, una situación que en la industria de la construcción se conoce como “activación molesta”. Una alternativa es que el patrono pruebe, inspeccione y mantenga registros del estado de los conductores a tierra del equipo.

Un malentendido respecto a los cortos es la idea de que un buen fusible o cortacircuitos es suficiente para detener el flujo de un peligroso corto por el cuerpo de una persona. Un nuevo examen de la figura 16.1 demuestra que la persona morirá casi con toda certeza por exposición a una corriente que no haría ni saltar siquiera los fusibles domésticos populares más pequeños (es decir, fusibles de 15 o 20 amperes). Un fusible o cortacircuitos de 15 amperes recibirá hasta 15,000 miliamperes antes de volar, varias veces la cantidad de corriente mortal mostrada en la figura 16.1. Las bondades del tercer alambre,



**Figura 16-5** Interruptor de circuitos por falla a tierra (ICFT). La falla a tierra de 0.5 amperes provoca un desequilibrio de flujo de corriente entre el alambre de corriente y el neutro. Este desequilibrio activa el ICFT para que corte el circuito.

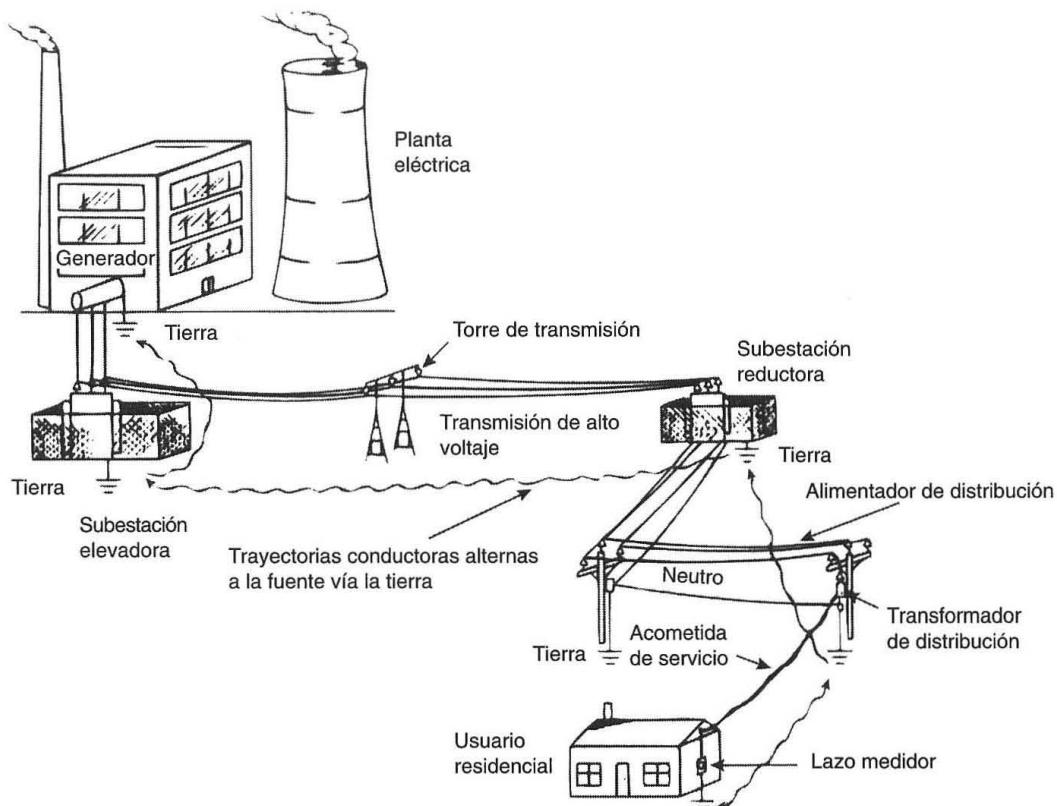


Figura 16-4 Trayectorias conductoras alternas a la fuente a través de la tierra.

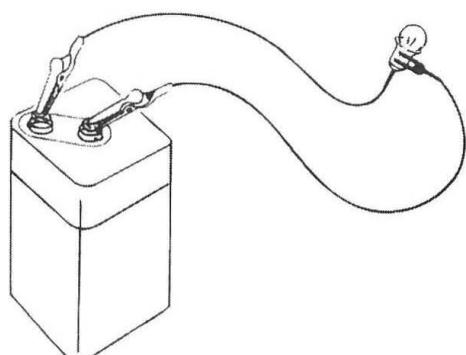
pasar la corriente eléctrica por su cuerpo. Una gran parte del *National Electrical Code®* está dedicada a la prevención de este riesgo.

La mejor manera de no convertirse en parte de la trayectoria a tierra es mediante el aislamiento de los conductores. Además, a las superficies conductoras expuestas se les da una buena conexión con tierra, usualmente por medio de un alambre, de forma que se reduzca al mínimo la posibilidad de que uno sirva de trayectoria a tierra. Paradójicamente, en algunos casos poco frecuentes, el *National Electrical Code®* utiliza un método opuesto. En algunos sistemas, tiene más sentido *aislar* la estructura completa de tierra. Si la estructura está aislada, los trabajadores están protegidos por no estar en contacto con conductores que los pudieran conectar con la tierra.

## Alambrado

El circuito común de 110 volts consta de tres alambres: *de corriente, neutro y de tierra*. Algunas veces, al neutro se le llama conductor “aterrizado”, en cuyo caso la tierra se llama conductor “aterrizante”. La finalidad del alambre de corriente (usualmente un alambre negro aislado) es proveer el contacto entre la fuente de energía y el dispositivo (carga) que la utiliza. El neutro (por lo general un alambre blanco aislado) completa el circuito conectando la carga con tierra. Tanto el alambre de co-

<sup>2</sup> La Asociación Nacional de Protección contra Incendios (*National Fire Protection Association, NFPA*) publica periódicamente el *National Electrical Code®*, abreviado NEC. National Fire Protection Association, 470 Atlantic Avenue, Boston, MA 02201.



**Figura 16-3** Circuito eléctrico que hace un lazo completo.

## Aterrizaje

En el análisis anterior empleamos el término “aterrizado”. ¿Qué significa este término eléctrico? Un requerimiento para que la corriente eléctrica fluya es que su trayectoria haga un lazo completo desde la fuente de energía eléctrica, a lo largo del circuito y de vuelta a la fuente de energía. Comprendemos este lazo cuando conectamos un foco de linterna a los postes de una batería, como se observa en la figura 16.3. La desconexión del circuito en cualquier punto del lazo detiene el flujo de la corriente. Esto significa que siempre deberá haber dos conductores: uno para llevar la corriente al dispositivo (usualmente llamado “carga”) que la utiliza y otro que la lleve desde la carga de regreso a la fuente eléctrica. Sin embargo, hay un truco que en la mayor parte de las aplicaciones de energía eléctrica convierte en muy simple el largo viaje de vuelta a la fuente eléctrica.

En su mayor parte, la tierra es un conductor bastante bueno de la electricidad. Además, tiene tanta masa que una fuente de electricidad hecha por el hombre no la afecta en forma alguna. Así, hagamos lo que hagamos sobre la superficie de la tierra, ésta mantiene un potencial o carga relativamente estable. Esto significa que si clavamos dos varillas en la tierra, aún a grandes distancias una de la otra, podemos considerar que la resistencia entre ellas es nula. El flujo de corriente puede no ser directo de una varilla a la otra, porque en todo momento hay millones de contactos eléctricos a tierra. Algunos de estos contactos son positivos y otros negativos, pero el resultado total es cero, es decir, al potencial de tierra. Así, cualquier conductor eléctrico que se introduzca en la tierra asumirá de inmediato este potencial cero de referencia. Ésta es una característica muy conveniente, porque nos permite aprovechar la tierra como un gran conductor común de vuelta a la fuente de energía. La figura 16.4 ilustra el uso de la tierra como conductor de regreso.

Un examen cuidadoso de la figura 16.4 revela que la empresa suministradora de energía incluye un conductor neutro por separado para completar el circuito de regreso a la fuente. Hay situaciones que hacen que depender del potencial común de la tierra de alguna manera sea poco confiable. Por ejemplo, una temporada muy seca puede hacer que la superficie de la tierra pierda su conductividad. Esto resulta especialmente un problema si el área está seca alrededor de la varilla del conductor de tierra enterrada en el suelo. Entonces, el conductor neutro asegura que el circuito se complete, independientemente de las condiciones del terreno.

El uso de la tierra en los circuitos eléctricos es tan ventajoso que se considera indispensable. Sin embargo, la misma conveniencia y proximidad del suelo presenta un riesgo. Si una persona hace contacto con un conductor energizado y al mismo tiempo está en contacto con la tierra o algún otro objeto que tiene una trayectoria conductora hacia tierra, cierra el lazo del circuito eléctrico haciendo

## CASO 16.2

Un trabajador utiliza una “luz de extensión” suspendida del cofre de un automóvil mientras repara el motor. El trabajador se inclina sobre la salpicadera mientras trabaja, de forma que su pecho hace un firme contacto, aunque presenta cierta resistencia por la delgada camiseta que utiliza y por la pintura de la salpicadera. La luz, que ha pasado por muchos años de uso pesado, tiene una conexión desgastada en el punto en el cual el cable flexible se une con el receptáculo del foco. Al ajustar el trabajador la posición de la luz, la conexión desgastada hace un contacto accidental entre el dedo índice del trabajador y el alambre de corriente. La corriente pasa por el dedo y el brazo del trabajador, continúa por numerosas rutas por su torso. La mayor parte fluye a tierra por el pecho y la salpicadera del automóvil y alguna por los pies y los zapatos. El contacto entre el alambre y el dedo es sólo parcial, y la resistencia eléctrica de la piel en el punto de contacto es de aproximadamente 800 ohms. Si esta resistencia representa más o menos la mitad de la resistencia total en el cortocircuito, ¿cuánta corriente fluirá por el torso del hombre? ¿Se activaría el cortacircuitos, que es para 15 amperes? ¿Sería una descarga mortal?

*Solución:* En esta situación, la corriente fluiría por muchas rutas paralelas en el cuerpo del hombre, pero para fines de considerar el flujo total de corriente debido al cortocircuito, se puede considerar que la ruta es equivalente a una ruta efectiva con una resistencia del doble de 800 ohms, es decir de 1600 ohms. Utilizando la ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110 \text{ volts}}{1600 \text{ ohms}} = 0.069 \text{ ampere}$$

$$= 69 \text{ miliampères}$$

Tal flujo de corriente es demasiado pequeño para activar el cortacircuitos de 15 amperes, aun si en el cálculo se incluye el flujo de corriente por la lámpara de 60 watts encendida, que según vimos antes era de 0.55 amperes. Si todo el cortocircuito de 69 miliampères pasa por el centro del cuerpo del individuo, estará en un peligro crítico de electrocución. La figura 16.1 revela que 69 miliampères están en la región de “a veces mortal” y de “parálisis respiratoria”. La víctima puede sobrevivir si un observador alerta está capacitado en resucitación cardiopulmonar y aplica respiración artificial, y si es lo suficientemente afortunada para que no ocurra fibrilación cardiaca.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110 \text{ volts}}{3 \text{ ohms}} = 36 + \text{amperes}$$

Este flujo de corriente se agregaría a la corriente que pudiera fluir por el cuerpo del hombre y las demás trayectorias a tierra, incluyendo quizás cierto flujo en la misma herramienta, antes de que el accidente cortara el cable por completo. Por tanto, la corriente total activaría fácilmente cualquier cortacircuitos e interrumpiría el flujo para proteger al trabajador.

*Caso B.* Una herramienta con doble aislamiento tendría una carcasa no conductora, por lo que no habría flujo alguno por la manija y el cuerpo del trabajador. El cortacircuitos se activaría cuando la hoja metálica hiciera contacto tanto con el alambre vivo como con el neutro bien aterrizado. Además, si en el momento del accidente la hoja estaba cortando una pieza de trabajo de aluminio, habría otra excelente trayectoria hacia tierra y hacia la pieza de trabajo aterrizada, de modo que una corriente en exceso activaría el cortacircuitos.

*Caso C.* Sin doble aislamiento para proteger al trabajador y ningún conductor a tierra para activar el cortacircuitos, se dan las condiciones para causar el común accidente que resulta en electrocución. La mano izquierda bien aterrizada del trabajador permitiría que un flujo sustancial de corriente pasara por su torso superior, la zona de peligro para una exposición del corazón y los pulmones. Un valor razonable de resistencia de la trayectoria, con un buen aterrizaje en la mano izquierda y la pieza de trabajo de aluminio sería de 600 ohms. En tal circuito a tierra, la corriente se calcularía como sigue:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110 \text{ volts}}{600 \text{ ohms}} = 0.183 \text{ ampere}$$

Esta corriente, tan sólo una pequeña fracción de un ampere, no surtiría efecto en un cortacircuitos normal de 15 o 20 amperes. A pesar de que una corriente de 183 miliamperes es demasiado reducida para romper el circuito, es muy grande para fluir por la parte superior del trabajador, y es peligrosa. Tal corriente se clasifica en la figura 16.1 como una descarga de fuerte a violenta, usualmente mortal, capaz de producir fibrilación cardiaca. La hoja metálica de la sierra puede proveer una buena trayectoria de tierra por medio del conductor neutro cortado o la pieza de trabajo con un buen aterrizaje, y crearía una corriente en exceso que activaría el cortacircuitos y salvaría la vida del trabajador. Pero tal aterrizaje dependería del azar; de otro modo, el accidente sería mortal.

En la figura 16.1 se puede observar que una corriente tan pequeña ni siquiera será notada. Pero añada cualquier transpiración u otra humedad, y la resistencia se reduce drásticamente. Debido a la sola transpiración, la resistencia de la piel se puede reducir 200 veces, a un nivel de unos 500 ohms con un buen contacto con el conductor eléctrico. Una vez en el interior del cuerpo, la resistencia eléctrica es muy baja y la corriente fluye casi sin impedimento. Si la resistencia total en el circuito es de sólo 500 ohms, la corriente se calcula como

$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R} = \frac{100 \text{ volts}}{500 \text{ ohms}} = 0.22 \text{ ampere} \\ &= 220 \text{ miliamperes} \end{aligned}$$

En la figura 16.1 se observa que si una corriente alterna de este nivel atraviesa el cuerpo y alcanza al corazón, probablemente será mortal. Por tanto, si alguna vez ha recibido una descarga eléctrica, y a la mayoría nos ha ocurrido, puede estar contento de que no estuviera sudando lo suficiente, que no tuviera un contacto lo bastante bueno, que la trayectoria de la corriente no pasara por el tronco, que estuviera mal aterrizada o que alguna otra resistencia obstruyera la corriente. De lo contrario, habría muerto por el circuito ordinario de 110 volts, sin importar lo resistente que se considerara a las descargas eléctricas. Los principios y conceptos de los riesgos de electrocución con corriente doméstica ordinaria quedan ilustrados en los casos 16.1 y 16.2.

### CASO 16.1

Un trabajador está usando una sierra circular de mano para cortar tiras de aluminio extruido en la fabricación de ventanas para tormenta. Con la mano izquierda sostiene firmemente la pieza en la que trabaja y la sierra con la mano derecha. El aluminio es un excelente conductor, y la pieza de trabajo está haciendo un contacto eléctrico sólido con tierra. En un accidente que sucede con frecuencia, el trabajador corta accidentalmente el cable eléctrico por la mitad. ¿Cuáles son las consecuencias probables en las tres circunstancias siguientes?

- Caso A: La herramienta está aterrizada mediante la tercera terminal de la clavija eléctrica.
- Caso B: La herramienta tiene doble aislamiento.
- Caso C: La herramienta tiene una clavija de tres barras, unida mediante un adaptador a un contacto de pared de dos terminales; la herramienta no está aterrizada.

#### *Solución*

*Caso A.* La corriente fluirá por la carcasa metálica de la manija de la sierra en dos trayectorias, una por el circuito de tierra y la otra por la mano derecha del trabajador, por el torso y por la mano izquierda hasta la pieza de trabajo, que está bien aterrizada. Aunque la resistencia en las trayectorias puede ser relativamente baja, la resistencia en la tercera terminal, que aterra el conductor, debe ser la menor de las dos, del orden de los dos o tres ohms. Una resistencia tan baja activaría de inmediato un cortacircuitos de 15 o 20 amperes, del tipo que se encuentran en tales circuitos, como se puede confirmar en el siguiente cálculo, utilizando la ley de Ohm:

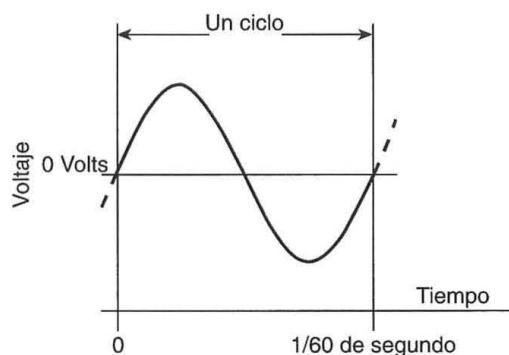


Figura 16-2 Voltaje de corriente alterna.

Los circuitos de corriente alterna (CA), que son los predominantes en los hogares y las industrias, son los más importantes. Los circuitos AC comunes tienen frecuencia de 60 ciclos por segundo (en los Estados Unidos, en Canadá, y en México), como se muestra en la figura 16.2. Es más conveniente generar y distribuir corrientes alternas que corrientes directas. Pero los cálculos de la corriente, resistencia y voltaje utilizando la ley de Ohm son algo incómodos en los circuitos de CA, porque en cada ciclo el voltaje varía de cero a positivo, de vuelta a cero, a negativo y de nuevo a cero. Por comodidad, en los circuitos CA se calcula una corriente “efectiva” como un valor un poco inferior a los picos de corriente. Una corriente directa a través de una carga dada genera tanto calor como una corriente alterna con corrientes pico 41.4 por ciento superiores. Así, la relación de corriente efectiva a corriente pico se calcula como sigue:

$$\frac{\text{Corriente efectiva}}{\text{Corriente pico}} = \frac{100\%}{100\% + 41.4\%} = 0.707 = 70.7\%$$

Los voltajes efectivos se calculan con las mismas relaciones que las corrientes efectivas, ya que están relacionados por la ley de Ohm. Entonces, un circuito ordinario de 110 volts tiene un voltaje efectivo de 110 volts, aunque en cada ciclo ocurren picos de voltaje mayores a 150 volts.

La corriente que consume un foco ordinario de lámpara de 60 watts puede calcularse despejando la ecuación (16.2)

$$I = \frac{W}{V} = \frac{60 \text{ watts}}{110 \text{ volts}} = 0.55 \text{ ampere}$$

Debido a que el alambre y otras partes del circuito consumirán algo de energía, una buena aproximación al flujo de corriente en la lámpara de mesa de 60 watts es de 1/2 ampere, o sea 500 miliamperes, como dijimos.

Volviendo ahora a la pregunta de por qué no muere más gente por circuitos ordinarios de 110 volts, usemos la ley de Ohm para determinar cuánto puede limitar la piel el flujo de corriente eléctrica a través del cuerpo. Si está bien seca, la piel es un buen aislante y puede tener una resistencia de 100,000 ohms o más. Utilizando la ley de Ohm, una exposición a 110 volts resultaría entonces en sólo una corriente diminuta:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110 \text{ volts}}{100,000 \text{ ohms}} = 0.0011$$

= aproximadamente un miliampere

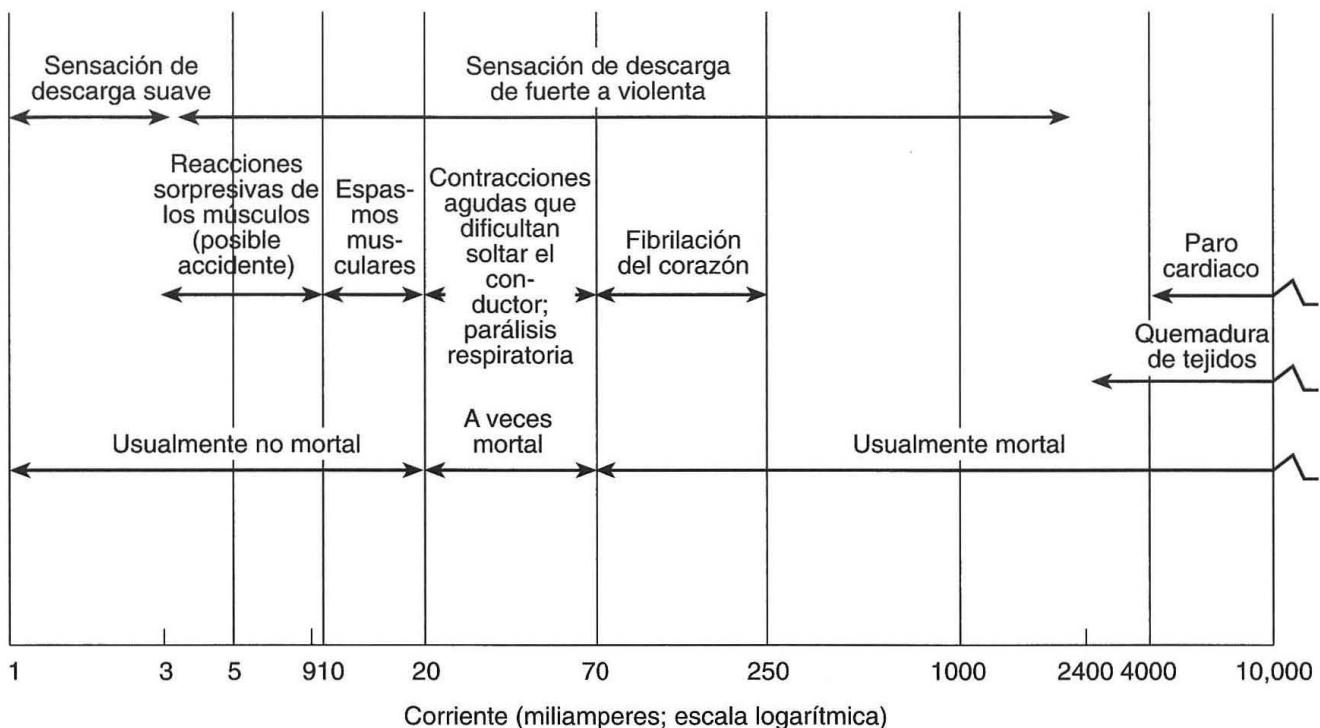


Figura 16.1 Efecto de la corriente eléctrica alterna en el cuerpo humano.

## Ley de Ohm

La ley básica de los circuitos eléctricos es la *ley de Ohm*, que dice

$$I = \frac{V}{R} \quad (16.1)$$

donde  $I$  = corriente en amperes

$R$  = resistencia en ohms

$V$  = voltaje en volts

La ley se puede volver a escribir de la forma

$$V = IR \text{ o } R = \frac{V}{I}$$

El wattaje es una medida de la potencia, y se calcula a partir de cantidades conocidas de corriente y voltaje o resistencia, como sigue:

$$W = V \times I \text{ y } W = I^2R \quad (16.2)$$

donde  $W$  es la potencia en watts

tales. Cuando el torso cierra el circuito, se produce también una exposición que puede ser mortal. Otro factor es la presencia de heridas en la piel, pues si están en la zona de contacto, el flujo de corriente puede ser mucho mayor.

## Efectos fisiológicos

El sistema nervioso central es el conducto para las señales entre el cerebro y los músculos, incluyendo los de órganos vitales como el corazón y el diafragma. Estas señales están constituidas por diminutos voltajes eléctricos que originan las contracciones y distensiones musculares. Una descarga eléctrica externa envía por el cuerpo corrientes muchas veces mayores a las diminutas corrientes naturales del sistema nervioso. Estas corrientes mayores acalambran o congelan los músculos en violentas contracciones que no permitirán que la víctima suelte el objeto contactado o que detendrán la respiración o el corazón.

El corazón es nuestro músculo más importante. Su función es una contracción y relajación rítmica, controlada por pulsos eléctricos naturales. Por tanto, es muy vulnerable a cualquier corriente eléctrica pulsante. La alimentación de energía eléctrica común suministra una corriente alterna que cicla a una frecuencia de 60 hertz. Es irónico que 60 Hz sea una de las frecuencias más peligrosas a las que se pueda exponer el corazón. Esta frecuencia tiende a provocar que el corazón late débil e irregularmente a una velocidad demasiado rápida para ser eficaz, un fenómeno conocido como *fibrilación*. Una vez que comienza la fibrilación, la muerte es casi segura, aunque a veces es posible detenerla mediante descargas eléctricas controladas que restablecen el ritmo cardíaco natural. Por desgracia, raramente se dispone de un desfibrilador con rapidez suficiente para salvar la vida de una víctima electrocutada.

La respiración suspendida por choque eléctrico se debe al acalambramiento de los músculos responsables, como el diafragma y los intercostales que controlan la expansión de la caja torácica. El remedio en primeros auxilios es dar respiración artificial, igual que en el caso de los casi ahogados y en otras crisis respiratorias.

¿Cuánta corriente es mortal? No hay una respuesta precisa, pero la figura 16.1 resume la opinión de varios expertos. La escala horizontal es logarítmica y está en unidades de miliamperes, es decir, milésimas de ampere. Para poner la gráfica en perspectiva, una lámpara de mesa ordinaria, con un foco de 60 watts, consume aproximadamente 500 miliamperes de corriente, mucho más de lo necesario para ser mortal. Un circuito doméstico ordinario de 20 o 30 amperes no activará el cortacircuitos hasta que haya un flujo de corriente de 20,000 a 30,000<sup>1</sup> miliamperes, aproximadamente de 100 a 1000 veces lo que se requiere para la dosis mortal.

Con tanta potencia en los circuitos domésticos ordinarios de 110 volts, parecería que casi nadie podría sobrevivir una descarga eléctrica. Pero el cuerpo, y en particular la piel, ofrece una resistencia que limita el flujo de la corriente eléctrica cuando es expuesta a un potencial de 110 volts. Para comprender esta resistencia, habrá que repasar los fundamentos de la electricidad.

---

<sup>1</sup>1 amper = 100 miliamperes