

# 01

C U R S O P R A C T I C O D E

# ELECTRICIDAD

Instalaciones • Reparaciones • Proyectos

## INSTALACIONES

- Fundamentos de Electricidad
- Reglas Básicas de Seguridad Eléctrica

## REPARACIONES

- Teoría de Reparaciones Eléctricas

## PROYECTOS

- Conociendo Circuitos Prácticos (I)



**Teoría y práctica para diseñar, realizar y reparar fácilmente instalaciones eléctricas**

Colombia \$3.490  
Venezuela  
Ecuador  
Panamá  
Perú

**CEKIT**  
COMPAÑIA EDITORIAL ELECTRONICA

ISBN 958-657-080-0



9 789586 570800

# ELECTRICIDAD

Instalaciones • Reparaciones • Proyectos

Realizado y editado por:



COMPANÍA EDITORIAL ELECTRONICA

Calle 22 N° 8-22, Piso 2, A. A. 194  
Tels: 352194 - 252653 - 332206, Fax: 342615

Pereira • Colombia

Carrera 13 N° 38-43, Piso 1, A.A. 50 777  
Tels: 28 73 086 - 28 73 420, Fax: (91) 28 77 318

Santafe de Bogotá D.C. • Colombia

e-mail: ecekit@itecs5.telecom-co.net  
http://www.cekit.com

**Gerente General:** Santiago Pinzón R.

**Director Comercial:** Humberto Real Blanco

**Director Editorial:** Felipe González G.

El Curso Práctico de Electricidad ha sido elaborado según el plan del editor y del autor, y bajo su responsabilidad, por los siguientes integrantes del departamento técnico de CEKIT S. A.:

**Autores:** Jorge Eduardo Hernández M.  
Felipe González G.

**Dirección Técnica:** Jorge E. Hernández M.

**Producción Editorial:** Germán Escobar V.

**Diagramación y Dibujos:** Hector H. Jiménez G.

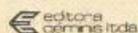
© CEKIT S. A. 1996  
Pereira - Colombia

Todos los derechos reservados. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, without permission in writing from the publisher.

ISBN ( Fascículo 1 ): 958-657-080-0  
ISBN ( Volumen 1 ): 958-657-079-7  
ISBN ( Obra completa ): 958-657-078-9

Impreso en Colombia • Printed in Colombia  
Impreso y encuadernado por:



El **CURSO PRACTICO DE ELECTRICIDAD** de CEKIT S. A. se publica en forma de 30 fascículos de aparición semanal, encuadernables en 3 volúmenes. Cada fascículo consta de 4 páginas de cubiertas y 20 páginas de contenido. De estas últimas, 16 están dedicadas al desarrollo teórico-práctico de los capítulos de **INSTALACIONES ELECTRICAS** (12 páginas) y **REPARACION DE ELECTRODOMESTICOS** (4 páginas). Las 4 páginas centrales de cada fascículo están dedicadas a la descripción detallada de una gran variedad de **PROYECTOS PRACTICOS** de electricidad (instalaciones, reparaciones, construcción de controles electrónicos, etc.).

Las páginas de cada sección son encuadernables por separado. Por esta razón, al formar los volúmenes, debe cuidarse de desprender previamente, de todos los fascículos, las 4 páginas centrales de **PROYECTOS**, las 4 páginas siguientes de **REPARACIONES** y las 12 páginas restantes de **INSTALACIONES**. Con el fascículo que completa cada uno de los tres volúmenes de la obra se pondrán a la venta las tapas para su encuadernación. Los volúmenes se conforman de la siguiente manera:

## VOLUMEN 1

### INSTALACIONES ELECTRICAS I

Páginas: 1 a 240 • Fascículos: 1 al 20

## VOLUMEN 2

### INSTALACIONES ELECTRICAS II Y REPARACIONES

Primera parte: **INSTALACIONES ELECTRICAS II**

Páginas: 241 a 360 • Fascículos: 21 al 30

Segunda parte: **REPARACIONES ELECTRICAS**

Páginas: 361 a 480 • Fascículos: 1 al 30

## VOLUMEN 3

### PROYECTOS PRACTICOS

Páginas: 1 a 120 • Fascículos: 1 al 30

**CEKIT S. A.** garantiza la publicación de la totalidad de la obra, el suministro de las tapas necesarias para su encuadernación y el servicio de números atrasados hasta un año después de terminada la circulación del último fascículo. También garantiza el correcto funcionamiento de los proyectos presentados. Sin embargo, no se responsabiliza de los accidentes de origen eléctrico como sacudidas, quemaduras, incendios, explosiones, etc. causados por la imprudencia de los usuarios, el uso inadecuado de la energía eléctrica, la omisión de reglas de seguridad, la violación de normas eléctricas locales y el uso incorrecto de cualquier información proporcionada en este curso.

## DISTRIBUCION INTERNACIONAL

**Colombia:** DISTRIBUIDORAS UNIDAS • **Venezuela:** DISTRIBUIDORA CONTINENTAL

**Ecuador:** DISTRIBUIDORA ANDES • **Panamá:** PANAMEX S.A.

**Perú:** Importaciones RIGUSE S. A.

**Representación en el área II: Editorial CONOSUR S.A.**

Avda. Córdoba 2064 Tel./fax (541) 373-2614 / 372-7609 / 814-4296 Buenos Aires - Argentina  
Distribuidores: Argentina: Capital: Vaccaro Sánchez y Cía. Interior: Distribuidora Bertran S.A.C.

Chile: Distribuidora Alfa S.A. • Uruguay: Grafia S.A. • Paraguay: Selecciones S.A.C.

Bolivia: Agencia Moderna Ltda.

SUSCRIPCIONES, NUMEROS ATRASADOS, CONSULTAS TECNICAS Y COMPONENTES PARA PROYECTOS Y EXPERIMENTOS EN COLOMBIA

# INTRODUCCION

## Estimado lector:

Bienvenido al fascinante mundo de la **electricidad**, una de las ciencias que más ha transformado la historia de la humanidad y de la cual dependen más de cinco mil millones de habitantes del planeta. Trate simplemente de imaginar lo que sería nuestra vida diaria sin la electricidad: no tendríamos luz eléctrica, teléfono, televisión, aire acondicionado, radios, computadores, equipos de sonido, estufas eléctricas, lavadoras, licuadoras, neveras, máquinas de fax, ni equipos médicos. Tampoco existirían las comunicaciones, la industria, los automóviles, ni serían posibles los viajes a otros mundos. Vivimos rodeados de una variedad cada vez más creciente de aparatos eléctricos y electrónicos que dependen de la electricidad para funcionar. Sin lugar a dudas, la electricidad contribuye a que cada día nuestra vida sea más fácil, entretenida e interesante. Entonces, ¿por qué no aprender electricidad?

CEKIT S.A., empresa líder en la enseñanza y divulgación tecnológica, presenta su **CURSO PRACTICO DE ELECTRICIDAD**, una obra absolutamente novedosa que lo conducirá gradualmente, desde los principios básicos hasta las aplicaciones más avanzadas, por dos de las áreas de mayor interés práctico de la electricidad a nivel técnico y profesional:

## Instalaciones Eléctricas & Reparaciones Eléctricas

Si su interés en la electricidad es de tipo profesional, este curso es para usted. Está dirigido a todas aquellas personas que desean iniciarse en el conocimiento de la electricidad y hacer de la misma un oficio para su futuro. También será de gran ayuda para los amantes del "hágalo-usted-mismo" que desean realizar sus propios trabajos eléctricos caseros, a menudo triviales, pero sienten un especial respeto por las instalaciones eléctricas o no saben como funcionan los artefactos eléctricos. En él encontrará toda la información necesaria para planificar, presupuestar y realizar técnica y exitosamente instalaciones y reparaciones eléctricas, y aprenderá a utilizar la electricidad en forma segura y eficiente.

Como profesional de la electricidad, usted no solamente adquiere unos conocimientos técnicos claves para su desenvolvimiento como ciudadano del mañana, sino que también obtiene satisfacciones personales y económicas, ahorra dinero y consigue reconocimiento laboral y social por su trabajo. El rápido crecimiento de la tecnología eléctrica hace que la misma proporcione empleo directo a un gran número de individuos calificados (ingenieros, técnicos, tecnólogos, diseñadores, dibujantes, profesores, etc.) y motive a otros a prepararse adecuadamente en este campo para mejorar su nivel de vida actual.

Todas estas posibilidades están ahora a su alcance con el **Curso Práctico de Electricidad** de CEKIT. A través de su estudio y la premisa de "aprender haciendo", característica de todas nuestras obras, muy pronto descubrirá que la electricidad no solamente es fácil, sino que también es una ciencia fascinante y un oficio muy lucrativo. Unase a la élite del creciente número de personas que han hecho de la electricidad su profesión o su hobby. El mundo necesita cada vez más de personas como usted y éste puede ser su primer paso en esa dirección. ¡Felicitaciones!

## Como está estructurado este curso

El **Curso Práctico de Electricidad CEKIT** es un programa teórico-práctico, diseñado con la metodología propia de CEKIT S. A. y estructurado alrededor de las áreas de "**Instalaciones Eléctricas**" y "**Reparaciones Eléctricas**". Como material complementario, el curso incluye una sección central denominada "**Proyectos Prácticos**", con instrucciones claras y precisas sobre cómo realizar instalaciones, reparaciones y otros trabajos eléctricos específicos en su hogar o sitio de trabajo. También aprenderá en esta sección a construir alarmas, controles de iluminación, interruptores inalámbricos, accesorios telefónicos y otros circuitos electrónicos útiles que le permitirán convertir su casa en un lugar más seguro, inteligente y agradable de vivir. El siguiente es el perfil general de cada una de las partes de esta obra.

**“Instalaciones Eléctricas”** proporciona los conocimientos, métodos y procedimientos básicos requeridos para la planeación, cálculo y ejecución técnica y segura de circuitos e instalaciones eléctricas en casas, apartamentos, locales comerciales y pequeñas industrias. Usted aprenderá, por ejemplo, a:

- √ Conocer la electricidad y aprender a utilizarla en forma eficiente y segura
- √ Conocer los distintos componentes, materiales, herramientas e instrumentos empleados(a) en trabajos eléctricos con circuitos e instalaciones y utilizarlos racionalmente.
- √ Conocer como está estructurado el sistema eléctrico de su casa y las normas que lo regulan
- √ Planear, calcular, realizar, proteger, adecuar y reparar técnicamente instalaciones eléctricas
- √ Interpretar planos eléctricos de instalaciones y conocer los términos, conceptos, símbolos, etc. más utilizados en el lenguaje eléctrico
- √ Realizar instalaciones eléctricas en ambientes interiores y exteriores
- √ Realizar puestas a tierra para su protección personal y la de sus equipos más delicados

**“Reparaciones Eléctricas”** proporciona los conocimientos, métodos y elementos de análisis requeridos para reparar con éxito una gran variedad de artefactos eléctricos de uso común en la mayoría de hogares modernos. Usted aprenderá a:

- √ Conocer los procedimientos generales para diagnosticar, localizar y corregir fallas en electrodomésticos grandes y pequeños, incluyendo planchas, estufas, cafeteras, tostadoras, secadoras de cabello, licuadoras, batidoras, brilladoras, aspiradoras, ventiladores, lavadoras, neveras, sistemas de aire acondicionado, etc.
- √ Manejar las herramientas e instrumentos más comúnmente utilizados en la realización de reparaciones eléctricas y a efectuar soldaduras eléctricas firmes y eficientes.
- √ Presupuestar sus reparaciones e identificar los sitios donde conseguir los repuestos

**“Proyectos Prácticos”** explica en forma clara y concisa la manera de realizar trabajos eléctricos comunes y enseña a construir paso a paso una gran variedad de circuitos, instrumentos y sistemas de control electrónicos de uso eléctrico para el hogar o el banco de trabajo. Entre los proyectos incluidos figuran:

- √ Realización de instalaciones y reparaciones eléctricas típicas
- √ Construcción de aparatos de prueba
- √ Construcción de un localizador inalámbrico de tuberías y cables metálicos
- √ Construcción de un desvanecedor de luces (dimmer)
- √ Construcción de un sistema de alarma para el hogar
- √ Construcción de un interruptor activado por sonido
- √ Construcción de un sistema de control de aparatos por computador

Todas las páginas que desarrollan los contenidos temáticos del curso han sido redactadas, diagramadas y organizado en forma muy sencilla, didáctica y agradable, con párrafos concisos y una gran variedad de fotografías, ilustraciones, diagramas, etc., que aclaran las ideas expuestas y hacen más ameno el seguimiento de los distintos aspectos tratados. Al final de la obra se suministra un completo cuestionario que le servirá para evaluar su grado de aprendizaje y optar a un certificado de conocimientos en Electricidad expedido por CEKIT S. A. También le será útil como material de repaso y referencia.

## Reglas básicas de seguridad eléctrica

La seguridad eléctrica es una cuestión de actitud mental (la sensación de que usted desea trabajar en forma segura), conocimientos profesionales y sentido común, que nos atañe a todos, no solamente desde el punto de vista de nuestra propia protección sino de la de quienes nos rodean y del sitio donde vivimos o desarrollamos algún tipo de actividad. Cuando se trabaja con electricidad, no hay libertad de acción para los errores, las improvisaciones ni las decisiones temerarias.

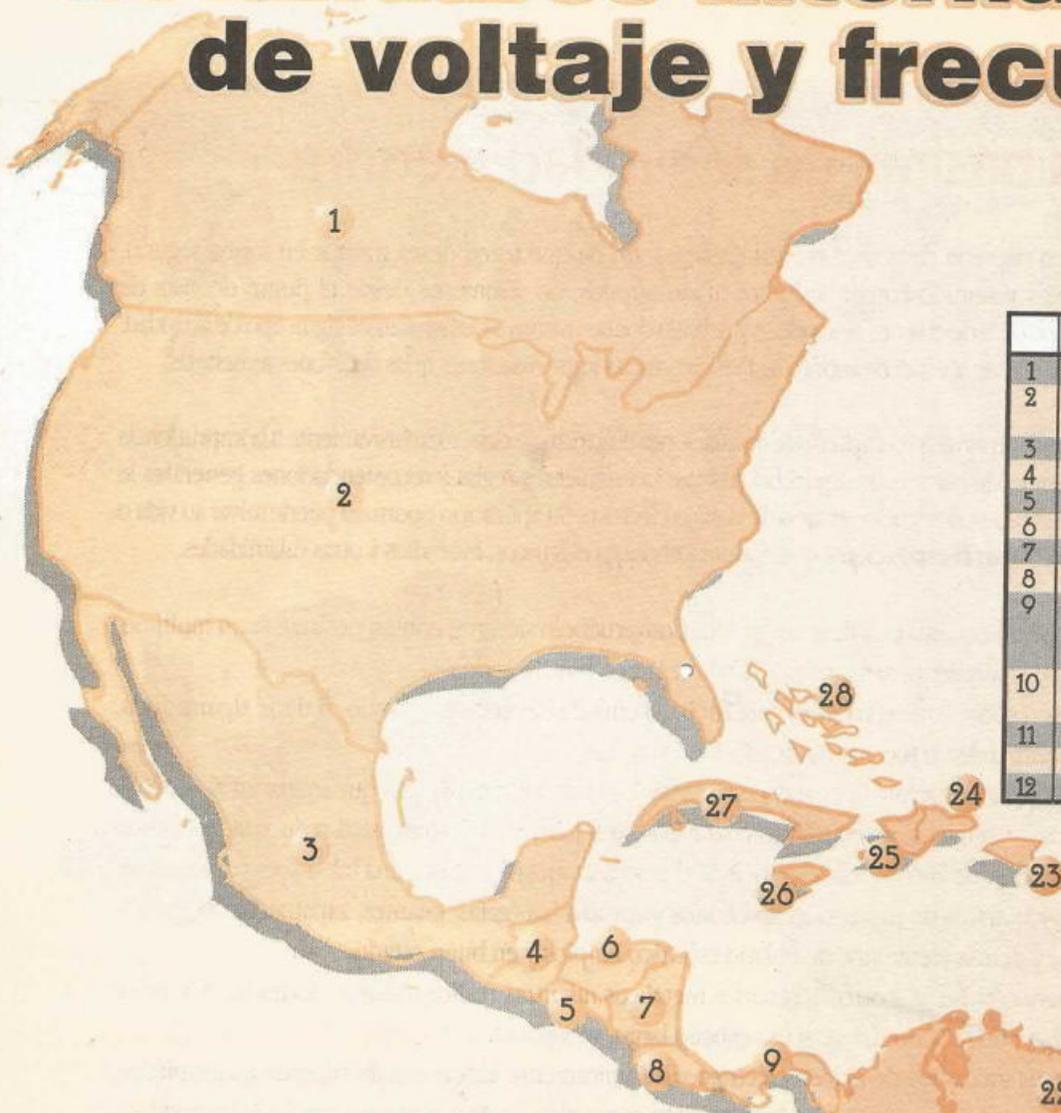
Muchos de los accidentes que se producen con aparatos e instalaciones eléctricas se deben exclusivamente a la imprudencia de los usuarios y al desconocimiento de normas de seguridad básicas. Las siguientes reglas y recomendaciones generales le ayudarán a prevenir accidentes cuando realice cualquier tipo de trabajo eléctrico. Su aplicación oportuna puede salvar su vida o la de otras personas, y su omisión causar la exposición a quemaduras, choques eléctricos, incendios y otras calamidades.

- \* No asuma nunca *a priori* que un circuito está desenergizado. Compruébelo siempre con un probafase, un multímetro, una lámpara de prueba o cualquier otro aparato o instrumento en buen estado.
- \* Si está completamente seguro sobre como proceder ante un problema de electricidad, hágalo; si tiene alguna duda, solicite ayuda de un electricista o de un técnico calificado.
- \* No trabaje con bajos niveles de iluminación, ni cuando esté cansado o tomando medicinas que induzcan al sueño.
- \* No trabaje en zonas húmedas o mientras usted mismo o su ropa estén húmedos. La humedad reduce la resistencia de la piel y favorece la circulación de la corriente eléctrica. Si el piso esta mojado, utilice una tabla seca para aislarse.
- \* Use herramientas, equipos y aparatos de protección aprobados y apropiados (gafas, guantes, zapatos, casco, etc.).
- \* Mantenga sus herramientas y demás elementos de trabajo eléctrico limpios y en buen estado.
- \* Evite el uso de anillos, cadenas, pulseras y otros accesorios metálicos mientras realice trabajos eléctricos. No utilice tampoco prendas sueltas que puedan enredarse. Si usa cabello largo, recójase.
- \* No utilice agua para combatir incendios de origen eléctrico. Use únicamente extintores de incendios apropiados, preferiblemente de anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>). También pueden servir algunas espumas y sustancias halogenadas.
- \* No intente trabajar sobre equipos o circuitos complicados hasta estar seguro de comprender bien como funcionan y haya localizado los puntos potenciales de peligro.
- \* Conozca siempre donde se localizan los dispositivos de desconexión de los aparatos e instalaciones eléctricas como enchufes, fusibles e interruptores generales. Si es necesario, márquelos con algún tipo de etiqueta.
- \* No elimine las tomas ni los alambres de tierra de las instalaciones y aparatos eléctricos. Por el contrario, compruebe que estén en buen estado. Las conexiones de tierra protegen a las personas de recibir choques eléctricos. El conductor de protección verde/amarillo de las instalaciones no deber ser desconectado, eliminado ni empleado para otros fines.
- \* Una persona que no tenga habilidades para utilizar herramientas básicas o seguir instrucciones escritas no debe intentar realizar instalaciones ni reparaciones eléctricas de cierta magnitud. Cualquier error podría ser fatal o causar daños irreversibles a la propiedad o a los aparatos.

*Este logo será utilizado con frecuencia a lo largo de este curso. Llama la atención sobre trabajos específicos en los que deben extremarse las precauciones de seguridad para evitar choques, cortocircuitos, quemaduras y otros accidentes de origen eléctrico.*



# Estándares internacionales de voltaje y frecuencia



	PAIS	F	1~	3~
1	Canadá	60	120	240
2	Estados Unidos	60	115	208
	"	60	230	460
3	México	60	127	220
4	Guatemala	60	120	240
5	El Salvador	60	115	230
6	Honduras	60	110	220
7	Nicaragua	60	120	240
8	Costa Rica	60	120	240
9	Panamá	60	110	220
	"	60	115	230
	"	60	120	240
10	Colombia	60	110	220
	"	60	120	208
11	Ecuador	60	120	208
	"	60	127	220
12	Perú	50&60	110	220



	PAIS	F	1~	3~
13	Bolivia	50	115	230
	"	60	220	380
	"	60	230	400
14	Chile	50	220	380
15	Argentina	50	220	380
16	Uruguay	50	220	220
17	Paraguay	50	220	380
18	Brasil	60	127	220
	"	60	220	380
19	Surinam	60	127	220
20	Guyana	50&60	110	220
21	Trinidad&Tobago	60	115	230
22	Venezuela	60	120	240
23	Puerto Rico	60	120	240
24	R. Dominicana	60	110	220
25	Haití	50&60	110	220
26	Jamaica	50	110	220
27	Cuba	50	220	380
28	Bahamas	60	120	208

## CONVENCIONES

F : Frecuencia en Hertzios (Hz)  
 1~: Tensión monofásica en Voltios (V)  
 3~: Tensión trifásica en Voltios (V)

C U R S O P R A C T I C O D E

# ELECTRICIDAD

INSTALACIONES. Parte 1

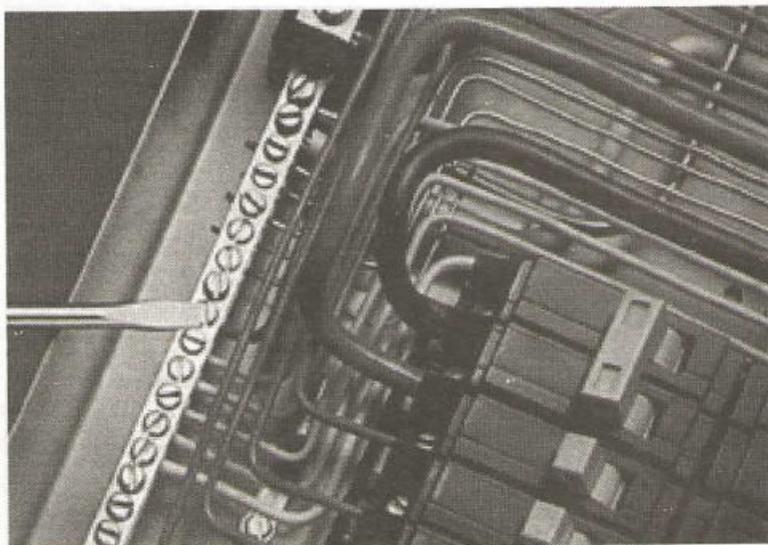
Normas técnicas • Planeación

Protección • Cálculo

Selección de componentes • Adecuación

Realización práctica • Mantenimiento

Prueba • Interpretación de planos...y mucho más



## Volumen 1

**CEKIT**<sup>®</sup>  
COMPAÑIA EDITORIAL ELECTRONICA

Realizado y editado por:



**Oficina principal**

Calle 22 N° 8-22, piso 2  
Teléfonos: 352394 - 352194 - 356135  
332206 - 352575 - 352191 - 252653  
Fax (963) 342615; A.A. 194  
e-mail: ecekit@itecs5-telecom-co.net

**Pereira - Colombia - S.A.**

**Oficina en Bogotá**

Cra 13 N° 38-43 piso 1 A.A. 50777  
Teléfonos: 2873086 - 2873420  
Fax (91) 2877318

**Santafé de Bogotá D.C. Colombia**

**Gerente general**

Santiago Pinzón R.

**Director comercial**

Humberto Real Blanco

**Director editorial**

Felipe González G.

**Director técnico**

Jorge E. Hernández M.

**Autores**

Jorge E. Hernández M.  
Felipe González G.

**Diagramación electrónica**

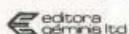
Germán Escobar Villada  
Héctor Hugo Jiménez G.

© CEKIT S.A. 1996 Pereira - Colombia S.A.  
Prohibida su reproducción parcial o total  
por cualquier medio sin permiso escrito del  
editor.

ISBN (Volumen 1) 958-657-079-7  
ISBN (Obra completa) 958-657-078-9

PRINTED EN COLOMBIA  
IMPRESO EN COLOMBIA

Impreso por:



# Fundamentos de electricidad

**E**l trabajo eléctrico es uno de los tipos de actividades más fáciles de realizar en el hogar o la oficina: es simple, limpio y seguro; no requiere instrumentos ni herramientas demasiado especializadas; está suficientemente estandarizado y regulado; etc.

Sin embargo, antes de trabajar con electricidad y emprender la realización de instalaciones o reparaciones eléctricas, es importante comprender algunos aspectos básicos relacionados con la electricidad misma y la forma de trabajar con ella eficientemente y sin riesgos.

Este capítulo explica, a grandes rasgos, que es la electricidad, cómo se manifiesta, cómo se produce, cómo se aprovecha y cómo llega a nuestras casas.

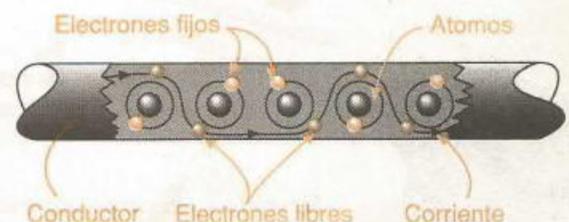
## Qué es la electricidad

La **electricidad** es una forma invisible de energía que se produce como resultado de la existencia de unas diminutas partículas llamadas **electrones libres** en los átomos de ciertos materiales o sustancias. Estas partículas, al desplazarse a través de la materia, constituyen lo que se denomina una **corriente eléctrica** (figura II-1).

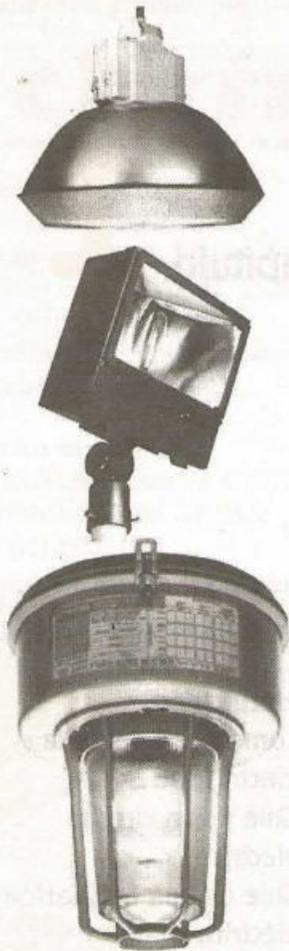
En otras palabras, la electricidad no es un invento del hombre sino una fuerza natural, como el magnetismo y la gravedad. Los investigadores estudian las propiedades eléctricas de la materia con el propósito de conocer su comportamiento y desarrollar dispositivos para generar, almacenar y/o controlar la electricidad, o transformarla en otras formas de energía.

Actualmente, el número de artefactos que transforman la electricidad en otras formas de energía, y viceversa, es impresionantemente extenso (figura II-2): motores, alternadores, baterías, lámparas, electrodomésticos, automóviles, computadores, robots, satélites, etc.

- Qué es la electricidad
- Cómo se manifiesta la electricidad
- Cómo se produce la electricidad
- Qué es un circuito eléctrico
- Qué es una instalación eléctrica
- Cómo llega la electricidad a nuestras casas



**Figura II-1.** Una corriente eléctrica se origina como consecuencia del movimiento de los electrones libres a través de un material.



**Figura 11-2.** Los dispositivos eléctricos convierten la electricidad en otras formas de energía, o viceversa. Las lámparas de la figura, por ejemplo, producen luz (energía luminosa) a partir de energía eléctrica.

**Cómo se manifiesta la electricidad**

La electricidad puede manifestarse en forma estática o dinámica. La **electricidad estática** aparece cuando se frota entre sí dos sustancias diferentes, por ejemplo una varilla de vidrio con una seda o una varilla de ebonita con una piel. En ambos casos, la frotación comunica a cada cuerpo una cierta cantidad de energía llamada **carga eléctrica** (figura 11-3).

La carga eléctrica puede ser **positiva (+)** o **negativa (-)**. En nuestro ejemplo, el vidrio adquiere una carga positiva y la ebonita una carga negativa. Los cuerpos con cargas del mismo signo se repelen entre sí, mientras que los cuerpos con cargas de diferente signo se atraen mutuamente. Este tipo de fenómenos estáticos son muy comunes en la vida diaria, pero no tienen mayor aplicación práctica.

La **electricidad dinámica** se produce cuando se estimula en un material una corriente apreciable de electrones aplicando una fuerza externa llamada **voltaje**. Esta corriente, al circular a través de la materia, produce una gran variedad de efectos útiles, incluyendo luz, calor, movimiento, sonido, etc. Puesto que este es el tipo de electricidad que vamos a utilizar en este curso, es importante comprender su naturaleza.

Todas las sustancias están formadas de **átomos** y éstos, a su vez, de varias partículas elementales, siendo las más importantes, desde el punto de vista eléctrico, los **electrones**, los **protones** y los **neutrones**. Los

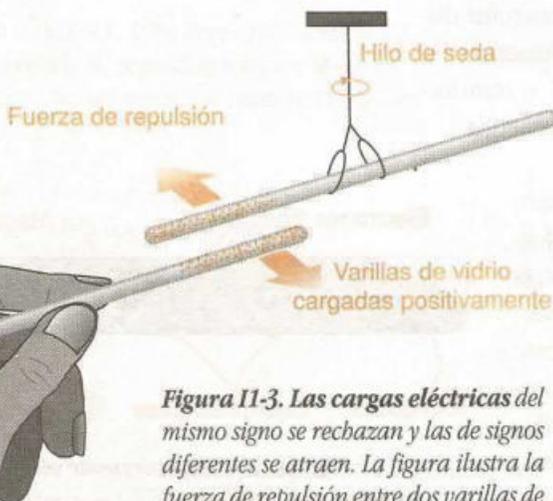
electrones son de carga **negativa (-)**, los protones de carga **positiva (+)** y los neutrones, partículas sin carga.

Los protones y neutrones constituyen el **núcleo**, con los electrones girando alrededor del mismo en órbitas o niveles de energía (figura 11-5). Los protones atraen a los electrones, evitando que escapen del átomo. A su vez, los protones se rechazan entre sí, pero estas fuerzas de repulsión son compensadas por los neutrones. Por esta razón, la materia no se desintegra.

En algunos materiales, los electrones de las órbitas exteriores son tan débilmente atraídos por los protones del núcleo que, bajo la influencia de una fuerza externa, les es muy fácil escapar del átomo para convertirse en **electrones libres**. En otras sustancias, estos electrones son tan fuertemente atraídos que les es prácticamente imposible escapar y conducir corrientes eléctricas. Los primeros materiales se denominan **conductores** y los segundos **aislantes** (figura 11-4).

Ejemplos de conductores son el agua y los metales como el oro, la plata, el aluminio y el cobre. Ejemplos de aislantes son el caucho, la madera, el papel, el vidrio, la mica, la porcelana y plásticos. El conocimiento de las propiedades de los conductores y los aislantes, es clave para utilizar la electricidad en forma racional, eficiente y segura.

Existe también una categoría intermedia de materiales llamados **semiconductores** los cuales pueden comportarse indistintamente como conductores o como aislantes dependiendo del voltaje aplicado. Ejemplos de semiconductores eléctricos son el silicio y el germanio con los cuales se fabrican los diodos, los transistores, etc.



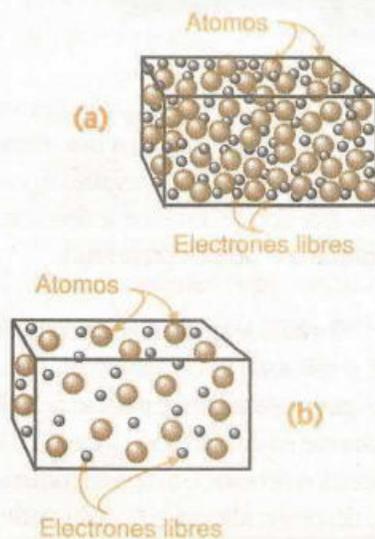
**Figura 11-3.** Las cargas eléctricas del mismo signo se rechazan y las de signos diferentes se atraen. La figura ilustra la fuerza de repulsión entre dos varillas de vidrio cargadas positivamente.

Los materiales semiconductores se utilizan principalmente en electrónica, una de las ciencias derivadas de la electricidad de mayor progreso técnico en los últimos tiempos. En este curso, aprenderemos algunas nociones de electrónica en capítulos avanzados de la sección de reparaciones eléctricas.

Algunos materiales son mejores conductores de la electricidad que otros o lo hacen bajo determinadas circunstancias. Por ejemplo, el aire normalmente es un buen aislante, pero se vuelve conductor durante las tormentas, permitiendo el paso de rayos y la producción de relámpagos. Así mismo, el oro es mejor conductor que el cobre y el aluminio, pero estos últimos son más utilizados en electricidad por razones de economía.

### Cómo se produce la electricidad

Existen actualmente muchos métodos para generar voltajes e impulsar corrientes eléctricas: baterías, alternadores, generadores, dínamos, reactores, etc. Cada uno de estos equipos convierte en electricidad algún otro tipo de energía.



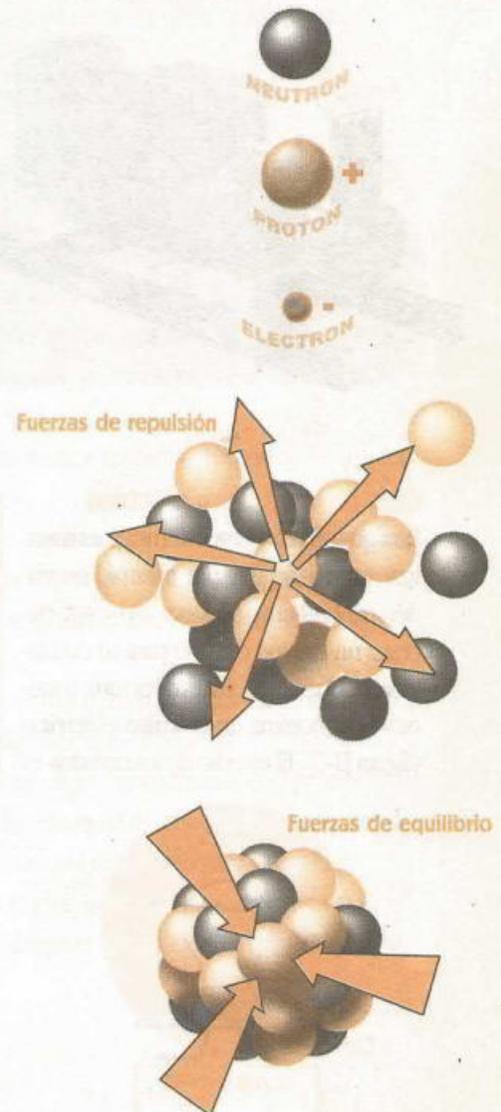
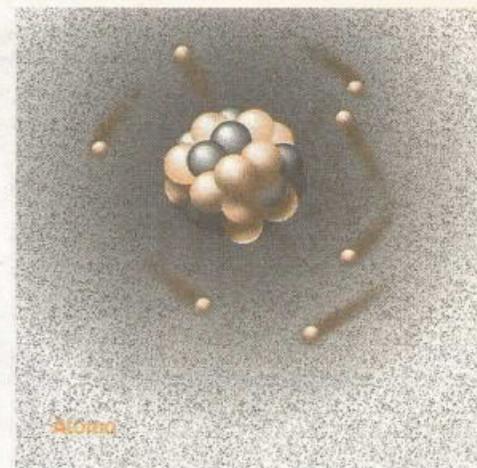
**Figura 11-4.** Los materiales con muchos electrones libres (a) son buenos conductores de la electricidad, mientras que los materiales con pocos electrones libres (b) tienden a ser buenos aislantes

Las baterías, por ejemplo, convierten energía química en eléctrica (figura 11-6). En su forma más elemental (la pila), una batería consta de dos electrodos (+ y -) sumergidos en una pasta o solución química llamada **electrolito**. Las reacciones químicas entre el electrolito y los electrodos, causan la aparición de cargas eléctricas opuestas en estos últimos, originándose entre ellos un voltaje. Este tipo de electricidad se denomina **corriente continua**.

Los alternadores, por su parte, convierten energía mecánica en eléctrica (figura 11-6). Constan de un elemento giratorio (**rotor**) accionado por una turbina el cual, al girar en el interior de un campo magnético, induce en sus terminales de salida un determinado voltaje. Este tipo de electricidad se denomina **corriente alterna**.

Los alternadores y generadores de corriente alterna producen cerca del 95% de la energía eléctrica que se consume en todo el mundo. En la mayoría de los casos, esta energía es de origen térmico, es decir se inicia quemando combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural. El calor desarrollado se emplea para calentar agua y transformarla en vapor. Este vapor, a su vez, se utiliza para mover enormes turbinas que hacen funcionar grandes alternadores. Así funcionan las llamadas **centrales termoelectricas**.

Otras fuentes alternativas de energía son los saltos de agua (figura 11-6), la luz solar, la energía del viento, el movimiento de las olas, el calor natural de la tierra, la fisión atómica, etc. La disponibilidad de fuentes para producir electricidad es un elemento clave del progreso industrial, el bienestar del hombre y la conservación del medio ambiente.



**Figura 11-5.** Todos los átomos están compuestos de un núcleo de protones y neutrones con los electrones girando a su alrededor en órbitas.

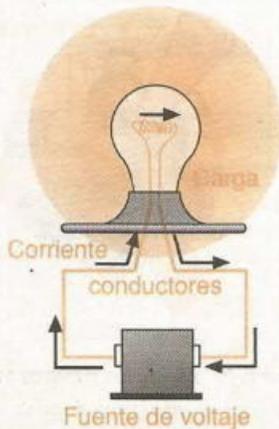


**Figura 11-6. Algunos ejemplos de fuentes de energía eléctrica.** (a) Salto natural de agua aprovechado por una central hidroeléctrica; (b) Generador electromecánico; (c) Baterías

**Qué es un circuito eléctrico**

Para que una corriente eléctrica pueda realizar un trabajo útil, por ejemplo encender una lámpara o accionar un motor, necesita un camino cerrado para su circulación permanente. Esta trayectoria continua se denomina un **circuito eléctrico** (figura 11-7). El estudio de los circuitos es

clave para comprender como funcionan las instalaciones, los aparatos y demás sistemas eléctricos.



**Figura 11-7. Un circuito es una trayectoria que permite la circulación de corriente**

Un circuito eléctrico básico se compone de una **fuerza de voltaje**, unos **conductores** y una **carga**. La fuente produce la fuerza necesaria para impulsar una corriente eléctrica a través del circuito, los conductores proporcionan un camino fácil para la circulación de los electrones y la carga convierte la energía de estos últimos en luz, calor, movimiento, etc. Además de estos elementos, los circuitos prácticos requieren también otros elementos como interruptores, fusibles, medidores, etc.

Dependiendo del tipo de fuente de voltaje utilizada, los circuitos pueden ser de **corriente continua** o de **corriente alterna** (figura 11-8). Una pila o una ba-

tería, por ejemplo, causa que los electrones se muevan siempre en una misma dirección, del electrodo negativo al positivo. Este tipo de corriente se denomina **continua** o DC (*direct current*).

El voltaje de un alternador, por su parte, al aplicarse a un circuito eléctrico, causa que los electrones se muevan periódicamente en una dirección y luego en la dirección opuesta. Este tipo de corriente se denomina **alterna** o AC (*alternating current*) y es la que proporciona cualquier tomacorriente doméstico. La cantidad de veces que se invierte el sentido de circulación de la corriente en un segundo define la **frecuencia** de esa corriente.

En la mayoría de los países, la frecuencia de la red de corriente alterna es de 50 o 60 hertzios o ciclos por segundo (el **hertzio** o **hertz**, abreviadamente **Hz**, es la unidad de medida de la frecuencia). Los niveles de voltaje utilizados varían mucho de un país a otro, como se aprecia en el mapa "Estándares Internacionales de Voltaje y Frecuencia" suministrado al comienzo de este curso. La unidad de medida del voltaje es el **voltio** o **volt (V)**.

En general, la finalidad de un circuito es hacer uso de la energía de los electrones en movimiento para medirla o convertirla en otras formas de energía (luz, calor, movimiento, etc.). Por lo tanto, para que un artefacto eléctrico cualquiera funcione, debe estar incorporado necesariamente a un circuito eléctrico. Incluso, dentro de cada electrodoméstico, existen circuitos especializados que cumplen funciones muy determinadas, por ejemplo proporcionar diversos niveles de luz o calor.

La aparentemente compleja jungla de cables y alambres que corren a través de las paredes y techos de su casa es en realidad un sistema bien organizado de circuitos, cada uno con una función muy específica. Cada uno de estos circuitos forma un camino cerrado para la circulación de la corriente que comienza en el panel o tablero de entrada del servicio eléctrico (caja de fusibles), atraviesa las cargas conectadas a los distintos tomacorrientes y retorna al panel de entrada.

### Qué es una instalación eléctrica

Una instalación eléctrica, en general, puede definirse como un conjunto de aparatos y circuitos relacionados que sirven para producir, convertir, transformar, transmitir, distribuir o utilizar la energía eléctrica. Dependiendo de su

uso, las instalaciones eléctricas se clasifican en tres grupos: residenciales o domiciliarias, industriales y singulares.

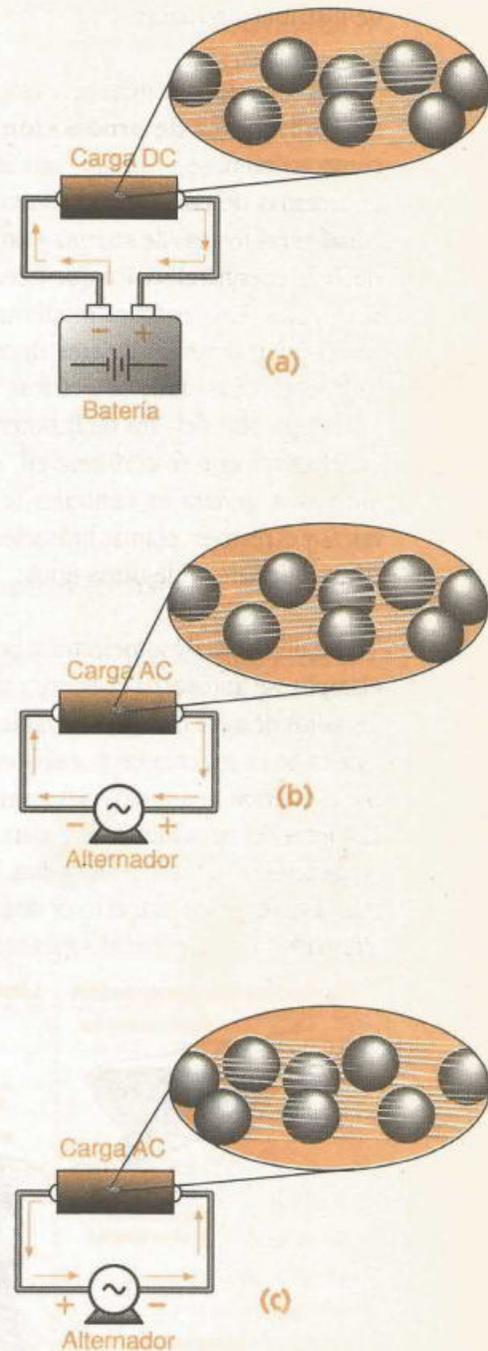
Las instalaciones **residenciales** se realizan en el interior de edificaciones destinadas a la vivienda (casas, apartamentos, etc.), las **industriales** en el interior de edificaciones destinadas a la fabricación de productos determinados (textileras, ensambladoras, etc.) y las **singulares** en el interior de edificaciones que cumplen funciones sociales especiales (teatros, hospitales, colegios, etc.). En este curso nos referiremos principalmente a las instalaciones residenciales, que son las más difundidas.

La instalación eléctrica de una vivienda representa el eje central del cual dependen todos los demás elementos o **cargas** que se conectan a la misma y proporcionan a sus habitantes un alto grado de confort y conveniencia. Para ello, una instalación debe ser realizada de modo que su uso no represente ningún peligro para las personas ni los inmuebles mismos. Este curso le enseñará como hacerlo en forma técnica y eficiente.

### Cómo llega la electricidad a nuestras casas

La electricidad que llega a nuestros hogares es el resultado de un complejo proceso de transformaciones de energía que comienza en una **central de generación**, donde otras formas de energía son convertidas en energía eléctrica, y termina en la **acometida**, el punto donde nuestra casa se empalma o conecta con la **red de distribución pública**, operada por la compañía local de electricidad. Esta red es el último eslabón del llamado **sistema eléctrico nacional** de un país.

Un sistema eléctrico nacional se compone de tres partes o subsistemas fundamentales, cada uno de los



**Figura 11-8. Ejemplos de circuitos eléctricos.**

En un circuito de corriente continua (a), los electrones se mueven siempre en la misma dirección. En un circuito de corriente alterna, los electrones se mueven periódicamente en una dirección (b) y luego en la dirección opuesta (c)

## Fundamentos de electricidad

cuales cumple funciones bien específicas: las centrales de generación, las líneas de transmisión y las redes de distribución (figura 11-9).

Las centrales o plantas generadoras (**subsistema de producción**), como su nombre lo indica, son las encargadas de convertir en electricidad otras formas de energía y producir la energía eléctrica que necesita el país. Las centrales modernas son, principalmente, de tres tipos: hidroeléctricas, termoeléctricas y nucleares. Más del 70% de la potencia eléctrica que se consume en el mundo se genera en centrales térmicas y el resto en plantas hidroeléctricas, nucleares y de otros tipos.

En una central hidroeléctrica, por ejemplo, se aprovecha la energía de los saltos de agua naturales (cascadas y cataratas) o los creados por el hombre al estancar ríos y lagos (represas). La fuerza del agua impulsa los alabes o paletas de una turbina hidráulica, la cual, a su vez, hace girar el rotor de un alternador. Como resultado, este últi-

mo produce un voltaje relativamente alto, del orden de 10 a 35 kV (kilovoltios o miles de voltios).

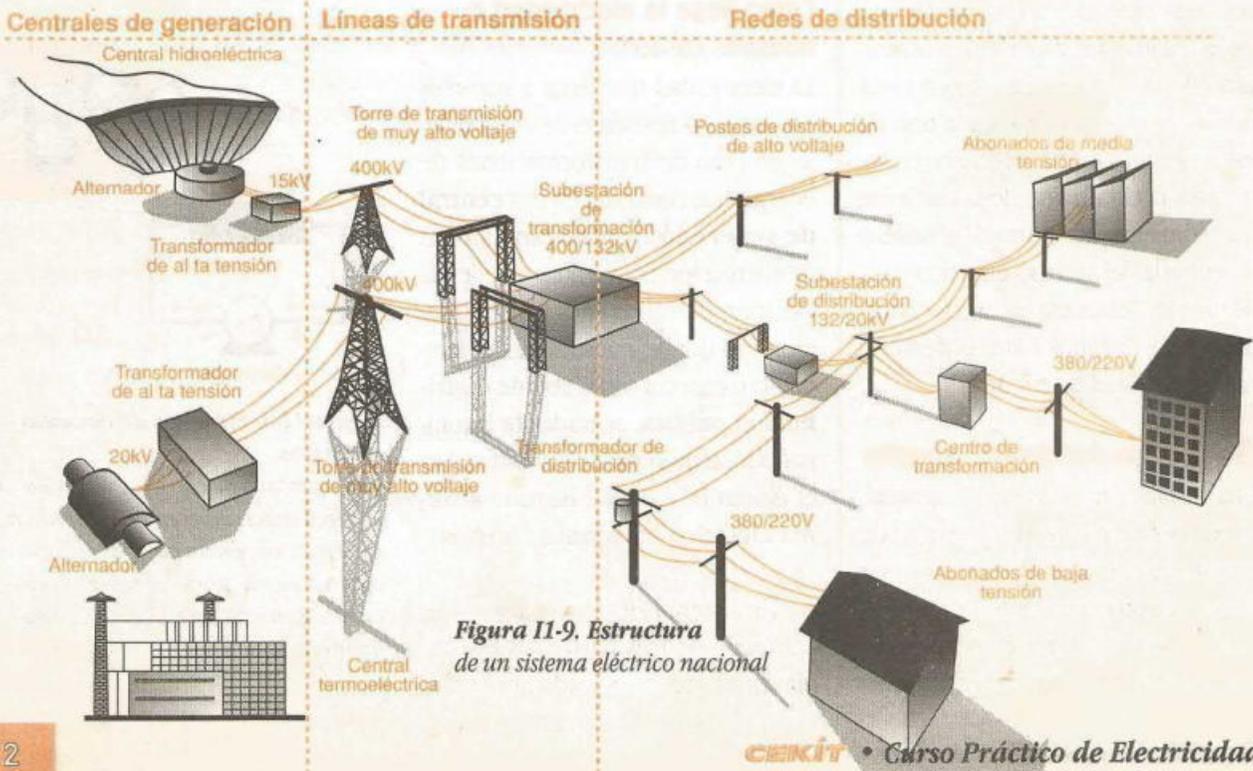
El voltaje de salida del alternador de la central es posteriormente convertido mediante transformadores en un voltaje más alto, digamos 400 kV, con el fin de reducir las pérdidas de energía y mejorar el rendimiento del sistema eléctrico en general. Los voltajes así transformados se conducen a través de cables aéreos especiales (**líneas de transmisión**) desde las distintas centrales hasta una **subestación de transformación**, donde se reducen a un valor entre 34.5 y 13.8 kV.

Las líneas de transmisión de alto voltaje anteriores (**subsistema de transporte**) se soportan en torres elevadas por seguridad y constituyen el eslabón de conexión entre las centrales generadoras y las subestaciones de transformación. Desde estas últimas, la energía eléctrica se conduce a través de líneas de transmisión de mediano voltaje a las **subestaciones de distri-**

**bución**, encargadas de repartir y hacer llegar la electricidad a todos los usuarios o **abonados** del sistema eléctrico.

Inicialmente, una **subestación de distribución primaria** convierte el voltaje de entrada (digamos 132 kV) en un voltaje más bajo (digamos 20kV), destinado a abonados industriales o de media tensión. Esta misma red alimenta los subsistemas de distribución secundarios, formados por los **transformadores y centros de distribución**, encargados de repartir y hacer llegar la energía eléctrica a todos los usuarios finales, incluyendo su casa.

Esta última parte del sistema se denomina **red pública de distribución** y maneja típicamente voltajes entre 110 y 480 V. La frecuencia (50 o 60 Hz) viene definida desde la central de generación. Las redes de distribución pueden ser **monofásicas** o **trifásicas** y se acoplan a la caja general de protección de una edificación a través de una acometida **aérea** o **subterránea**. Estos conceptos serán discutidos en detalle más adelante. ☺



# Cómo trabajar con electricidad

**L**a energía eléctrica es extremadamente útil y fácil de usar, pero también es potencialmente peligrosa y letal. Por esta razón, debe ser utilizada racionalmente y tratada con precaución y respeto. De lo contrario, el usuario se expone a sí mismo y a quienes lo rodean, a sufrir graves accidentes de origen eléctrico, incluyendo lesiones personales e incendios.

En este capítulo proporcionaremos algunas recomendaciones importantes para realizar trabajos con electricidad en forma segura y eficiente, evitando lesiones y calamidades derivadas del uso indebido de la misma o el desconocimiento de sus peligros potenciales. En etapas más avanzadas del curso, analizaremos en detalle los métodos de protección de las instalaciones eléctricas.

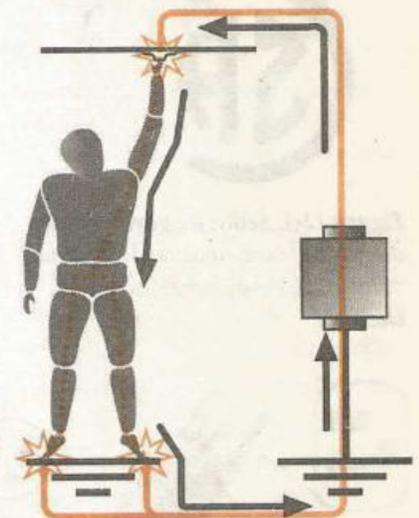
## Accidentes de origen eléctrico

Todos hemos escuchado historias de incendios, explosiones, injurias personales y otros tipos de accidentes de origen eléctrico; granjas incineradas por tormentas eléctricas, casas destruidas debido a fallas en las instalaciones eléctricas, laboratorios explotados por un cortocircuito, personas electrocutadas en su casa al tocar partes metálicas energizadas, etc.

La mayoría de estos accidentes ocurren por imprudencia de los usuarios o porque los medios de seguridad previstos por los diseñadores de las instalaciones y artefactos eléctricos no fueron suficientes para garantizar la seguridad personal, no estuvieron correctamente aplicados o, con el tiempo, se deterioraron.

Aunque no podamos tener control sobre las tormentas eléctricas, ni seamos ingenieros eléctricos para diseñar sistemas de protección de instalaciones altamente eficientes y perdurables, sí podemos y debemos ser cuidadosos con la electricidad en nuestros hogares, especialmente en lo que se refiere a la prevención de incendios, choques eléctricos, cortocircuitos y sobrecargas. A continuación examinaremos algunos casos particulares.

- Accidentes de origen eléctrico
- Incendios
- Choques eléctricos
- Quemaduras
- Conexiones a tierra
- Recomendaciones generales



**Figura I2-1.** La corriente pasa a través de una persona cuando ésta se convierte en el eslabón que cierra un circuito eléctricamente vivo, es decir conectado a una fuente de voltaje activa

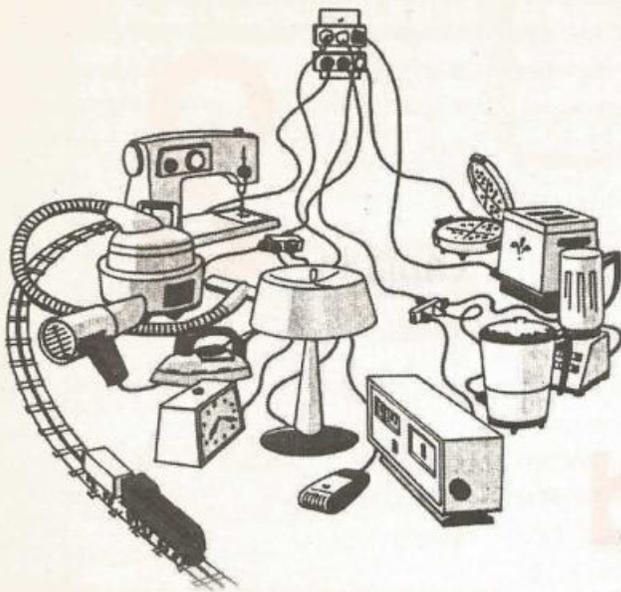


Figura 12-2. La excesiva demanda de corriente por parte de un tomacorriente o una extensión, crea siempre un riesgo latente de fuego



Figura 12-3. Sellos de garantía que aseguran el cumplimiento de requisitos mínimos de seguridad de los equipos eléctricos

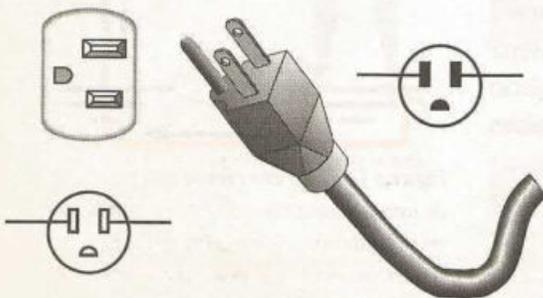


Figura 12-4. Enchufes y tomacorrientes con conexión a tierra

### Incendios

Las causas de un incendio de origen eléctrico son muy variadas, siendo la más común la **sobrecarga**. Un circuito está sobrecargado cuando fluye demasiada corriente a través suyo. Bajo esta condición, los conductores se calientan hasta el punto de derretir y quemar el aislante que los protege. Como resultado, los alambres quedan expuestos y se unen entre sí, originándose un **cortocircuito**.

Un circuito puede sobrecargarse, por ejemplo, al conectar demasiados aparatos a un tomacorriente no diseñado para transportar toda la cantidad de corriente que esos aparatos demandan, figura 12-2. Con el fin de evitar sobrecargas por este motivo, los tomacorrientes domésticos se diseñan únicamente con dos salidas.

No obstante, muchas personas pasan por alto esta característica de seguridad y, mediante el uso de extensiones y/o enchufes múltiples, logra conectar más de un aparato en una salida de tomacorriente. El mal uso de las extensiones y los enchufes múltiples es una de las principales fuentes de incendios, sacudidas y otros accidentes eléctricos.

Otra forma muy corriente de originar sobrecargas es conectando calentadores, estufas y otros artefactos térmicos a circuitos no diseñados para transportar la corriente que estos aparatos demandan. Esta corriente es,

en general, muy superior a la que exigen otros electrodomésticos. Por esta razón, la mayoría de instalaciones eléctricas proveen circuitos separados para los electrodomésticos grandes o de gran consumo.

### Choques eléctricos

Un *shock* o sacudida eléctrica es la sensación física producida por la reacción de los nervios cuando circula una corriente a través del cuerpo. En casos menores, sólo se produce un ligero estiramiento de los músculos, mientras que en los casos más severos la respiración se corta y los músculos del corazón se paralizan, llegando incluso a la muerte. Este tipo de accidente letal se conoce como **electrocución**.

La cantidad de corriente que puede producir daños severos varía de una persona a otra y del tiempo que dure la descarga a través del cuerpo. Una corriente menor de 3 mA o milésimas de amperio (el **amperio** o *ampere*, abreviadamente **A**, es la unidad de medida de la corriente eléctrica) es prácticamente inofensiva y no representa mayor riesgo. Las corrientes entre 5 y 10 mA provocan contracciones involuntarias de los músculos y pequeñas alteraciones del sistema nervioso.

Las corrientes entre 10 y 15 mA, por su parte, pueden producir tetanización muscular (parálisis) y contracciones violentas de las extremidades. En estado de tetanización, las personas pueden llegar a quedar pegadas al conductor eléctrico generador de la descarga, siendo incapaces de desprenderse por sus propios medios. Las corrientes entre 15 y 30 mA alteran el ritmo cardíaco y provocan contracciones violentas de la caja torácica. Por último, las corrientes superiores a 30 mA pueden causar fibrilación ventricular cardíaca y la muerte por asfixia.

## Quemaduras

Además de choques eléctricos, el paso de una corriente excesiva a través del cuerpo, puede causar quemaduras graves. Estas últimas se originan debido al calor desarrollado por los electrones al atravesar los tejidos y suceden generalmente a nivel interno, a lo largo de la trayectoria seguida por la corriente, siendo muy dolorosas y difíciles de tratar y sanar. También se pueden originar lesiones externas por quemaduras como resultado de la exposición de la piel al arco eléctrico que se produce durante un cortocircuito.

## Conexiones a tierra

En las instalaciones residenciales, todos los circuitos comparten una línea de retorno común llamada **neutro** conectada físicamente a la tierra. Cuando usted toca una tubería de agua o cualquier objeto metálico en contacto con la tierra, usted se está convirtiendo en parte de un circuito eléctrico y satisfaciendo uno de los dos requisitos necesarios para recibir un choque eléctrico. El otro requisito es cerrar el circuito tocando un alambre o dispositivo "vivo", es decir con un voltaje aplicado. De este modo, usted obliga a la fuente a impulsar una corriente eléctrica a través de su cuerpo, figura I2-1.

Con el fin de reducir el riesgo anterior, los gabinetes y estructuras metálicas (chasis) de instalaciones, aparatos, herramientas y máquinas eléctricas deben siempre *aterrizarse*, es decir, conectarse a tierra utilizando conductores de conexión separados. De este modo, se evita el desarrollo de voltajes peligrosos entre estas partes metálicas y la tierra.

En algunos casos, el aterrizaje se realiza conectando directamente los gabinetes a tuberías de agua o barras metálicas enterradas, figura I2-5. Tratándose de aparatos y máquinas eléctricas, la protec-

ción a tierra se realiza generalmente utilizando enchufes polarizados de tres terminales conectados a tomacorrientes con conexión a tierra, figura I2-4. El tema de las instalaciones a tierra será tratado en detalle en un capítulo posterior de este curso.

## Reglas generales de seguridad

La realización de trabajos eléctricos, incluso los más sencillos, puede ser un trabajo peligroso si no se adoptan las medidas de precaución adecuadas y/o se omiten reglas de seguridad elementales con el fin de ganar tiempo. A continuación, se presentan algunas normas de seguridad básicas que deben ser tenidas en cuenta al trabajar con instalaciones y aparatos eléctricos. Estas recomendaciones complementan las reglas generales de seguridad eléctrica enunciadas al comienzo de esta obra.

- \* Nunca trabaje sobre circuitos o dispositivos energizados, ni asuma *a priori* que están abiertos o desconectados. Compruébelo siempre con un instrumento en buen estado. El conocimiento de esta regla fundamental de seguridad puede salvar su vida y la de otras personas, figura I2-9.
- \* Utilice siempre dispositivos y equipos eléctricos que tengan los sellos de aprobación de organismos autorizados tales como **UL**, **CSA** o **EIA**. Estos sellos garantizan que el producto ha sido fabricado siguiendo estrictas normas de seguridad, figura I2-3.
- \* Asegúrese de comprender claramente cómo está alambrada su casa antes de realizar modificaciones o trabajos en el sistema eléctrico de la misma. Los procedimientos al respecto descritos en este curso asumen que la instalación eléctrica existente ha sido hecha correctamente.

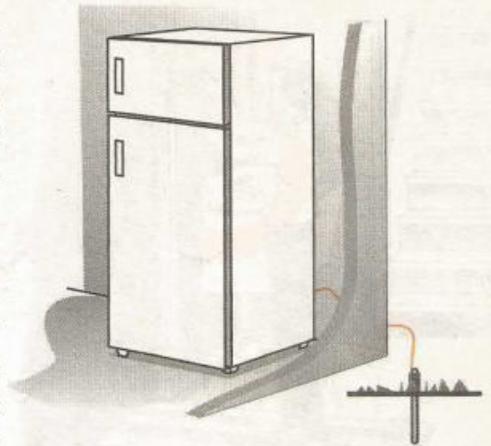


Figura I2-5. Conexión a tierra de un gabinete metálico

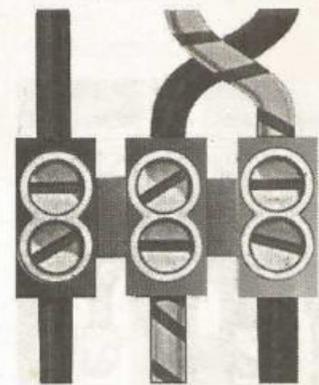
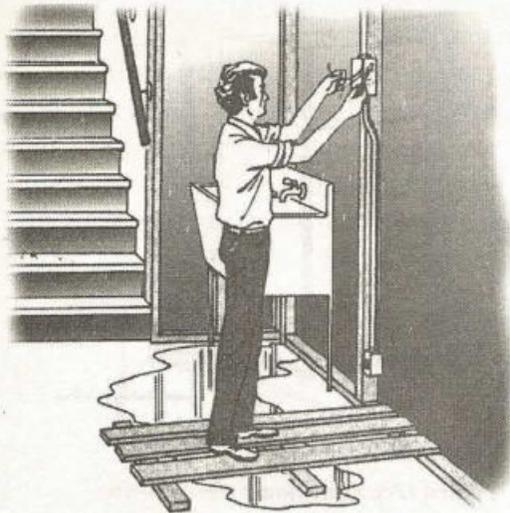
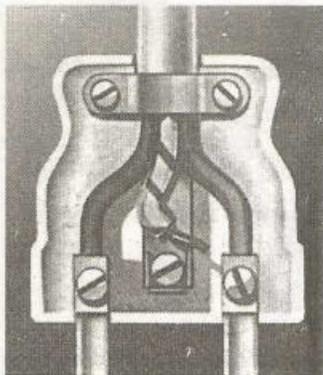


Figura I2-6. El intercambio de los conductores de tierra y fase (vivo) anula el efecto de la protección a tierra

- \* No manipule indebidamente dispositivos de protección como fusibles, *breakers*, interruptores de fallas a tierra (GFCIs), etc., ni los anule sin comprobar que todo funciona correctamente.
- \* No utilice adaptadores que cortocircuiten o anulen las tomas de tierra, ni intercambie los conductores de fase y protección de los aparatos e instalaciones: podría ser fatal, figura I2-6.
- \* Nunca utilice tuberías de gas como tomas de tierra debido a que pueden originar fácilmente explosiones



**Figura 12-7.** Coloque tablas secas para pararse cuando tenga que realizar trabajos eléctricos en sitios húmedos



**Figura 12-8.** En muchos aparatos eléctricos, el conductor de tierra está defectuoso o desconectado, creando un riesgo potencial de shock



**Figura 12-9.** Nunca asuma que un circuito está desenergizado. Compruébelo siempre con un instrumento

e incendios. Si utiliza una tubería de agua como toma de tierra, asegúrese de que sea completamente metálica y no tenga tramos plásticos que anulen su efecto.

\* Sea cuidadoso con el empleo de extensiones o cables de extensión. Su mal uso puede causar sacudidas, quemaduras e incendios. En particular, no pase extensiones a través de agujeros practicados en paredes, pisos, puertas o ventanas, ni debajo de alfombras. El tránsito continuo de la gente puede desgastar su aislamiento y originar un incendio.

\* Sólo un electricista calificado, autorizado por la compañía local de electricidad, puede realizar trabajos eléctricos en la acometida de una edificación, el contador, el sistema de distribución y la caja de fusibles.

\* Todas las instalaciones eléctricas -nuevas, adaptadas o ampliadas- deben cumplir con las normas de seguridad vigentes. Por tanto, es su obligación informarse al respecto. En los accidentes eléctricos se considera responsable a la última persona que ha trabajado en una instalación o reparado un equipo. Si tiene dudas, busque la asesoría de un electricista.

\* Utilice siempre la información de seguridad proporcionada por los fabricantes de equipos y artefactos eléctricos para prevenir accidentes eléctricos derivados de su desconocimiento.

\* Cuando reemplace partes eléctricas o rearme un artefacto, siempre reinstale los cables de conexión de acuerdo al diagrama de alambrado. Asegúrese de que los mismos queden haciendo un contacto firme y

no crucen sobre bordes afilados, ni pasen entre paneles o por partes móviles que puedan causar un cortocircuito u otro problema eléctrico. Reemplace siempre los alambres y cables desgastados, pellizcados o maltratados antes de cualquier reparación.

\* Utilice siempre un circuito eléctrico separado, convenientemente aterrizado, para alimentar electrodomésticos grandes. Nunca los conecte a tomacorrientes asociados con circuitos de propósito general o para artefactos pequeños. Tampoco los conecte mediante extensiones.

\* No sustituya arbitrariamente interruptores, sensores y otros componentes eléctricos de aparatos e instalaciones por puentes de alambre o cable, ni los altere internamente. Si tiene dudas, consulte a un electricista calificado.

\* Utilice siempre partes de repuesto con las mismas especificaciones, tamaño y capacidad de las originales. No improvise al respecto.

\* En caso de presentarse un incendio de origen eléctrico, utilice únicamente extintores de anhídrido carbónico o de *ballon* debidamente aprobados. El agua, por ser conductora de la electricidad, puede aumentar los riesgos y los daños. Evite su uso en estos casos.

\* Mantenga la calma en caso de recibir un *shock* leve y sepárese lo más rápido posible del punto de contacto. Las reacciones instintivas de sobresalto y pánico originadas al recibir una descarga eléctrica, pueden originar que usted se caiga o golpee, sufriendo lesiones serias. 🚫

# Teoría básica de circuitos eléctricos

**L**as instalaciones eléctricas residenciales, comerciales, industriales, etc. están formadas por circuitos, cada uno de los cuales cumple funciones muy específicas. Por esta razón, con el fin de comprender claramente cómo funcionan y se diseñan las instalaciones eléctricas, es conveniente estar familiarizados con la teoría básica de circuitos y conocer los parámetros y reglas que los caracterizan.

En este capítulo describiremos como está estructurado un circuito eléctrico y definiremos formalmente los conceptos de corriente, voltaje, resistencia, potencia y energía, así como las unidades utilizadas para medir físicamente estas magnitudes. También veremos como están relacionadas matemáticamente entre sí y aprenderemos a utilizar estas sencillas ecuaciones en forma práctica.

## Elementos de un circuito eléctrico

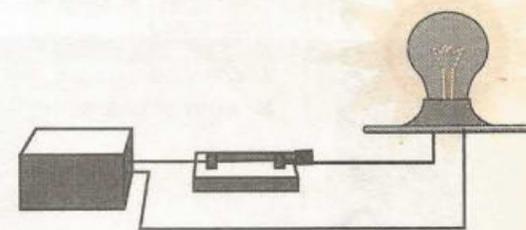
Un circuito eléctrico, como se explicó en el capítulo 1, es una combinación de elementos conectados de modo que proporcionen una trayectoria cerrada continua para la circulación de una corriente eléctrica y posibiliten su conversión en otras formas de energía (térmica, luminosa, magnética, mecánica, etc.). En su forma más elemental, un circuito eléctrico de compone de una **carga** conectada a una **fuerza de voltaje** a través de unos **conductores**. En la práctica, además de estos elementos básicos, un circuito requiere también **dispositivos de control** y **dispositivos de protección**.

En la figura I3-1 se muestra un ejemplo de circuito eléctrico básico donde la carga está representada por una lámpara conectada a una fuente de voltaje a través de conductores. El interruptor actúa como dispositivo de control. En (a), el interruptor cierra el circuito, permitiendo la circulación de corriente por la lámpara y en (b) lo abre, impidiendo su circulación.

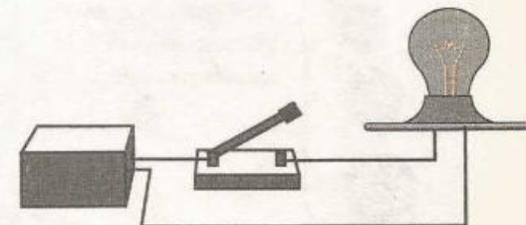
## Fuentes de voltaje

La fuente de voltaje produce la fuerza electromotriz (voltaje) necesaria para impulsar los electrones a través de un

- Elementos
- Tipos
- Parámetros
- La Ley de Ohm
- Ejemplos de aplicación



(a) Circuito cerrado



(b) Circuito abierto

Figura I3-1. Ejemplo de un circuito eléctrico básico

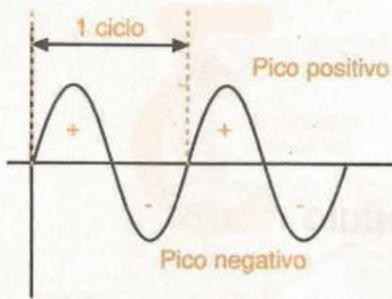


Figura 13.2. Forma de onda de una corriente alterna



Figura 13-3. Ejemplos de conductores utilizados en las instalaciones eléctricas



Figura 13-4. Calibres comunes de alambres de cobre utilizados en instalaciones eléctricas

circuito, de manera análoga como una bomba hidráulica impulsa el agua a través de una tubería. Sin un voltaje aplicado, la corriente no puede fluir a través de una carga ni realizar un trabajo útil.

Existen básicamente dos tipos de fuentes de voltaje: las fuentes DC o de corriente directa y las fuentes AC o de corriente alterna.

La **corriente directa** es proporcionada generalmente por pilas y baterías y, en algunos casos, por ciertos tipos de generadores electromecánicos. También puede obtenerse a partir de una corriente alterna mediante un proceso llamado **rectificación**. Aunque las primeras redes de distribución de energía eléctrica fueron de corriente directa, este sistema prácticamente no se utiliza en la actualidad por razones económicas, técnicas y de seguridad.

La **corriente alterna** es proporcionada por generadores electromecánicos llamados **alternadores**. También puede obtenerse a partir de una corriente directa mediante un proceso llamado **inversión**. Es el tipo de electricidad que entregan las compañías de electricidad para uso doméstico, comercial e industrial.

En un circuito alimentado por una fuente DC, la corriente siempre circula en una misma dirección, mientras que su magnitud puede ser constante o variar con el tiempo. En un circuito alimentado por una fuente AC, la corriente circula alternativamente en una dirección y luego en la opuesta. Además de cambiar de dirección, la corriente alterna también cambia de valor a cada instante, siguiendo un patrón de variación como el que se muestra en la figura 13-2.

En esta representación, llamada una forma de onda, el eje horizontal representa el tiempo y el eje vertical la magnitud y polaridad del voltaje o la corriente. En los puntos donde la forma de onda corta el eje del tiempo, la corriente vale cero (0), mientras que en los puntos intermedios adopta diferentes valores, positivos o negativos.

Los puntos donde la forma de onda alcanza su valor máximo, positivo o negativo, se denominan **picos** o crestas. La porción de la forma de onda comprendida entre dos puntos de cruce por cero consecutivos se denomina un **semiciclo**. Durante los semiciclos positivos (+), la corriente circula en una dirección y durante los negativos (-) lo hace en la dirección opuesta. Dos semiciclos consecutivos constituyen un **ciclo** completo de corriente alterna.

Los ciclos de una forma de onda AC se repiten con una determinada periodicidad llamada **frecuencia**. La unidad de medida de la frecuencia es el **hertz** o **hertzio** (Hz), denominada así en honor del físico alemán Heinrich Hertz (1857-1894). La corriente eléctrica suministrada por las compañías de electricidad puede tener una frecuencia de 50 Hz o 60 Hz dependiendo del país (ver "Estándares Internacionales de Voltaje y Frecuencia" al comienzo de este curso). En Colombia, por ejemplo, las redes eléctricas son de 60Hz.

Una frecuencia como la anterior, implica que cada ciclo de la forma de onda se repite exactamente 60 veces en un segundo. El tiempo que dura una corriente para completar un ciclo se denomina **período** (T) y es numéricamente igual a  $1/f$ , siendo **f** la frecuencia en Hz. El período de una corriente de 50 Hz, por ejemplo, es  $1/50 = 0.020$  segundos.

## Conductores

Los **conductores** (figura I3-3) proporcionan un camino de baja resistencia para la libre circulación de los electrones a través de un circuito eléctrico, de manera análoga como las tuberías conducen el agua a través de un circuito hidráulico. Los conductores utilizados en instalaciones eléctricas son generalmente alambres de cobre o de aluminio, desnudos o recubiertos con algún tipo de material aislante. Este último mantiene confinados los electrones, actuando como una pared de protección e impidiendo que puedan moverse fuera de los alambres al ser contactados por objetos conductores externos.

La cantidad de corriente que un alambre puede manejar con seguridad depende del tipo de material utilizado en su fabricación (cobre o aluminio, generalmente), de su tamaño (diámetro o calibre) y del tipo de aislamiento. El calibre de los alambres utilizados en instalaciones eléctricas se especifica normalmente utilizando un número estándar (14, 12, 2/0, etc.) asignado por la AWG (*American Wire Gauge*). Entre menor sea el número AWG de un alambre, mayores son su grosor y su capacidad para transportar corriente, y viceversa (figura I3-4). El circuito de una estufa eléctrica, por ejemplo, requiere alambres más gruesos (menor número AWG) que el de una lámpara puesto que la primera demanda mayor corriente.

Los alambres de una instalación eléctrica se enrutan a través de una edificación introduciéndolos en ductos plásticos o metálicos que los protegen de la humedad y del daño físico (figura I3-5). Los dos tipos más comunes de ductos son los caños o *conduits* y los cablecanales o *raceways*. Estos últimos se utilizan para instalaciones sobre superficies, mientras que los tubos conduit se emplean principalmente para la realización

de instalaciones que corren dentro de las paredes. Actualmente, es también muy común el uso de alambres con revestimiento de fibra de vidrio (Romex y otras marcas), los cuales no necesitan de conduit ni cablecanales para su protección.

## Cargas

La **carga** de un circuito (figura I3-6) convierte la energía de los electrones en movimiento en otras formas útiles de energía. La carga puede estar representada por una amplia variedad de dispositivos tales como lámparas, motores, parrillas eléctricas, lavadoras, licuadoras, planchas, etc. En una lámpara, por ejemplo, la energía de los electrones en movimiento se convierte en luz (energía lumínica) y calor (energía térmica), mientras que en un motor se convierte en movimiento (energía mecánica), magnetismo (energía magnética) y calor.

## Dispositivos de control

Un **dispositivo de control** (figura I3-7) regula el paso de la corriente a través de un circuito, de manera análoga como una válvula controla la cantidad de agua que fluye a través de una tubería. Uno de los dispositivos de control más comúnmente utilizados en instalaciones eléctricas es el interruptor. En la figura I3-8 se muestra, en forma pictórica, un circuito de control de una lámpara mediante un interruptor tal como se implementa en una instalación real.

## Dispositivos de protección.

El **dispositivo de protección** (figura I3-9) interrumpe el paso de la corriente a través de un circuito en caso de sobrecarga o cortocircuito, actuando como un interruptor automático. Los dos tipos de dispositivos de protección más comunes son los fusibles y los disyuntores o *breakers*. También existen dispositivos llamados **interruptores diferenciales** o GFCIs que detec-

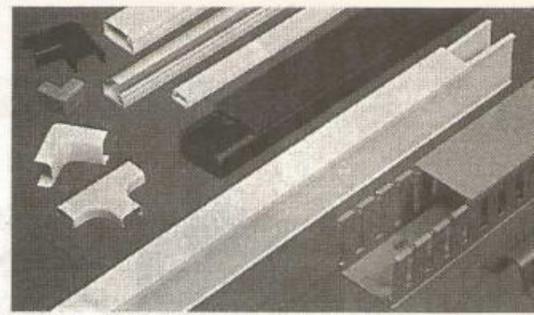


Figura I3-5. Ejemplos de dispositivos de canalización de conductores

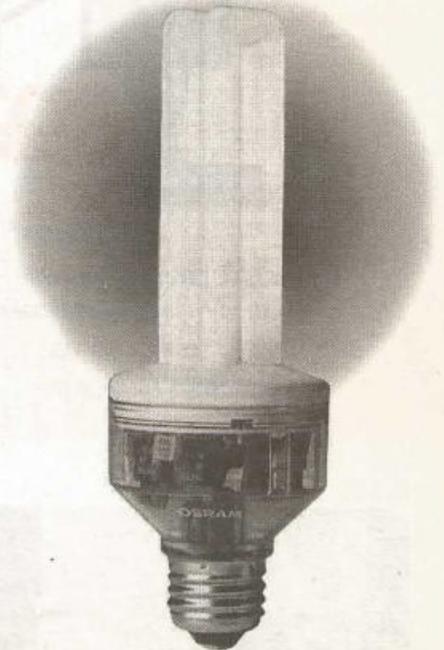


Figura I3-6. Lámpara electrónica utilizada como carga en instalaciones eléctricas

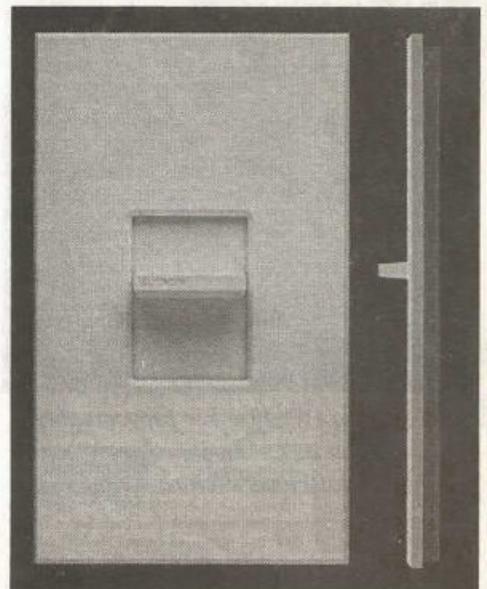


Figura I3-7. Los interruptores son los dispositivos de control más comunes

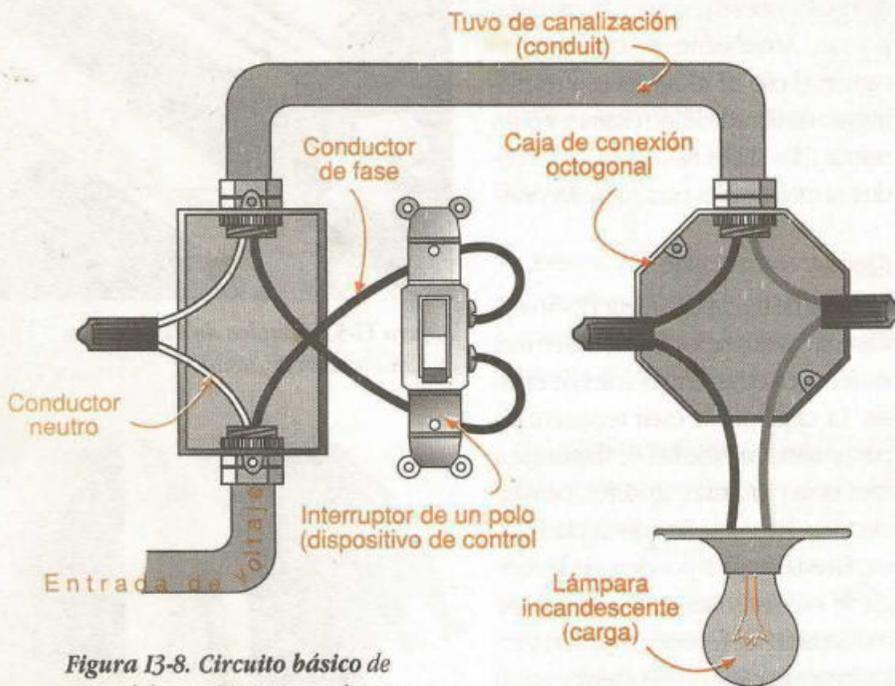


Figura I3-8. Circuito básico de control de una lámpara mediante un interruptor

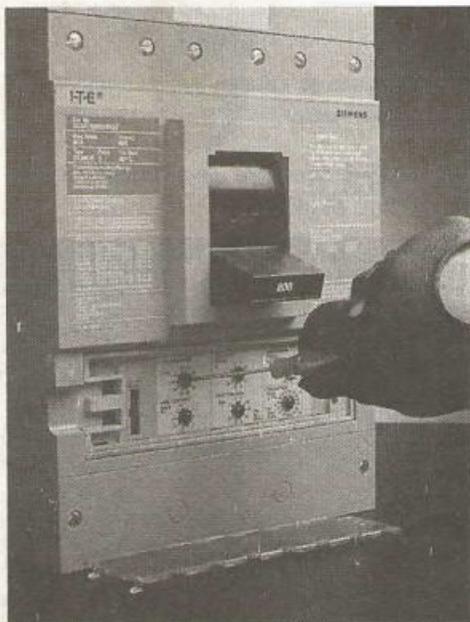


Figura I3-9. Breaker programable utilizado como dispositivo de protección en instalaciones eléctricas industriales

tan corrientes de fuga a tierra y protegen las personas del riesgo de un shock eléctrico. El tema de los dispositivos de protección será tratado en detalle en un capítulo posterior de este curso.

### Tipos de circuitos

Las cargas de un circuito pueden estar conectadas en serie, en paralelo o en una configuración mixta. En un **circuito serie** (figura I3-10), los elementos de carga del mismo están conectados entre sí en orden sucesivo, cada uno con un extremo unido al extremo del siguiente. Por tanto, existe sólo un camino o *loop* para la circulación de la corriente. En otras palabras, todas las cargas comparten la

misma corriente. Si hay una interrupción en cualquier parte del circuito, el flujo de corriente se suspende y el circuito no funciona. Los circuitos en serie no son muy utilizados en instalaciones eléctricas.

En un **circuito paralelo** (figura I3-11), las cargas están distribuidas en ramales o bifurques, cada uno de ellos alimentado por la misma fuente de voltaje. Por tanto, existe más de una trayectoria para la circulación de la corriente. Si hay una ruptura en cualquiera de los ramales, solamente se suspende el flujo de corriente a través de la carga conectada al mismo. Este es el tipo de circuito más común en instalaciones eléctricas.

En un circuito **serie-paralelo** o **mixto** (figura I3-12), algunas de las cargas del mismo están conectadas en serie, compartiendo la misma corriente, mientras que otras lo están en paralelo, compartiendo el mismo voltaje. Este tipo de circuito no es muy común y sólo se usa cuando es necesario proporcionar diferentes cantidades de corriente y voltaje a varias cargas alimentadas desde la fuente principal.

### Parámetros de los circuitos eléctricos

Para entender adecuadamente los circuitos eléctricos y su terminología, es importante estar familiarizado con conceptos como corriente, voltaje, diferen-

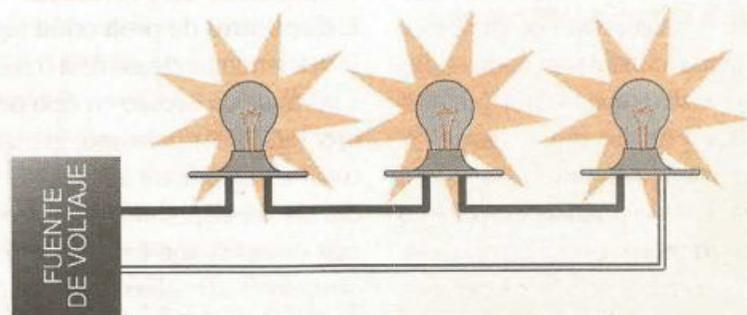


Figura I3-10. Ejemplo de un circuito serie.

cia de potencial, resistencia, potencia y energía, así como con las unidades de medida utilizadas para cuantificarlos. A continuación discutiremos con cierto detalle estos términos.

## Corriente

La corriente o intensidad (abreviadamente **I**) es una medida de la cantidad de electrones que pasan por un punto dado de un circuito durante un tiempo determinado. La unidad de medida de la corriente eléctrica es el **ampere** o **amperio (A)**, denominada así en honor del sabio francés André Marie Ampère (1775-1836). Otras unidades de medida de la corriente, derivadas del amperio, son el **miliamperio (mA)** y el **microamperio ( $\mu\text{A}$ )**, equivalentes, en su orden, a  $10^{-3}$  A (0.001A) y  $10^{-6}$  A (0.000001A). Un amperio equivale al paso de aproximadamente  $6.28 \times 10^{18}$  electrones en un segundo por un punto dado.

La cantidad de corriente que circula a través de un circuito determina el calibre de los conductores a utilizar. Si fluye demasiada corriente por un cable delgado, éste se calienta y puede quemar el aislamiento que lo protege, creando un riesgo potencial de incendio. La corriente también determina los tipos de dispositivos de control y protección a utilizar. Los interruptores y fusibles deben elegirse de modo que puedan manejar con seguridad la máxima corriente que demanda el circuito.

## Voltaje y diferencia de potencial

El voltaje o tensión (que designaremos abreviadamente como **E**) es una medida de la fuerza electromotriz o presión eléctrica necesaria para impulsar una determinada corriente a través de un circuito. La unidad de medida del voltaje es el **volt** o **voltio (V)**, denominado así en honor del físico italiano Alessandro Volta (1745-1827). Otras

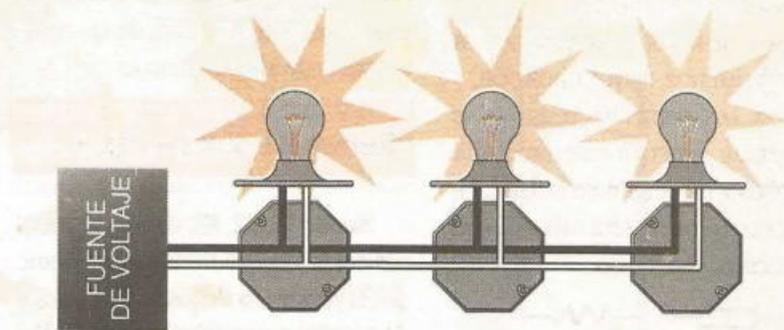


Figura I3-11. Ejemplo de un circuito paralelo.

unidades de medida del voltaje, derivadas del voltio, son el kilovoltio (kV) y el milivoltio (mV), equivalentes en su orden, a  $10^3\text{V}$  (1000V) y  $10^{-3}\text{V}$  (0.001V).

El voltaje aplicado a un circuito determina el tipo de aislamiento que deben tener los conductores del mismo. Si el aislamiento no es lo suficientemente grueso para soportar el voltaje de trabajo, pueden originarse cortocircuitos, fugas de corriente, calentamiento y otros fenómenos que exponen a las personas y a las edificaciones a graves riesgos. El aislamiento de los alambres y cables utilizados en instalaciones eléctricas residenciales se especifican generalmente para una tensión nominal de 600V.

Una práctica muy frecuente en el trabajo con circuitos eléctricos es elegir un punto de referencia común y definir con respecto a este último los voltajes de todos los demás puntos del circuito. El voltaje de cualquier punto con respecto al de referencia se denomina **potencial** y la porción de voltaje que aparece a través de cada carga o elemento del mismo **diferencia de potencial**. En las instalaciones eléctricas se toma como punto de referencia la tierra y se le asigna un potencial de 0V.

## Resistencia

La resistencia (abreviadamente **R**) es una medida de la habilidad que presenta un elemento de circuito, por ejemplo un

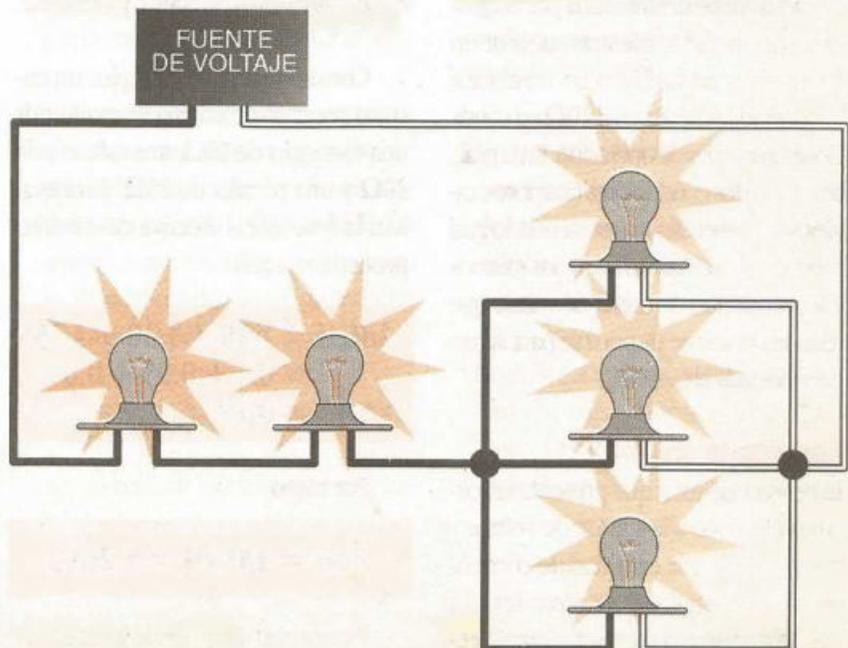


Figura I3-12. Ejemplo de un circuito mixto

## Teoría básica de circuitos eléctricos

conductor o una lámpara, de oponerse al paso de la corriente eléctrica. A mayor resistencia mayor oposición, y viceversa. Los elementos resistivos se representan generalmente mediante los símbolos mostrados en la figura I3-13. Esta convención será utilizada con frecuencia en este curso.

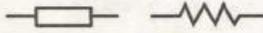


Figura I3-13. Símbolos de una carga resistiva

La unidad de medida de la resistencia es el **ohm** u **ohmio** ( $\Omega$ ), denominado así en honor del físico y matemático alemán Georg Simon Ohm (1789-1854), quien descubrió la famosa ley que lleva su nombre (Ley de Ohm), una de las fórmulas más utilizadas en electricidad y electrónica. Otras unidades de medida de la resistencia son el megaohmio ( $M\Omega$ ), el kilohmio ( $k\Omega$ ) y el miliohmio ( $m\Omega$ ), equivalentes en su orden a  $10^6\Omega$ ,  $10^3\Omega$  y  $10^{-3}\Omega$ .

Todos los componentes que se utilizan en los circuitos eléctricos (cargas, conductores, elementos de control, etc.) tienen alguna resistencia. La resistencia de las cargas viene determinada por el fabricante del artefacto, mientras que la de un interruptor, un fusible o un conductor debe ser idealmente igual a  $0\Omega$  en condiciones normales de operación. En la práctica, todos los conductores (alambres, cables, etc.) tienen alguna resistencia, lo cual provoca el calentamiento de los mismos y la producción de caídas de voltaje que reducen el voltaje disponible para la carga conectada al circuito.

### Resistencia efectiva

La resistencia total que presenta un circuito eléctrico a la fuente de voltaje y que determina la cantidad de corriente que ésta suministra a todas las cargas, se denomina comúnmente su **resistencia efectiva** ( $R_{eff}$ ). La resis-

encia efectiva o total de un circuito serie es simplemente la suma de las resistencias individuales. Esto es:

$$R_{eff} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Siendo  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , etc., las resistencias de las cargas individuales. Se asume que la resistencia de los conductores y demás elementos del circuito es igual a  $0\Omega$ . Por ejemplo, la resistencia efectiva de un circuito serie formado por una lámpara de  $100\Omega$  y una plancha de  $75\Omega$  es simplemente  $100+75 = 175\Omega$ . A medida que se aumenta el número de cargas de un circuito serie también lo hace la resistencia efectiva, y viceversa. En el caso de un **circuito paralelo**, la resistencia efectiva se evalúa a partir de la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{R_{eff}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Nuevamente, se asume que la resistencia de los conductores y demás elementos del circuito es igual a  $0\Omega$ . A medida que se aumenta el número de cargas de un circuito paralelo, disminuye la resistencia efectiva, y viceversa.

Considérese, por ejemplo, un circuito paralelo de cocina formado por una tostadora de  $10\Omega$ , una cafetera de  $20\Omega$  y una parrilla de  $25\Omega$ . Para evaluar la resistencia efectiva del circuito procedemos así:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{eff}} &= \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{25} \\ &= 0.1 + 0.05 + 0.04 \\ &= 0.19 \end{aligned}$$

Por tanto:

$$R_{eff} = 1/0.19 = 5.26\Omega$$

**Potencia.** La potencia (abreviadamente  $P$ ) es una medida del traba-

jo realizado por una corriente al circular a través de una carga. La unidad de medida de la potencia es el **watt** o **vatio** ( $W$ ), denominado así en honor del físico escocés James Watt (1736-1819), inventor de la máquina de vapor. Otras unidades de medida de la potencia, derivadas del vatio, son el kilovatio ( $kW$ ) y el milivatio ( $mW$ ), equivalentes, en su orden, a  $10^3 W$  ( $1000W$ ) y  $10^{-3}W$  ( $0.001W$ ).

Para calcular la potencia asociada a un circuito o a una carga resistiva, por ejemplo una lámpara o una estufa eléctrica, se utiliza la relación:

$$P = E \times I$$

Siendo  $E$  el voltaje aplicado ( $V$ ) e  $I$  la corriente ( $A$ ). Por ejemplo, si a una carga resistiva se aplica una tensión de  $220V$  y ésta produce a través de la misma una corriente de  $2.5A$ , la potencia consumida por la carga es simplemente:

$$P = E \times I = 220 \times 2.5 = 550W$$

Otras formas alternativas de expresar la fórmula de potencia son  $I=P/E$  y  $E=P/I$ . Estas relaciones se resumen gráficamente en el triángulo de la figura I3-14.

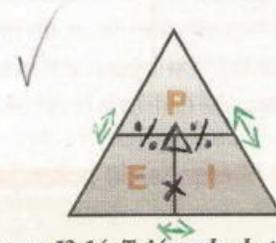


Figura I3-14. Triángulo de potencia

Para circuitos de corriente alterna que alimentan cargas no resistivas como transformadores y motores, la potencia real consumida por la carga y convertida en trabajo eléctrico se determina mediante la fórmula:

$$P = E \times I \times FP$$

Siendo **FP** un parámetro denominado **factor de potencia**, propio de la carga y fijado por el fabricante de la misma.

Para soldadores eléctricos y motores funcionando en vacío, por ejemplo, el factor de potencia es muy bajo (entre 0.2 y 0.4), mientras que para motores funcionando a plena carga es del orden de 0.8 y para cargas resistivas es aproximadamente igual a 1. En lo sucesivo, mientras no se establezca lo contrario, asumiremos  $FP=1$ .

## Energía

La **energía (W)** es la potencia eléctrica consumida por un artefacto o circuito durante un determinado período de tiempo. La energía eléctrica se mide en vatios-hora (W-h) o kilovatios-hora (kW-h) y se evalúa multiplicando la potencia por el tiempo de consumo. Esto es:

$$W = P \times t$$

Siendo **t** el tiempo en horas (h) y **P** la potencia. Por ejemplo, la energía consumida por una lámpara de 250W durante 10 horas de uso continuo es:

$$W = P \times t = 250 \times 10 \\ = 2,500 \text{ W-h} = 2.5 \text{ kW-h}$$

Asumiendo que la tarifa del kilovatio-hora es de veinte pesos (\$20), el costo por operar la lámpara durante este tiempo sería de  $2.5 \times 20 = \$50$ .

El consumo de energía eléctrica se mide utilizando contadores como el mostrado en la figura I3-15. Este tipo de medidores son instalados y atendidos por la empresa de energía eléctrica local y utilizados para tarificar su consumo de electricidad.

Para finalizar, la tabla de la figura I3-16 resume las cinco magnitudes eléctricas discutidas anteriormente (voltaje, corriente, resistencia, potencia y energía) y las unidades utilizadas para medirlas en el llamado Sistema Internacional de medidas o SI. Para expresar valores muy grandes o muy pequeños de estos parámetros se utilizan los mismos prefijos del sistema métrico. Por ejemplo, una corriente de 0.010 A puede ser expresada como 10 mA (miliamperios), un voltaje de 3,000 V como 3 KV (kilovoltios) y una resistencia de 2,000,000  $\Omega$  como 2 M $\Omega$  (megaohmios).

## La Ley de Ohm

El voltaje, la corriente y la resistencia de un circuito o elemento de circuito se relacionan mediante una sencilla fórmula denominada **Ley de Ohm**. De acuerdo a la misma, la corriente (I) a través de una carga es igual al voltaje aplicado (E) dividido por la resistencia (R) de la misma. Esto es:

$$I = \frac{E}{R}$$

Por ejemplo, si el voltaje aplicado es  $E=125V$  y la resistencia es  $R=10\Omega$ , la corriente es  $I = E/R = 125/10 = 12.5A$ . Naturalmente, entre mayor sea el voltaje aplicado, mayor será el flujo de corriente. Si a la misma carga anterior se aplica una tensión de 220V, la nueva corriente será  $I=220/10 = 22A$ .

Otras formas alternativas de expresar la Ley de Ohm son  $R=E/I$  y  $E=I \times R$ . Estas relaciones se representan gráficamente en el triángulo de la figura I3-17. Para su utilización, simplemente tape la magnitud de interés y realice la multiplicación o división que quede indicada. Por ejemplo, al tapar la **E** (voltaje), queda indicada la operación **I** (corriente)  $\times$  **R** (resistencia); si se tapa la **R**, las letras restantes indican **E** (voltaje) dividido por **I** (corriente).



Figura I3-15, Contador de energía residencial

Magnitud		Unidad	
Nombre	Símbolo	Nombre	Símbolo
Voltaje	E	voltio	V
Corriente	I	amperio	A
Resistencia	R	ohmio	$\Omega$
Potencia	P	vatio	W

Figura 3-16. Magnitudes eléctricas

**Nota:** La misma metodología anterior se aplica para utilizar el triángulo de potencia de la figura I3-14.

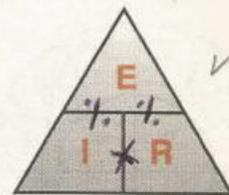


Figura I3-17. Triángulo de la Ley de Ohm

La Ley de Ohm se puede combinar con la fórmula de potencia suministrada anteriormente ( $P= E \times I$ ) para incorporar la resistencia en los cálculos de potencia. Esta operación de sustitución conduce a las siguientes fórmulas:

$$P = I^2 \times R \quad P = \frac{E^2}{R}$$

## Teoría básica de circuitos eléctricos

Siendo  $I$  la corriente (A),  $E$  el voltaje (V) y  $R$  la resistencia ( $\Omega$ ). Por ejemplo, si una lámpara con una resistencia de  $271.6\Omega$  se conecta a una tensión de  $127V$ , la potencia disipada por la misma es simplemente:

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{(127)^2}{271.6} = 60W$$

Esta potencia se manifiesta externamente en forma de luz y calor.

Por último, la rueda de la figura I3-18 resume todas las relaciones posibles entre la potencia, la corriente, el voltaje y la resistencia de un circuito eléctrico. Las expresiones que se muestran fuera de cada cuadrante son todas equivalentes a las cantidades mostradas en el centro del mismo.

**Nota:** Observe que en lugar de  $P$ ,  $I$ ,  $E$  y  $R$  se utilizan sus unidades correspondientes ( $W$ ,  $A$ ,  $V$  y  $\Omega$ ). Así, por ejemplo, los 'amperios' (A) son iguales a los 'vatios' (W) divididos por los 'voltios' (V). Este modo de referirse a las relaciones entre los parámetros de un circuito eléctrico tiende a ser muy común dentro de la comunidad electricista.

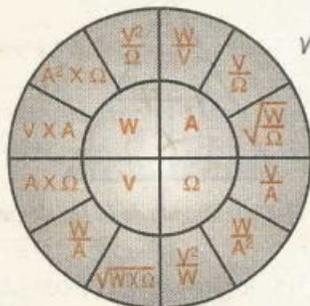


Figura I3-18. Rueda de ecuaciones de la Ley de Ohm

### Ejemplos de aplicación

La Ley de Ohm es una de las fórmulas más importantes de la electricidad. Por esta razón es importante familiarizarse

se con su uso y aprender a utilizarla en forma práctica. A continuación se presentan algunos ejemplos claves.

**Ejemplo I3-1.** El bombillo de la lámpara de mesa mostrada en la figura I3-19 está marcado en la ampolla con la etiqueta "40W, 115-125V".

- (a) ¿Cuál es la resistencia del foco?
- (b) Si la lámpara se conecta a un circuito doméstico de  $120V$  ¿Cuál será la corriente a través del bombillo?
- (c) ¿Cuál será la potencia real consumida por la lámpara en un circuito de  $115V$ ?
- (d) ¿Cuál será la corriente a través de la lámpara en este último caso?

**Solución.** (a) Por definición, la potencia o voltaje nominal de artefactos eléctricos no operados por motores se especifica siempre a  $120V$ . En otras palabras, se asume que el voltaje de diseño de estos aparatos es  $120V$ , independientemente de si están etiquetados para  $120V$ ,  $115-125V$ , etc. Por tanto, su resistencia ( $R$ , en  $\Omega$ ) puede calcularse a partir de la relación:

$$\Omega = \frac{V^2}{W} \quad \text{o} \quad R = \frac{E^2}{P}$$

Siendo  $E=120V$  y  $P$  la potencia especificada en la placa de datos. Esta resistencia es constante y la establece el fabricante. En nuestro caso:

$$R = \frac{E^2}{P} = \frac{120 \times 120}{40} = 360\Omega$$

(b) La corriente puede calcularse a partir de la relación

$$A = \frac{V}{\Omega} \quad \text{o} \quad I = \frac{E}{R}$$

Siendo  $R=360\Omega$  la resistencia del bombillo y  $E=120V$  el voltaje aplicado. Por consiguiente:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120V}{360\Omega} = 0.33 A$$

(c) La potencia consumida ( $P$ , en vatios) puede evaluarse a partir de la relación:

$$W = \frac{V^2}{\Omega} \quad \text{o} \quad P = \frac{E^2}{R}$$

Siendo  $E=115V$  el voltaje de trabajo y  $R=360\Omega$  la resistencia interna de la lámpara. Por tanto:

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{115^2}{360} = 36.7W$$

(d) La corriente puede evaluarse a partir de la relación:

$$A = \frac{V}{\Omega} \quad \text{o} \quad I = \frac{E}{R}$$

Siendo  $E=115V$  el voltaje aplicado y  $R=360\Omega$  la resistencia nominal de la lámpara. Por consiguiente:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{115}{360} = 0.32A$$

Note en la figura I3-19 el uso de un **diagrama esquemático** para simplificar el análisis del problema. En este tipo de diagramas, los elementos del circuito (cargas, interruptores, fusibles, etc.) se representan mediante símbolos gráficos y las conexiones entre ellos mediante líneas o trazos.

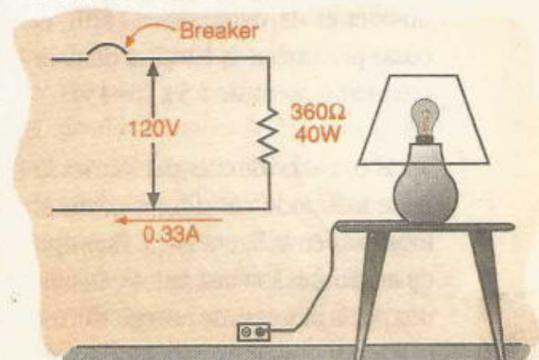


Figura I3-19. Circuito para el ejemplo I3-1.

**Ejemplo 13-2.** La lámpara de la figura 13-20, especificada con una potencia nominal de 150W, se alimenta desde un tomacorriente de 115V utilizando una extensión construida con dos alambres de cobre calibre AWG16. La resistencia interna de cada alambre de la extensión es de  $0.4\Omega$ .

- (a) Cual es la caída de voltaje a través de cada conductor?  
 (b) Cual es el voltaje a través de la lámpara?

**Solución.** Inicialmente debe calcularse la resistencia interna de la lámpara. Puesto que se conocen la potencia nominal ( $P=150W$ ) y el voltaje estándar de diseño ( $E=120V$ ), esta resistencia, que llamaremos  $R1$ , puede evaluarse a partir de la relación:

$$R = \frac{E^2}{P} \quad \text{ó} \quad \Omega = \frac{V^2}{W}$$

Así tenemos:

$$R1 = \frac{120^2}{150} = 96\Omega$$

A continuación, debe calcularse la resistencia efectiva del circuito. Puesto que cada conductor de la extensión actúa como una resistencia conectada en serie con la lámpara, la resistencia efectiva del circuito es, simplemente:

$$\begin{aligned} R_{\text{eff}} &= R1 + 2 \times R2 \\ &= 96 + 0.4 + 0.4 \\ &= 96.8 \Omega \end{aligned}$$

Siendo  $R2 = 0.4\Omega$  la resistencia de cada conductor. Conociendo la resistencia efectiva, podemos calcular la corriente ( $I$ ) a través del circuito utilizando la relación  $I=E/R$  (o  $A=V/\Omega$ ), siendo  $E=115V$  el voltaje aplicado y  $R = R_{\text{eff}} = 96.8\Omega$  la resistencia efectiva. Por tanto:

$$I = \frac{E}{R_{\text{eff}}} = \frac{115}{96.8} = 1.188 \text{ A}$$

Por tratarse de un circuito serie, esta corriente es la misma que atraviesa tanto los conductores como la lámpara. Conociendo la corriente ( $I=1.188A$ ), la resistencia de cada conductor ( $R=R2=0.4\Omega$ ) y la resistencia de la lámpara ( $R=R1=96\Omega$ ), las caídas de voltaje a través de estos elementos pueden evaluarse fácilmente utilizando la relación  $E=I \times R$  ó  $V=A \times \Omega$ . Por tanto:

- (a) La caída de voltaje a través de cada conductor es

$$\begin{aligned} E2 &= I \times R2 \\ &= 1.188 \times 0.40 \\ &= 0.4752 \text{ V} \approx 0.475 \text{ V} \end{aligned}$$

Siendo  $R2=0.4\Omega$ . Por consiguiente, la caída total de voltaje en ambos conductores es igual a  $2 \times E2 = 0.4752 \times 2 \approx 0.95V$ . Este voltaje se pierde en los conductores y reduce el voltaje disponible para la carga.

- (b) El voltaje a través de la lámpara es:

$$\begin{aligned} E1 &= I \times R1 \\ &= 1.188 \times 96\Omega \\ &= 114.048 \text{ V} \approx 114.05 \text{ V} \end{aligned}$$

Siendo  $R1=96\Omega$ . El voltaje disponible en la lámpara puede también evaluarse restando la caída total de voltaje a través de los conductores ( $0.95V$ ) del voltaje entregado por el tomacorriente ( $115V$ ). Esto es:

$$\begin{aligned} E1 &= E - 2 \times E2 \\ &= 115 - 0.950 \\ &= 114.05 \text{ V} \end{aligned}$$

siendo  $E=115V$  y  $2E2=0.950V$ .

**Ejemplo 13-3.** En la figura 13-21 se muestran dos resistencias o calefactores, con potencias nominales de

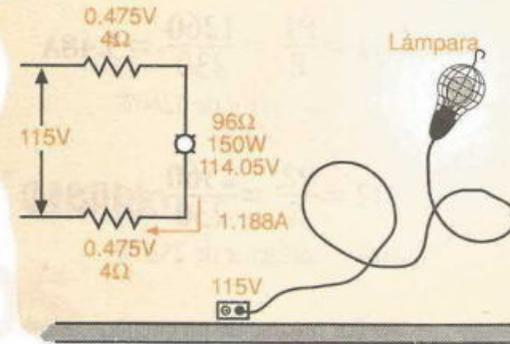


Figura 13-20. Circuito para el ejemplo 13-2

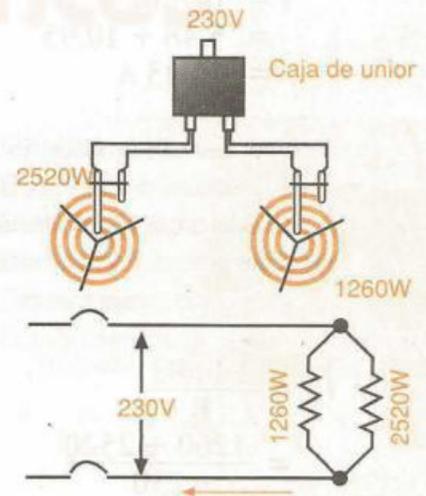


Figura 13-21. Circuito para el ejemplo 13-3

1260W y 2520W respectivamente, conectados en paralelo a un mismo circuito derivado. Si la tensión de alimentación de este último es igual a 230 V:

- (a) ¿Cual es la corriente consumida por cada calefactor?  
 (b) ¿Cual la corriente total del circuito?

**Solución.** (a) La corriente a través de cada calefactor puede evaluarse utilizando la relación :

$$I = \frac{P}{E} \quad \text{o} \quad A = \frac{W}{V}$$

## Teoría básica de circuitos eléctricos

Por tanto:

$$I_1 = \frac{P_1}{E} = \frac{1260}{230} = 5.48A$$

para el calefactor de 1260W

$$I_2 = \frac{P_2}{E} = \frac{2560}{230} = 10.95A$$

para el calefactor de 2520W

(b) Por tratarse de un circuito paralelo, la corriente total (I) es la suma de las corrientes individuales. Esto es:

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 \\ &= 5.48 + 10.95 \\ &= 16.43A \end{aligned}$$

Si no es necesario conocer las corrientes individuales de las cargas, la corriente total del circuito puede evaluarse sumando las potencias de estas últimas y dividiendo por el voltaje. Esto es:

$$\begin{aligned} I &= \frac{P_1 + P_2}{E} \\ &= \frac{1260 + 2520}{230} \\ &= 16.43A \end{aligned}$$

**Ejemplo I3-4.** En la figura I3-22 se muestran tres artefactos de cocina conectados en paralelo a un circuito de 120V protegido por un fusible de 20A.

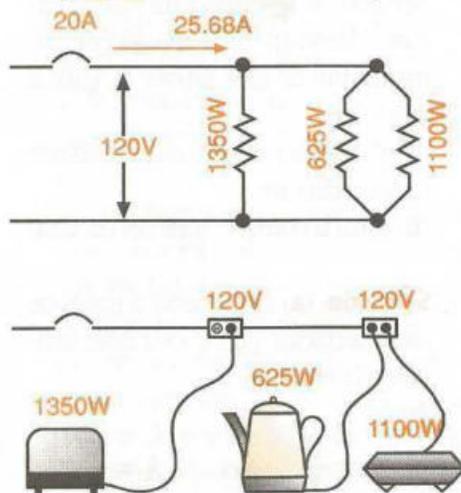


Figura I3-22. Circuito para el ejemplo I3-4

gado por un fusible de 20A. Los vatiajes nominales de estas cargas son, respectivamente, 1350W, 625W y 1100W.

(a) ¿Tendrá el circuito suficiente capacidad para alimentar todas las cargas al mismo tiempo?

(b) ¿Que sucederá con la corriente y potencia total absorbidas por las cargas si éstas se conectan a un circuito de 115V?

**Solución. (a)** El circuito será capaz de alimentar todas las cargas al mismo tiempo si la corriente total exigida por las cargas no excede la capacidad del fusible de protección (20A). Para conocer esta corriente debe evaluarse inicialmente la resistencia eficaz del circuito ( $R_{\text{eff}}$ ) a partir de la relación  $R = E^2/P$ , siendo E el voltaje de diseño (120V), igual en este caso al voltaje aplicado al circuito, y P la potencia total de las cargas. Por tanto:

$$\begin{aligned} R_{\text{eff}} &= \frac{E^2}{P} \\ &= \frac{120^2}{1350 + 625 + 1100} \\ &= \frac{14,400}{3,075} \\ &= 4.683 \Omega \end{aligned}$$

De este modo, la corriente total del circuito será, sencillamente:

$$I = \frac{E}{R_{\text{eff}}} = \frac{120}{4.683} = 25.62A$$

Obviamente, esta corriente (25.62A) es superior a la capacidad de corriente del circuito (20A) y causará el disparo del fusible de protección. Para manejar simultáneamente las tres cargas se necesitan dos circuitos independientes.

(b) Nuevamente, calculamos la corriente total a partir de la relación  $I = E/R$ , siendo E=115V el voltaje apli-

cado y  $R = R_{\text{eff}} = 4.683 \Omega$ . Por tanto:

$$I = \frac{E}{R_{\text{eff}}} = \frac{115}{4.683} = 24.56A$$

La potencia total consumida por el circuito puede evaluarse a partir de la relación  $P = E \times I$ , siendo E=115V el voltaje aplicado e I=24.56A la corriente total. Por tanto:

$$\begin{aligned} P &= E \times I \\ &= 115 \times 24.56 \\ &= 2825W \end{aligned}$$

**Ejemplo I3-5.** La placa de datos de la tostadora eléctrica mostrada en la figura I3-23 es ilegible. Sin embargo, se sabe que consume 12.8A cuando se conecta a un circuito de 115V. ¿Cual es la potencia nominal probable?

**Solución:** Conociendo el voltaje ( $E=115V$ ) y la corriente ( $I=12.8A$ ) reales del circuito, podemos calcular la resistencia (R) y la potencia del artefacto utilizando las relaciones  $R = E/I$  y  $P = E^2/R$ , siendo en este último caso  $E=120V$  el voltaje de diseño. Por tanto:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{115}{12.8} = 9.0 \Omega$$

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{120^2}{9} = 1600W$$

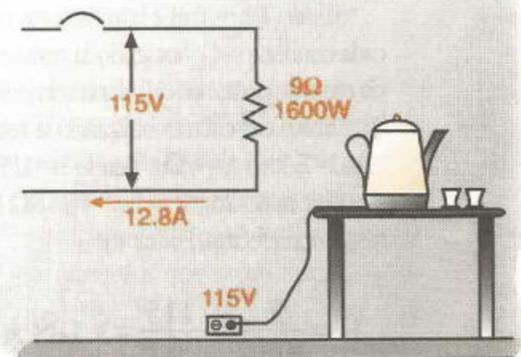


Figura I3-23. Circuito para el ejemplo I3-5

# Circuitos derivados y diagramas eléctricos

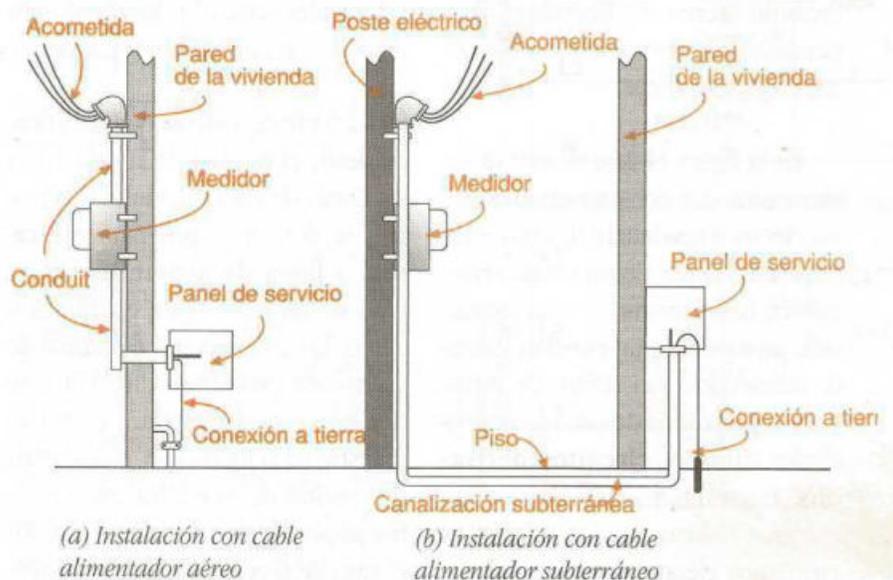
*El propósito de una instalación es distribuir la electricidad a todos los equipos eléctricos conectadas a la misma de la forma más eficiente, segura y ordenada posible. Para lograr estos objetivos, los elementos de una instalación se agrupan en circuitos individuales llamados circuitos derivados. Los circuitos derivados son el punto de partida del diseño de cualquier instalación eléctrica moderna.*

*En este capítulo se explica cómo está estructurado el sistema eléctrico de una casa de habitación típica desde el punto de vista de sus circuitos derivados y se proporcionan los elementos conceptuales para su representación gráfica.*

### Circuitos eléctricos de una casa

Las compañías de electricidad suministran la energía eléctrica a los hogares individuales a través de líneas aéreas o subterráneas llamadas **acometidas o cables alimentadores** que llevan la electricidad desde el transformador de distribución más cercano al sistema eléctrico de la casa. En la figura I4-1(a) se muestra la estructura típica de una instalación residencial con cable alimentador aéreo y en la figura I4-1(b) la de

- Circuitos eléctricos de una casa
- Circuitos derivados
- Diagramas de planta
- Diagramas esquemáticos
- Otros ejemplos
- Como identificar circuitos derivados



(a) Instalación con cable alimentador aéreo

(b) Instalación con cable alimentador subterráneo

Figura I4-1. Métodos de alimentación de instalaciones eléctricas

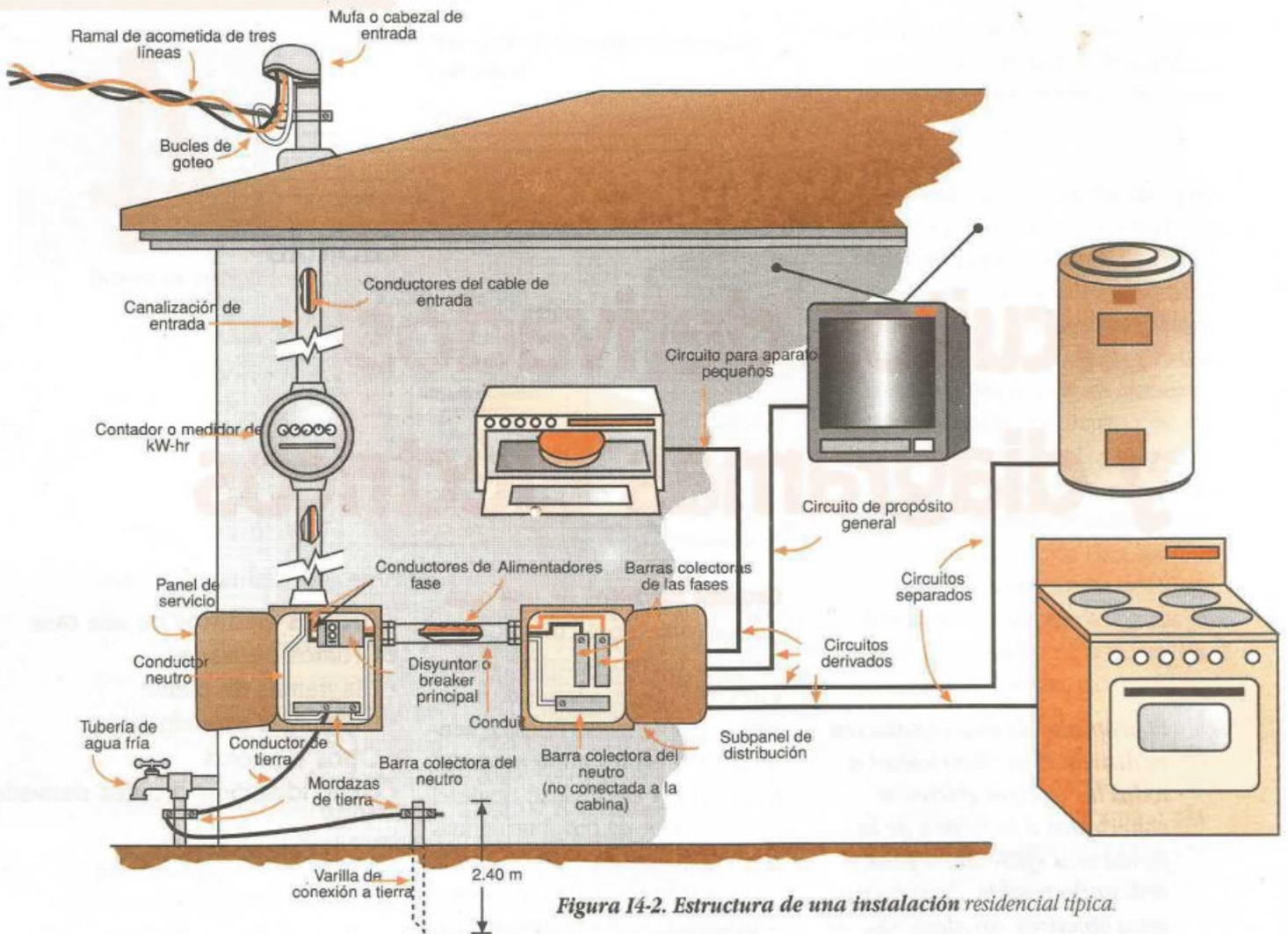


Figura I4-2. Estructura de una instalación residencial típica.

una instalación con cable alimentador subterráneo. El tipo de servicio recibido (aéreo o subterráneo) depende de factores técnicos, económicos y geográficos.

En la figura I4-2 se muestran los elementos que constituyen un sistema eléctrico residencial típico con alimentación aérea. Como puede verse, consta, básicamente, de una acometida, un medidor, un panel de entrada del servicio, un centro de distribución y una serie de circuitos individuales llamados **circuitos derivados**. Estos últimos son los que alimentan, finalmente, los diferentes elementos eléctricos de la vivienda. El centro de distribución puede ser

parte del panel de entrada del servicio o, como en este caso, uno o más subpaneles separados localizados en diferentes partes de la edificación.

La parte del sistema que se extiende desde el exterior de la casa, hasta las líneas de distribución más cercanas, se denomina generalmente **ramal** o **línea de acometida**. En el caso de un servicio de distribución aéreo, los conductores del ramal de acometida provienen directamente del poste más próximo, como se muestra en la figura I4-3, o discurren por encima de las edificaciones o sobre apoyos fijados en la fachadas. En el caso de servicio subterráneo, pueden provenir de un transformador

montado en una base de concreto a nivel del piso o en una bóveda bajo tierra, o de un poste.

El número de conductores del ramal de acometida depende del número de **fases** contratadas para la vivienda y de las características e importancia del suministro. Actualmente, la mayoría de instalaciones residenciales utilizan acometidas **monofásicas** o **trifásicas**. Las primeras constan de tres conductores (dos fases y un neutro) y las segundas de cuatro conductores (tres fases y un neutro). En la figura I4-4 se comparan las configuraciones de voltaje típicas de estos dos sistemas. En el resto de este capítulo se asume la utilización de sistema monofásico de tres conductores.

El sistema **monofásico de tres conductores** (figura I4-4a), el más comúnmente utilizado en casas de habitación, proporciona dos tensiones de servicio diferentes, digamos 120V y 240V. La tensión menor (120V) se obtiene entre cualquiera de las fases y el neutro, y la tensión mayor (240V) entre las dos fases. La primera se utiliza para alimentar equipos eléctricos de bajo consumo como televisores, computadores, equipos de sonido, electrodomésticos pequeños, etc., y la segunda para alimentar equipos grandes como estufas, lavadoras, secadoras, sistemas de aire acondicionado, etc.

El sistema **trifásico de cuatro conductores** (figura 14-4b), muy utilizado en edificios, fábricas, hospitales, etc., suministra también dos tensiones de servicio diferentes, generalmente 120V y 208V, pero es mucho más flexible que el anterior. Un sistema de este tipo, por ejemplo, puede alimentar circuitos de cuatro conductores de 120/208V, circuitos de tres conductores de 120V/208V, circuitos de dos conductores de 208V y circuitos de dos conductores de 120V. Casi todas las redes de distribución públicas modernas son de este tipo.

En Europa y algunos países de América Latina como Argentina y Chile se utiliza el sistema trifásico de 220/380V (figura 14-4c). Este tipo de red proporciona 380V entre cualquier par de fases y 220V entre cualquier fase y el neutro. Por consiguiente, en el interior de las edificaciones pueden tenerse dos tipos de voltajes de servicio, utilizándose el de 220V para enchufes e iluminación, y el de 380V para aparatos de gran consumo como hornos, máquinas-herramientas, etc.

La mayoría de acometidas aéreas utilizan cable *triplex*, constituido por dos conductores aislados trenzados alrededor de un conductor desnudo que les sirve de soporte (figura I4-5a). Este último corresponde al neutro y los dos primeros a las fases. Una vez que la instalación eléctrica de una casa ha sido completamente alambreada e inspeccionada, la compañía de energía eléctrica conecta la línea de acometida al **cable de entrada**, encargado de llevar la electricidad al interior de la vivienda. En la figura I4-5b se muestra la estructura de un cable de entrada típico.

El cable de entrada ingresa a la vivienda a través de una pieza metálica o plástica en forma de U llamada **mufa o cabezal de acometida**. La mufa protege el cable de entrada de la humedad y evita que el agua penetre al interior de la instalación. Muchas veces, en lugar de un cable de entrada compacto como el de la figura I4-5b, se utilizan tres conductores separados. De todas formas, los cables de entrada deben llegar primero al **medidor**, localizado dentro o fuera de la edificación, el cual se encarga de registrar o cuantificar la cantidad de energía eléctrica consumida en la vivienda.

En la figura I4-6 se muestran dos tipos de contadores utilizados normalmente en las instalaciones domiciliarias. La lectura se realiza de izquierda a derecha. En el contador de la figura I4-6a, esta lectura es inmediata, mientras que en el contador de la figura I4-6b está dada por el número que la aguja o puntero ha pasado en cada dial o carátula. En la figura I4-6(c) se muestra un ejemplo de indicación de consumo. En

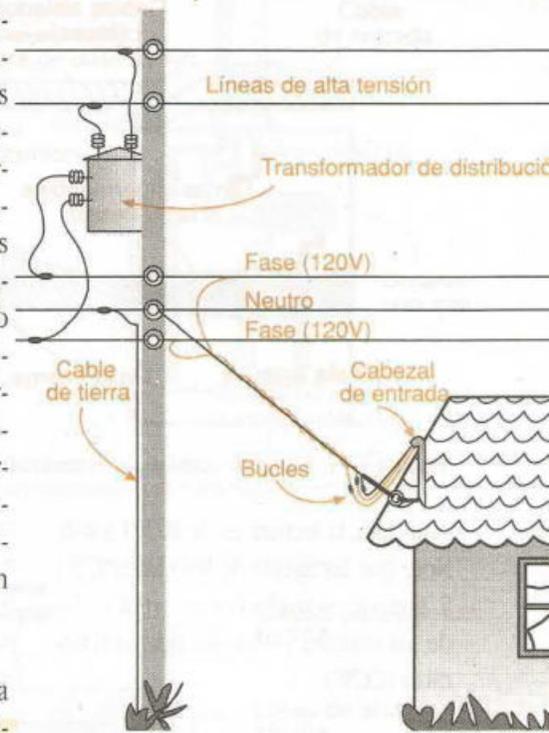
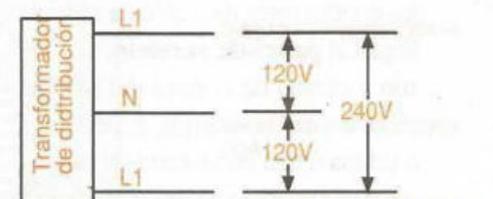
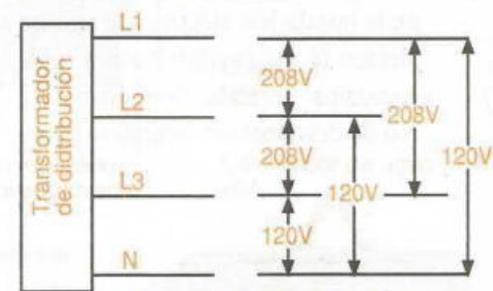


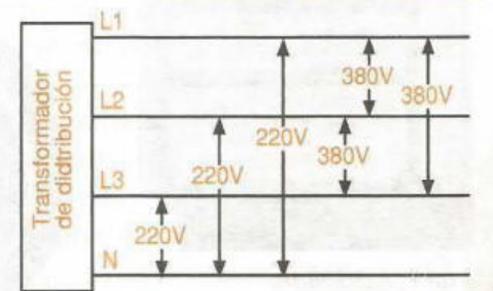
Figura I4-3. Entrada de servicio aérea típica



(a) Sistema monofásico de tres hilos (120/240V)



(b) Sistema trifásico de cuatro hilos (120V/208V)



(c) Sistema trifásico de cuatro hilos (220V/380V)

Figura 14-4. Configuraciones de voltaje comunes

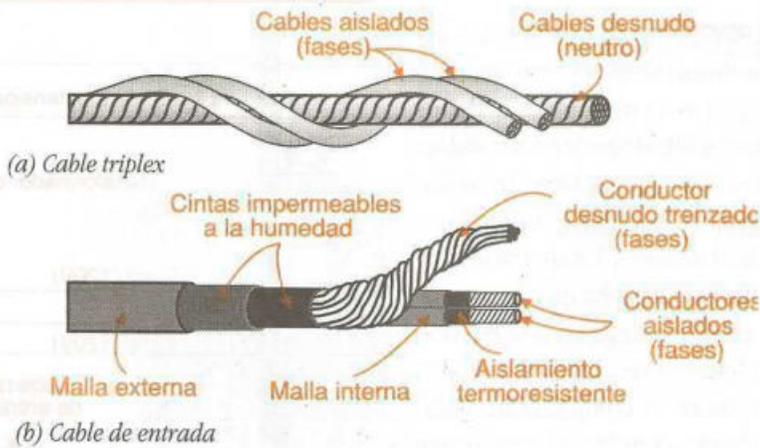


Figura 14-5. Tipos de cables de acometida

este caso, la lectura es de 89281 kW-h. Note que las agujas de los diales 1, 3 y 5 giran en sentido horario (CW) y las de los diales 2 y 4 en sentido anti-horario (CCW).

Después de pasar por el medidor, los conductores del cable de entrada llegan al **panel de servicio**, el corazón y centro de control del sistema eléctrico de su vivienda. En esta caja o cabina usted encontrará siempre el mecanismo principal de desconexión, encargado de impedir que los daños en la instalación eléctrica de su casa afecten la red de distribución de la compañía eléctrica. Como mecanismo de desconexión se utilizan gene-

ralmente un *breaker* de dos secciones (una para cada fase), especificado para la máxima cantidad de corriente que puede entregar el panel, por ejemplo 100A, 125A, 150A, 200A, etc.

Una vez dentro del panel de servicio, los dos conductores del cable de entrada que llevan las fases se conectan al mecanismo de desconexión general. El conductor del neutro se conecta directamente a una barra colectora metálica. Esta barra, a su vez, se conecta a una varilla metálica larga enterrada físicamente en el suelo, constituyendo el llamado **sistema de protección a tierra** de la instalación. El sistema

de tierra puede ser reforzado conectando la barra colectora del neutro a las tuberías metálicas de suministro de agua de la vivienda.

Después del medidor y el panel de servicio, el siguiente elemento de una instalación eléctrica es el **centro de distribución**. Esta caja contiene los fusibles o *breakers* que controlan y protegen los circuitos derivados. En la figura 14-7 se muestran las dos disposiciones más comunes del centro de distribución. En (a), es un subpanel separado localizado en cualquier parte de la instalación, y en (b) forma parte del panel de servicio. La conexión entre el centro de distribución y el panel de servicio se realiza a través de un cable llamado **alimentador**.

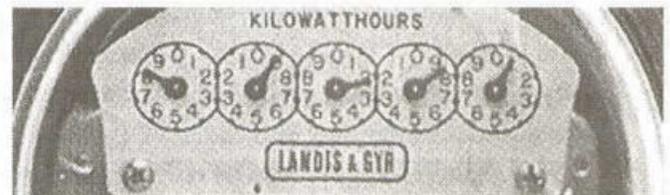
Observe que en el centro de distribución, cada conductor de fase llega a una barra colectora. Estas barras, diseñadas para aceptar la máxima cantidad de corriente admitida por los fusibles o *breakers* principales - digamos 100A-, permiten que la energía eléctrica pueda ser distribuida eficientemente a los circuitos derivados (figura 14-7b). También se dispone de



(a) Tipo ciclómetro



(b) Tipo registro



(c) Ejemplo de lectura

Figura 14-6. Tipos de contadores

una barra colectora para el conductor neutro. El panel de servicio y el centro de distribución constituyen el llamado **centro de carga** o tablero general de fusibles del sistema eléctrico de la vivienda.

El cable de alimentación, o los conductores que conectan el panel de servicio con el centro de distribución, llevan las dos fases, el neutro y, eventualmente, la tierra. Las fases transportan la corriente demandada por los equipos conectados al sistema eléctrico de la vivienda y el neutro la lleva de retorno a la red de distribución pública. El conductor de tierra no conduce corriente y sólo sirve de protección. Por esta razón, debe procurarse utilizar siempre un cable de tierra, aunque no sea absolutamente indispensable desde el punto de vista eléctrico, como sí lo es el neutro.

De acuerdo a las normas, las identidades de los conductores neutro y de tierra deben preservarse a lo largo de una instalación. Esto se logra utilizando colores especiales para ellos. En sistemas de 120/240V o 120/208V, el neutro se reconoce por ser de color blanco o gris claro, y la tierra por ser de color verde. En sistemas de 220/380V, el neutro debe ser de color azul celeste y la tierra de color verde amarillo. Para las fases se utilizan otros colores, siendo los más comunes el rojo y el negro (sistemas de 120/240V o 120/208V), o el marrón y el negro (sistemas de 220/380V).

Las convenciones anteriores se aplican también a los conductores que alimentan los circuitos derivados y su propósito es permitir la rápida identificación de la función de los conductores que se encuentran a lo largo de las canalizaciones. Esto es particularmente

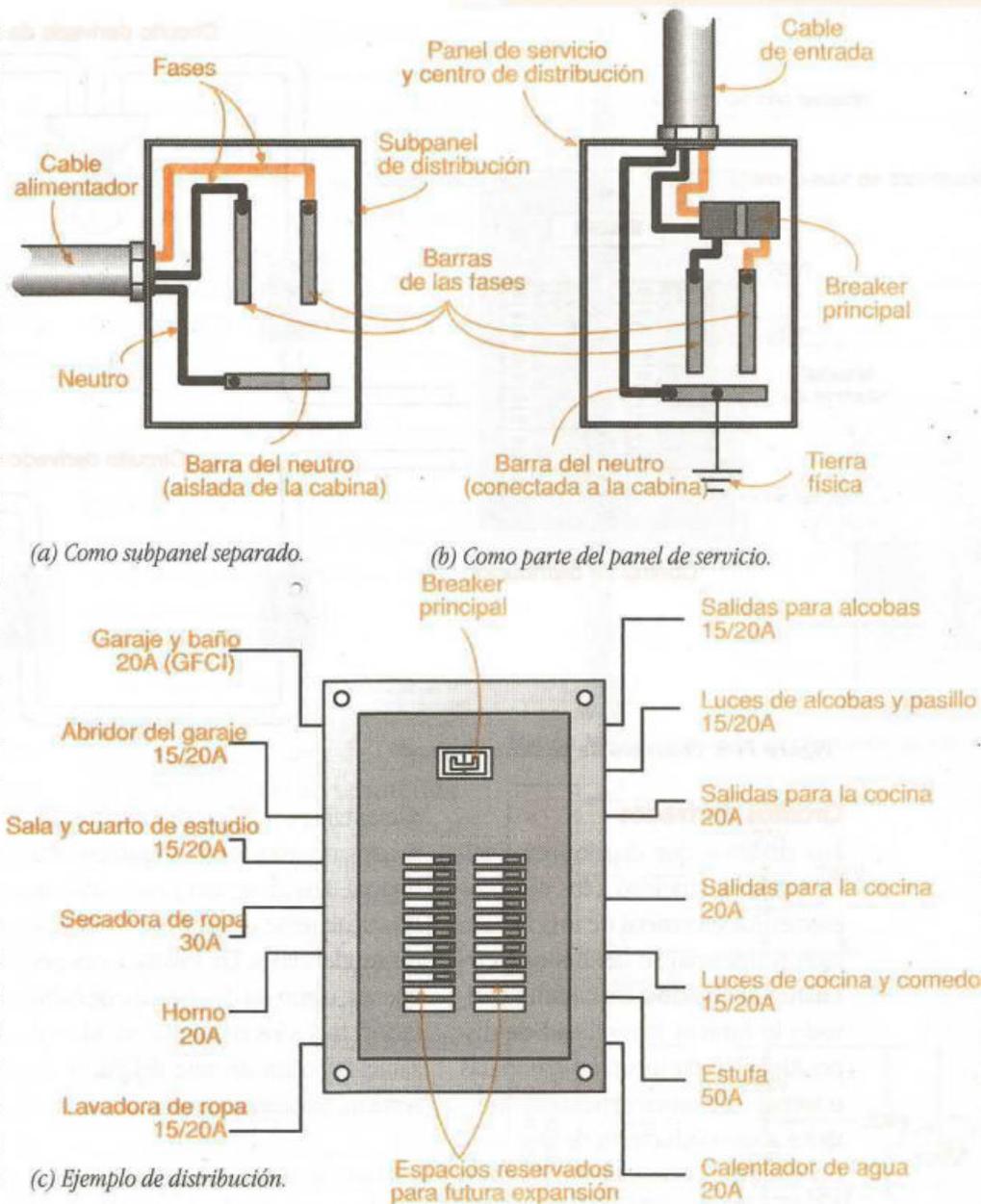


Figura 14-7. Disposición del centro de distribución

importante en caso de reparaciones, ampliaciones y adecuación de protecciones. En instalaciones que solamente utilizan una fase, el conductor de fase es generalmente negro antes de pasar por un interruptor y rojo después. Por seguridad, el conductor neutro y el de tierra **nunca** deben ser interrumpidos.

En instalaciones improvisadas o realizadas por personas que ignoran los reglamentos eléctricos es muy

probable que se hayan utilizado conductores de colores inadecuados para alambrar los circuitos o se haya instalado un interruptor sobre la línea del neutro. En estos casos, antes de realizar cualquier reparación o modificación, es importante realizar una prueba inicial del circuito sospechoso para identificar el neutro, la tierra y las fases. Más adelante aprenderemos algunos métodos para verificar esta situación.

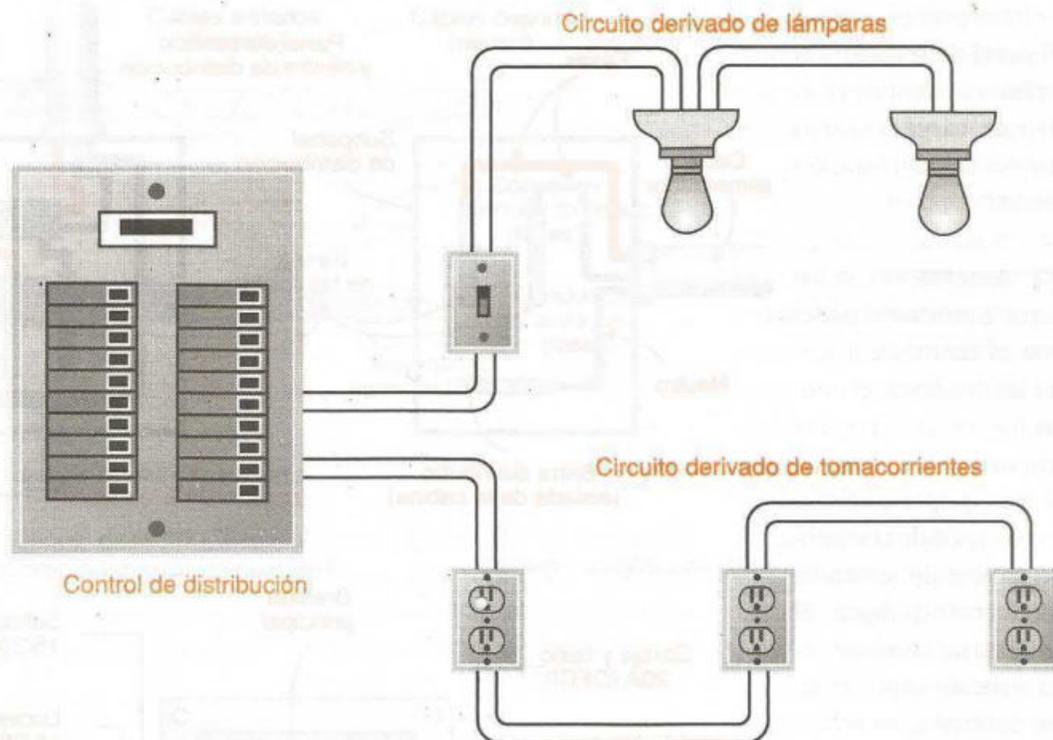


Figura I4-8. Concepto de circuito derivado

### Circuitos derivados

Los circuitos que distribuyen finalmente la electricidad a los distintos elementos eléctricos de una instalación residencial se denominan **circuitos derivados**. Un circuito derivado lo forman la totalidad de dispositivos de iluminación (lámparas o focos) y de tomacorrientes conectados a los conductores de fase, neutro y tierra provenientes del centro de distribución. En general, cualquier segmento de una instalación eléctrica que se extienda más allá del centro de distribución es un circuito derivado. Todos los circuitos derivados deben estar protegidos por fusibles o *breakers*.

Dependiendo de la disposición del centro de distribución, un circuito derivado puede comenzar en el panel de entrada (figura I4-8) o en un subpanel (figura I4-9). En este último caso se habla de **circuitos alimentadores**, es decir conjuntos de conductores que

alimentan a un grupo de circuitos derivados, digamos los de un garaje o una bodega. Los alimentadores se utilizan principalmente en edificios y conjuntos residenciales. En instalaciones pequeñas, como las de una casa de habitación, todos los circuitos derivados se alimentan directamente del panel de servicio, sin alimentadores.

Los circuitos derivados pueden ser de tres tipos: de propósito general, para aparatos pequeños y separados. Los **circuitos derivados de propósito general** alimentan las salidas para iluminación y los tomacorrientes a los cuales se conectan radios, televisores, relojes eléctricos, lámparas de mesa, aspiradoras portátiles y otros artefactos de bajo consumo. Este tipo de circuitos, que sirven la mayoría de las áreas de una casa, se realizan generalmente con alambre calibre AWG14 o AWG12 y se protegen con *breakers* o fusibles de 15, 20, 30, 40 o 50A, únicamente.

Los **circuitos derivados para aparatos pequeños** alimentan los tomacorrientes a los cuales se conectan neveras, tostadoras, hornos de microondas, licuadoras, cafeteras, hornos de microondas, planchas y otros artefactos de consumo mediano. Este tipo de circuitos, que sirven principalmente la cocina, el comedor y otras áreas de consumo claves de la casa, se realizan generalmente con alambre AWG12 y pueden estar protegidos, únicamente, con *breakers* o fusibles de 15, 20, 30, 40 o 50A. Las normas recomiendan proveer a la cocina, como mínimo, con dos circuitos de este tipo.

Los **circuitos derivados individuales o separados** (figura I4-10) alimentan los tomacorrientes a los cuales se conectan lavadoras y secadoras de ropa, sistemas de calefacción y de aire acondicionado, estufas, lavadoras de platos, calentadores de agua y otros artefactos cuyo consumo es superior

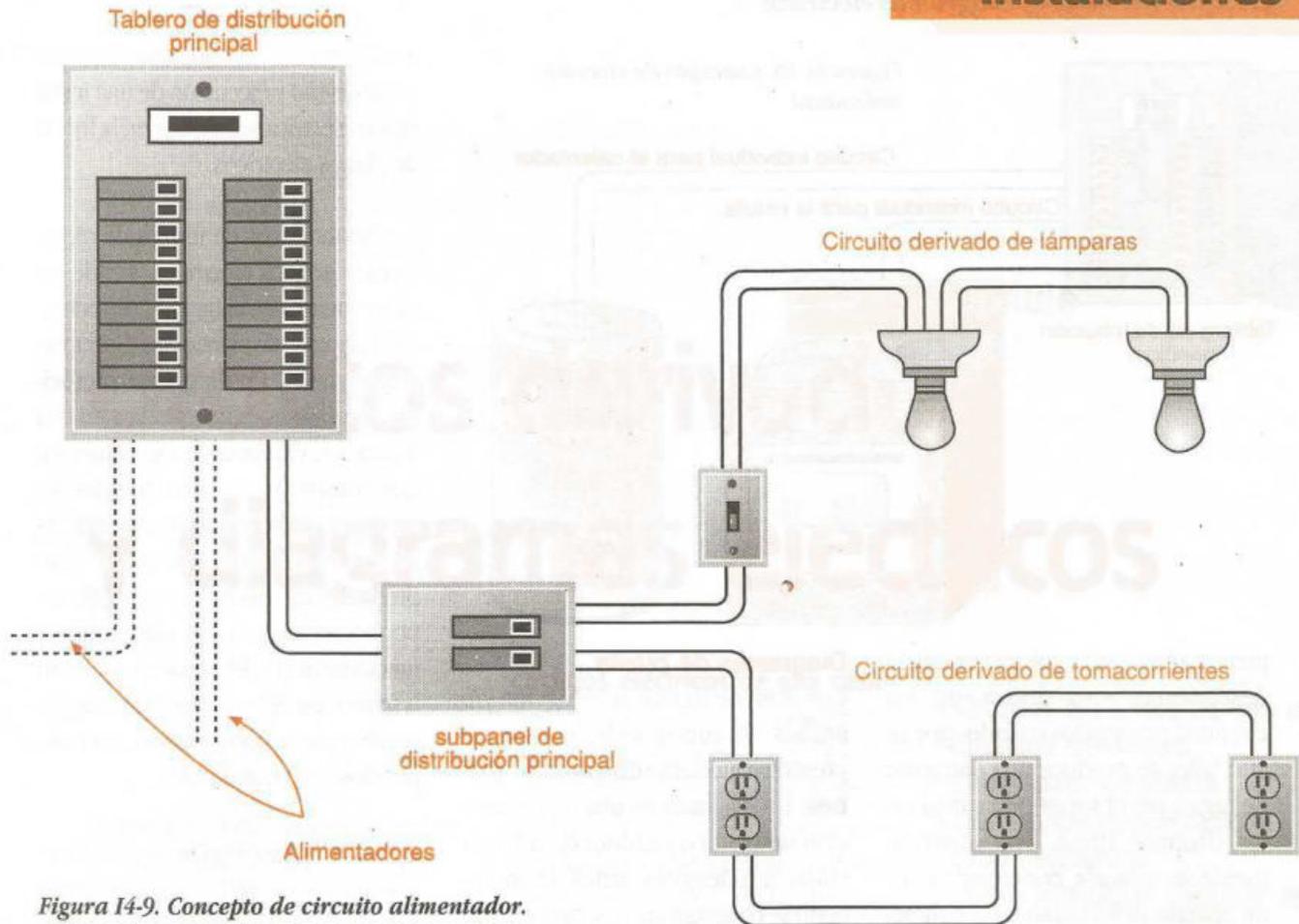


Figura I4-9. Concepto de circuito alimentador.

a 1800W. Estos circuitos se derivan directamente del centro de distribución y alimentan un solo equipo. Se realizan con alambre AWG12 o más grueso y no tienen restricción en cuanto a la capacidad del *breaker* o fusible de protección puesto que ésta depende del artefacto al que sirven.

Los circuitos derivados se especifican de acuerdo a la capacidad o *rating* de corriente de los dispositivos de protección asociados a los mismos, incluso aunque los conductores usados para su alambrado puedan transportar corrientes más altas. Se habla así de circuitos de 15A, 20A, 30A, 40A, 50A, etc. La capacidad del panel de servicio también se especifica en términos de la capacidad del dispositivo general de protección. En la figura I4-11, se muestran como

ejemplo los circuitos derivados de una cocina asociados a un panel de servicio de 100A. Se suma un servicio monofásico de tres conductores de 120/208V.

Observe el uso de circuitos derivados de 120V para las luces, la nevera y los artefactos pequeños, y de 120/208V para la estufa y los artefactos grandes. También son comunes los circuitos de 208V. En la figura I4-12 se muestra en detalle la forma como estos circuitos se conectan al panel de servicio. Los circuitos de 120V utilizan una fase y el neutro, los de 208V las dos fases y los de 120V/208V las dos fases y el neutro.

Note que cada circuito derivado comienza en el dispositivo de protección de sobrecorriente asociado

y termina en la barra colectora del conductor neutro. A esta última, conectada físicamente a tierra, deben ir directamente, sin interrupción, los conductores neutros y de tierra de todos los circuitos. Por razones de seguridad, todas las cajas metálicas que alojan interruptores, tomacorrientes, lámparas, etc., así como las estructuras metálicas de ciertos artefactos eléctricos (neveras, lavadoras, máquinas-herramientas, etc.) deben ir conectadas a tierra.

Además de los *breakers* convencionales, muchos paneles de servicio incluyen también uno o más *breakers* de construcción especial llamados **interruptores diferenciales o GFCIs** (*Ground Fault Circuit Interrupters*). Este tipo de dispositivos, además de proporcionar

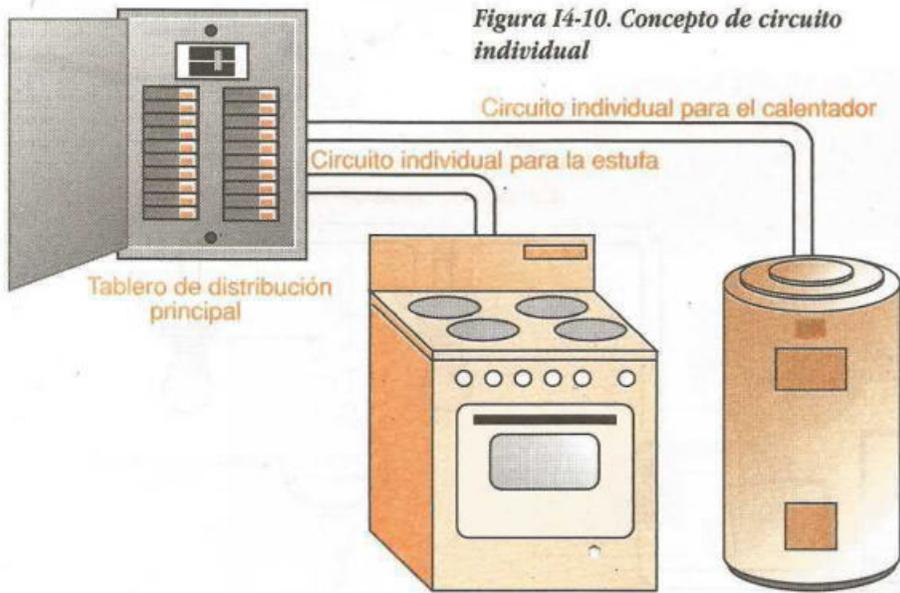


Figura 14-10. Concepto de circuito individual

protección contra sobrecorrientes, desconectan automáticamente los circuitos protegidos cuando, por algún fallo, se produce una corriente de fuga a tierra superior a cierto valor, digamos 10mA. Esta situación puede ser causada, por ejemplo, por un aparato defectuoso o un contacto accidental con partes metálicas bajo tensión.

**Diagramas de planta**

Con el fin de facilitar su ejecución y/o análisis, los circuitos eléctricos se representan mediante **diagramas o planos**. Un diagrama es una representación simbólica o pictórica de la forma como las diferentes partes de un circuito se conectan entre sí para realizar una función determinada. Los diagramas son parte fundamental del traba-

jo eléctrico. De hecho, todo el proceso de diseño y ejecución de una instalación eléctrica se expresa en la forma de planos eléctricos.

Existen varias de formas de representar circuitos eléctricos, siendo las más comunes los diagramas pictóricos, los diagramas de planta y los diagramas esquemáticos. Un **diagrama pictórico**, como su nombre lo indica, es una ilustración dibujada de los elementos que constituyen un circuito y las conexiones entre ellos. Los diagramas pictóricos son fáciles de seguir pero presentan algunas desventajas: no proporcionan información clara sobre el funcionamiento del circuito, no indican la trayectoria de la corriente, ocupan generalmente mucho espacio, son dispendiosos de elaborar, etc.

Los electricistas realizan el alambrado de una edificación siguiendo generalmente un **diagrama o plano arquitectónico de planta**. Este tipo de diagramas, que serán em-

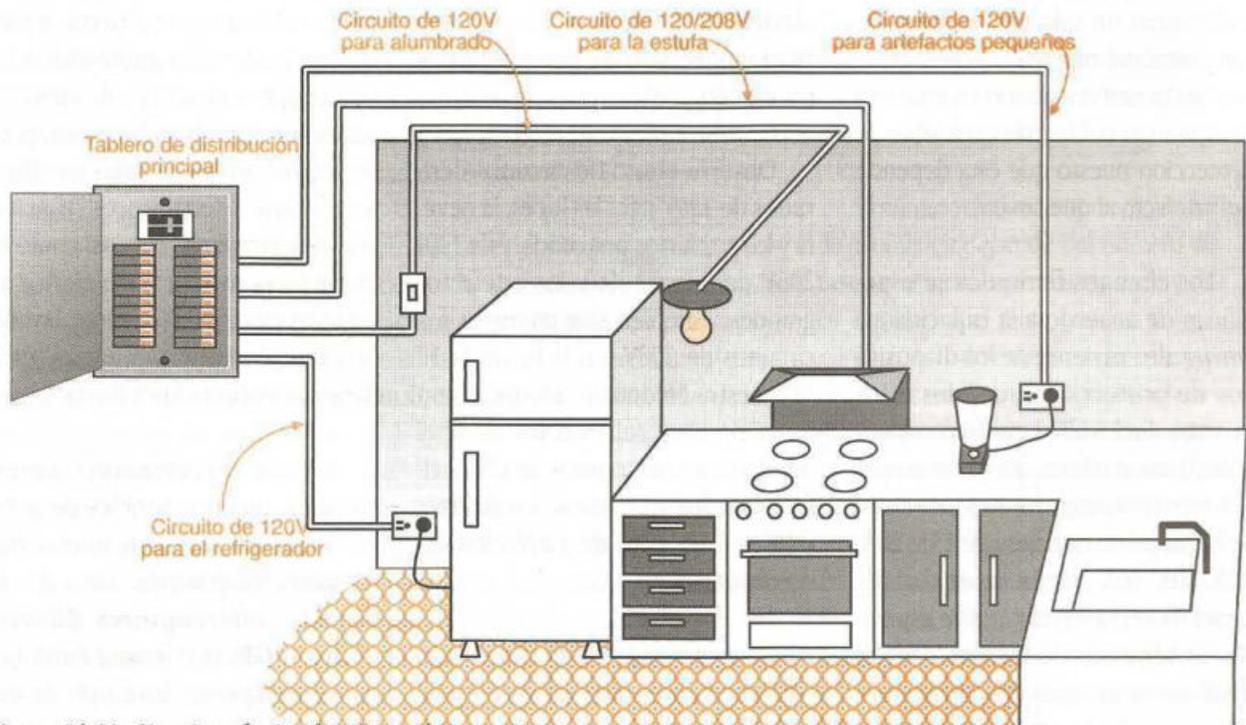


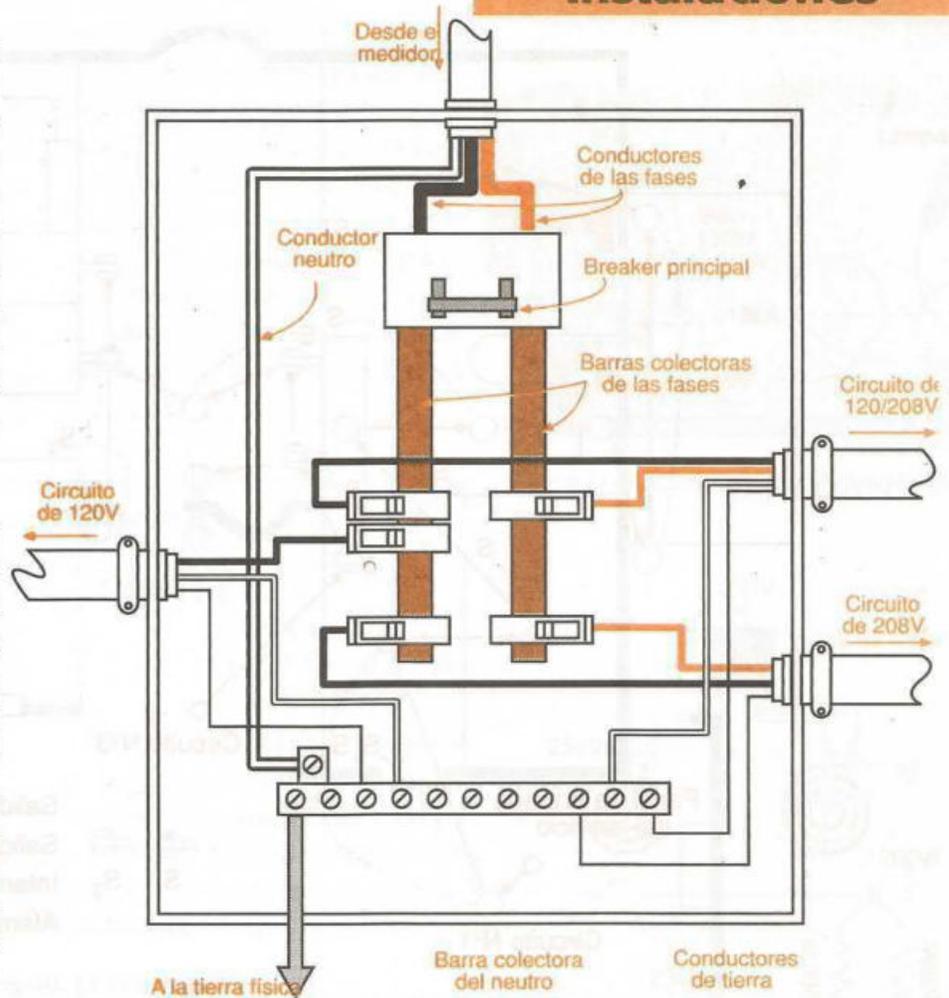
Figura 14-11. Circuitos derivados típicos de una cocina

pleados con mucha frecuencia en este curso, utilizan símbolos en lugar de dibujos para identificar, sobre el plano arquitectónico de la vivienda, los elementos eléctricos de la instalación, su localización física dentro de la misma y las relaciones entre ellos. También pueden incluir especificaciones escritas acerca del tamaño del panel de servicio, el número de circuitos, el tipo de materiales utilizados y otros datos.

En la figura I4-13 se muestra como ejemplo el diagrama de planta de una vivienda mostrando la distribución de algunos de los circuitos de propósito general. El circuito N° 1, por ejemplo, incluye las salidas de iluminación del garage, el cuarto de lavado, el taller, la cocina y el comedor, así como dos luces de patio y un tomacorriente exterior. El circuito N° 5 alimenta seis tomacorrientes y tres luces de las alcobas. Las líneas punteadas relacionan los interruptores con las salidas particulares que ellos controlan.

En la figura I4-14 se muestran varios de los símbolos estándares utilizados para representar componentes en los diagramas de planta. Algunos de estos símbolos representan salidas para tomacorrientes, lámparas o interruptores, mientras que otros se refieren al cableado. Las salidas para tomacorrientes de propósito especial deben ir acompañadas de letras subíndices para indicar su función, por ejemplo LV para el lavador de platos, SR para el secador de ropa, etc.

Los interruptores se designan con la letra S y un subíndice que especifica el número de polos o de posiciones (vías). En instalaciones eléctricas se utilizan principalmente interruptores de un polo (S), de dos polos (S2), de tres vías (S3) y de cuatro vías (S4).



**Figura I4-12. Panel de servicio** mostrando conexiones para circuitos derivados de 120V, 208V y 120/208V

Los interruptores de un polo permiten controlar el flujo de corriente hacia cargas alimentadas por una fase y los de dos polos el flujo hacia cargas alimentadas por dos fases. Los interruptores de tres y cuatro vías permiten controlar una carga desde varios puntos diferentes. Por regla general, los interruptores deben siempre ubicarse sobre las líneas de fase y nunca sobre el neutro. De lo contrario, esto podría crear un riesgo para los usuarios.

En la figura I4-15 se muestra un ejemplo de diagrama de planta mostrando una posible distribución de circuitos derivados para aparatos pequeños. Las normas recomiendan proveer

la cocina, como mínimo, con dos circuitos de este tipo. En nuestro caso, los circuitos 1 y 2 alimentan los 8 tomacorrientes de la cocina, mientras que el circuito 3 alimenta la lavadora. El circuito N° 2 alimenta también 6 tomacorrientes del comedor. Aunque la salida para la nevera está incluida en el circuito 1, algunos diseñadores prefieren destinar un circuito separado para este artefacto.

En la figura I4-16 se muestra un ejemplo de diagrama de planta mostrando una posible distribución de circuitos derivados individuales o para electrodomésticos grandes. En este caso, se dispone de circuitos separados para la central de aire acondicio-

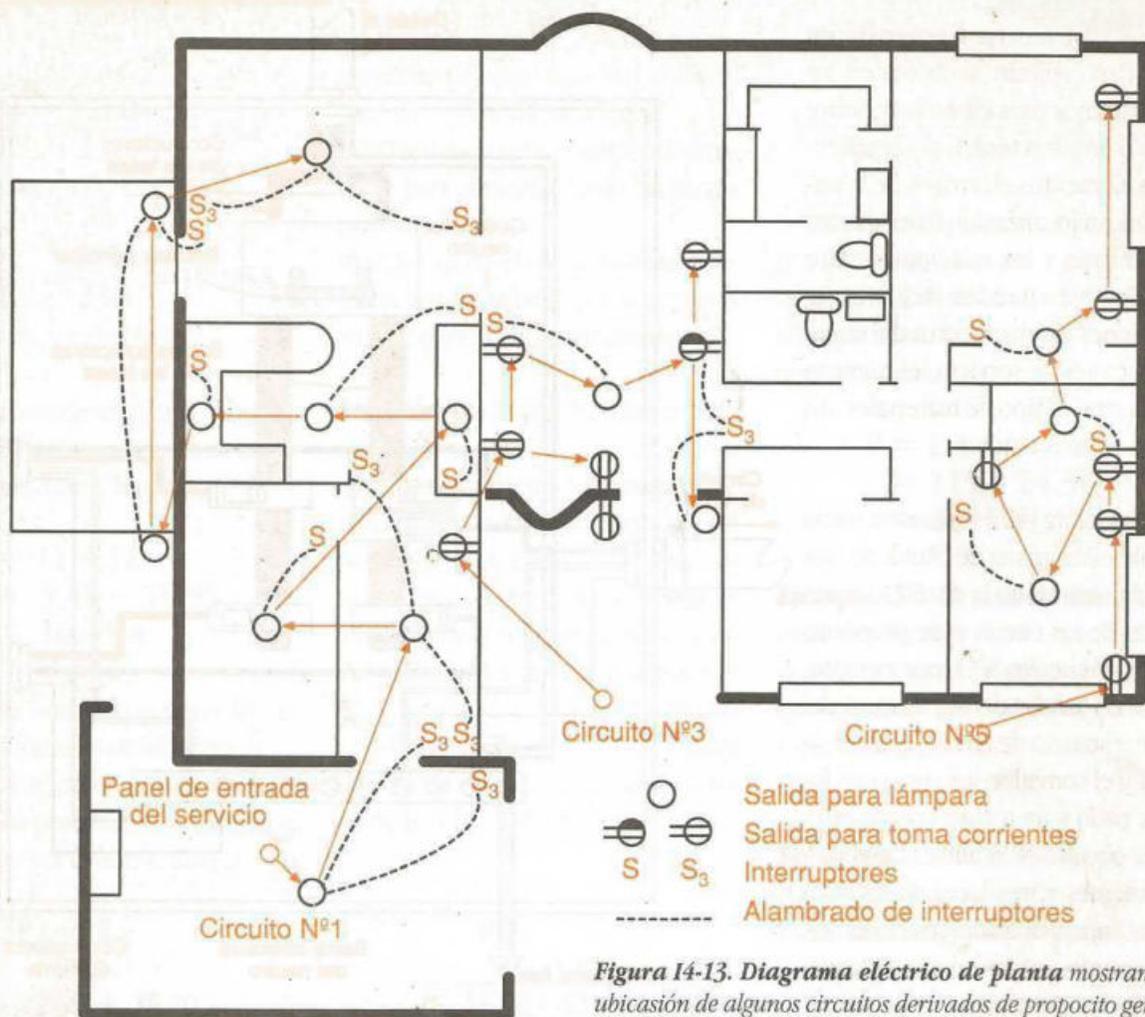


Figura 14-13. Diagrama eléctrico de planta mostrando la ubicación de algunos circuitos derivados de propósito general

nado (AA), el horno (HR), la estufa eléctrica (EE), la lavadora de platos (LP), la secadora de ropa (SR), la lavadora de ropas (LR) y el calentador de agua (CA). Cada uno de estos circuitos parte directamente del panel de servicio y llega directamente al electrodoméstico o a un tomacorriente adecuado al tipo de enchufe de este último.

Los diagramas de planta facilitan la comunicación entre los instaladores y los diseñadores, y son extremadamente útiles a la hora de realizar reparaciones en una instalación eléctrica o adecuarla a necesidades específicas. Toda edificación residencial, ya sea individual o multifamiliar, debe disponer de su propio conjunto de planos arquitectó-

nicos, incluyendo el correspondiente a la instalación eléctrica, debidamente documentados. Generalmente no se usan los planos originales sino reproducciones heliográficas de los mismos llamadas *blueprints* (copias azules).

### Diagramas esquemáticos

Otra forma de representar circuitos eléctricos es mediante el uso de diagramas esquemáticos o **esquematas**. Este tipo de diagramas, que utilizan símbolos gráficos (letras, líneas, figuras) para representar los componentes y las conexiones entre ellos, son mucho más explícitos, compactos, universales y fáciles de dibujar que los diagramas pictóricos y se complementan perfectamente con los diagramas de planta.

En la figura 14-16 se muestran los símbolos esquemáticos de algunos componentes eléctricos comunes. Estúdielos y memorícelos para que pueda identificarlos fácilmente cuando los vea. Con la práctica, usted aprenderá a leer y entender diagramas esquemáticos de la misma forma como se aprende a leer y entender cualquier lenguaje.

Los diagramas esquemáticos son el lenguaje natural de la electricidad, siendo las "letras" de este lenguaje los símbolos que representan los componentes y las "palabras" los grupos de símbolos que representan circuitos específicos. Por esta razón, son ampliamente utilizados por técnicos e ingenieros.

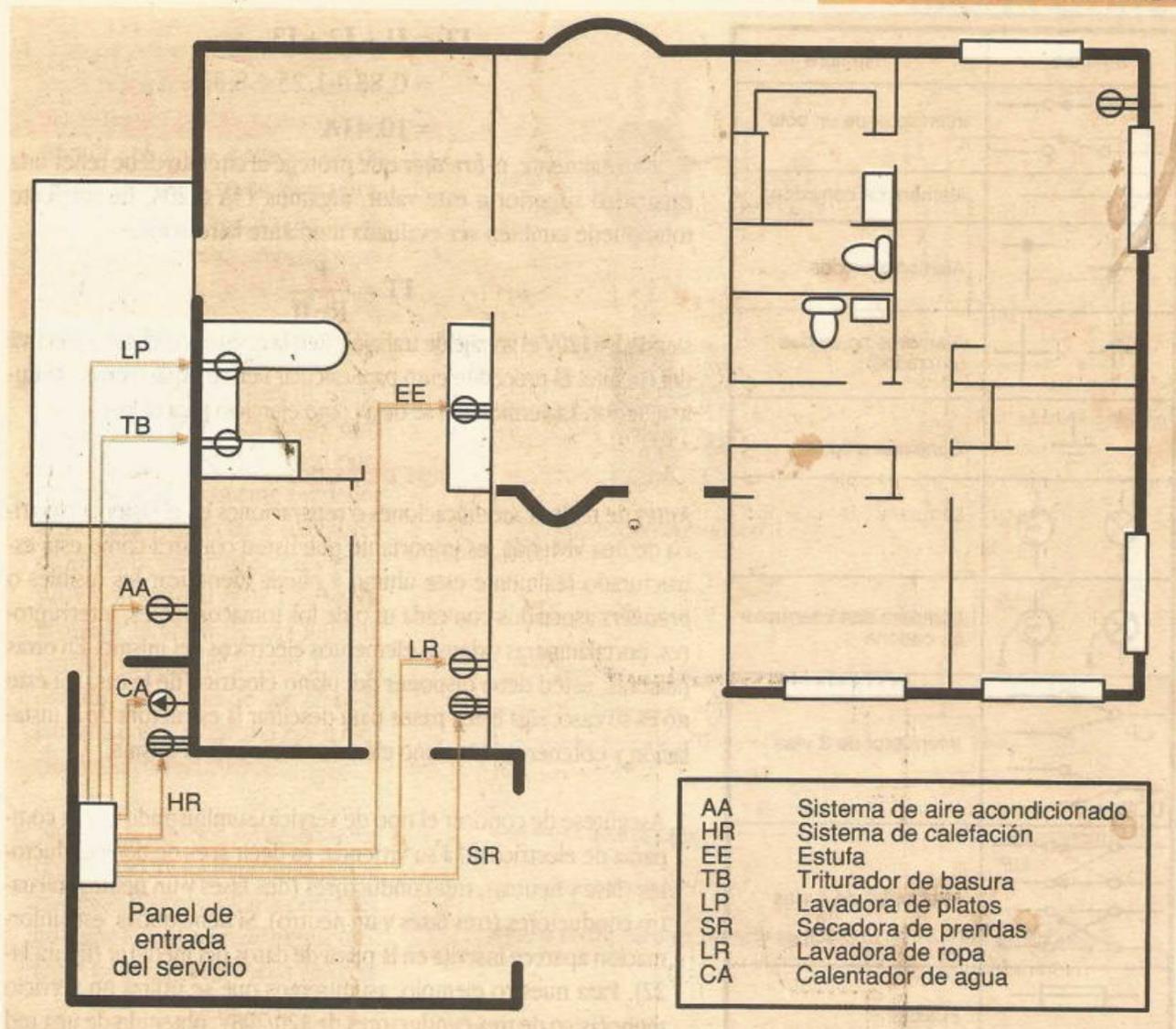


Figura 14-16 Diagrama de planta mostrando circuitos derivados individuales

de la plancha. Asimismo,  $I_1$  es la corriente a través de  $R_1$ ,  $I_2$  la corriente a través de  $R_2$ ,  $I_3$  la corriente a través de  $R_3$  e  $I_T$  la corriente total consumida por el circuito.

Podemos calcular fácilmente la corriente a través de cada carga aplicando la relación:

$$I = \frac{P}{E} \text{ o } A = \frac{W}{V}$$

Siendo  $P$  (W) la potencia consumida por la respectiva carga y  $E=120V$  el

voltaje aplicado. Puesto que, en este caso, el voltaje de trabajo es igual al voltaje de diseño (120V), la potencia consumida por cada carga es igual a su potencia nominal. Por tanto,  $P = P_1 = 100W$  para la lámpara 1;  $P = P_2 = 150W$  para la lámpara 2 y  $P = P_3 = 1000W$  para la plancha. De este modo:

Corriente consumida por la lámpara 1:

$$I_1 = \frac{P_1}{E} = \frac{100}{120} = 0.83A$$

Corriente consumida por la lámpara 2:

$$I_2 = \frac{P_2}{E} = \frac{150}{120} = 1.25A$$

Corriente consumida por la plancha:

$$I_3 = \frac{P_3}{E} = \frac{1000}{120} = 8.33A$$

La corriente total consumida por el circuito ( $I_T$ ) es simplemente la suma de las corrientes consumidas por las cargas. Esto es:

Símbolo	Nombre
	Interruptor de un polo
	Alambre de conexión
	Alambres unidos
	Alambres no unidos (cruzados)
	Conexión a tierra
	Lámpara
	Lámpara con interruptor de cadena
	Interruptor de 3 vías
	Interruptor de 4 vías
	Fusible
	Breaker de un polo
	Breaker de tres polos
	Interruptor de dos polos
	Clavija monofásica con polo a tierra
	Fuente de corriente alterna
	Fuente de corriente continua

Figura 14-17. Simbología de diagramas esquemáticos

$$\begin{aligned}
 I_T &= I_1 + I_2 + I_3 \\
 &= 0.83 + 1.25 + 8.33 \\
 &= 10.41A
 \end{aligned}$$

Naturalmente, el *breaker* que protege al circuito debe tener una capacidad superior a este valor, digamos 15A o 20A. La corriente total puede también ser evaluada mediante la relación:

$$I_T = \frac{E}{R_{eff}}$$

siendo E=120V el voltaje de trabajo y  $R_{eff}$  la resistencia eficaz o efectiva del circuito. El procedimiento para calcular  $R_{eff}$  se explicó en el capítulo anterior. La verificación se deja como ejercicio para el lector.

### Cómo identificar circuitos derivados

Antes de realizar modificaciones o reparaciones en el sistema eléctrico de una vivienda, es importante que usted conozca como está estructurado realmente este último y pueda identificar los fusibles o *breakers* asociados con cada uno de los tomacorrientes, interruptores, portalámparas y demás elementos eléctricos del mismo. En otras palabras, usted debe disponer del plano eléctrico de la casa. Si este no es su caso, siga estos pasos para descifrar la estructura de la instalación y obtener así un plano eléctrico básico de la misma:

1. Asegúrese de conocer el tipo de servicio suministrado por la compañía de electricidad a su vivienda, es decir si es de dos conductores (fase y neutro), tres conductores (dos fases y un neutro) o cuatro conductores (tres fases y un neutro). Si tiene dudas, esta información aparece inscrita en la placa de datos del medidor (figura 14-22). Para nuestro ejemplo, asumiremos que se utiliza un servicio monofásico de tres conductores de 120/208V, obtenido de una red de distribución trifásica. Las mismas consideraciones son válidas para sistemas de 220V/380V.
2. Asigne un número a cada fusible o *breaker* del centro de distribución (figura 14-23). Si su casa posee más de un subpanel (figura 14-24), asegúrese de numerar todos los circuitos derivados. En el panel mostrado, los *breakers* 1 y 2 son dobles, mientras que los *breakers* 5 a 14 son sencillos. Asumiendo un servicio de 120/208V, los primeros corresponden a circuitos derivados individuales de 208V o de 120/208V para artefactos grandes, mientras que los segundos corresponden a circuitos derivados de 120V de propósito especial o para artefactos pequeños.
3. Dibuje un mapa o un plano arquitectónico rudimentario de su casa mostrando cada una de las áreas en que se divide la misma (figura 14-25). Incluya las habitaciones, los pasillos, el comedor, la sala, la cocina, el baño, el garaje, el sótano, etc. El plano mostrado, por ejemplo, corresponde a una vivienda de dos habitaciones con garaje.

4. Indique sobre el plano anterior la localización aproximada de cada tomacorriente, portalámpara o interruptor utilizando la simbología de diagramas eléctricos de planta presentada en este capítulo (figura I4-14). Algunos de estos símbolos se reproducen en la figura I4-26 para mayor comodidad.
5. Provéase de una lámpara de mesa, una luz nocturna o cualquier otro artefacto luminoso que usted pueda transportar fácilmente alrededor de su casa y conectar a cualquiera de los tomacorrientes de 120V (o de 220V si su servicio es de 220/380V). Provéase también de una linterna portátil para tener acceso a áreas oscuras. Asegúrese de que tanto la lámpara como la linterna estén funcionando correctamente.
6. Sitúe en la posición de desconectado (OFF) todos los interruptores que controlan lámparas y tomacorrientes, así como todos los *breakers* que protegen los circuitos derivados.

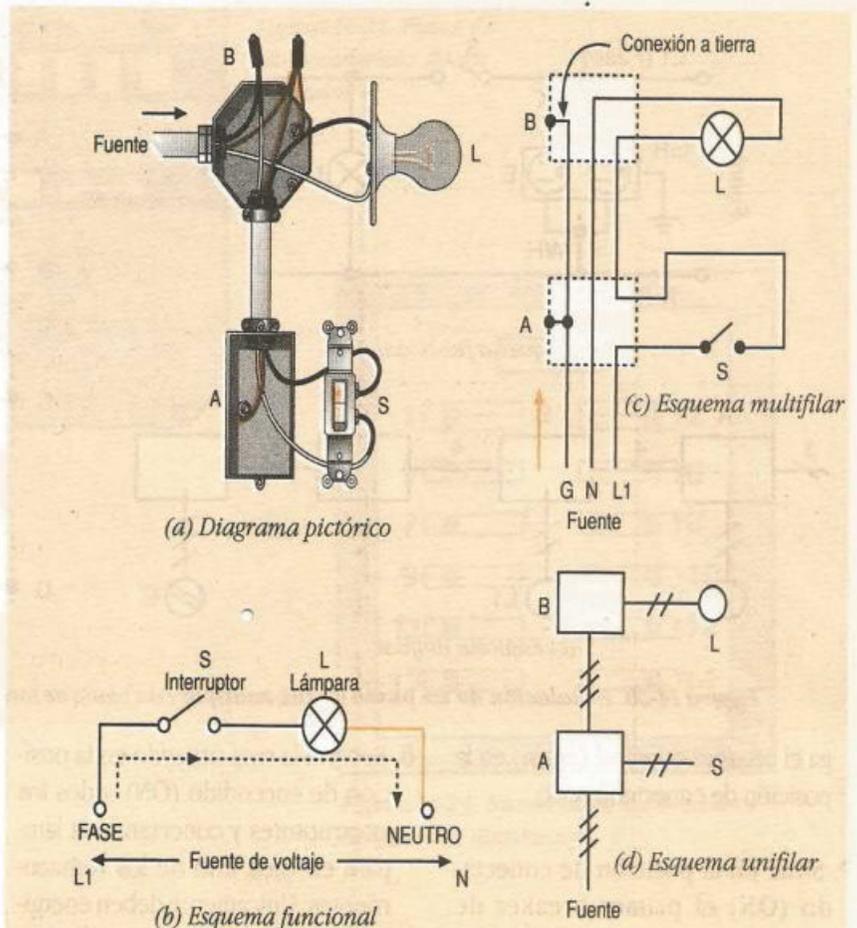


Figura I4-18. Formas de representación de un punto de luz simple

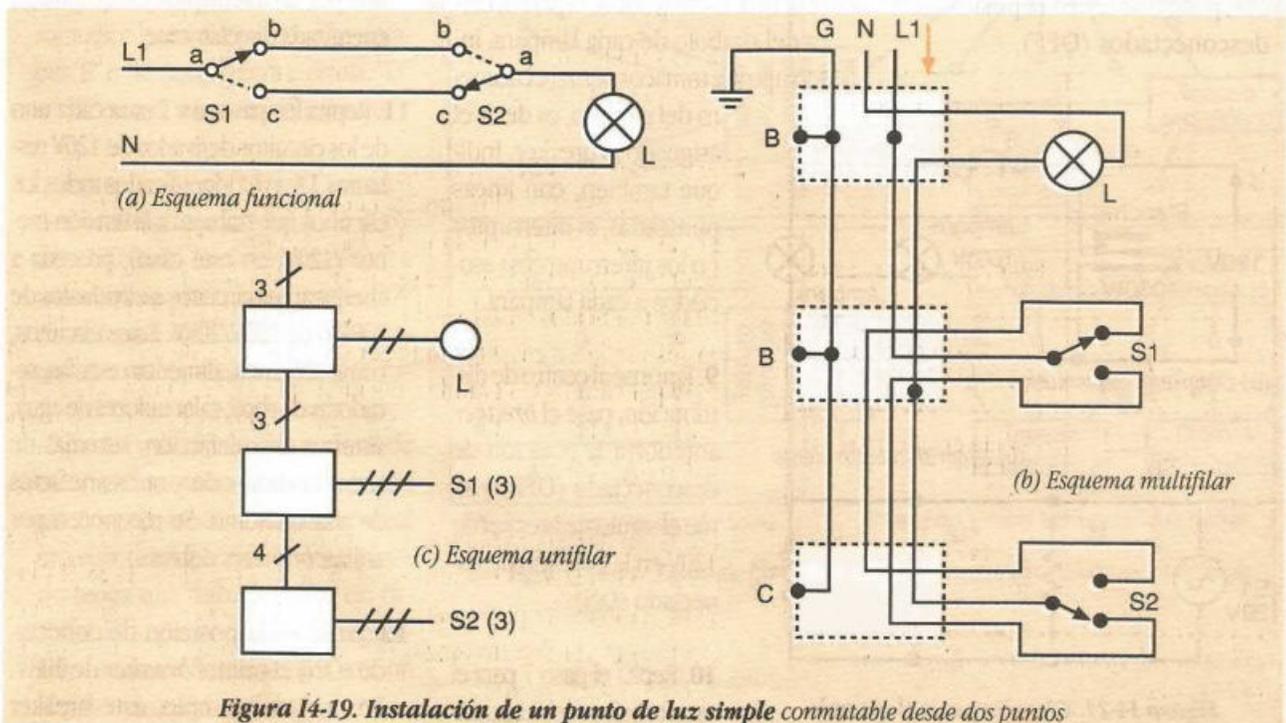


Figura I4-19. Instalación de un punto de luz simple conmutable desde dos puntos

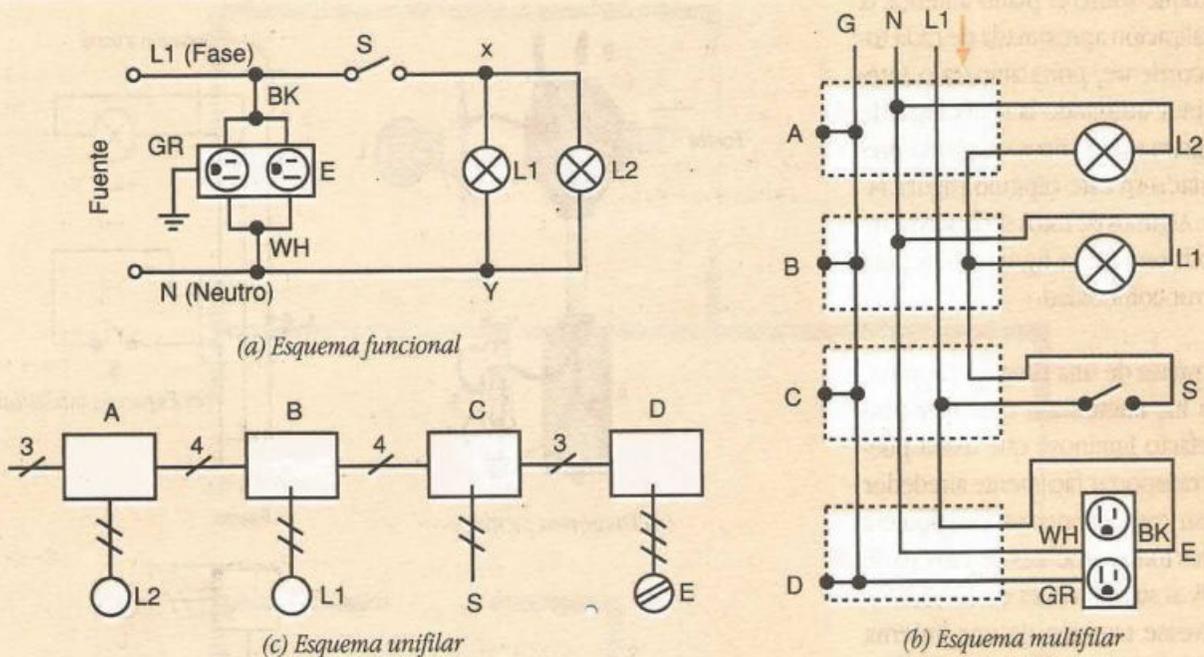


Figura 14-20. Instalación de un punto de luz múltiple y un punto de toma de corriente duplex siempre vivo

- ga el *breaker* principal (*main*) en la posición de conectado (ON).
7. Sitúe en la posición de conectado (ON) el primer *breaker* de 120V. En nuestro ejemplo, este *breaker* es el rotulado con el número 5. Los demás *breakers* deben permanecer en la posición de desconectados (OFF).

8. Recorra la casa situando en la posición de encendido (ON) todos los interruptores y conectando la lámpara en cada uno de los tomacorrientes. Únicamente deben energizarse las lámparas y los tomacorrientes conectadas al circuito derivado protegido por el *breaker* actualmente activo. Escriba sobre el plano, cerca del símbolo de cada lámpara, interruptor y tomacorriente, el número del circuito, es decir el

asignado al *breaker*. Indique también, con líneas punteadas, el interruptor (o los interruptores) asociados a cada lámpara.

9. Retorne al centro de distribución, pase el *breaker* anterior a la posición de desconectado (OFF) y sitúe el siguiente *breaker* de 120V en la posición de conectado (ON).

10. Repita el paso 7 para el circuito bajo prueba, anotando frente al símbolo de cada interruptor, tomacorriente o lámpara el número del *breaker* correspondiente. En todos los casos, asegúrese de verificar con la lámpara de prueba ambas secciones de los tomacorrientes dúplex. Es probable que algunos de ellos sean divididos, es decir tengan una mitad controlada por un interruptor y la otra mitad energizada directamente.

11. Repita los pasos 8 y 7 para cada uno de los circuitos derivados de 120V restantes. Una vez identificados todos los circuitos que trabajan a la tensión menor (120V, en este caso), proceda a chequear los circuitos individuales de 208V o de 120V/208V. Estos circuitos, como sabemos, alimentan estufas, secadoras de ropa, calentadores de agua, sistemas de calefacción, sistemas de aire acondicionado y otros artefactos de alto consumo. Se reconocen por utilizar *breakers* dobles.
12. Sitúe en la posición de conectado (ON) el primer *breaker* de 208V. En nuestro ejemplo, este *breaker*

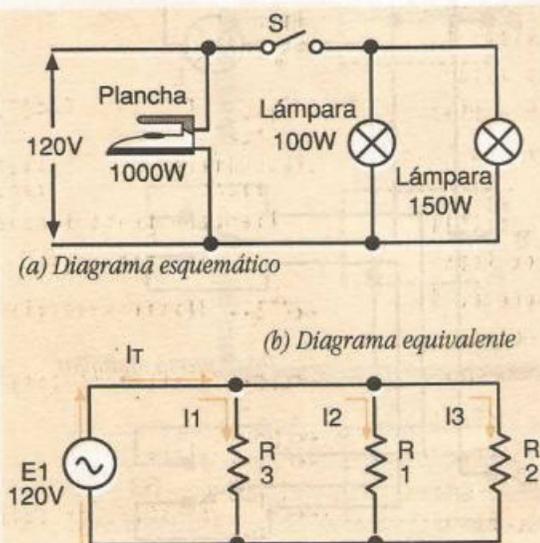


Figura 14-21. Circuito para el ejemplo

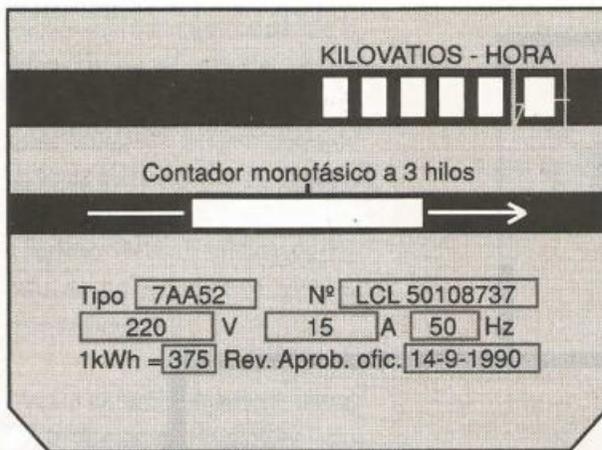


Figura 14-22. Placa de características de un contador

es el rotulado con el número 1. Los demás breakers de 208V deben permanecer en la posición de desconectados (OFF).

- Recorra la casa probando directamente todos los artefactos que trabajan a la tensión mayor (208V, en este caso). Únicamente debe energizarse el electrodoméstico conectado al tomacorriente protegido por el breaker actualmente activo. Escriba sobre el plano, cerca del símbolo del tomacorriente del equipo, el número del *breaker* correspondiente. Asegúrese de identificar el tipo de electrodoméstico con un subíndice literal adecuado, por ejemplo "E" o "R" (range) para la estufa, "D" o "SR" para la secadora de ropa, etc.

- Repita los pasos 11 y 12 para los demás circuitos derivados de 208V o de 120/208V. Una vez identificados todos los circuitos, tanto los de 120V como los de 208V o de 120/208V, usted obtendrá un plano eléctrico básico como el mostrado en la figura 14-26. Así tendrá una idea general de cómo está estructurada la instalación eléctrica de su vivienda y sabrá cual *breaker* tiene que desconectar cuando tenga que trabajar sobre un circuito dado para realizar una reparación, una modificación o una adición al sistema actual.

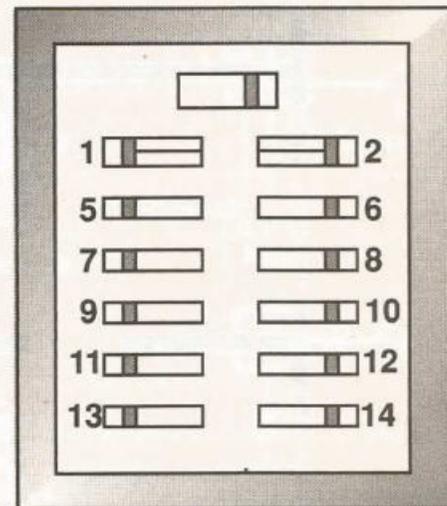


Figura 14-23. Numerando los breakers del centro de distribución

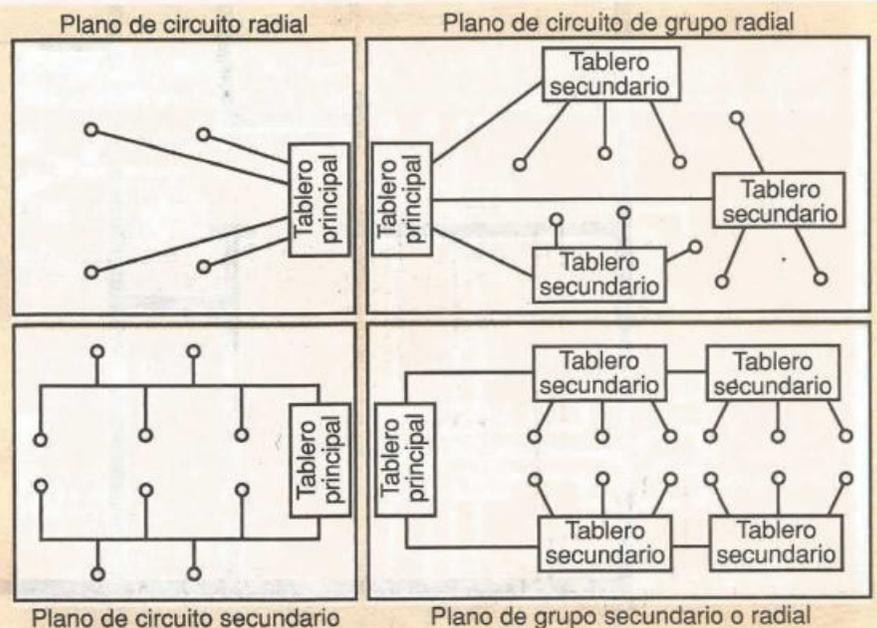
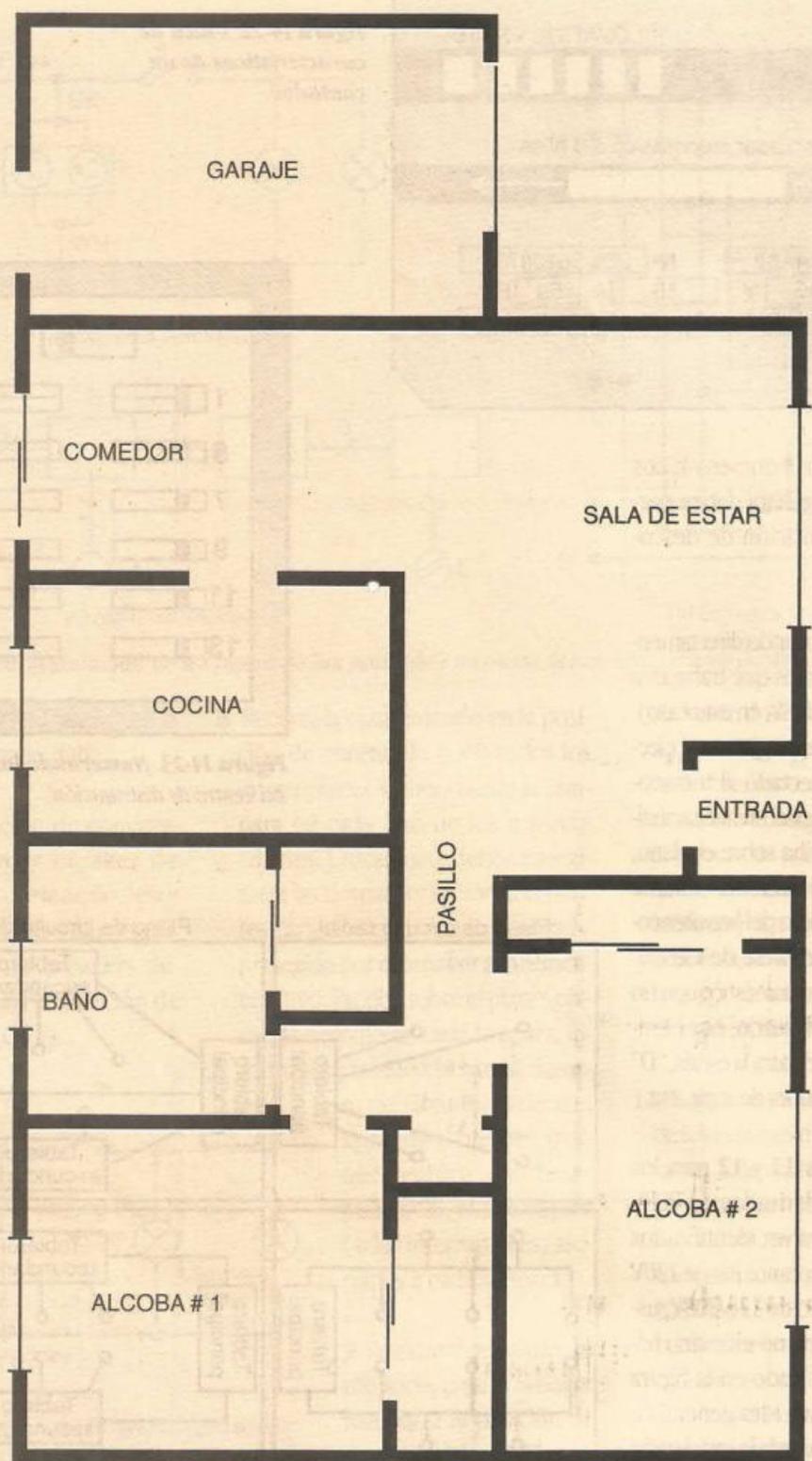
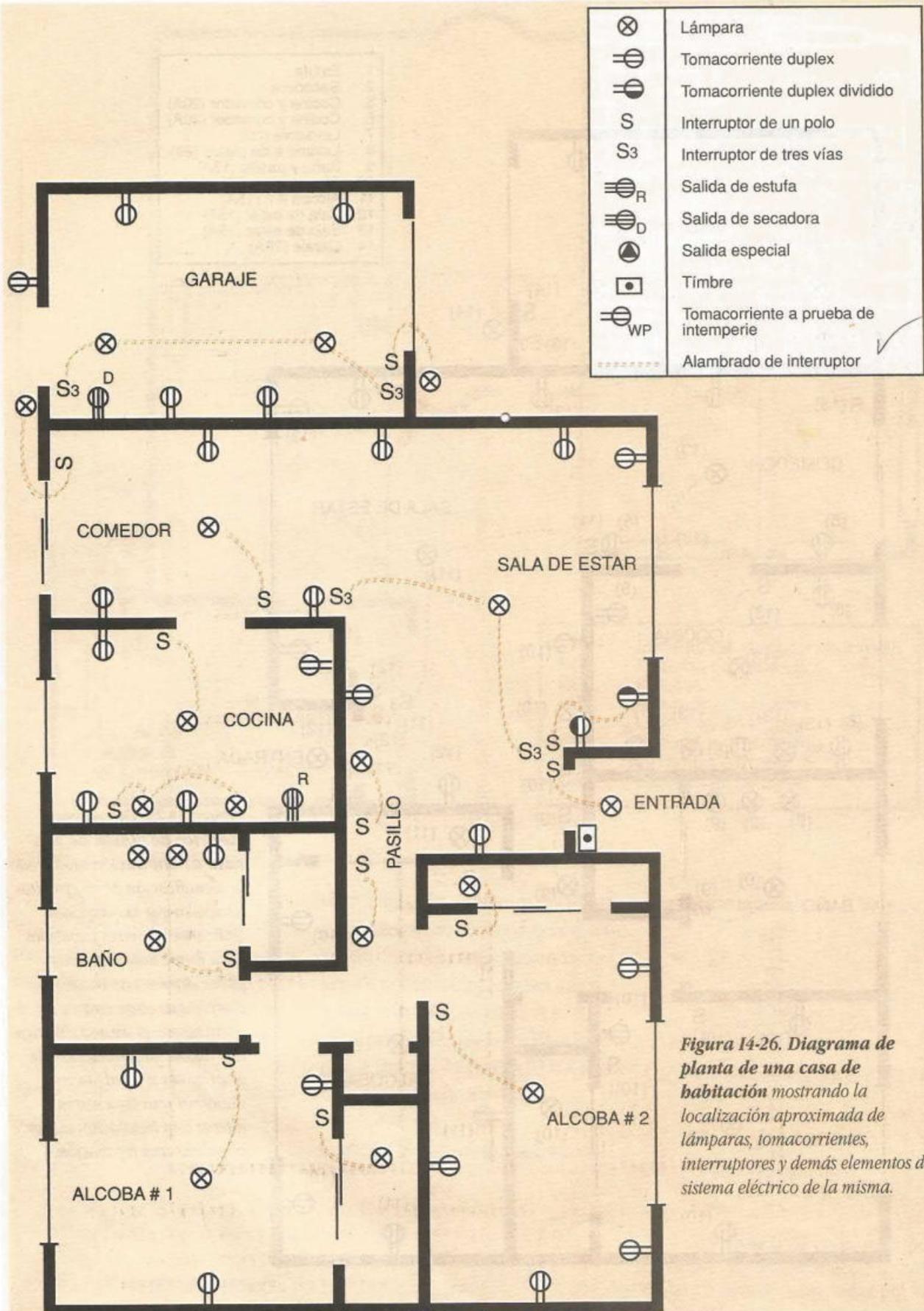


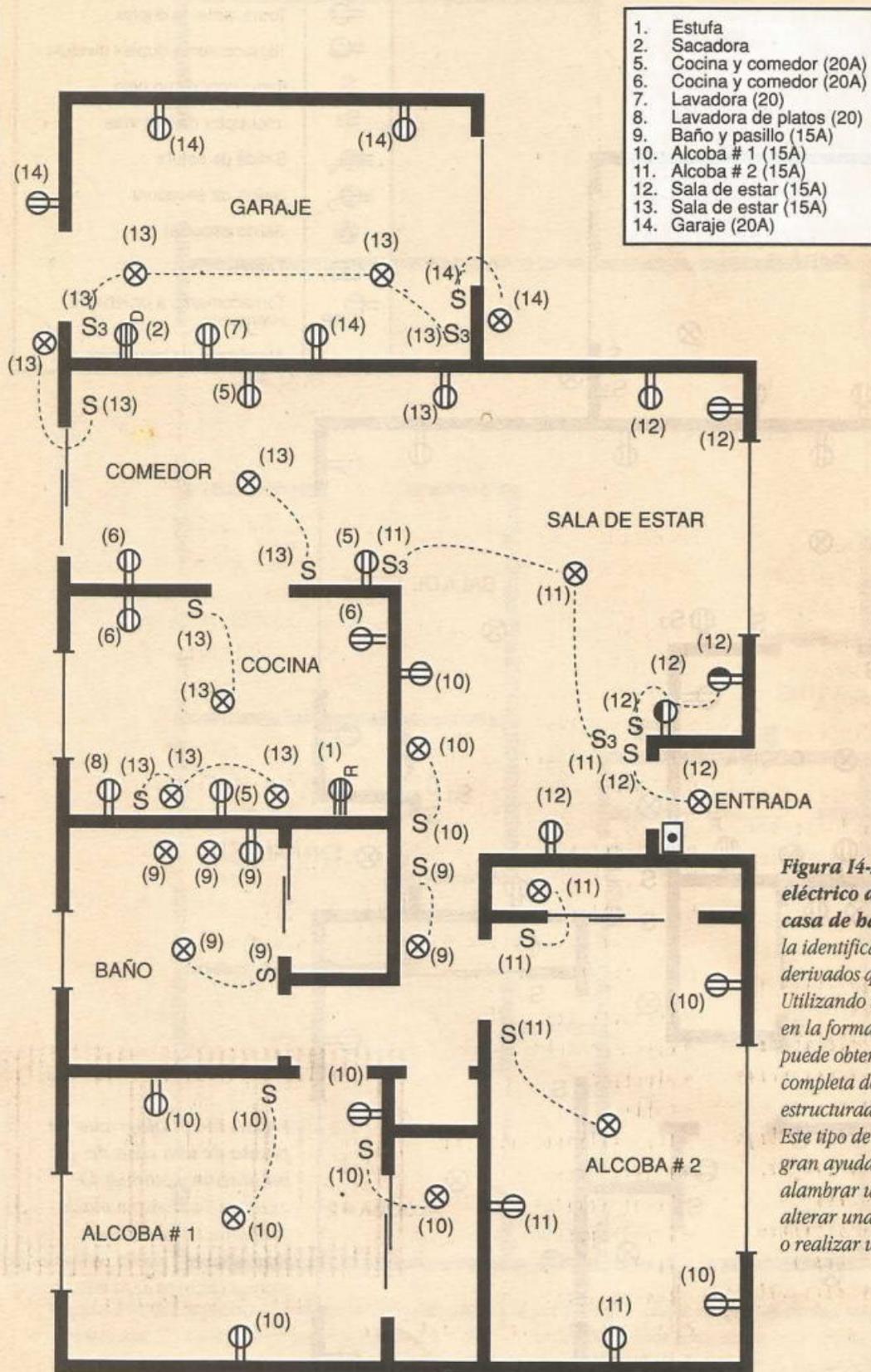
Figura 14-24. Tipos de circuitos utilizados en las instalaciones eléctricas domésticas o de oficina



*Figura 14-25. Un plano arquitectónico mostrando las principales áreas en que se divide una casa de habitación. El conocimiento general del carácter de la construcción de una edificación, es de gran importancia antes de iniciar cualquier trabajo en una instalación eléctrica, incluyendo la deducción de los circuitos derivados que la componen. Además, permite al electricista visualizar los espacios de los cuales dispone para instalar los distintos elementos, tanto ocultos como visibles.*



*Figura 14-26. Diagrama de planta de una casa de habitación mostrando la localización aproximada de lámparas, tomacorrientes, interruptores y demás elementos del sistema eléctrico de la misma.*



**Figura 14-27. Diagrama eléctrico de planta de una casa de habitación** mostrando la identificación de los circuitos derivados que la componen. Utilizando números y símbolos en la forma indicada, usted puede obtener una visión completa de cómo está estructurado el sistema eléctrico. Este tipo de diagramas son de gran ayuda si usted planea alambrear una casa nueva, alterar una instalación existente o realizar una reparación.



**Figura 15-3. Tipos de dispositivos de canalización**  
 (a) Tubo conduit  
 (b) Canal de superficie  
 (c) Electroducto

Actualmente, las instalaciones eléctricas residenciales, comerciales e industriales utilizarán uno o más de los siguientes tipos de tubos conduits (figura 15-4):

- Conduit metálico rígido o de pared gruesa
- Conduit metálico intermedio o IMC
- Conduit metálico de pared delgada o EMT
- Conduit metálico flexible estándar
- Conduit metálico flexible resistente a líquidos
- Conduit no metálico rígido (PVC)
- Conduit no metálico flexible (ENT)

El **conduit de pared gruesa**, tanto de acero como de aluminio, viene roscado en ambos extremos. Las versiones en acero pueden ser galvanizadas o esmaltadas. Los tubos galvanizados (GRCs) son adecuados para instalaciones interiores y exteriores, tanto visibles como ocultas en concreto o mampostería. También pueden usarse enterrados en el suelo o empotrados en concreto, directamente o protegidos. Los tubos esmaltados (negros) se emplean principalmente en instalaciones ocultas debido a que se oxidan cuando se exponen a la intemperie.

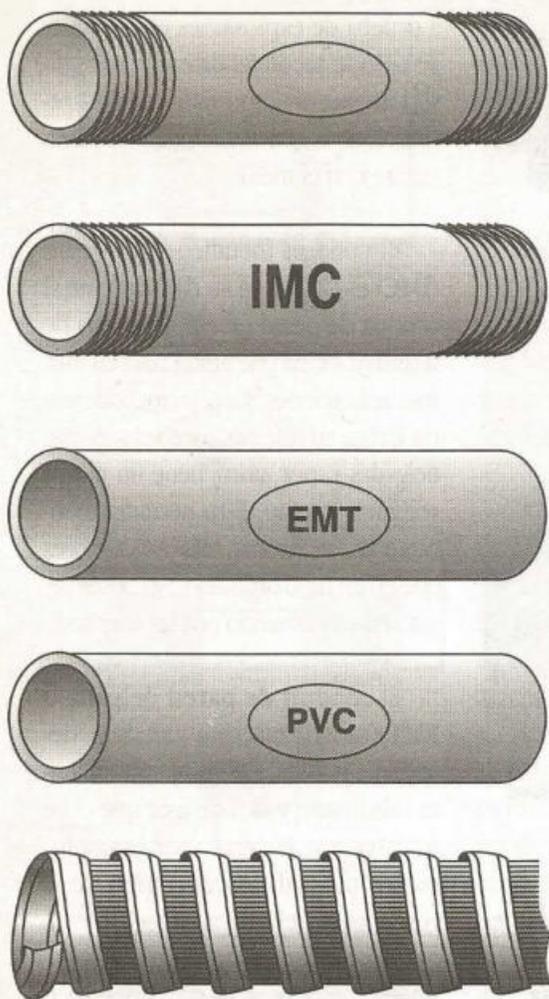
Los tubos rígidos de aluminio pueden ser utilizados para las mismas aplicaciones de los conduits rígidos de acero, con la ventaja de que son más livianos, resistentes a la corrosión y

fáciles de instalar. Sin embargo, no son a prueba de explosiones como aquellos. No se recomienda enterrarlos directamente ni empotrarlos en concreto debido a que reaccionan químicamente con el medio.

El conduit metálico intermedio (IMC) es similar en su construcción al conduit de pared gruesa, se instala de la misma forma y se utiliza para las mismas aplicaciones. La principal diferencia radica en que sus paredes son más delgadas y, por tanto, tiene un mayor volumen interno. Esto permite, teóricamente, acomodar más conductores que en un tubo ordinario. No obstante, esto no es permitido por las normas.

El **conduit de pared delgada o EMT** (tubería eléctrica metálica) viene liso, sin rosca, y es comparativamente más liviano y fácil de usar que el de pared gruesa. Por esta razón es ampliamente utilizado en el campo de la construcción eléctrica, especialmente para instalaciones interiores, tanto visibles como ocultas en concreto o mampostería. No es adecuado para lugares húmedos o donde puedan quedar expuestos a agentes químicos corrosivos como ácidos, sales, etc. Tampoco debe roscarse porque pierde su resistencia mecánica.

El **conduit flexible metálico** viene en forma de una cinta helicoidal de aluminio o acero galvanizado. Se utiliza en instalaciones interiores, tanto visibles como ocultas en muro o ladrillo, y en situaciones donde la instalación de conduit rígido es impráctica. No se recomienda para lugares húmedos o donde pueda estar expuesto al daño mecánico o a la corrosión. Tampoco debe enterrarse directamente en el suelo. Su uso es muy extendido en instalaciones in-



**Figura 15-4. Ejemplos de tubos conduit**  
(a) Conduit metálico rígido  
(b) Conduit metálico intermedio  
(c) Conduit metálico de pared delgada (EMT)  
(d) Conduit no metálico rígido (PVC)  
(e) Conduit metálico flexible estándar

dustriales como tramo final para la conexión de motores eléctricos.

El **conduit metálico flexible resistente a líquidos** es similar en su construcción al conduit flexible metálico estándar, excepto por la adición de una chaqueta exterior no metálica, generalmente de PVC. Se utiliza principalmente como tramo final de conexión de sistemas de aire acondicionado y otros equipos instalados en exteriores y expuestos a la intemperie. La chaqueta plástica no es resistente a la abrasión. Por esta ra-

zón, este tipo de conduit no debe ser utilizado en situaciones donde puede estar en contacto con partes móviles o conductores calientes.

Los **conduits de plástico**, o simplemente **tubos de PVC**, vienen generalmente lisos (sin rosca) y pueden ser curvados manualmente o en caliente. Se utilizan para las mismas aplicaciones de los tubos de acero o de aluminio, previendo que no queden expuestos a daños mecánicos, temperaturas excesivas, agentes químicos nocivos o a la penetración de agua. Pueden también instalarse enterrados, directamente o protegidos con una capa delgada de concreto. Son muy empleados en instalaciones eléctricas residenciales por su bajo costo y facilidad de manejo.

Los tubos conduit se especifican de acuerdo a su diámetro interno, ofreciéndose normalmente en tamaños desde 1/2" (13mm) hasta 6" (152 mm). El tamaño de conduit requerido en una situación particular depende básicamente del número de conductores canalizados y de sus calibres. En el caso de conduits de pared delgada, el máximo diámetro recomendable es 2" (51 mm). Para conduit metálico intermedio y tubos metálicos flexibles o de aluminio este límite es 4" (102 mm). Los tubos de pared gruesa y de PVC no tienen restricciones al respecto.

### Accesorios para conduit

Los conduits se conectan entre sí o a las cajas, ductos y gabinetes median-

te accesorios de unión especiales como acopladores, adaptadores, codos y niples, cada uno adecuado al tipo de tubo y a la situación particular de empalme presentada. Adicionalmente, una vez instalados, los conduits deben ser asegurados a las estructuras y mantenidos firmemente en su lugar utilizando accesorios de fijación como cintas, grapas, anillos, mordazas, abrazaderas, grapas, ganchos, etc. En la figura 15-5 se muestran algunos ejemplos de accesorios para conduits metálicos y no metálicos.

Los **acopladores** o **cuplas** se utilizan para unir entre sí tubos o codos del mismo tamaño, directamente o con la ayuda de adhesivos, tornillos, arandelas, etc. Los acopladores para conduit PVC son lisos por dentro, mientras que los de conduit GRC o de aluminio están internamente roscaados en toda su extensión. Para conduit GRC se dispone también de acopladores de compresión, de fijación por tornillo y dentados, los cuales proporcionan una conexión más firme y hermética que los acopladores estándares. Los acopladores de PVC se fijan a los tubos o codos utilizando adhesivos especiales.

Los **adaptadores hembras** se utilizan para acoplar conduit PVC a conduit EMT, GRC o de aluminio. Son muy similares en su apariencia a los acopladores, pero una mitad es roscaada en su interior y la otra es un acoplador estándar. Los **adaptadores machos** se utilizan para conectar conduit PVC a cajas de unión. La primera mitad es un acoplador estándar y la otra es roscaada en su exterior. La fijación a la caja se realiza con una tuerca. El extremo roscaado puede también conectarse a un acoplador de conduit GRC.

Los **codos** o **curvas** son segmentos predoblados de conduit que se utilizan para realizar giros en el sentido regular de las canalizaciones. Se fabrican para todos los tamaños de conduit con inclinaciones estándares de  $90^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  y  $30^{\circ}$ . Para obtener otros ángulos debe utilizarse una herramienta denominada *dobladora de conduit*. En el caso de tubos de PVC, la dobladora calienta el tubo de modo que adquiera una textura flexible.

Los **niples** son segmentos de conduit roscados total o parcialmente en su parte exterior que se utilizan, directamente o con la ayuda de tuercas, boquillas roscadas y/o bujes especiales, para unir cajas de conexión entre sí o a extremos de tubos y acopladores. Pueden ser rectos o en forma de S. Estos últimos, denominados también *conectores offset*, pueden venir roscados en sus extremos por dentro o por fuera y se emplean para unir tramos de tubos no alineados.

## Cajas

Los conductores de una instalación eléctrica corren por el interior de los conduits y llegan a cajas plásticas o metálicas (figura 15-6), que alojan los interruptores, tomacorrientes, portalámparas y demás dispositivos de alambrado de la instalación, o simplemente las uniones de unos cables con otros. En el primer caso se habla de *cajas de salida* y en el segundo de *cajas de unión* o *de paso*. En



Figura 15-6. Cajas

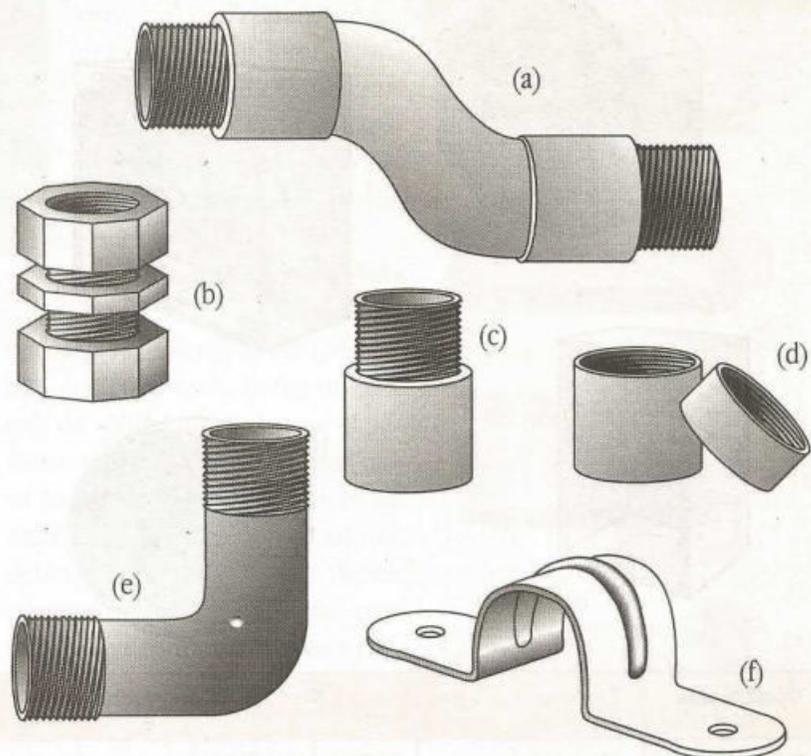


Figura 15-5. Accesorios para conduit

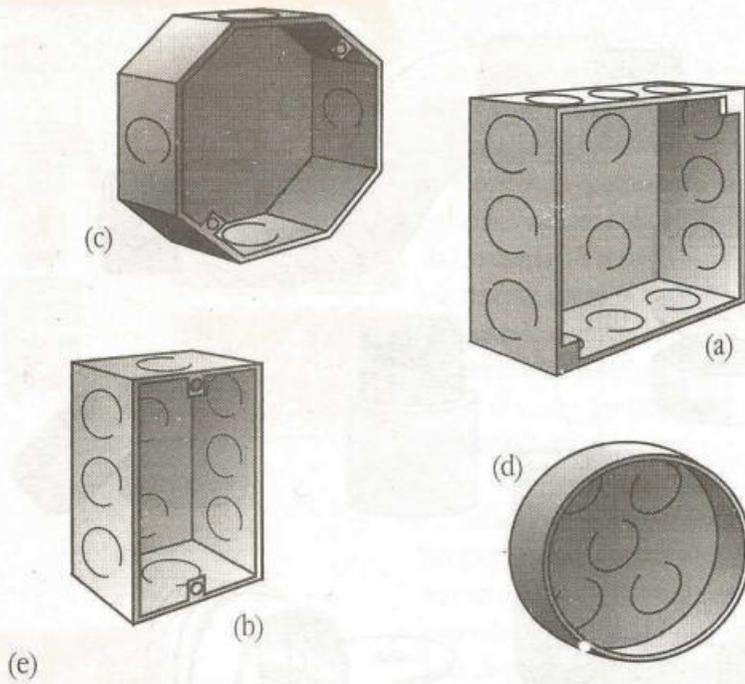
- (a) Niple
- (b) Acoplador de compresión
- (c) Adaptador macho
- (d) Acoplador estándar
- (e) Codo de  $90^{\circ}$
- (f) Grapa
- (g) Dispositivos para conduit flexible

instalaciones eléctricas también se utilizan cajas y gabinetes de construcción especial para alojar contadores, transformadores, fusibles, breakers y otros dispositivos eléctricos dedicados.

Las cajas utilizadas en instalaciones eléctricas son generalmente metálicas y se fabrican de acero o hierro galvanizado. Para ciertas aplicaciones se aceptan cajas fabricadas de material aislante tal como plástico o porcelana.

Estas aplicaciones incluyen instalaciones visibles sobre aisladores, instalaciones con cables de envoltura no metálica (encauchetado, Romex, etc.) e instalaciones con conduits de PVC o polietileno. Por ahora, nos referiremos exclusivamente a las cajas metálicas.

Las cajas metálicas se especifican por su volumen o sus dimensiones geométricas y el diámetro de los tamaños de tubo conduit que pueden admitir. El acceso de este último (o del cable, si no se



Tipo de caja	Tamaño	Número de conductores			
		#14	#12	#10	#8
Octogonal	4" x 1 1/4"	6	5	5	4
	4" x 1 1/2"	7	6	6	5
	4" x 2 1/8"	10	9	8	7
Cuadrada	4" x 1 1/4"	9	8	7	6
	4" x 1 1/2"	10	9	8	7
	4" x 2 1/8"	15	13	12	10
	4 11/16" x 1 1/4"	12	11	10	8
	4 11/16" x 1 1/2"	14	13	11	9
Rectangular	3" x 2" x 2 1/4"	5	4	4	3
	3" x 2" x 2 1/2"	6	5	5	4
	3" x 2" x 2 3/4"	7	6	5	4
	3" x 2" x 3 1/2"	9	8	7	6

Figura 15-7. Estilos y tamaños de cajas

(a) Cuadrada (b) Rectangular (c) Octogonal (d) Redonda  
(e) Tamaños típicos y número de conductores por caja de cada configuración

utiliza canalización), se realiza a través de perforaciones removibles ubicadas a los lados y en el fondo de las cajas. Las mismas disponen también de orejas rosca-das para permitir la fijación de dispositivos o cubiertas, así como de soportes (*brackets*) y otros recursos para facilitar su fijación a muros, techos, columnas, etc., mediante tornillos o clavos cuando se utilizan en instalaciones visibles.

Las cajas metálicas se ofrecen en cuatro presentaciones básicas: cuadradas, rectangulares, octogonales y redondas (figura 15-7). Las **cajas cuadradas**

se utilizan para realizar uniones o derivaciones y para alojar dispositivos de alambreado dobles, por ejemplo dos tomacorrientes dúplex o un tomacorriente y un interruptor. Se fabrican típicamente con capacidades de 21, 22.5, 30.3 o 42.0 pulgadas cúbicas y para diámetros de tubo desde 1/2" hasta 1 1/4", o combinaciones de los mismos. Vienen en tamaños de 4" ó 4 11/16" de lado y profundidades de 1 1/4", 1 1/2" ó 2 1/8".

Las **cajas rectangulares**, algunas veces llamadas *chaluvas*, se utilizan para fijar interruptores y tomacorrien-

tes sencillos. Se fabrican típicamente con capacidades de 10.3, 12.5, 13.0, 14.5, 18.0 ó 18.8 pulgadas cúbicas y para diámetros de tubo de 1/2" ó 3/4", o ambos. Vienen en tamaños de 4" ó 4 1/8" de largo, 2 1/8" de ancho y 1 1/2", 1 7/8" ó 2 1/8" de profundidad.

Las **cajas octogonales** se utilizan principalmente para salidas de alumbrado (lámparas y candiles). Se fabrican con capacidades de 11.8, 15.8 o 22.5 pulgadas cúbicas y para diámetros de tubo de 1/2" ó 3/4", o ambos. Vienen en tamaños de 4", 3 1/4" ó 3 1/2" de diámetro y profundidades de 1 1/4", 1 1/2" ó 2 1/8".

Las **cajas redondas** pueden servir como salidas de alumbrado o como cajas de paso. Son generalmente de 3 1/2" ó 4" de diámetro y tienen una profundidad de solamente 1/2". Esto último las hace particularmente adecuadas cuando se realizan trabajos de remodelación o en los casos donde las limitaciones de espacio no permiten el uso de una caja más profunda. Poseen normalmente cuatro agujeros en el fondo, dos que aceptan tubos de 1/2" y dos que aceptan tubos de 3/4". Con excepción de las situaciones reseñadas, este tipo de cajas son muy poco utilizadas en las instalaciones modernas.

Todas las cajas anteriores pueden adaptarse a anillos de extensión adecuados (figura 15-8) con el fin de au-

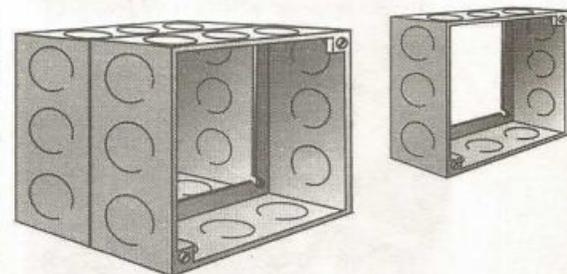


Figura 15-8. Anillo de extensión



Figura 15-9. Condulets

mentar su capacidad nominal. Por ejemplo, los anillos para cajas de 4", las más comunes, son de 1 1/2" de profundidad y proporcionan 15.8 pulgadas cúbicas de capacidad interior adicional. La forma de utilizar anillos de extensión y otros accesorios (cubiertas, clips, barras de montaje, conectores, contras, monitores, etc.) se explicará en un capítulo posterior.

### Condulets

Un tipo especial de cajas, desarrolladas especialmente para instalaciones de conduit expuesto, son los **cuerpos** o **condulets** (figura 15-9). Estos elementos permiten interconectar tramos de tubo, efectuar cambios de dirección, realizar empalmes, soportar componentes y, en general, distribuir adecuadamente el alambrado de los circuitos derivados desde el centro de carga hasta los distintos elementos de la instalación. Dependiendo de su función, pueden ser de unión o de salida. Los primeros se utilizan para realizar conexiones y los segundos para acomodar dispositivos de alambrado.

Los **condulets de unión** (figura 15-10) se designan de acuerdo a su función y forma como tipo C, E, LB, LR, LL, T, TB, TA o X. Los condulets tipo C se utilizan para realizar empalmes, los tipo E para realizar terminaciones, los tipos LB, LR y LL para realizar cambios de dirección de 90° y los tipos T, TB, TA y X para realizar derivaciones a 90° de la canalización prin-

cipal. Una vez realizadas las conexiones en su interior, los condulets de unión deben taparse con cubiertas y empaques especiales que los protegen de la corrosión y la lluvia.

Los **condulets de salida** (figura 15-11) pueden ser de tipo FS (superficial) o FD (profundo), teniendo este último un 33% más de volumen interno que el primero. Ambos estilos se utilizan tanto para acomodar dispositivos de alambrado como para empalmar, derivar y halar conductores. Vienen con aberturas roscadas (*bubs*) para permitir su conexión directa a conduits de pared gruesa e IMC, y empaques bajo las cubiertas para protegerlos de la humedad. Se ofrecen en varias versiones dependiendo del número de aberturas y su orientación (FSC, FDL, FSR, FDA, FDCC, FSS, FDCT, FSX, FD-2, etc.)

### Conductores

Los conductores son los elementos que llevan la corriente a través de los distintos circuitos que constituyen una instalación eléctrica. Pueden ser **alambres** o **cables**, dependiendo de si están formados por uno o varios hilos metálicos. También se catalogan como conductores los cordones eléctricos, las barras colectoras de los tableros de distribución y, en general, cualquier forma de metal de muy baja resistencia adecuada para transportar la corriente eléctrica (figura 15-12). En este capítulo nos referiremos exclusivamente a los alambres y a los cables.

Los hilos metálicos que constituyen un alambre o un cable son generalmente de cobre o aluminio y pueden estar o no revestidos con una cubierta aislante de plástico, PVC, goma,

## Instalaciones

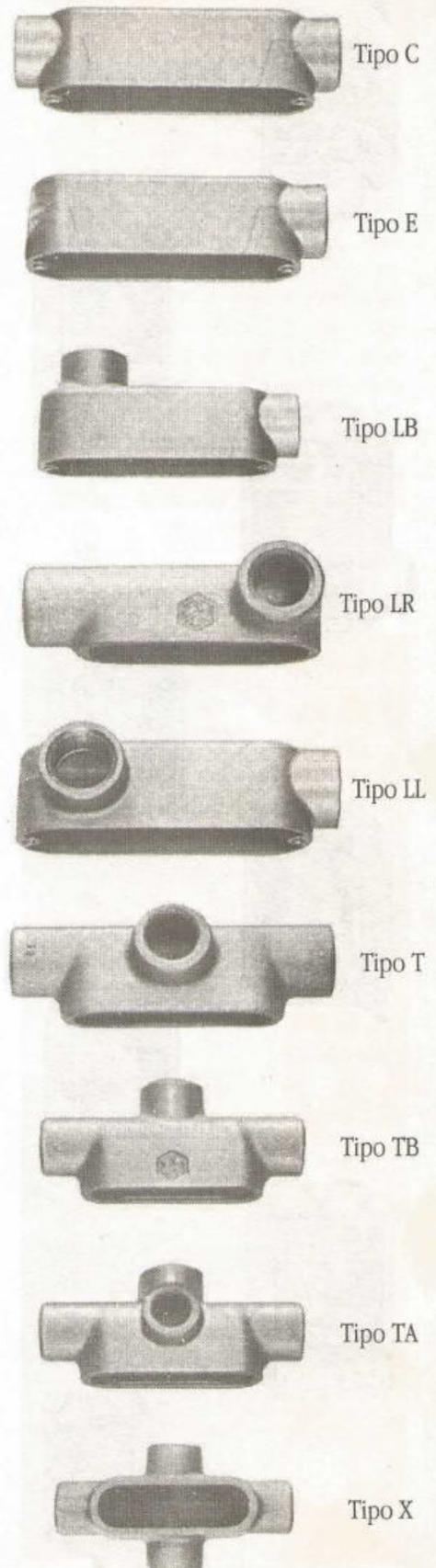
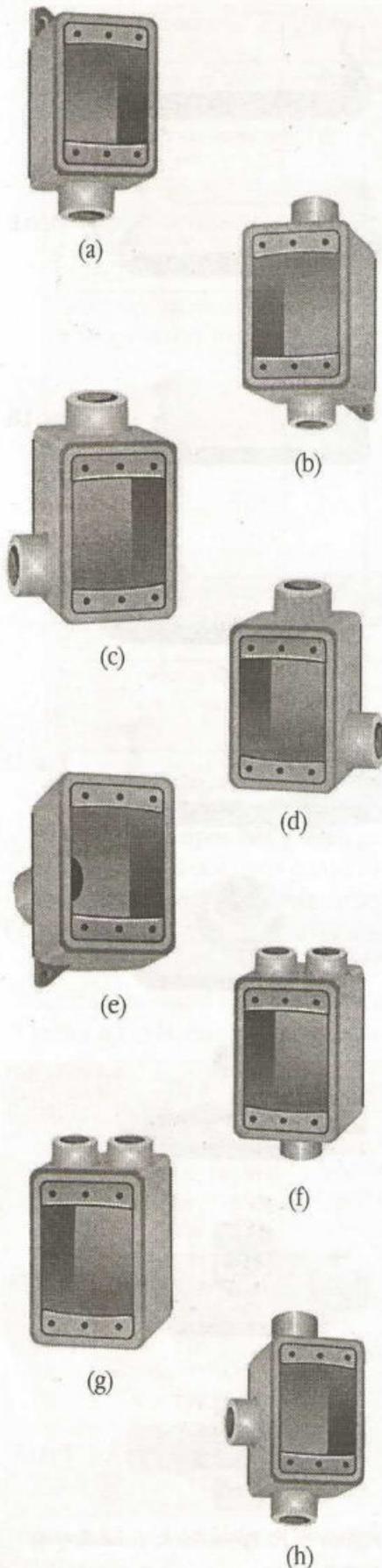


Figura 15-10. Ejemplos de condulets de unión



hule, etc. El aislamiento garantiza que el flujo de corriente se realice exclusivamente a través del conductor. Además de la cubierta protectora de cada conductor individual, los cables poseen también una cubierta exterior que los protege de la humedad, la contaminación, y otros agentes.

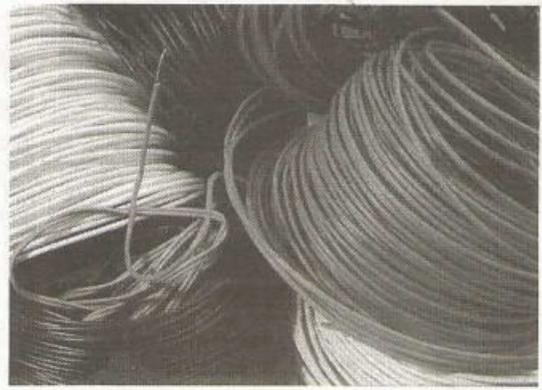


Figura 15-12. Conductores

Los alambres y cables de cobre, aunque son más costosos que los de aluminio, son los preferidos por los diseñadores de instalaciones eléctricas debido a que conducen mejor la electricidad, poseen una mayor resistencia mecánica y presentan menos problemas de corrosión. Los conductores de aluminio se utilizan principalmente para acometidas y otras aplicaciones que exigen conductores de gran tamaño. El empleo del aluminio se ha venido también incrementando desde hace algunos años como resultado de la escasez que se empieza a registrar a nivel mundial en la producción minera de cobre.

### Alambres

Los alambres son estructuras formadas por un conductor individual de cobre o aluminio (alma), generalmente protegido por un material aislante (figura 15-13). Los alambres se designan generalmente por su **calibre**, un número que especifica el diámetro del conductor desnudo (sin aislamiento) y, por

tanto, su área transversal. En la tabla de la figura 15-14 se relacionan los calibres de algunos conductores comunes según el sistema AWG (*American Wire Gauge*), de uso generalizado en Estados Unidos y otros países de América.

El número AWG disminuye a medida que aumenta el diámetro del alambre y viceversa. Una alambre N<sup>o</sup> 14, por ejemplo, tiene un diámetro de 0.064". Alambres más delgados que el N<sup>o</sup> 14 son los números 16, 18, 20, y así sucesivamente hasta el 50. Alambres más gruesos que el N<sup>o</sup> 14 son los números 12, 10, 8, y así sucesivamente hasta el 0 ó 1/0. Después del 1/0 siguen el 2/0 (00), el 3/0 (000) y el 4/0 (0000). Los conductores mayores del 4/0 se especifican por el área de su sección transversal utilizando un sistema denominado KCM.

La mayor parte de las instalaciones eléctricas residenciales, industriales y comerciales se realizan utilizando alambres de cobre de calibres 14 hasta 4/0. Los alambres con calibres desde el 50 hasta el 20 se utilizan en la fabricación de equipos eléctricos de todo tipo. Los números 18 y 16 se utilizan para cordones flexibles, sistemas de señalización y otras aplicaciones de baja corriente. En la figura 15-15 se comparan los tamaños relativos de las secciones transversales de varios calibres comunes de alambre de cobre.

### Figura 15-11. Ejemplos de condulets de salida

- (a) Caja FS o FD sencilla.
- (b) Caja FSC o FDC sencilla.
- (c) Caja FSL o FDL sencilla.
- (d) Caja FSR o FDR sencilla.
- (e) Caja FSA o FDA sencilla.
- (f) Caja FSCC o FDCC sencilla.
- (g) Caja FSS o FDSS sencilla.
- (h) Caja FSCT o FDCT sencilla.

El tipo de aislamiento utilizado por un alambre se especifica mediante un código literal que hace referencia a su composición y propiedades. Se habla así de aislantes tipo **TW, THW, THWN, RHH, RUW**, etc., dependiendo de si son termoplásticos (T), de hule (R), de nylon (N), resistentes al calor (H, HH), resistentes al agua (W), etc. Los más utilizados en instalaciones eléctricas son los termoplásticos. En la tabla de la figura I5-16 se relacionan las características de algunos aislantes comunes para conductores eléctricos.

Los alambres se seleccionan de acuerdo a varios criterios, siendo el más importante la **ampacidad**, es decir la máxima cantidad de corriente que el conductor puede transportar en forma eficiente y segura, sin sobrecalentarse ni causar una excesiva caída de voltaje. La ampacidad depende principalmente del diámetro del conductor, el tipo de aislamiento, el tipo de metal, la longitud del circuito, el número de conductores por conduit y la temperatura ambiente.

Por ejemplo, los alambres gruesos o con aislamiento termoplástico pueden transportar más corriente que los alambres delgados o con aislamiento convencional. Asimismo, a medida que aumenta el número de conductores dentro de un tubo de conduit o cualquier otro tipo de canalización, disminuye la ampacidad permitida para cada

conductor individual. En la tabla de la figura I5-17 se relacionan las ampacidades de algunos conductores aislados de cobre comunes.

Los revestimientos de los alambres para instalaciones eléctricas se ofrecen en varios colores con el fin de facilitar su identificación. En particular, las normas americanas (ASA) exigen reservar los colores blanco y verde para identificar el neutro y la tierra, respectivamente. Los conductores que llevan corrientes de fase pueden ser negros, rojos o, en general, de cualquier color distinto al blanco o al verde. En las normas europeas, los conductores neutros deben ser de color azul y los de tierra de color verde/amarillo (verde con bandas amarillas).

## Cables

Los cables son estructuras formadas por dos o más conductores aislados agrupados dentro de una envoltura exterior metálica o no metálica que actúa como chaqueta de protección y canalización. El término cable se utiliza también para referirse a alambres de calibre superior al 4/0 o a alambres diseñados para ser enterrados directamente en la tierra y otros propósitos especiales. En la figura I5-18 se muestran algunos ejemplos de cables multiconductores de uso común en instalaciones eléctricas. Cada tipo se destina para una aplicación específica.

CALIBRE A.W.G.	SECCION		DIAMETRO	
	C.M.	mm <sup>2</sup>	PULG.	mm
20	1022	0.5176	0.3196	0.813
18	1624	0.8232	0.04030	1.024
16	2583	1.3090	0.05082	1.291
14	4107	2.0810	0.06408	1.628
12	6530	3.3090	0.08081	2.053
10	10380	5.2610	0.1019	2.588
8	16510	8.3670	0.1285	3.264
6	26250	13.3030	0.1620	4.115
4	41470	21.1480	0.2043	5.189
3	52630	26.6700	0.2294	5.827
2	66370	33.6320	0.2576	6.543
1	83690	42.4060	0.2893	7.348
0	105500	53.4770	0.3249	8.252
00	133100	67.4190	0.3648	9.266
000	167800	85.0320	0.4096	10.403
0000	211600	107.2250	0.4600	11.684

1 MIL = 0.054 mm  
 CM = CIRCULAR MIL.  
 1 CM = 0.005067 mm<sup>2</sup>

Figura I5-14. Calibres de alambres

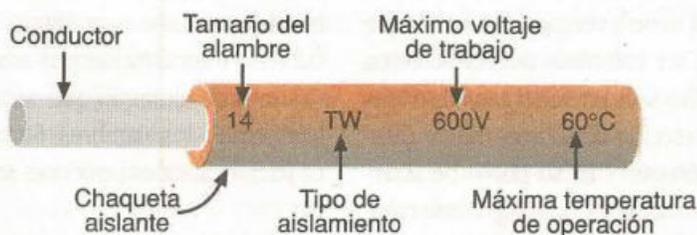


Figura I5-13. Estructura de un alambre

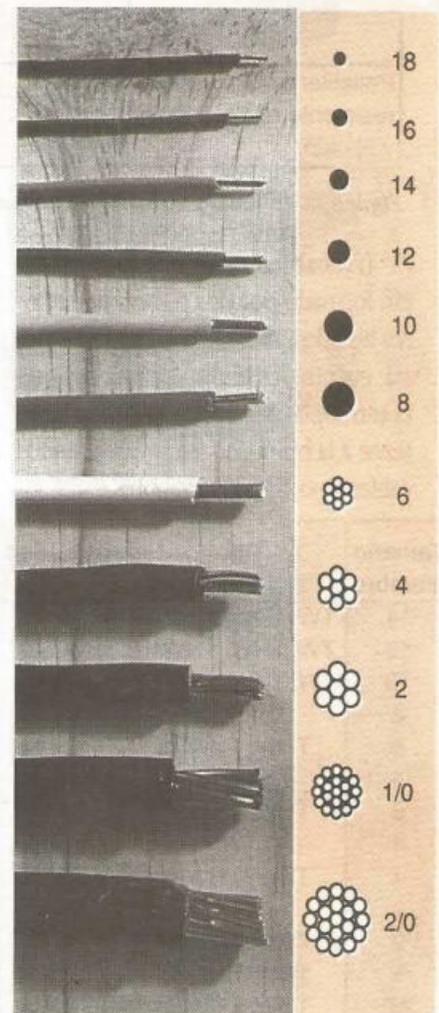


Figura I5-15. Secciones transversales de conductores de cobre

## Materiales y elementos eléctricos

Nombre Comercial	Tipo	Temp max (°C)	Material aislante	Cubierta exterior	Ubicación
Hule resistente al calor	RH	75	Hule resistente al calor	Resistente a la humedad, retardadora de la flama	Locales secos
Hule resistente al calor	RHH	90	Hule resistente al calor		Locales secos
Termoplástico resistente a la humedad	TW	60	Termoplástico resistente a la humedad, retardador de la flama	Ninguna	Locales húmedos y secos
Termoplástico resistente al calor	THHN	90	Termoplástico, resistente al calor, retardador de la flama	Nylon o equivalente	Locales secos
Termoplástico resistente al calor y la humedad	THW	75	Termoplástico, resistente al calor, y a la humedad, retardador de la flama	Ninguna	Locales secos
		90		Ninguna	Aplicaciones especiales dentro de equipos de alumbrado. Limitados a 1000 V o menos
Termoplástico, resistente al calor y la humedad	THWN	75	Termoplástico, resistente al calor y la humedad, retardador de la flama	Nylon o equivalente	Locales húmedos y secos
Poliétileno vulcanizado resistente a la humedad y al calor	XHHW	75	Poliétileno vulcanizado, retardador de la flama	Ninguna	Locales húmedos
		90			Locales secos

Figura 15-16. Características de aislantes para conductores eléctricos

Los cables tipos NM y NMC están formado por dos o tres conductores aislados, con o sin alambre de tierra, encerrados dentro de una chaqueta termoplástica o de fibra tejida resistente a la humedad y a la llama. En los cables tipo NM, los alambres están in-

dividualmente forrados con una capa espiral de papel, mientras que en los cables tipo NMC están embebidos en un plástico sólido, sin ningún tipo de material absorbente de humedad entre ellos. El cable tipo NM se especifica para sitios siempre secos, mientras que el cable NMC puede usarse indistintamente en locaciones secas o húmedas.

El cable tipo UF es similar en su apariencia al cable NMC y puede ser utilizado en las mismas aplicaciones. Aunque cuesta un poco más que este último, tiene la ventaja adicional de que puede ser enterrado directamente en el suelo si se le provee con un dispositivo protección de sobrecorriente (fusible o *breaker*) en su punto de arranque. No debe ser utilizado como cable de acometida. Para esta aplicación se recomienda el cable tipo SE. En este último, el conductor neutro se forma a

partir de los hilos desnudos que rodean los conductores aislados.

El cable tipo AC, también conocido como cable blindado o BX, está formado por dos o más alambres de cobre aislados envueltos individualmente en capas espirales de papel kraft y protegidos por una chaqueta exterior, también espiral, de acero galvanizado o aluminio. Esta última actúa como blindaje a tierra. El papel protege los alambres contra la abrasión. Para mejorar la capacidad de aterrizaje del blindaje metálico, este último está recubierto internamente por una banda desnuda de aluminio que corre paralelamente a los alambres. Se especifica para locaciones interiores secas.

Los cables vienen marcados de fábrica con el calibre y número de alambres que ellos contienen. Un cable

Tamaño alambre	Tipo aislamiento	Ampacidad
14	TW, THW, THWN	15
12	TW, THW, THWN	20
10	TW, THW, THWN	30
8	TW	40
8	THW, THWN	45
6	TW	55
6	THW, THWN	65
4	TW	70
4	THW, THWN	85
2	TW	95
2	THW, THWN	115
1	THW, THWN	130
2/0	THW, THWN	175

Figura 15-17. Ampacidades de alambres de cobre

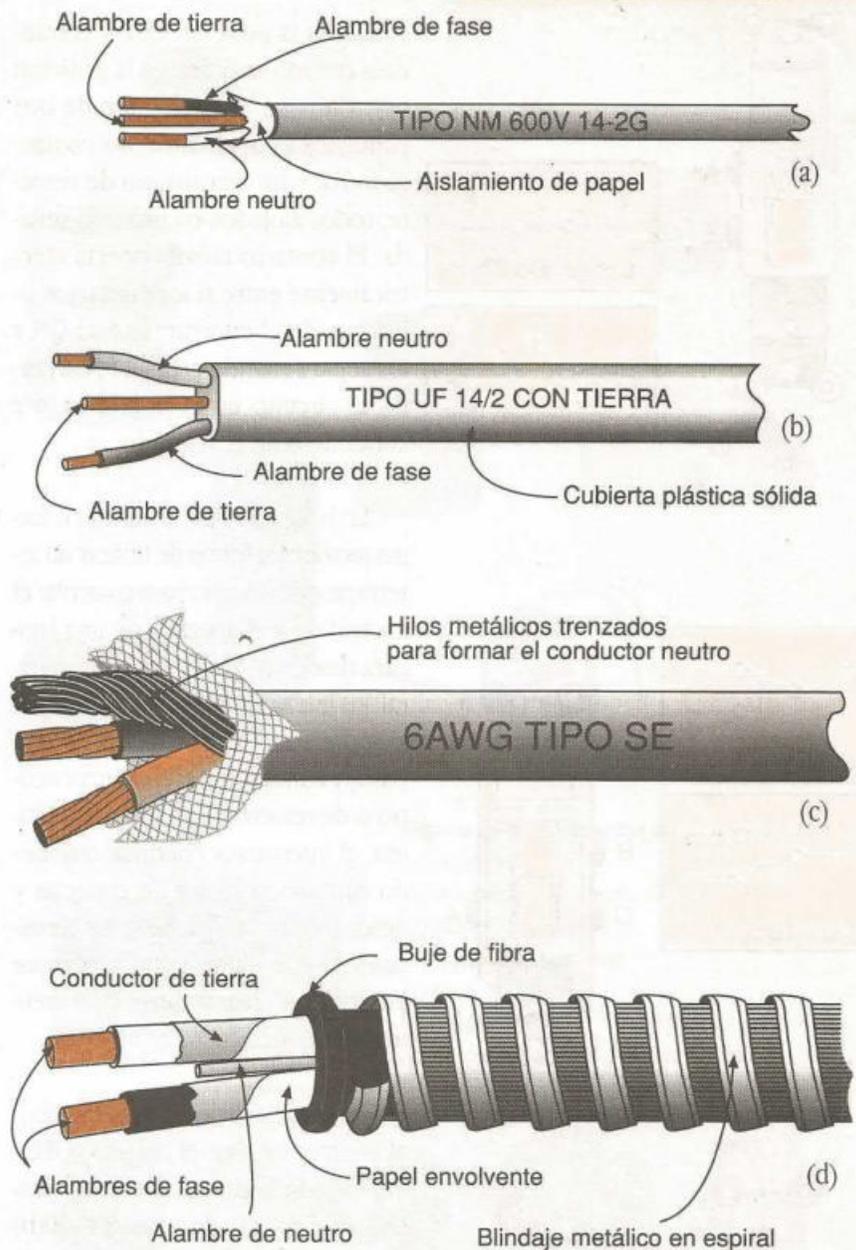
con la designación "14-2", por ejemplo, contiene dos alambres N<sup>o</sup> 14, uno con la designación "12-3" contiene tres alambres N<sup>o</sup> 12, y así sucesivamente. Asimismo, un cable con la designación "14-2 G" o "14/2 G" es un cable formado por un alambre de tierra (aislado o desnudo) y dos alambres aislados calibre N<sup>o</sup> 14. Además de estas designaciones, los fabricantes especifican también el tipo de uso (UF, NM, etc.) y la máxima tensión de trabajo (600V, 5000V, etc.).

Los cables, al igual que los alambres, se seleccionan de acuerdo a diversos criterios, siendo los más importantes la ampacidad (máxima intensidad de corriente a transportar), el tipo de aislamiento, la tensión nominal, la caída de tensión máxima, el método de instalación (dentro de paredes o muros, sobre aisladores, enterrados, etc.) y las condiciones ambientales (humedad, temperaturas extremas, presencia de hidrocarburos, etc.). Todos estos aspectos serán tratados en detalle en capítulos posteriores de este curso.

## Interruptores

El propósito de un interruptor es permitir la apertura y el cierre de un circuito eléctrico de forma segura y conveniente. Los interruptores se utilizan en las instalaciones eléctricas para controlar manualmente luces, motores y otras cargas. Existen también interruptores activados automáticamente por luz, calor, presión, movimiento, magnetismo, corriente y otras variable. En este capítulo nos referiremos exclusivamente a los interruptores electromecánicos.

Los interruptores se designan por su número de polos (P) y de posiciones (T). Los **polos** se refieren al número máximo de conductores que el interruptor puede controlar y las



**Figura 15-18. Ejemplos de cables multiconductores**

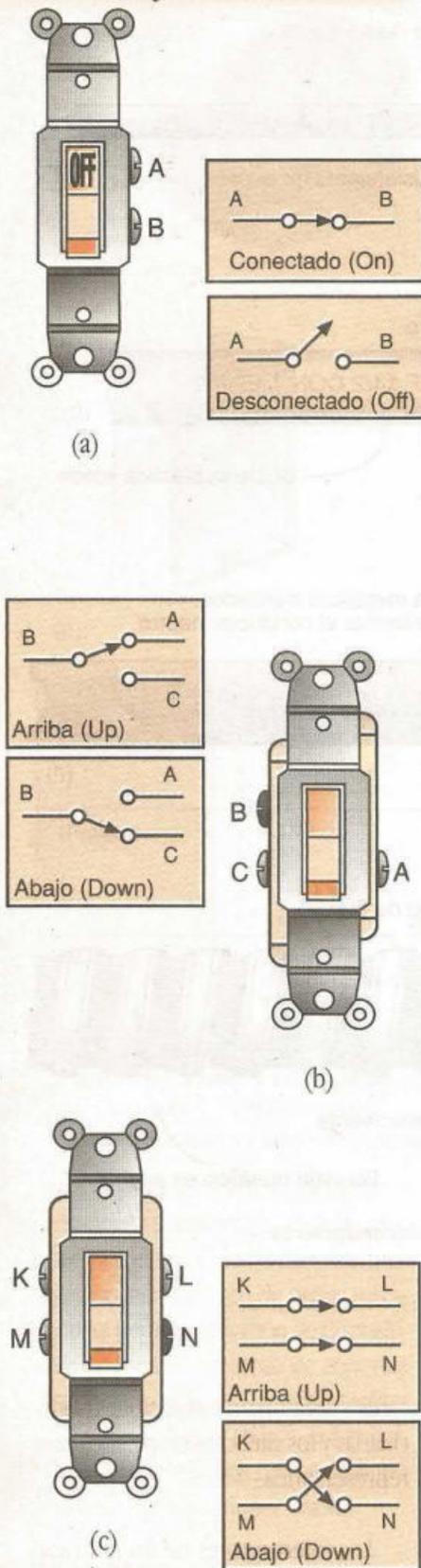
- (a) Cable encauchetado tipo NM
- (b) Cable alimentador tipo UF
- (c) Cable de acometida tipo SE
- (d) Cable blindado tipo AC

**posiciones o tiros** al número de operaciones internas que puede realizar. Se habla así de interruptores SPST (Single Pole Single Throw: un polo, una posición), SPDT (un polo, dos posiciones); DPST (dos polos, una posición); DPDT (dos polos, dos posiciones); etc. En la figura 15-19 se muestran los principales tipos de interrup-

tores utilizados en instalaciones domiciliarias y los símbolos empleados para representarlos.

Los interruptores de un polo son dispositivos de dos terminales que se utilizan para controlar el flujo de corriente a través de un solo conductor, abriendo la conexión cuando se

## Materiales y elementos eléctricos



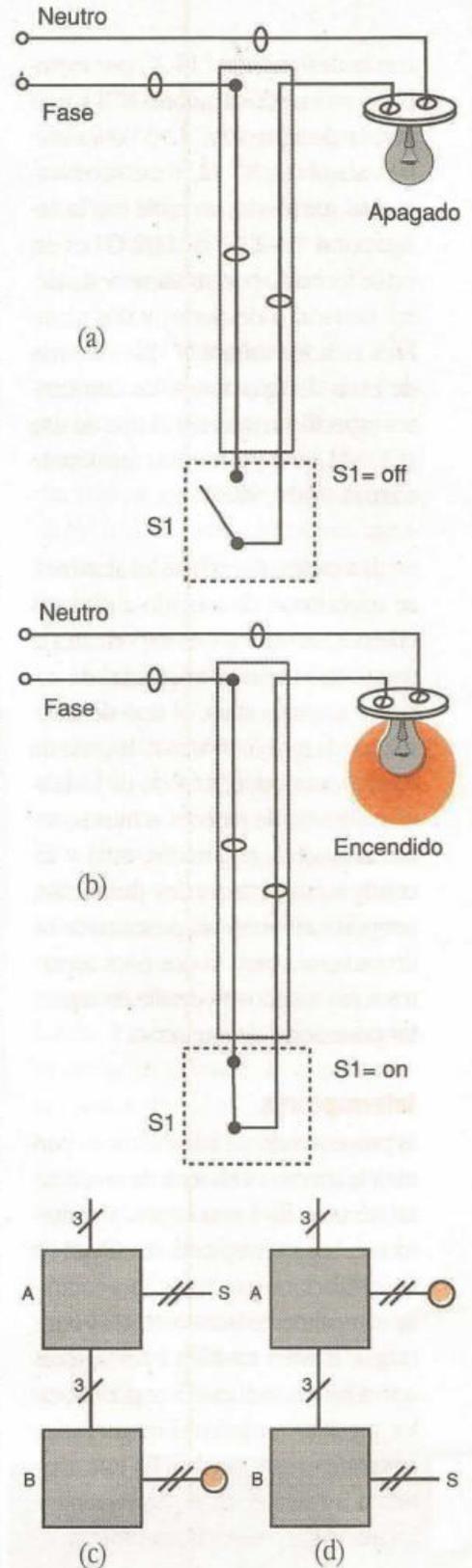
**Figura 15-19. Ejemplos de interruptores**  
 (a) Interruptor de un polo.  
 (b) Interruptor de tres vías.  
 (c) Interruptor de cuatro vías.

sitúan en la posición OFF y cerrándola cuando se sitúan en la posición ON. Constan normalmente de dos contactos estacionarios, un contacto móvil y un mecanismo de resorte, todos alojados en una caja sellada. El contacto móvil conecta eléctricamente entre sí los contactos fijos cuando el interruptor está ON y los separa cuando está OFF, cerrando el circuito en el primer caso y abriéndolo en el segundo.

En la figura 15-20 se ilustra en forma pictórica la forma de utilizar un interruptor de un polo para controlar el encendido y el apagado de una lámpara desde un punto. Por regla general, los interruptores se deben instalar siempre sobre el conductor de fase (vivo) y nunca sobre el conductor neutro o de retorno. Si se hace esto último, el interruptor continúa realizando su función básica de conectar y desconectar la carga, pero los terminales de esta última estarían siempre energizados, creando un peligro latente para el usuario.

En el circuito de la figura 15-20(a), el interruptor abre el circuito (OFF), impidiendo la circulación de corriente, y en el circuito de la figura 15-20(b) lo cierra (ON), permitiendo el paso de la misma. Dentro de la estructura de la instalación, el interruptor puede estar físicamente antes o después de la lámpara, como se ilustra en los diagramas unifilares de las figuras 15-20(c) e 15-20(d), pero siempre la conexión o desconexión del circuito debe hacerse sobre la línea de fase. En la figura 15-21 se presentan otros ejemplos de circuitos de aplicación con interruptores de un polo.

En el circuito de la figura 15-21(a), un solo interruptor controla simultá-



**Figura 15-20. Control de una lámpara mediante un interruptor de un polo**  
 (a) Circuito abierto.  
 (b) Circuito cerrado  
 (c) Lámpara después de interruptor  
 (d) Lámpara antes de interruptor

neamente el encendido y apagado de un grupo de lámparas conectadas en paralelo, mientras que en el de la figura 15-21(b) cada lámpara es controlada por un interruptor separado. El circuito de la figura 15-21(c) es una combinación de los dos anteriores. En este caso, cada interruptor controla un grupo de cinco lámparas en paralelo.

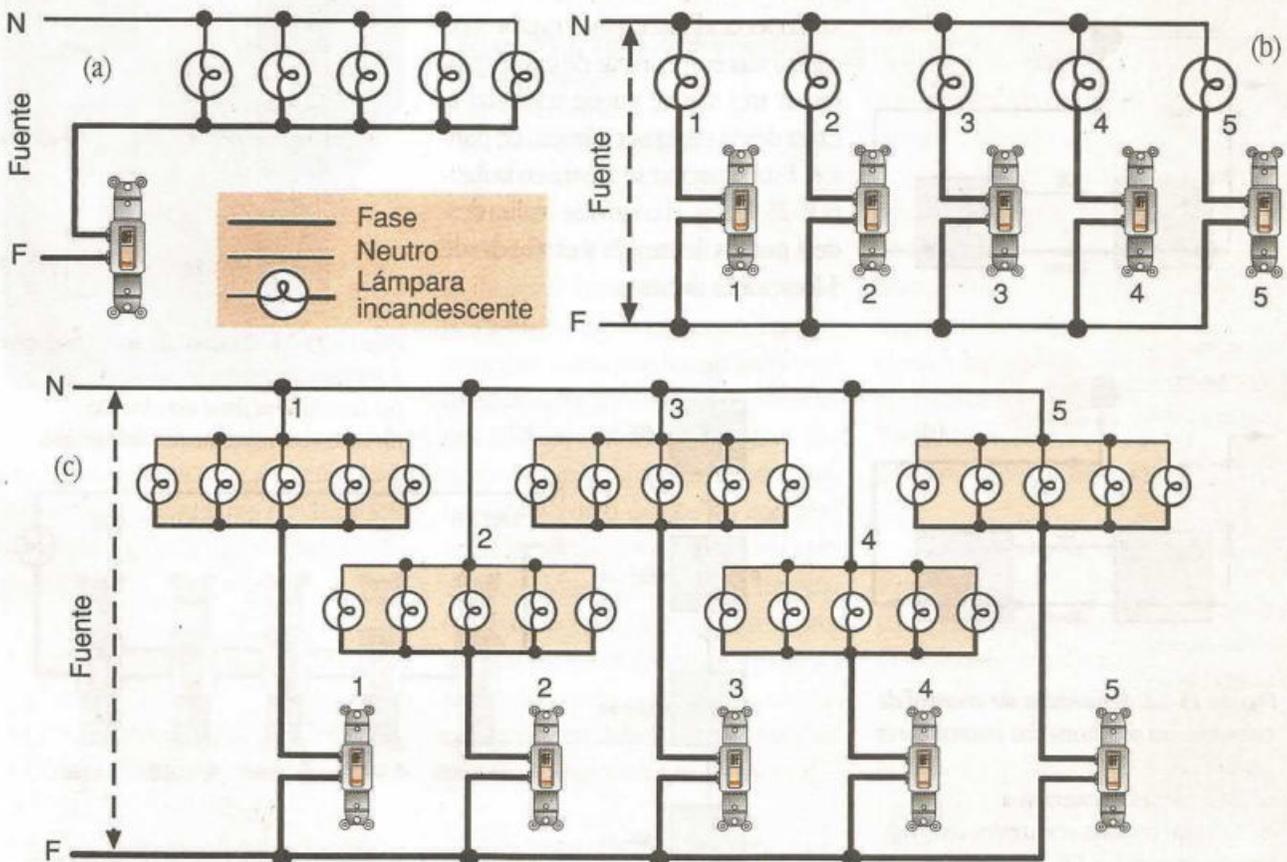
Los interruptores de tres vías son dispositivos de tres terminales que se utilizan para controlar lámparas y otros tipos de cargas desde dos puntos distintos. Su instalación es muy común en escaleras, pasillos, garajes y otras áreas relativamente grandes donde, por comodidad y seguridad, se requiere tener la facilidad de encender una luz desde un punto y apagarla desde

otro, sin tener que regresar. En la figura 15-22 se ilustra la forma de utilizar dos interruptores de tres vías para controlar una lámpara, o un grupo de lámparas, desde dos puntos.

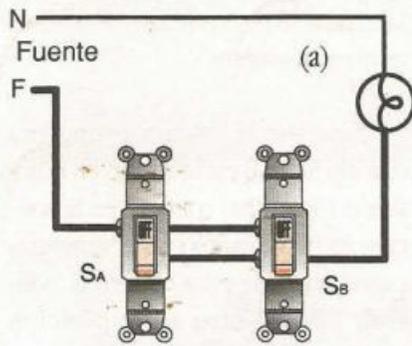
Observe que el neutro (alambre blanco) está conectado directamente a un extremo de la lámpara y la fase (alambre negro) al terminal común del interruptor de la izquierda (SA). El común del interruptor de la derecha (SB) está conectado al otro extremo de la lámpara. Por lo general, el terminal común de un interruptor de tres vías se identifica por ser de color negro. Los dos terminales restantes, denominados *viajeros*, conectan entre sí los interruptores. La corriente de la línea entra por el terminal común de SA y

sale hacia SB por uno cualquiera de sus terminales viajeros.

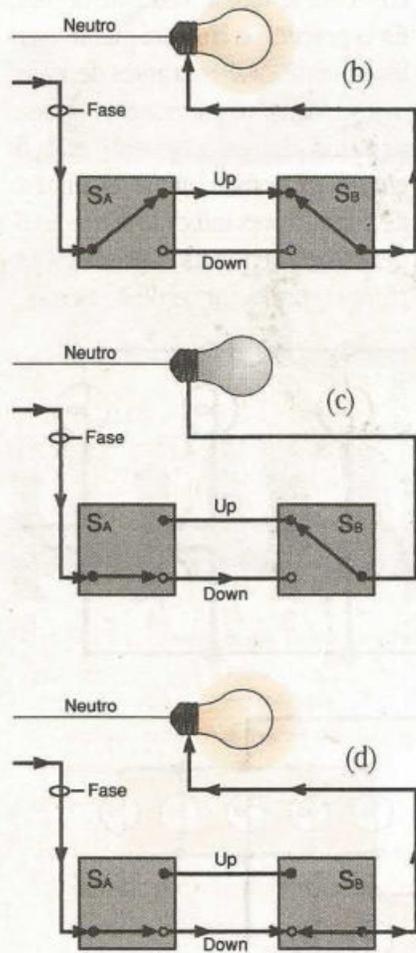
Note que la lámpara se energiza cuando SA y SB están ambos en la posición UP (arriba) o ambos en la posición DOWN (abajo) y se desenergiza cuando uno de ellos está en la posición UP y el otro en la posición DOWN, o viceversa. En todos los casos, el trayecto de circulación de la corriente se indica mediante flechas. En la práctica, la lámpara puede estar físicamente localizada antes de, entre o después de los interruptores, como se ilustra esquemáticamente en la figura 15-23. Como siempre, el número de conductores indicado sobre las líneas que unen cajas adyacentes, incluye el conductor verde de tierra.



**Figura 15-21. Ejemplos de aplicación de interruptores de un polo**  
 (a) Grupo de lámparas en paralelo controladas por un solo interruptor  
 (b) Lámparas en paralelo controladas independientemente por interruptores  
 (c) Grupos de lámparas en paralelo controladas independientemente por interruptores

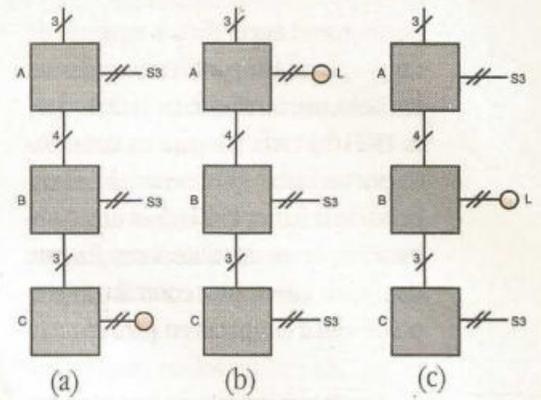


Los interruptores de cuatro vías se utilizan en conjunción con interruptores de tres vías para controlar una lámpara, o un grupo de lámparas; desde tres o más posiciones. Esta necesidad es muy frecuente, por ejemplo, en salones grandes dotados de múltiples puntos de entrada/salida. En la figura 15-24 se ilustra la forma de utilizar un interruptor de 4 vías entre dos interruptores de tres vías para encender y apagar una lámpara desde tres locaciones distintas.



**Figura 15-22. Secuencia de control de una lámpara mediante dos interruptores de tres vías**

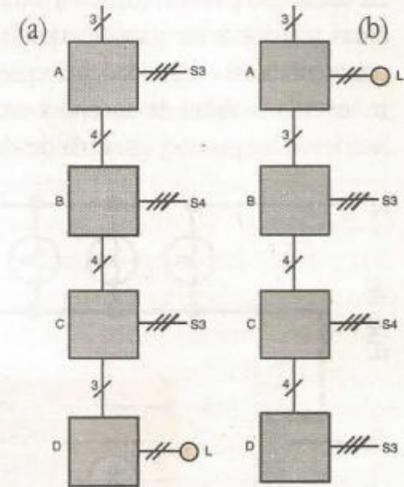
- (a) Diagrama de conexiones
- (b) Circuito cerrado con ambos interruptores en la posición UP
- (c) Circuito abierto con los interruptores en posiciones diferentes
- (d) Circuito energizado con ambos interruptores en la posición DOWN



**Figura 15-23. Posibles estructuras de un punto de luz conmutable con interruptores de tres vías**

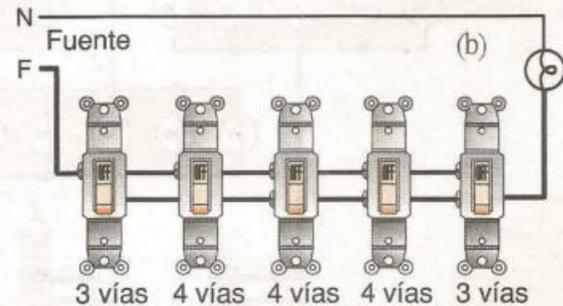
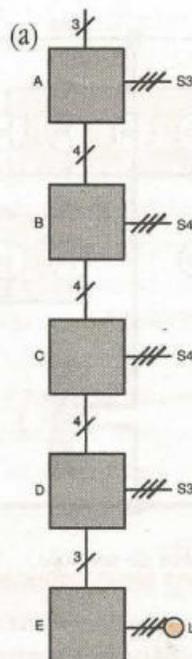
- (a) Lámpara después de los interruptores
- (b) Lámpara antes de interruptores
- (c) Lámpara entre interruptores

Observe que el interruptor de cuatro vías está eléctricamente conectado entre los dos interruptores de tres vías. Cambiando la posición de cualquiera de los tres interruptores cambia también el estado de la lámpara, es decir, si estaba iluminada se apaga y viceversa. Conectando varios interruptores de cuatro vías entre un par de interruptores de tres vías se puede controlar la carga desde cualquier número de puntos. Esta situación se ilustra en la figura 15-25. En (a), el control se realiza desde 4 puntos diferentes y en (b) desde 5 locaciones distintas.



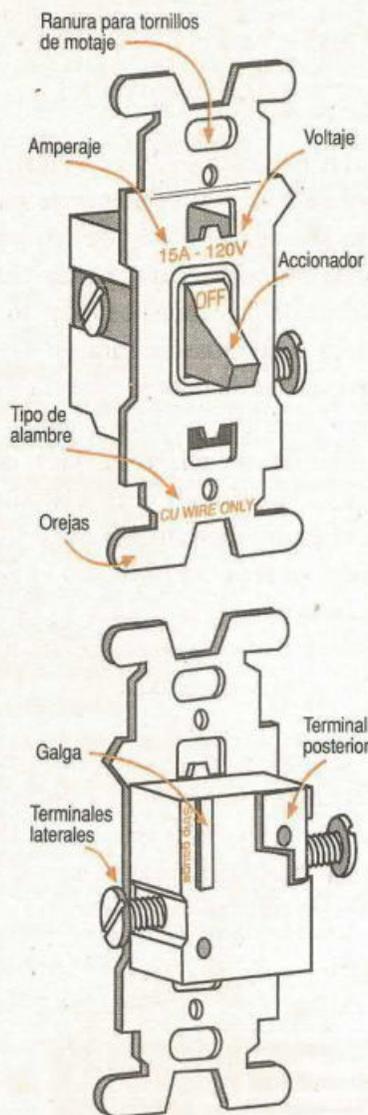
**Figura 15-24. Control de una lámpara desde 3 puntos**

- (a) Lámpara al final del circuito
- (b) Lámpara al comienzo del circuito



**Figura 15-25. Control de una lámpara desde más de 3 puntos**

- (a) Control desde 4 puntos
- (b) Control desde 5 puntos



**Figura 15-26.** Marcas de identificación típicas de un interruptor

Los interruptores varían en grado, capacidad y propósito. El máximo número de amperios que un interruptor es capaz de manejar y el máximo voltaje al cual puede ser utilizado vienen generalmente marcados en el yugo o puente de montaje del dispositivo (figura 15-26). Por ejemplo, una etiqueta del tipo "10A 125V - 5A 250V" indica que el interruptor puede ser utilizado para controlar hasta 10A por debajo de 125V y hasta 5A por debajo de 250V. Esta especificación es típica de los interruptores utilizados en ins-

talaciones domiciliarias para el control de iluminación.

Asimismo, existen interruptores AC e interruptores AC-DC. Los primeros, que son los más comunes, se utilizan para controlar cargas AC únicamente, mientras que los segundos pueden utilizarse indistintamente con cargas AC o DC. Es importante seleccionar el tipo de interruptor adecuado a una aplicación dada no solamente para prevenir arcos y calentamiento, sino para evitar que los contactos colapsen después de unos pocos accionamientos, incluso el primero. En general, un interruptor DC no debe ser sustituido por uno AC debido a que este último extingue el arco más lentamente.

Además de la corriente, el voltaje y el tipo de aplicación, los interruptores traen grabadas otras marcas de identificación sobre su cuerpo como las etiquetas UL y CSA, el tipo de conductor para el cual fueron diseñados los terminales y el *rating* T. Este último indica que el dispositivo es adecuado para controlar lámparas con filamento de tungsteno (incandescentes).

Las etiquetas UL y CSA indican que el dispositivo ha sido probado por estas entidades de reconocimiento mundial y cumple con los requisitos mínimo de seguridad exigidos por las normas eléctricas de Estados Unidos y Canadá.

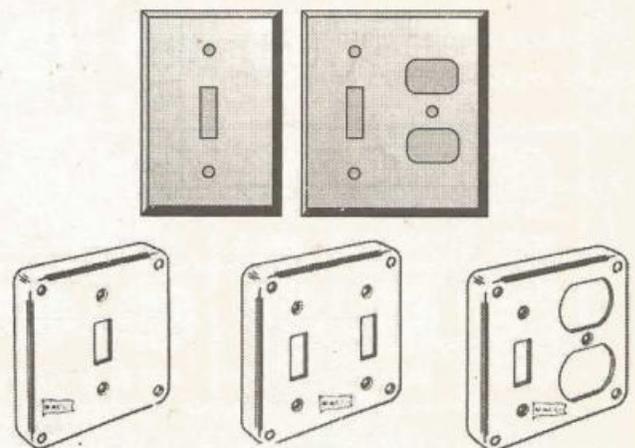
Los interruptores para instalaciones domicilia-

rias pueden venir solos o combinados con interruptores, tomacorrientes y otros dispositivos similares. En cualquiera de estos casos, deben ser protegidos, después de su instalación, mediante cubiertas plásticas o metálicas con el fin de prevenir situaciones de riesgo para el usuario. En la figura 15-27 se muestran algunos ejemplos. El tipo de cubierta debe ser adecuada al tipo de caja y conjugar con la decoración de las paredes.

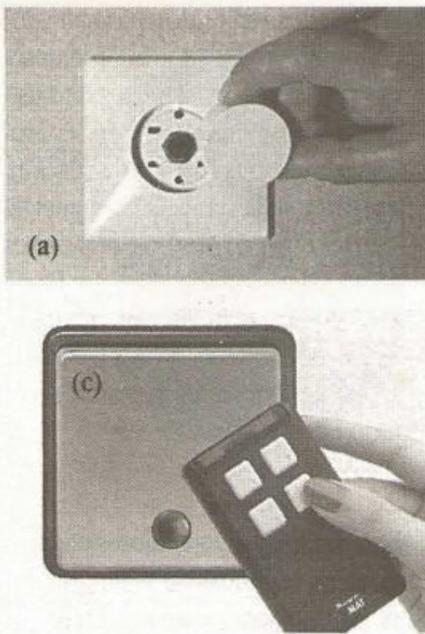
## Reguladores de luminosidad

Los *dimmers* o reguladores electrónicos de luminosidad (figura 15-28) se utilizan para controlar, en forma continua y gradual, la cantidad de luz emitida por fuentes luminosas, generalmente lámparas incandescentes o halógenas. Sirven también como interruptores de encendido y apagado convencionales. El empleo de dimmers en lugar de interruptores electromecánicos permite crear atmósferas y efectos luminosos interesantes. Bajo determinadas condiciones, los dimmers pueden utilizarse para regular la potencia de cargas resistivas como calefactores, hornos, calentadores, etc.

El control de la luminosidad mediante un dimmer se realiza general-



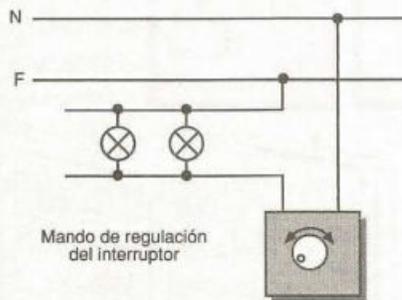
**Figura 15-27.** Cubiertas para interruptores



**Figura 15-28. Reguladores electrónicos de luminosidad**  
 (a) De perilla rotatoria  
 (b) De tacto  
 (c) De control remoto

mente con una perilla, aunque en algunos casos se hace a control remoto o por contacto de la piel con un sensor táctil incorporado. En este último caso, al tocar brevemente el sensor, la lámpara ilumina a su máxima intensidad (o a la última intensidad programada). Si se prolonga el contacto de la mano con el sensor, la luminosidad va disminuyendo y aumentando gradualmente hasta conseguir el nivel deseado. El sistema de dimmer por control remoto es muy similar en su operación al tradicional control remoto de un televisor.

Existen dimmers tanto para lámparas incandescentes como para



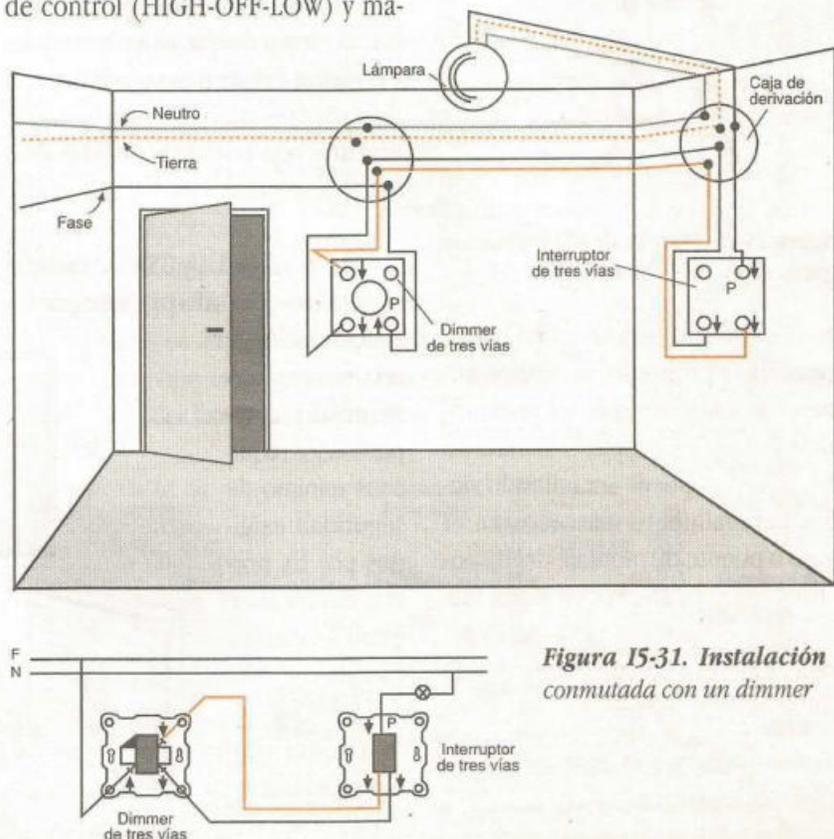
**Figura 15-29. Diagrama de conexión de un dimmer**

lámparas fluorescentes, pero los dos tipos no son intercambiables. En la mayoría de los casos, los dimmers sustituyen directamente los interruptores de encendido/apagado convencionales. Algunas versiones tienen únicamente tres posiciones de control (HIGH-OFF-LOW) y ma-

nejan lámparas hasta de 300W. Otras proporcionan control continuo y manejan cargas hasta de 1000 W.

En la figura 15-29 se muestra como ejemplo el esquema de conexiones de un dimmer de baja potencia que controla la intensidad luminosa de dos lámparas incandescentes conectadas en paralelo. Observe que el dimmer se conecta sobre la línea de fase, igual que un interruptor. Sin embargo, en lugar de abrir o cerrar simplemente el circuito, el dimmer actúa como una resistencia en serie, modificando el valor de la tensión aplicada a la carga. A mayor tensión aplicada, mayor luminosidad, y viceversa.

Los dimmers pueden también utilizarse en instalaciones conmutadas, como se ilustra en la figura 15-30. En este caso, uno de los interruptores de tres vías del sistema (el de



**Figura 15-31. Instalación conmutada con un dimmer**

la izquierda) es sustituido por un dimmer, mientras el de la derecha continua realizando su función normal. Si se enciende la lámpara desde cualquiera de los interruptores, ésta brillará a la intensidad marcada en el regulador de luz. Naturalmente, no se pueden sustituir los dos interruptores por dimmers porque interferían entre sí la regulación de la luminosidad y no trabajarían correctamente. Lo mismo sucede cuando se reduce la intensidad de la luz emitida por una lámpara.

Mediante un dimmer, se toma de la red una potencia menor de la que consumiría la carga en condiciones normales. Puesto que los contadores solo registran lo que efectivamente se consume, los dimmers contribuyen al ahorro de energía. Con su empleo se consigue un ahorro adicional representado en una mayor vida útil de las lámparas que controlan. Esto es particularmente importante en el caso de lámparas costosas o de difícil consecución, como las dotadas de espejos o de proyectores.

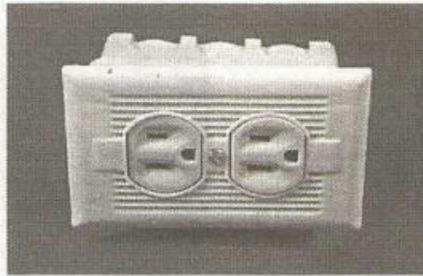


Figura 15-31. Tomacorrientes dúplex con polo a tierra

### Tomacorrientes

Los tomacorrientes son dispositivos que permiten conectar equipos portátiles (lámparas, electrodomésticos, herramientas, etc.) a fuentes de potencia. La conexión entre el aparato propiamente dicho y el tomacorriente se realiza generalmente a través de un cable o cordón flexible terminado en un enchufe o clavija. En la figura 15-32 se muestra un ejemplo de tomacorriente dúplex de 15A, el más utilizado en instalaciones domiciliarias. El nombre "dúplex" se debe a que puede aceptar dos clavijas o enchufes al mismo tiempo.

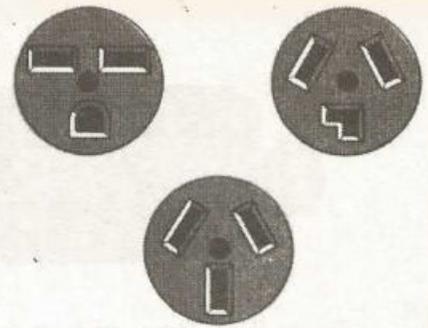
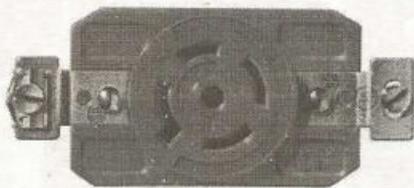


Figura 15-32. Tomacorrientes especiales

Los tomacorrientes se especifican para unas determinadas capacidades de voltaje y corriente, y se ofrecen en una gran variedad de presentaciones y configuraciones de contactos dependiendo del tipo de servicio eléctrico que prestan. En las instalaciones eléctricas domiciliarias se utilizan tomacorrientes especiales para los circuitos derivados individuales con el fin de eliminar la posibilidad de enchufar un artefacto de 120V o 220V, por ejemplo, en un tomacorriente de 208V o 380V. En la figura 15-32 se muestran algunos ejemplos de tomacorrientes especiales.

		15 amperios		20 amperios		30 amperios		50 amperios	
		Tomacorriente	Clavija	Tomacorriente	Clavija	Tomacorriente	Clavija	Tomacorriente	Clavija
2 polos 2 hilos	125 V								
	250 V								
2 polos 3 hilos, con tierra	125 V								
	250 V								

Figura 15-33. Configuraciones de tomacorrientes



**Figura 15-34. Tomacorrientes de enganche**

En la figura 15-33 se muestran algunas configuraciones comunes de tomacorrientes y enchufes para sistemas monofásicos de dos y tres hilos y su designación correspondiente. Esta última ha sido establecida por la NEMA (*National Electrical Manufacturing Association*) y adoptada por la mayoría fabricantes de equipos eléctricos en todo el mundo. Por ejemplo, la designación 5-15-R se refiere un tomacorriente (R) de configuración "5" (2 polos/3 hilos) con una capacidad de 15 A. Los polos se refieren al número de ranuras activas del dispositivo, exceptuando la de tierra, si la trae.

Los tomacorrientes se clasifican en dos categorías generales: no enganchables y enganchables (figura 15-34). En los primeros, la conexión del enchufe al tomacorriente es por simple inserción, mientras que en los segundos se completa girando el enchufe en el tomacorriente. Este último tipo se considera el más seguro debido a que elimina la posibilidad de choque eléctrico que se presenta en la configuración

no enganchable cuando el enchufe no ha sido insertado completamente en el tomacorriente. Además, la necesidad de rotación elimina la posibilidad de una desconexión accidental.

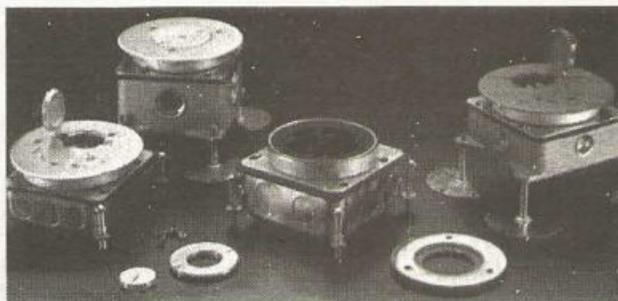
Otra característica de seguridad incorporada en algunos tomacorrientes es el empleo de tapas plásticas especiales, insertables o accionadas por un mecanismo de resorte, las cuales mantienen ocultas las ranuras de conexión mientras el dispositivo no esté en uso. Esto evita que los niños, con su tendencia natural a explorar, introduzcan accidentalmente objetos metálicos en el tomacorriente y reciban un choque eléctrico.

Otras variantes incluyen tomacorrientes a prueba de agua (figura 15-35), instalables en pisos (figura 15-36), múltiples (figura 15-37), de lujo y para otras necesidades. Algunas veces pueden venir solos o combinados con interruptores, luces piloto y otros dispositivos (figura 15-38). También se dispone de tomacorrientes con interrup-

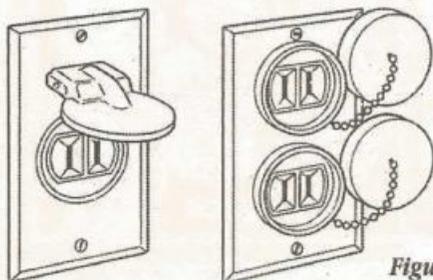
tores diferenciales (GFCIs) incorporados, los cuales protegen directamente a las personas del riesgo de un choque eléctrico (figura 15-39). Su uso es muy frecuente en baños, talleres, cocinas y sitios donde conviven el agua y la electricidad.

Los tomacorrientes tienen varios símbolos e información inscrita sobre ellos con el fin de orientar al usuario acerca de sus especificaciones y modo de empleo. Entre los datos suministrados figuran los logotipos de los laboratorios de prueba (UL, CSA, ETL, etc.) que certifican el cumplimiento de normas mínimas de seguridad, el calibre y tipo de conductor para el cual han sido diseñados los terminales (cobre, aluminio, aluminio revestido de cobre), las capacidades de corriente y voltaje, etc. En la figura 15-40 se muestran como ejemplo las características de un tomacorriente dúplex típico

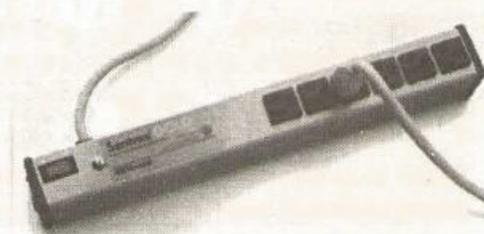
En un tomacorriente dúplex estándar, la función de cada uno de los tornillos de conexión se especifica



**Figura 15-36. Tomacorriente de piso**

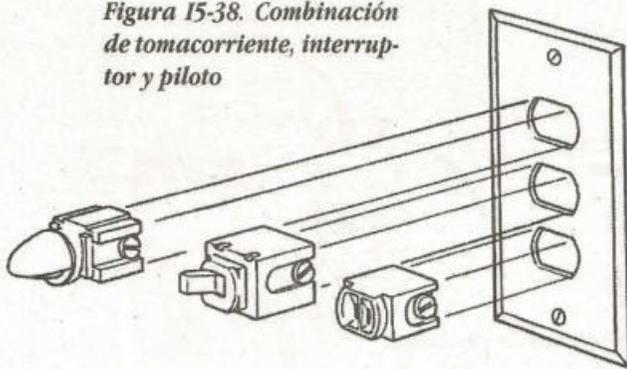


**Figura 15-35. Tomacorriente a prueba de agua**



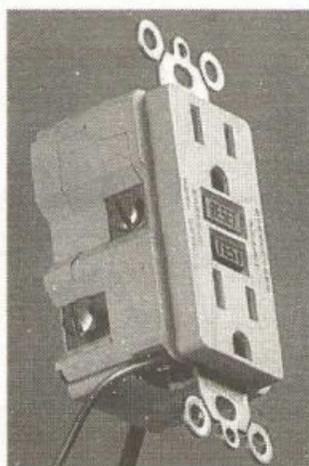
**Figura 15-37. Tomacorriente múltiple (multitoma)**

**Figura 15-38. Combinación de tomacorriente, interruptor y piloto**



mediante un código de colores normalizado así: verde para el conductor de protección o de tierra, plateado para los conductores de fase o vivos y dorado para los conductores de retorno o neutro. El primero (tierra) está asociado con la ranura en forma de U del dispositivo, el segundo (neutro) con la ranura vertical más larga y el tercero (fase) con la ranura más corta. Por ningún motivo, el tornillo verde debe ser utilizado para otros propósitos distintos del de proporcionar conexión a tierra.

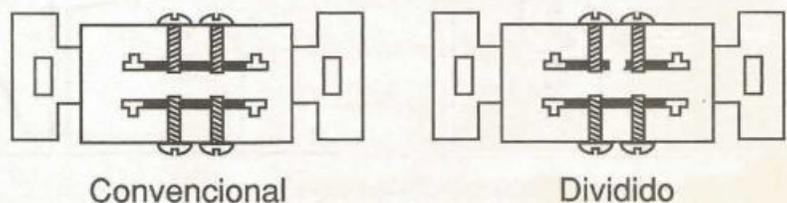
El tipo de material del conductor a utilizar se especifica generalmente mediante cualquiera de las siguientes inscripciones: CO-ALR, ALR o CU-AL. La primera (CO-ALR o CO/ALR) indica que pueden ser usados tanto con alam-



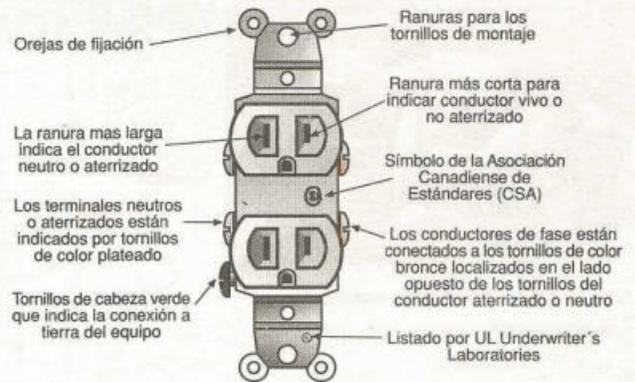
**Figura 15-39. Tomacorriente GFCI**

bre de cobre como con alambre de aluminio, la segunda (ALR) con alambre de aluminio exclusivamente y la tercera (CU-AL o CU/AL) con alambre de cobre únicamente. Si no hay inscripción, se sobreentiende que sólo aceptan alambre de cobre. Los alambres de aluminio necesitan terminales de conexión especiales y son incompatibles con los de cobre o bronce.

Los tomacorrientes dúplex pueden ser del tipo convencional o dividido (figura 15-41). Los primeros poseen dos tornillos de conexión para el alambre neutro, comunes a ambas mitades del dispositivo, y dos tornillos adicionales para el alambre de fase, comunes también a ambas mitades. Los tomacorrientes divididos o de dos circuitos, por su parte, poseen dos tornillos para el alambre neutro, comunes a ambas mitades, y dos tornillos separados para los alambres de fase. Esta disposición permite utilizar cada mitad del tomacorriente en forma independiente.



**Figura 15-41. Tipos de tomacorrientes dúplex**



**Figura 15-40. Características de un tomacorriente dúplex típico**

Los tomacorrientes dúplex convencionales pueden ser fácilmente convertidos en tomacorrientes divididos retirando el enlace metálico que conecta los dos tornillos asociados a las ranuras de la fase de cada sección. En la figura 15-42 se ilustra la forma de realizar esta operación. En un tomacorriente dividido, una de las mitades se utiliza generalmente para alimentar permanentemente radios, televisores, etc., y la otra mitad para controlar, desde un interruptor de pared de fácil acceso, lámparas u otras cargas enchufadas a ellos.

Algunas situaciones requieren conectar clavijas monofásicas de tres patas (con polo a tierra) a tomacorrientes monofásicos que aceptan únicamente clavijas de dos patas (sin polo a tierra). En esos casos puede optarse por cambiar el tomacorriente o utilizar un adaptador de 3 a 2 terminales (figura 15-43). El uso de un adaptador de este tipo, sin embargo, no

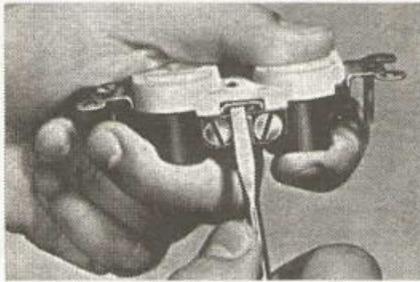


Figura 15-42. Forma de convertir un tomacorriente convencional en un tomacorriente dividido

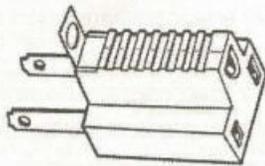


Figura 15-43. Adaptador de 3 a 2 terminales

garantiza la misma protección de un tomacorriente con polo a tierra convenientemente instalado, excepto si el circuito existente efectivamente proporciona una conexión a tierra para el tornillo que asegura el adaptador al tomacorriente.

Los tomacorrientes pueden ser conectados a los alambres de alimentación utilizando los tornillos laterales o insertando las puntas dentro de unos pequeños agujeros disponibles en la parte posterior del dispositivo. Estas dos posibilidades se ilustran en

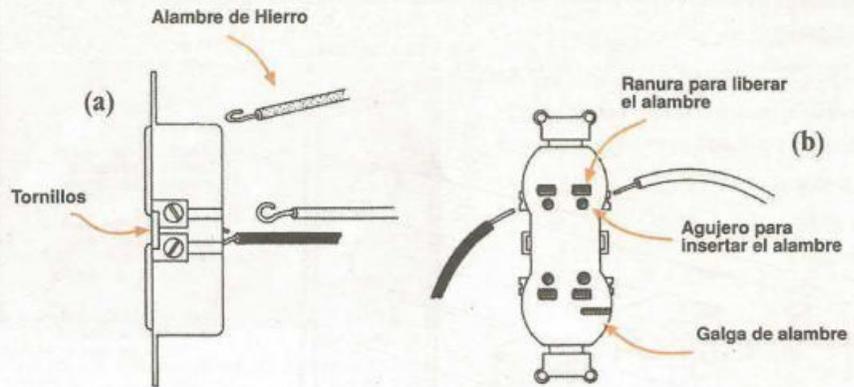


Figura 15-44. Métodos de conexión (a) Por tornillo (b) Por inserción

la figura 15-44. Algunos tomacorrientes vienen sin tornillos y sólo poseen agujeros de inserción, mientras que otros proveen ambas opciones. Con el fin de facilitar el pelado de los alambres, los fabricantes proporcionan una ranura longitudinal (galga) que indica la cantidad exacta de aislante que debe removerse para garantizar una conexión firme.

La conexión de tomacorrientes es mucho más simple que la de interruptores y de otros dispositivos de alambrado. En la figura 15-45 se muestran algunos ejemplos. Si sólo hay un tomacorriente, el cable que lleva la corriente de fase desde la fuente de energía (vivo) se extiende hasta uno de los tornillos dorados y el que lleva la corriente de retorno (neutro) hasta uno

de los tornillos plateados. El conductor de tierra se conecta al tornillo verde. Si hay varios tomacorrientes, cada cable se extiende sucesivamente desde el tornillo lateral del primer tomacorriente hasta el del último

En la figura 15-46 se muestra el diagrama pictórico de conexiones de un circuito formado por un tomacorriente dúplex dividido y un interruptor. Este último controla el suministro de corriente a la carga conectada a la mitad superior del tomacorriente. La mitad inferior está siempre energizada, es decir con voltaje disponible.

En la figura 15-47 se proporcionan los diagramas unifilares de conexiones de otros circuitos con tomacorrientes de uso común en instalaciones domi-

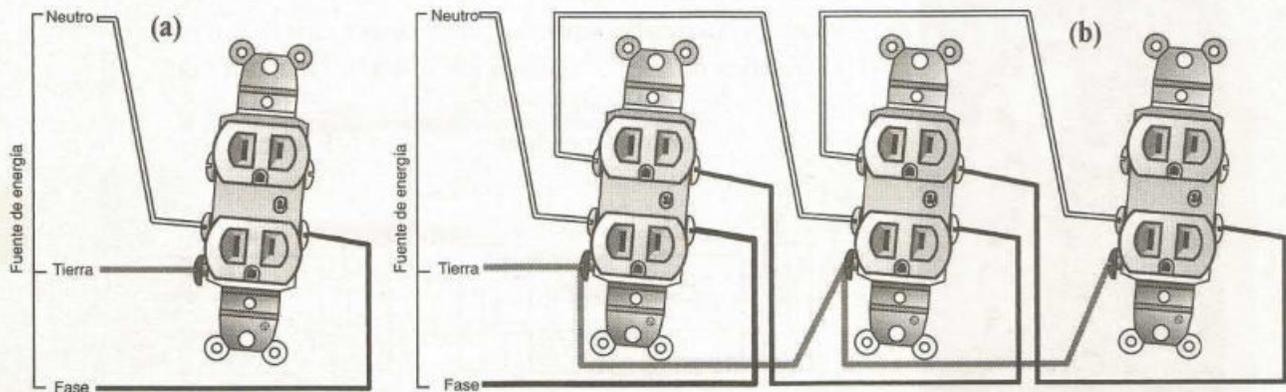


Figura 15-45. Alambrado básico de tomacorrientes (a) Alambrado de un tomacorriente (b) Alambrado de varios tomacorrientes

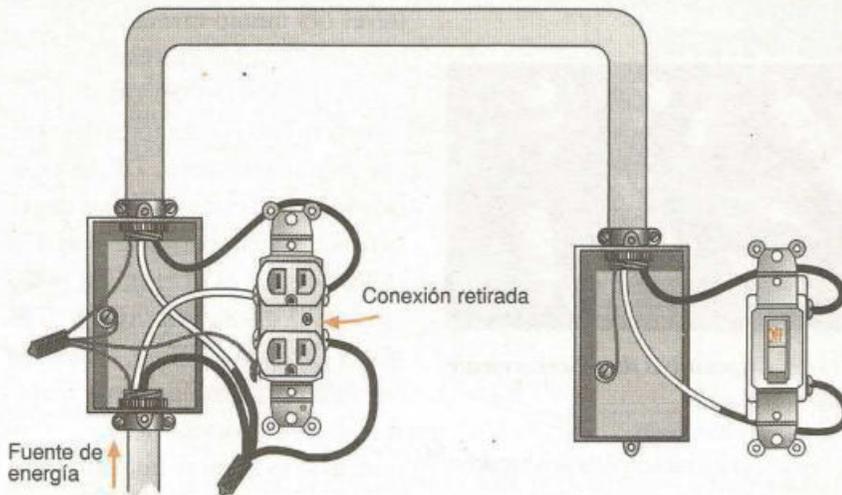


Figura 15-46. Alambrado de un tomacorriente dúplex dividido

cilias. Se deja como ejercicio para el lector deducir los diagramas pictóricos y multifilares correspondientes.

En (a) y (b) las dos mitades de cada tomacorriente suministran permanentemente voltaje, mientras que en (c)

la presencia o ausencia de voltaje la controla un interruptor. En (d), una mitad está siempre energizada y la otra la controla un interruptor. En (e), las dos mitades están siempre energizadas y el interruptor controla la lámpara. En (f) se presenta el caso de un tomaco-

rriente sencillo combinado con un interruptor de un polo en una misma estructura. El tomacorriente está siempre energizado, mientras el interruptor controla el estado de la lámpara.

## Dispositivos de protección contra sobrecorrientes

Es imposible para una corriente eléctrica fluir a través de un alambre sin calentarlo. Naturalmente, a medida que aumenta la corriente, también lo hace la temperatura. El aumento de la temperatura, a su vez, causa que el aislamiento del alambre se deteriore, llegando un punto en el cual el calor desarrollado es suficiente para iniciar un incendio y/o provocar un cortocircuito. Para evitar que esto suceda, los circuitos deben protegerse mediante dispositivos especiales que interrumpan automáticamente la circulación de corriente cuando ésta excede un valor predeterminado.

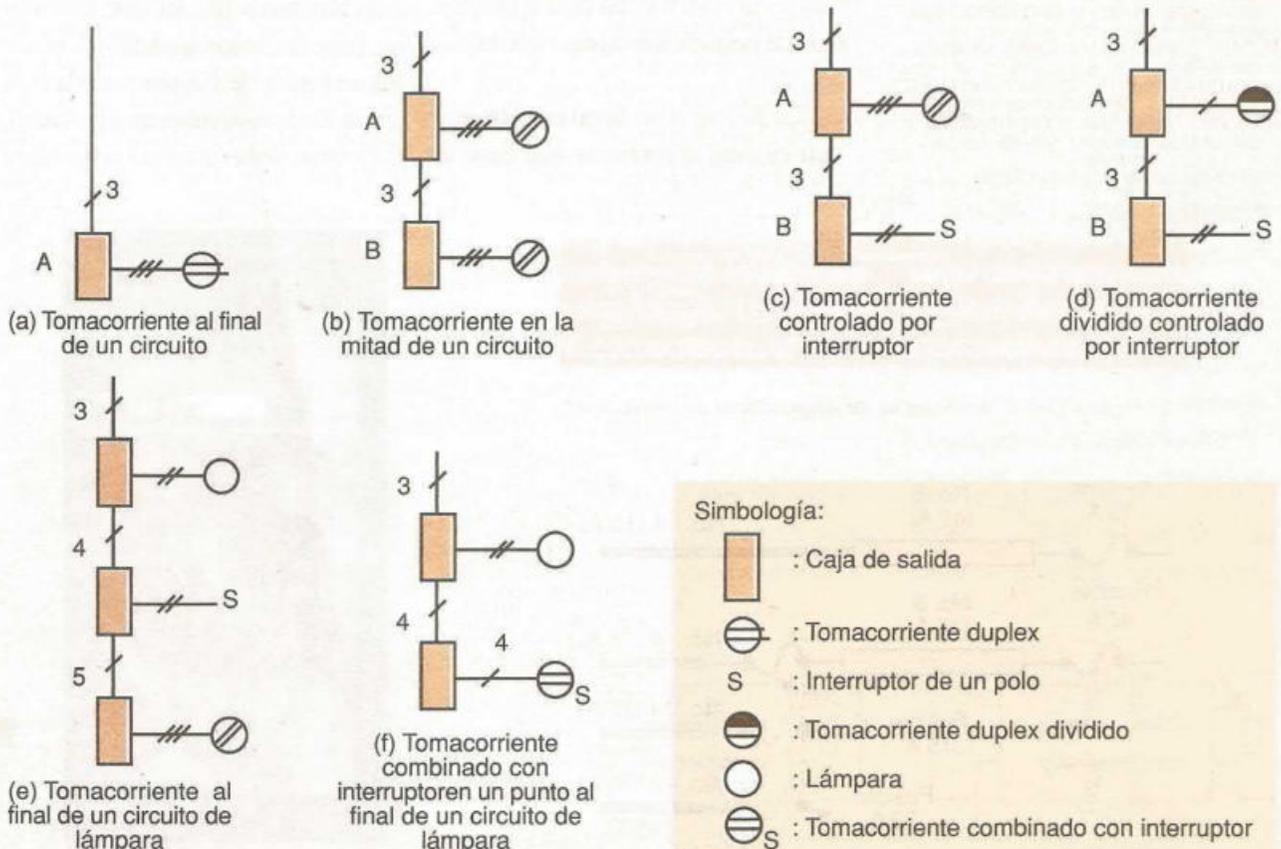


Figura 15-47. Otros circuitos prácticos con tomacorrientes

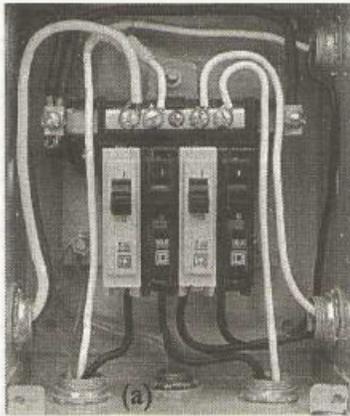


Figura 15-48. Dispositivos de sobrecorriente  
(a) Breakers (b) Fusibles

Los elementos que realizan la función de protección anterior se denominan genéricamente **dispositivos de sobrecorriente** y pueden ser considerados como las válvulas de seguridad de los circuitos y sistemas eléctricos. Por diseño, un dispositivo de sobrecorriente es el enlace más débil de un circuito. Los dos tipos de dispositivos de sobrecorriente más comunes son los fusibles y los disyuntores o *breakers* (figura 15-50). En la figura 15-48 se indican los símbolos utilizados en los diagramas eléctricos para representar estos componentes.

Tanto los fusibles como los breakers se especifican por su corriente nominal, es decir la máxima corriente que pueden transportar en forma continua sin provocar la apertura del circuito que protegen. Las capacidades estándares de corriente son 15A, 20A, 25A, 30A, 35A, 40A, 45A, 50A, 60A, 70A, 80A, 90A, 100A, 110A, 125A, 150A, 175A y 200A. También se dispone de breakers hasta de 600A para instalaciones grandes y de fusibles de 1, 3, 6 y 10A para la protección de pequeños motores eléctricos.

Un fusible o un breaker debe actuar cuando la corriente que fluye a

través del mismo excede la ampacidad de los conductores utilizados para la realización del circuito que protegen. Para conductores de cobre típicos con aislamiento TW, las capacidades recomendadas de los dispositivos de sobrecorriente son 15A (AWG 14), 20A (AWG 12), 30A (AWG 10), 40A (AWG 8), 50A (AWG 6), 70A (AWG 4) y 100A (AWG 2). Utilizar un fusible o un breaker de mayor amperaje que la ampacidad del conductor protegido es siempre inseguro y una de las causas más frecuentes de incendios de origen eléctrico.

Si se unen dos alambres de diferente calibre la capacidad de corriente del dispositivo de sobrecorriente no debe ser mayor de la permitida para el alambre más pequeño. En el caso mostrado en la figura 15-50(a), por ejemplo, un alambre N° 14 está conectado a un alambre N° 8. Aunque este último tiene una ampacidad de 40A, se utiliza un fusible de 15A porque ésta es la ampacidad del alambre más pequeño. Otra situación se presenta en la figura

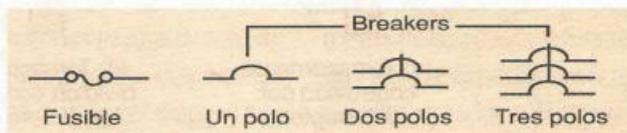


Figura 15-49. Simbología de dispositivos de protección

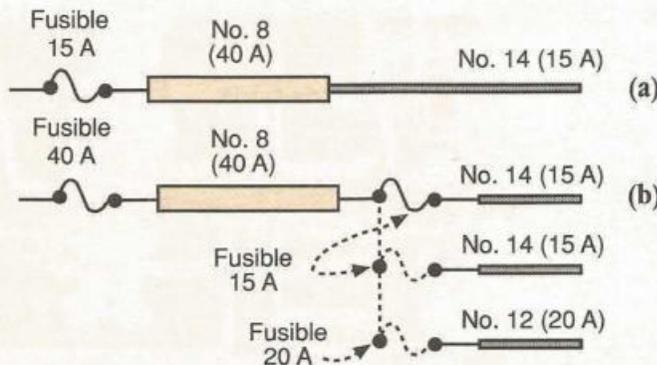


Figura 15-50. Protección de alambres de tamaños diferentes

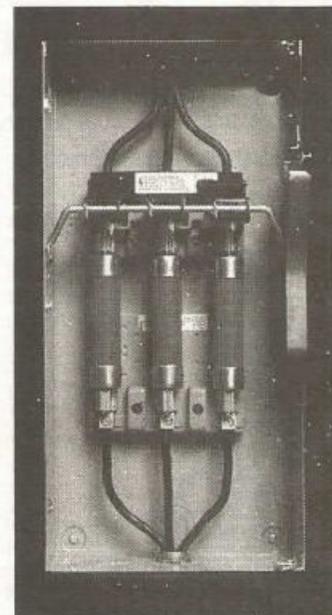


Figura 15-51. Interruptor de cuchillas con fusibles

15-50(b). En este caso, un alambre N<sup>o</sup> 8 alimenta varios circuitos realizados con alambres más delgados, utilizándose un fusible de 40A en el punto de arranque y fusibles adecuados más pequeños en los puntos donde se reduce el tamaño del alambre.

En general, los dispositivos de protección contra sobrecorrientes deben colocarse lo más cerca posible del punto de alimentación de los conductores protegidos y ser fácilmente accesibles. Además, no deben estar cerca de materiales inflamables ni expuestos al daño mecánico. En algunas instalaciones domiciliarias es muy común que los fusibles estén asociados al dispositivo general de desconexión, por ejemplo un interruptor de cuchillas (figura 15-51), reservándose el uso de *breakers* para la protección de cada uno de los circuitos derivados.

## Fusibles

Un fusible (figura 15-52) es básicamente un hilo o cinta de metal de corta longitud que puede transportar indefinidamente corrientes por debajo de un valor predeterminado, digamos 15A, pero se funde cuando esta corriente es excesiva. Bajo estas circunstancias, el circuito se abre, de la misma forma como si se hubiera cortado un alambre o abierto un interruptor en el punto de localización del fusible. La lámina metálica es generalmente de plomo y viene encerrada en una cápsula aislante de fácil remoción, la cual evita que el metal derretido salpique cuando se funde el fusible.

Todos los fusibles tienen una característica de tiempo inversa, es decir el tiempo que duran para autodestruirse y abrir el circuito depende de la cantidad de sobrecarga. Un fusible de 30A, por ejemplo, soportará una sobrecarga

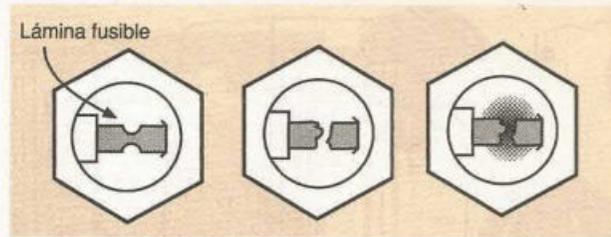


Figura 15-52. Acción de un fusible

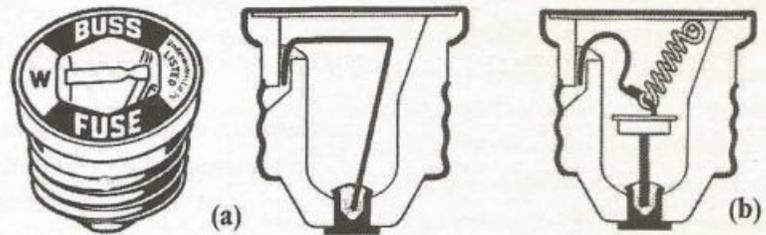


Figura 15-53. Fusibles tipo tapón con rosca  
(a) Convencional (b) De retardo

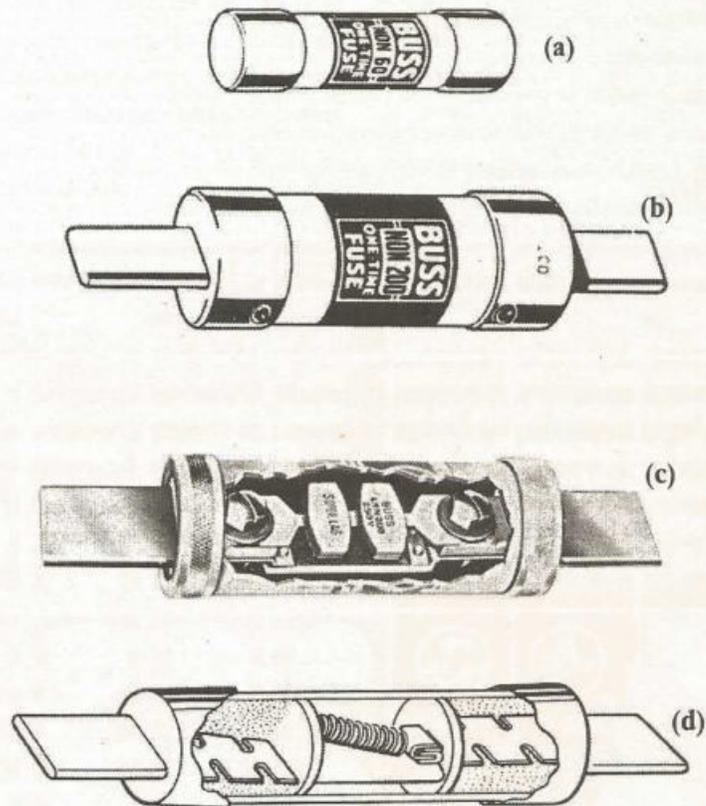
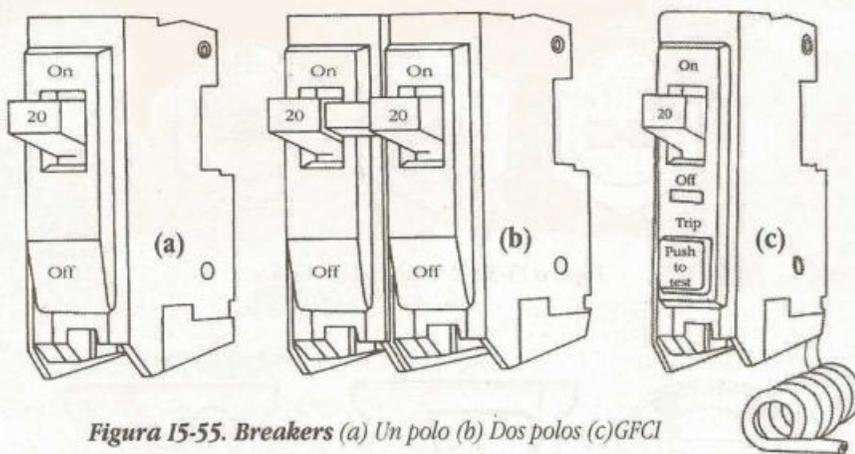


Figura 15-54. Fusibles tipo cartucho

(a) Con contactos de casquillo o ferula (b) Con contactos de cuchilla o (c) Renovable (d) De retardo



**Figura 15-55. Breakers** (a) Un polo (b) Dos polos (c) GFCI

del 10% (33A) durante algunos minutos, una sobrecarga del 20% (36A) durante menos de un minuto y una sobrecarga del 100% (60A) durante unas fracciones de segundo. Un caso particular lo constituyen los fusibles de retardo, los cuales pueden soportar corrientes de sobrecarga relativamente altas en forma momentánea sin destruirse. Se utilizan principalmente en circuitos de motores, donde la corriente de arranque puede llegar a ser varias veces superior a la nominal.

Los fusibles empleados en instalaciones domiciliarias son básicamente de dos tipos: tapón o cartucho. En los fusibles tipo tapón (figura 15-53), el elemento metálico está encerrado en una base roscada dotada de una ventanilla transparente. Esta última permite observar la condición del fusible y evita que el metal se disperse cuando la tira se funde. Se montan,

directamente o mediante adaptadores, en portafusibles especiales y son desechables, es decir deben reemplazarse totalmente cuando se funden. Vienen para corrientes nominales de 15A, 20A, 25A y 30A.

Los fusibles tipo cartucho (figura 15-54) se ofrecen en dos versiones: de contacto por casquillo o férula y de contacto por cuchillas o navajas. Los primeros se fabrican con capacidades de corriente de 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 y 60A. Los fusibles de cuchillas, empleados principalmente en instalaciones industriales, vienen para capacidades de 75, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 400, 450, 500 y 600A. En ambos casos, los elementos fusibles pueden ser renovables o no, dependiendo del tipo utilizado.

**Breakers**

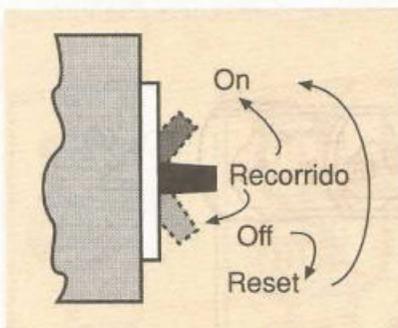
Los *breakers* (figura 15-55), también denominados disyuntores o interruptores termomagnéticos, son dispositivos diseñados para permitir la conexión y desconexión manual de un circuito cuando la corriente a través del mismo está dentro de los límites permisibles, y desconectarlo automáticamente, sin destruirse, cuando ésta supera un valor predeterminado. Por tanto, combinan en una misma estructu-

ra las funciones de un interruptor y de un dispositivo de sobrecorriente. En otras palabras, un breaker es un interruptor que se abre automáticamente en caso de una sobrecarga.

Un *breaker* está formado internamente por una lámina bimetálica, cuidadosamente calibrada, que se calienta por efecto del paso de la corriente. Cuando esta última llega a su valor límite, la lámina se dobla lo suficiente para liberar un mecanismo que abre los contactos, interrumpiendo el circuito de la misma forma como lo haría un fusible o un interruptor. En adición a la lámina bimetálica operada por calor, la mayoría de breakers incluyen un circuito magnético que abre instantáneamente el sistema en caso de un cortocircuito. También se dispone de breakers electrónicos cuyas condiciones de disparo (corriente, tiempo, etc.) pueden ser ajustadas o programadas por el usuario.

Los *breakers*, al igual que los fusibles y los interruptores, se especifican por su capacidad nominal de corriente en amperios. En las instalaciones residenciales se utilizan principalmente *breakers* de uno o dos polos, con capacidades desde 15A hasta 70A. La mayoría de estos dispositivos pueden tolerar sobrecargas hasta del 50% durante un minuto, del 100% durante unos 20 segundos y del 200% durante unos 5 segundos. También se dispone de *breakers* tripolares, tetrapolares, etc., para aplicaciones industriales, capaces de manejar corrientes hasta de 600A o superiores.

Los *breakers* ofrecen varias ventajas notables con respecto a los fusibles. Por ejemplo, cuando un fusible se funde, este tiene que ser necesariamente reemplazado por otro. Sin



**Figura 15-56. Restauración de un breaker**

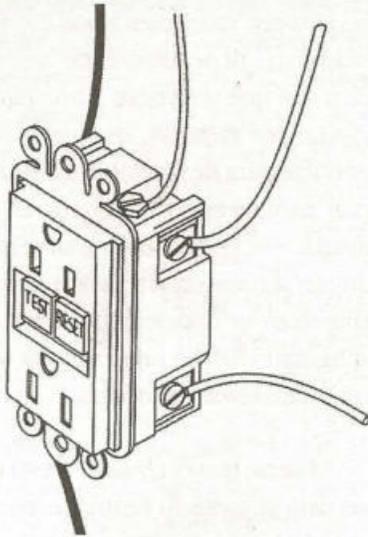


Figura 15-57. Interruptor diferencial o GFCI

embargo, no siempre se dispone de fusibles de repuesto a la mano. Los *breakers*, por su parte, pueden ser restablecidos a sus condiciones originales desplazando la palanca de accionamiento más allá de su posición de OFF y llevándola entonces a su posición de ON (figura 15-56).

Además, los *breakers* pueden soportar grandes corrientes de sobrecarga en forma momentánea sin dispararse. Esto se debe a que incorporan un mecanismo de retardo que actúa cuando la sobrecarga se mantiene durante un tiempo considera-

ble. Esto evita la necesidad de estar cambiando de fusibles cada vez que, por ejemplo, se arranca un motor. Por estas y otras razones, los *breakers* son preferidos sobre los fusibles para la protección de instalaciones eléctricas.

### Interruptores diferenciales (GFCIs)

Los interruptores diferenciales o GFCIs (figura 15-57) son *breakers* de construcción especial que protegen las personas y los circuitos derivados de una instalación eléctrica en caso de contactos directos o indirectos, desconectándose automáticamente cuando

detectan una corriente de defecto superior a un valor especificado. Esta última puede ser tan baja como 4 mA, indetectable por un *breaker* convencional. La desconexión se realiza en menos de 1/40 de segundo.

En la figura 15-58 se ilustra el principio de un GFCI. La corriente de defecto ( $I_D$ ) es la diferencia entre la corriente que entra a la instalación por la fase ( $I_{IN}$ ) y la corriente que sale de la misma por el neutro ( $I_{OUT}$ ). En condiciones normales, esta corriente es igual a cero. Cualquier variación indica que parte de la corriente de entra-

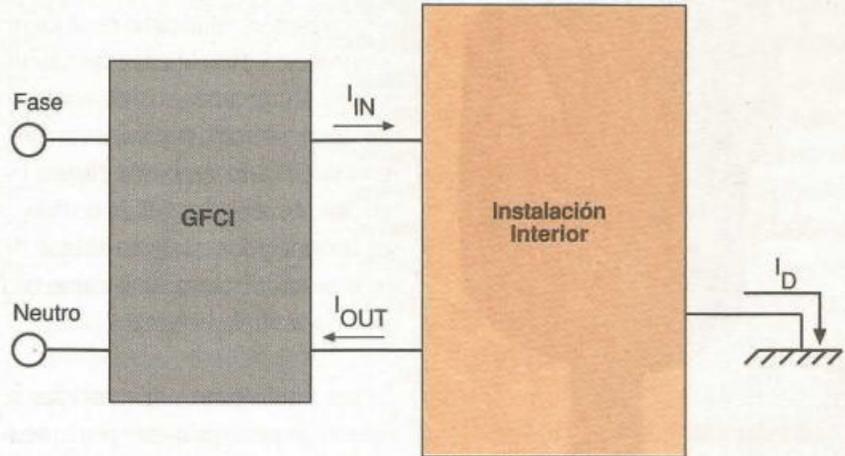


Figura 15-58. Principio de un GFCI

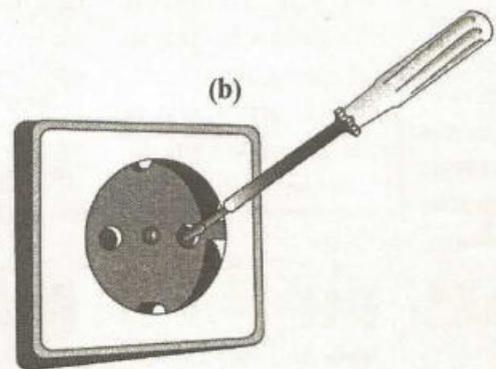
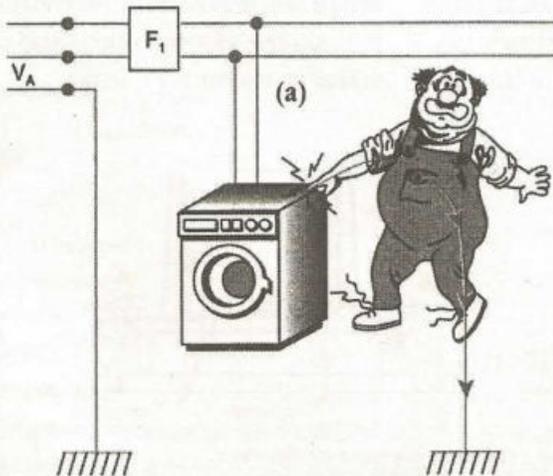


Figura 15-59. Causas de disparo de un GFCI  
(a) Contacto indirecto (b) Contacto directo



**Figura 15-60. Clavija con protección GFCI**

da se está derivando a tierra, creando una situación riesgosa. Este es el tipo de fallas que detecta un GFCI y provocan su disparo. Los GFCIs no pueden evitar que una persona reciba un choque eléctrico, pero si minimiza la duración y los efectos de este último.

Un GFCI puede dispararse, por ejemplo, al tocar accidentalmente partes metálicas "vivas" (contacto indirecto) o realizar un cortocircuito entre una fase y tierra (contacto directo). Estas dos situaciones se ilustran en la figura 15-59. Un GFCI puede también dispararse debido a que el neutro y la fase están intercambiados, hay una interrupción en el conductor de tierra, la porción protegida del circuito es excesivamente larga o se presenta deterioro en el aislamiento de los conductores como resultado del envejecimiento, el calor y otros factores.

Las normas exigen la utilización de GFCIs para proteger todos los tomacorrientes exteriores de una vivienda, así como los que sirven los baños, la piscina, parte del garage y otras áreas

de riesgo. También es mandatorio el uso de protección GFCI para las salidas temporales empleadas en sitios de construcción. Para líneas e instalaciones no aterrizadas existen tomacorrientes, multitomas y clavijas con protección GFCI incorporada (figura 15-60). No obstante, los GFCIs no deben ser considerados como sustitutos de los sistemas de tierra, sino como una protección suplementaria.

Los interruptores diferenciales se especifican principalmente por su **sensibilidad**, definida como la mínima corriente de defecto que puede producir su disparo. Son típicas sensibilidades de 10 mA y de 30 mA. Además de la sensibilidad deben también especificarse la tensión y la corriente nominales, por ejemplo 25A/220V. Estas últimas deben ser adecuadas a las características de la salida o el circuito bajo protección. Para la verificación regular del funcionamiento del mecanismo de disparo, todos los GFCIs incluyen un botón de prueba (TEST) y uno de restauración (RESET).

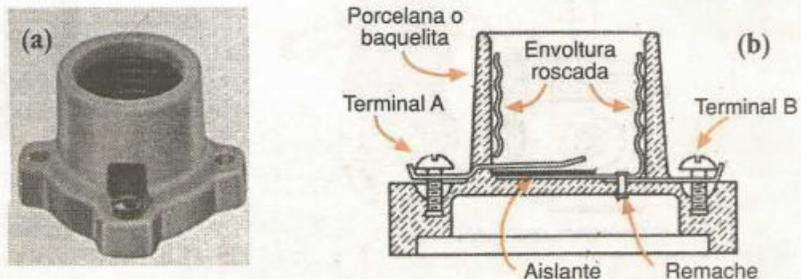
**Portalámparas**

Sin lugar a dudas, uno de los dispositivos eléctricos más comunes es la lámpara incandescente. Este tipo de lámparas, cuyo funcionamiento y características se explican en la próxima sección, operan sobre bases o *sockets* especiales llamados portalámpa-

ras. Existen diferentes tipos de portalámparas dependiendo de las aplicaciones que se tengan. En la figura 15-61a, por ejemplo, se muestra un portalámpara de fijación a madera el cual, aunque es poco utilizado en las instalaciones profesionales, sirve para ilustrar algunas características importantes de este tipo de dispositivos. En la figura 15-61b se presenta una sección transversal del mismo.

Observe que el terminal A está conectado al contacto central, mientras que el B lo está al contacto roscado externo (cuidadosamente aislado del contacto central y del terminal A). Cuando la lámpara se instala en un portalámpara de este tipo, la corriente entra por el terminal A, fluye a través del filamento y sale por el terminal B. La forma rosca es generalmente de lámina de bronce y se encuentra contenida en un elemento aislante de baquelita o porcelana. Este conjunto constituye el portalámpara propiamente dicho.

En la figura 15-62 se muestran otros tipos de portalámparas para lámparas incandescentes cuyo uso es más común en las instalaciones eléctricas que los anteriormente descritos. Algunos de estos modelos, como los mostrados en las figuras (a) y (b) incorporan una cadena u otro dispositivo de encendido y apagado que elimina la necesidad de utilizar un interruptor externo.



**Figura 61. Portalámpara de fijación**  
(a) Aspecto físico. (b) Sección transversal.



**Figura 15-62. Otros tipos de portalámparas**

Los portalámparas con interruptor de cadena incorporado se utilizan principalmente en pasillos, guardarropas, sótanos, áticos, sótanos y otros espacios utilizados para almacenamiento. No se recomiendan para baños y otras áreas húmedas debido a la naturaleza metálica de la cadena.

## Lámparas

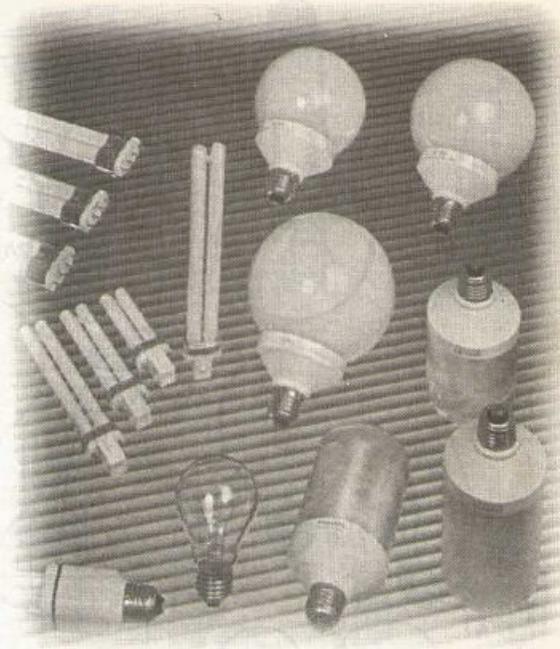
Las lámparas (figura 15-63) son dispositivos que convierten energía eléctrica en luz utilizando diversos principios físicos. En general, las lámparas empleadas como elementos de iluminación en instalaciones eléctricas se clasifican en dos categorías: incandescentes y de descarga gaseosa. Al primer grupo pertenecen, por ejemplo, las lámparas incandescentes y halógenas, y al segundo las lámparas fluorescentes, de vapor de mercurio y de neón. En este capítulo nos referiremos principalmente a las tres primeras (incandescentes, halógenas y fluorescentes)

Las lámparas incandescentes se utilizan principalmente para alumbrado interior (casas de habitación, oficinas, negocios, etc.). Sus principales ventajas son la facilidad de utilización y su bajo costo. Además, ocupan poco espacio y no tienen limitaciones en cuanto a su posición de funcionamiento. Sin embargo, su eficiencia es baja en comparación con otros tipos de lámparas debido a que la mayor parte de la energía eléctrica entregada se convierte en calor.

Las lámparas halógenas se utilizan principalmente como faros y proyectores para la iluminación de monumentos, campos deportivos, escenas cinematográficas o de televisión y otras aplicaciones que requieren altos niveles de luz. Son más eficientes que las lámparas incandescentes convencionales, ocupan mucho menos espacio y tienen una mayor vida útil. Sin embargo son más costosas y requieren de transformadores especiales para operar.

Las lámparas fluorescentes se utilizan principalmente en la iluminación de oficinas, negocios e industrias, así como algunas aplicaciones especiales en hoteles, centros comerciales, hospitales, etc. Son más eficientes que las lámparas incandescentes y no tienen restricciones en cuanto a la posición de operación. Sin embargo, necesitan elementos auxiliares para el encendido, son más costosas y requieren de mayor espacio para su instalación.

Independientemente de su tecnología, la función primaria de una lámpara es iluminar. Una buena iluminación es



**Figura 15-63. Lámparas**

importante en muchos sentidos. Por ejemplo, contribuye al confort personal, reduce la fatiga, mejora la eficiencia y permite crear diferentes ambientes en un interior. Además, promueve la seguridad, previniendo accidentes frecuentemente causado por una visibilidad deficiente, y sirve para atraer la atención hacia un objeto o un sitio definidos. Los conceptos básicos relacionados con la ingeniería de iluminación se tratan en uno de los capítulos finales de este curso.



**Figura 15-64. Estructura de una lámpara incandescente**

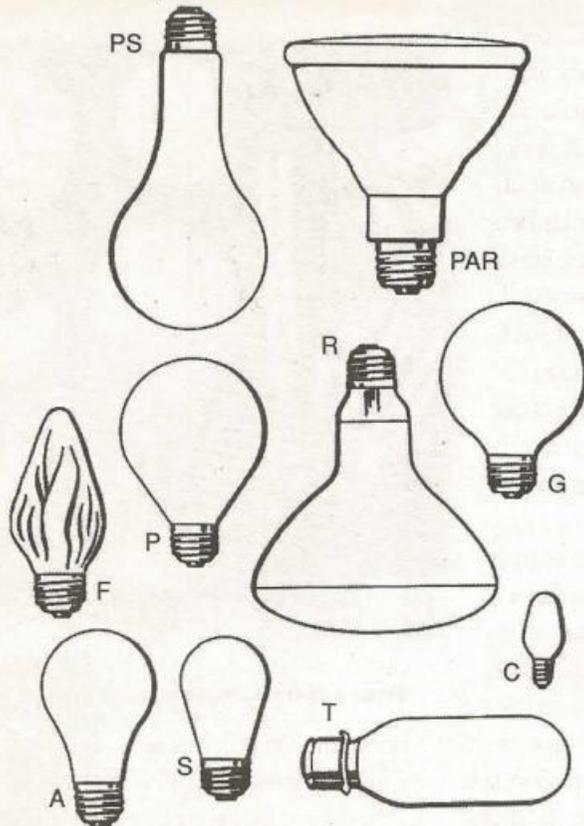


Figura 15-65. Formas estandarizadas de lámparas incandescentes

**Lámparas incandescentes**

Las lámparas incandescentes (figura 15-64) se basan en la propiedad que tienen algunos materiales de emitir luz cuando se eleva su temperatura interna. Independientemente de su forma o tamaño, todas las lámparas incandescentes constan

de una ampolla de vidrio y un filamento espiral de tungsteno o wolframio. Cuando circula corriente a través del filamento, éste se calienta hasta su punto de incandescencia (entre 2,500°C y 3,000°C), emitiendo luz. Con el fin de prolongar la vida útil del filamento, en la ampolla se realiza el vacío antes de sellarla y se llena con un gas inerte (argón, criptón, etc).

Las ampollas o bulbos de las lámparas incandescentes se fabrican en una gran variedad de estilos (figura 15-65). Para designar la forma y el tamaño de la ampolla se utilizan

una o más letras seguidas de un número. Este último indica el diámetro máximo en octavos de pulgada y la letra (S, F, G, T, A, etc.) la forma. Por ejemplo, la designación A-21 se refiere a un bulbo común (A) con un diámetro de 21/8", es decir 2 5/8".

Las bases o casquillos, que conectan el filamento y proporcionan el medio de conexión de la lámpara con el portalámpara o *socket*, vienen también en tamaños y formas estandarizadas (figura 15-66), dependiendo de la potencia, el tamaño físico y el propósito de la lámpara. El casquillo roscado miniatura, por ejemplo, se encuentra en pilotos y luces de linterna, el tipo candelabro en lámparas decorativas y luces pilotos grandes, el casquillo estándar o medio en lámparas de propósito general hasta de 300W y el casquillo goliath en lámparas hasta de 1500W.

Algunas lámparas, en lugar del tradicional casquillo roscado, utilizan un casquillo tipo bayoneta. Para instalar esta clase de lámparas, las patas del casquillo debe inicialmente alinearse con las muescas o ranuras del portalámpara. A continuación, se oprime la lámpara y se gira en el sentido de las agujas del reloj hasta que se traben. En general, todas las lámparas de servicio general estándares están equipadas con bases roscadas

Los filamentos (figura 15-67), que son los elementos productores de luz

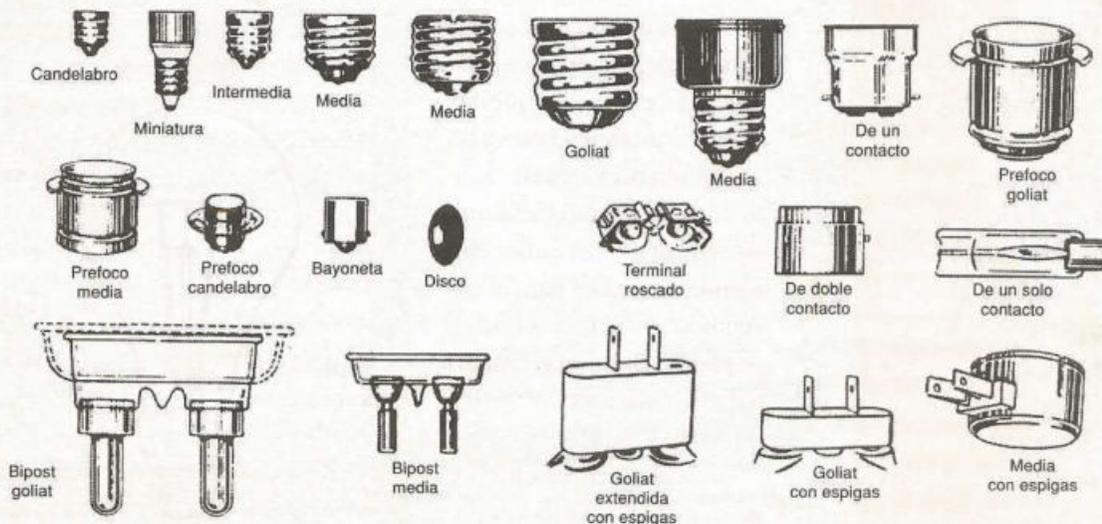


Figura 15-66. Tipos de bases o casquillos para lámparas incandescentes

en las lámparas, se designan generalmente por una letra o letras que indican si el alambre es recto (S), bobinado (C, CC) o en forma de cinta (R); un número (2, 5, 17, etc.) que especifica la forma general del filamento y algunas otra letra o números que indica la disposición de los soportes. Actualmente, la mayoría de lámparas utilizan filamentos bobinados debido a que son mecánicamente más fuertes y producen menos pérdidas por calor que los rectos.

Las lámparas incandescentes se especifican principalmente por su potencia nominal y la cantidad de luz que producen. Este último parámetro se denomina técnicamente **flujo luminoso** y se mide en lumens (lm). Para trabajos normales de iluminación se consiguen lámparas incandescentes con potencias nominales desde 25W hasta 1,000W. Una lámpara de 100 W, por ejemplo, produce un flujo luminoso de aproximadamente 1,000 lm. La tabla siguiente relaciona el flujo luminoso asociado a lámparas incandescentes estándares de varias potencias.

Potencia (W)	Vida (hr)	Flujo (lm)	Eficiencia (W/lm)
25	2500	235	9.5
40	1500	455	11.6
60	1000	870	14.5
75	750	1190	15.9
100	750	1750	17.5
150	750	2880	19.2
200	750	4010	20.0
300	750	6360	21.2
500	1000	10850	21.7

Características de lámparas incandescentes

La relación entre el flujo luminoso y la potencia nominal se denomina **eficiencia luminosa** y se

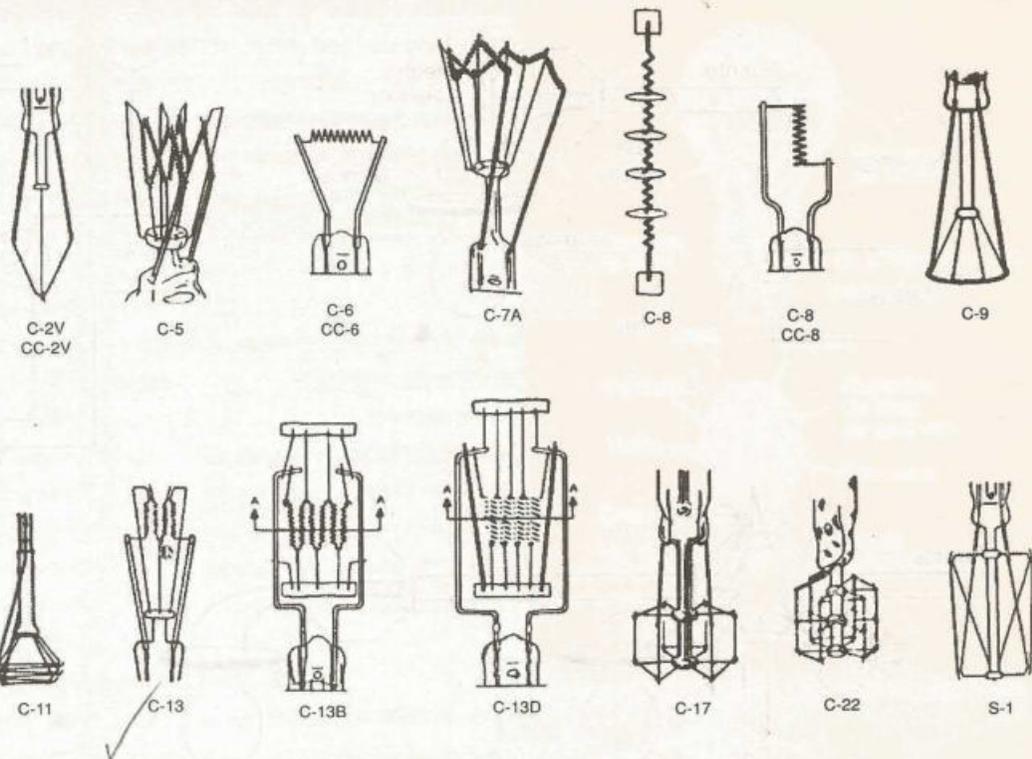


Figura 16-67. Formas típicas de filamentos incandescentes

mide en lumens por vatio (lm/W). Puesto que la eficiencia aumenta a medida que lo hace la potencia, es mejor utilizar una sola lámpara en lugar de varias pequeñas para producir la misma cantidad de luz. Por ejemplo, una lámpara de 150W produce aproximadamente la misma cantidad de luz (2880 lm) que doce (12) lámparas de 25W. Otras especificaciones importantes de las lámparas incandescentes son la vida media útil y el voltaje nominal.

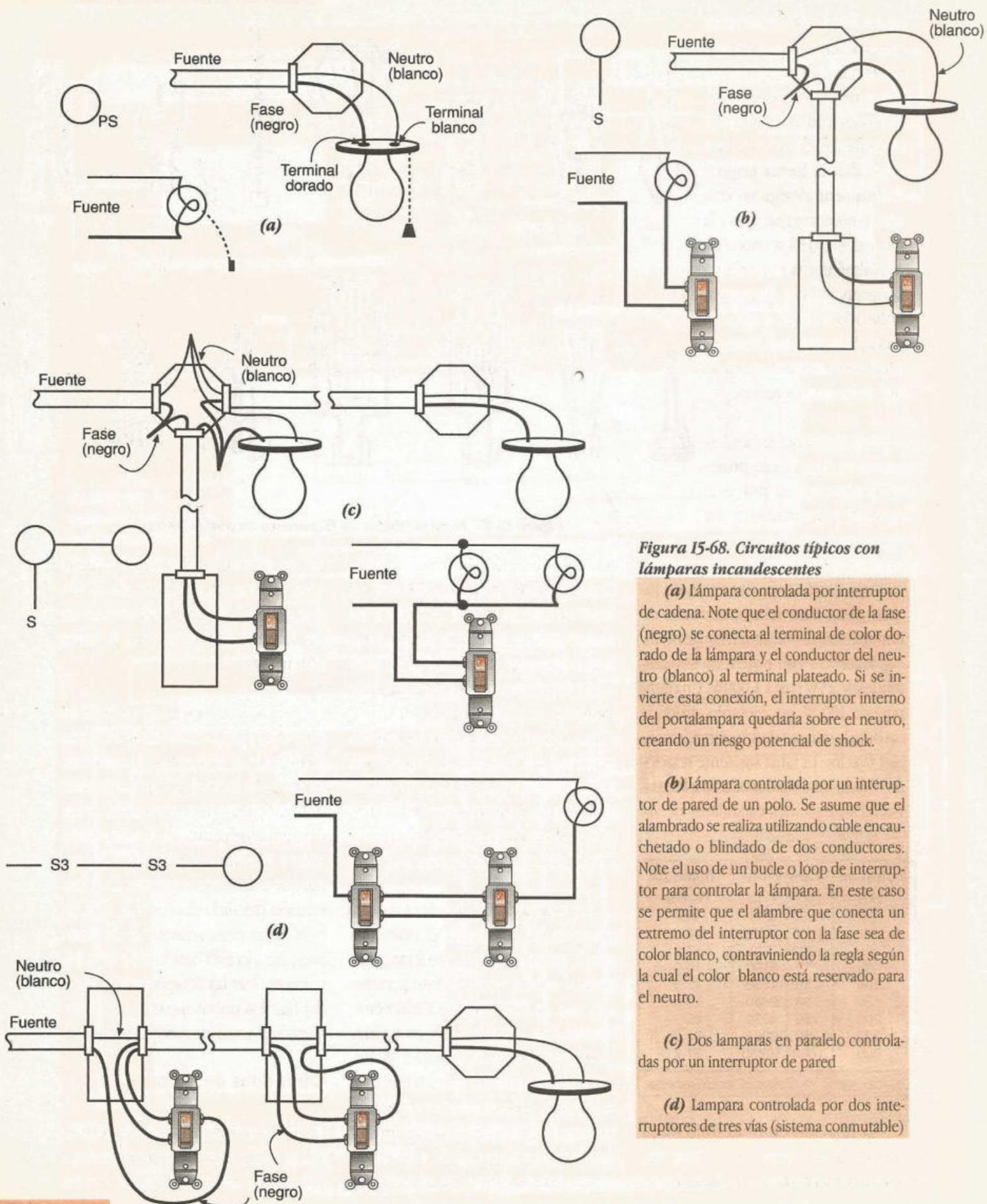
La vida media útil se refiere al tiempo estimado que tarda el filamento para fundirse trabajando en forma continua al voltaje nominal. Este parámetro, que se encuentra generalmente impreso en el cartón de empaque, puede variar desde 750 hasta 2500 horas dependiendo del tipo y tamaño de la lámpara. Técnicamente se puede conseguir prolongar la vida útil de una lámpara operándola a un voltaje por debajo del nominal (utilizan-

do un dimmer por ejemplo), pero esto implica un sacrificio de la eficiencia, es decir una disminución de los lumens por vatio que pueden obtenerse.

Para finalizar, en la figura 15-68 se muestran algunos circuitos básicos con lámparas incandescentes. En cada caso se indica la simbología normalmente utilizada para su representación en los diagramas de planta, el esquema eléctrico y el diagrama pictórico. Se asume que el montaje mecánico de la instalación (tendido del conduit, colocación de las cajas, arrastre de los alambres, etc.) ya está concluido y sólo falta (a) realizar las conexiones finales y (b) fijar los portalámparas y los interruptores en sus respectivas cajas.

### Otros tipos de lámpara incandescentes

Las lámparas incandescentes se clasifican en varios tipos dependiendo de su aplicación. Las más comunes son las



**Figura 15-68. Circuitos típicos con lámparas incandescentes**

(a) Lámpara controlada por interruptor de cadena. Note que el conductor de la fase (negro) se conecta al terminal de color dorado de la lámpara y el conductor del neutro (blanco) al terminal plateado. Si se invierte esta conexión, el interruptor interno del portalámpara quedaría sobre el neutro, creando un riesgo potencial de shock.

(b) Lámpara controlada por un interruptor de pared de un polo. Se asume que el alambrado se realiza utilizando cable encauchado o blindado de dos conductores. Note el uso de un bucle o loop de interruptor para controlar la lámpara. En este caso se permite que el alambre que conecta un extremo del interruptor con la fase sea de color blanco, contraviniendo la regla según la cual el color blanco está reservado para el neutro.

(c) Dos lámparas en paralelo controladas por un interruptor de pared

(d) Lámpara controlada por dos interruptores de tres vías (sistema conmutable)

de servicio general, diseñadas para operar a 120V. Existen también lámparas de alto voltaje que operan a 220V y otras para propósitos especiales como las de tres intensidades, las de destellos, las halógenas, los tubos para iluminación de vitrinas (Luminiline), los reflectores, los proyectores, etc. Por ahora nos referiremos a las lámparas de tres intensidades y a las de destellos.

Las lámparas de tres intensidades (figura 15-69a) utilizan dos filamentos separados, lo cual les permite producir tres flujos luminosos distintos (digamos 50W, 100W y 150W). Las lámparas de destellos (figura 15-69b), por su parte, utilizan una ampolla con oxígeno puro y delgadas tiras de magnesio o aluminio en su interior. Al circular corriente a través del filamento, éste se quema casi instantáneamente, produciendo una chispa que al interactuar con el magnesio o el aluminio causa la emisión de un destello de luz potente pero muy corto. Su principal aplicación es en el campo de la fotografía.

## Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes (figura 15-70) generan energía luminosa como resultado del paso de una corriente a través de un gas. Típicamente consisten de un tubo cilíndrico de vidrio que contiene en su interior una pequeña cantidad de mercurio y de gas inerte, usualmente argón o criptón, o una mezcla de argón y neón. Las paredes internas del tubo están recubiertas de un polvo llamado fósforo y en cada uno de sus extremos poseen un pequeño filamento llamado cátodo.

En la figura 15-71 se ilustra el principio de funcionamiento de una lámpara fluorescente. Al fluir una corriente eléctrica a través de la mezcla de gas contenida en el interior del tubo se excitan los átomos de

la gota de mercurio, liberando energía en forma de luz ultravioleta. Esta luz es invisible al ojo humano, pero cuando incide sobre la superficie de fósforo provoca que este brille, emitiendo luz visible.

Las lámparas fluorescentes presentan cierta complejidad en su conexión debido a que no se pueden conectar directamente a la fuente primaria de suministro de energía. Para trabajar adecuadamente necesitan de un equipo auxiliar constituido por dos elementos: una bobina llamada reactancia o **balasto** y un interruptor automático llamado arrancador o **starter**. En la figura 15-72(a) y (b) se muestra la forma como deben interconectarse estos elementos para formar un circuito de iluminación fluorescente operativo.

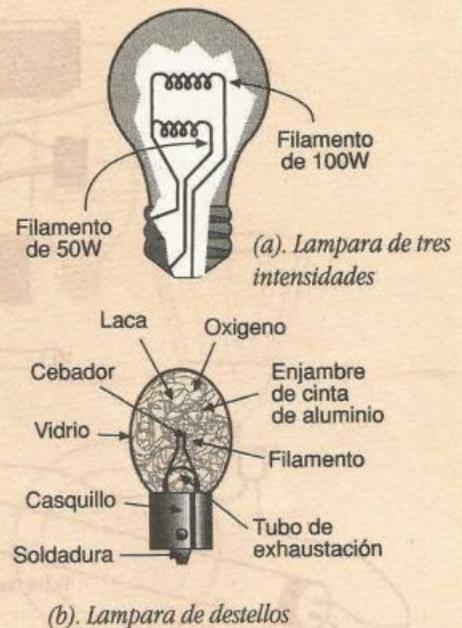


Figura 15-69. Otras lámparas incandescentes

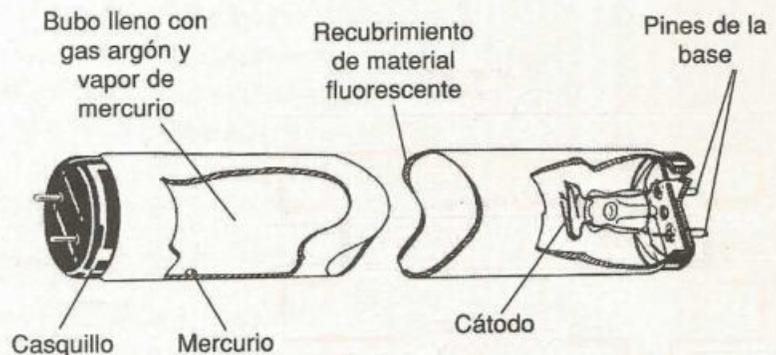


Figura 15-70. Estructura interna de una lámpara fluorescente

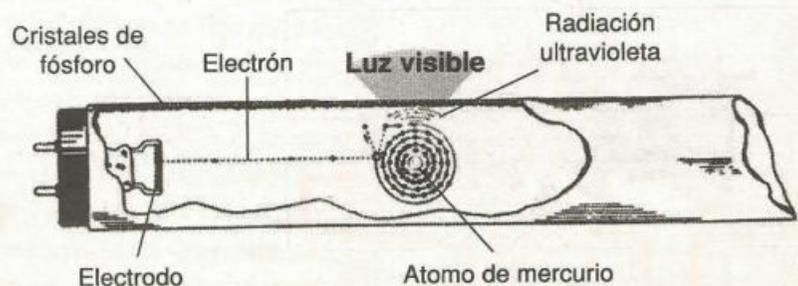
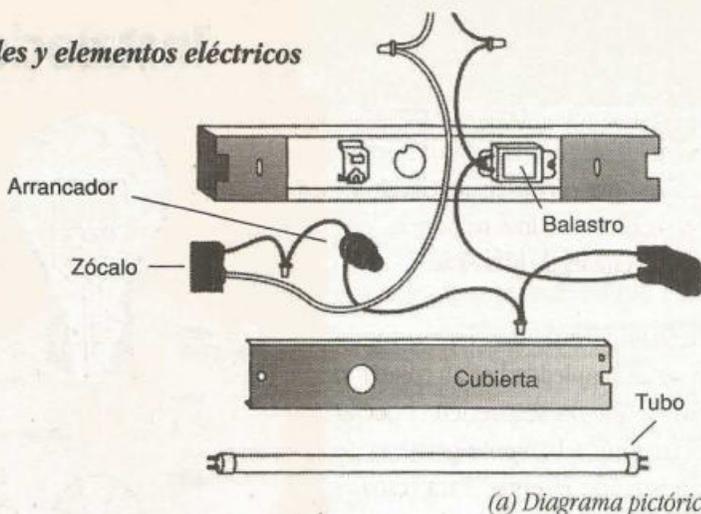
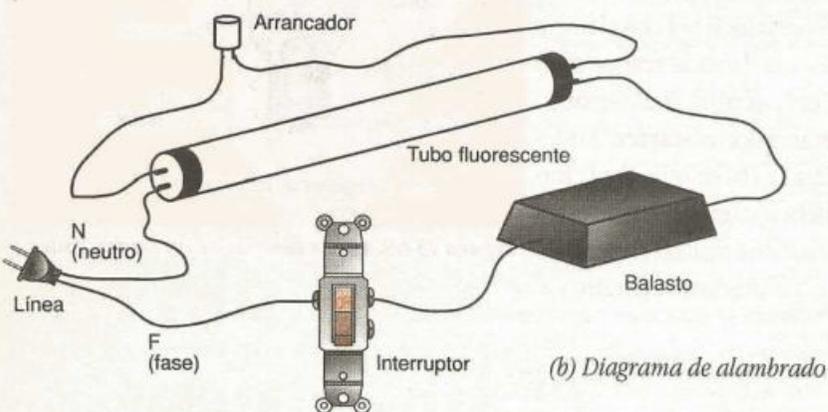


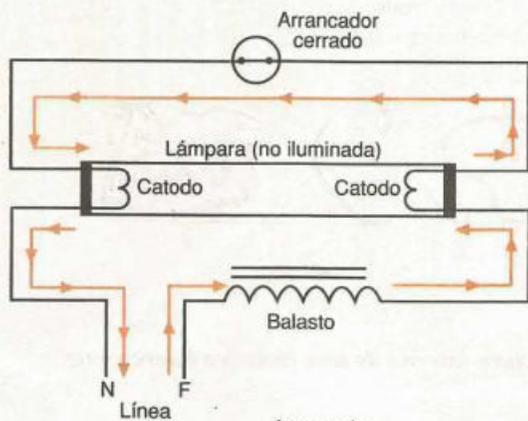
Figura 15-71. Principio de funcionamiento de una lámpara fluorescente



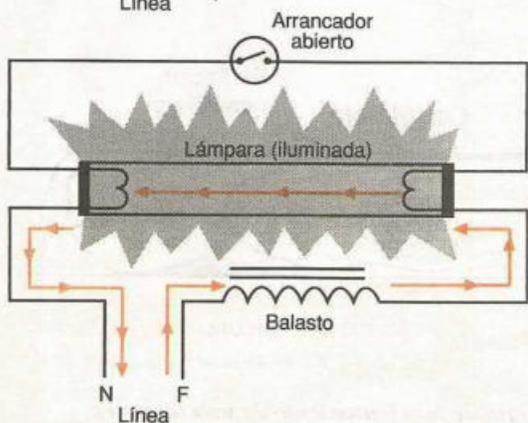
(a) Diagrama pictórico



(b) Diagrama de alambrado



(c) Flujo de corriente en el instante de arranque



(d) Flujo de corriente después del arranque

Figura 15-72. Circuito básico de una lámpara fluorescente

Veamos como funciona este sistema. En el momento de conectar el circuito a la fuente de alimentación (figura 15-72c), el arrancador o starter está cerrado y la corriente fluye desde el extremo derecho (fase, F) de la línea hasta el izquierdo (neutro, N), atravesando el balastro, el cátodo derecho, el starter y el cátodo izquierdo. Durante este período, la lámpara prende en cada extremo, pero no ilumina. Unos instantes después, el starter se abre, bloqueando el paso de la corriente. En respuesta a este cambio, el balastro produce un voltaje suficientemente alto como para impulsar una corriente a través del tubo (figura 15-27c) y provocar la emisión de luz.

Para que la corriente pueda saltar de un extremo al otro del tubo, constituyendo lo que se denomina un **arco eléctrico**, los filamentos o cátodos están recubiertos con una sustancia química que emite electrones cuando se calienta. Estos electrones viajan a través del gas argón contenido dentro del tubo, calentándolo y vaporizando el mercurio. Este último, que es un elemento metálico, se convierte así en el eslabón que cierra el circuito y permite la circulación de una corriente a través de la lámpara y el balastro.

Las lámparas fluorescentes vienen generalmente en forma de tubos rectos (figura 15-73), aunque también se dispone de lámparas circulares o dobladas en forma de U y otras configuraciones especiales. Las lámparas rectas y en forma de U pueden ser de arranque por precalentamiento, de arranque rápido o de arranque instantáneo, mientras que las circulares o *circline* son siempre de arranque rápido.

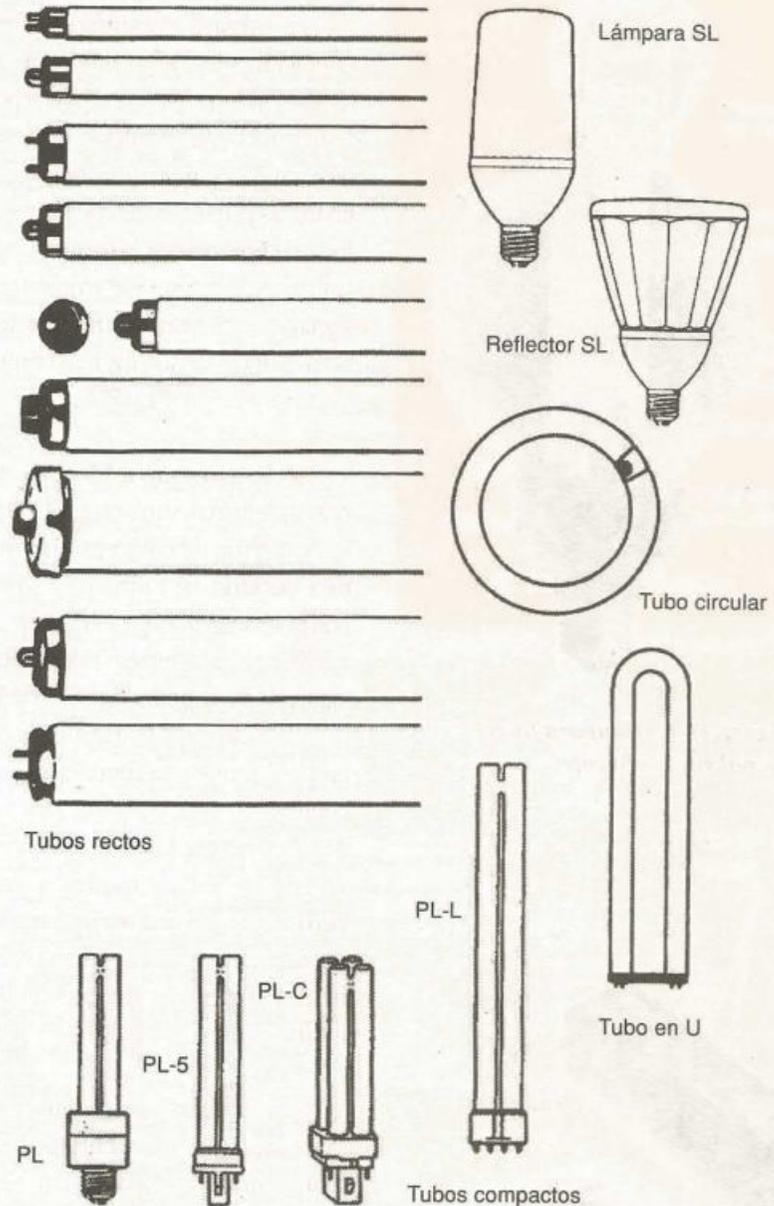
Las lámparas de arranque por precalentamiento, también denomi-

nadas *tubos de cátodo caliente*, utilizan un starter para proporcionar un flujo de corriente momentáneo a través de los filamentos con el fin de calentarlos y hacer posible la emisión de electrones. Uno de los inconvenientes de este tipo de lámparas es el intervalo de tiempo necesario para el precalentamiento, pero el mismo es compensado por los significativos ahorros que se consiguen en el diseño del balasto y la prolongación de la vida útil de la lámpara.

Las lámparas de arranque instantáneo, también denominadas *tubos slimline o de cátodo frío*, fueron desarrolladas con el fin de superar la lentitud del precalentamiento y eliminar la necesidad de un starter. El arranque instantáneo se implementa mediante el uso de un balasto especialmente diseñado que entrega un voltaje alto durante el arranque (de 450 a 600V) y un voltaje bajo durante la operación normal. Debido a que no se necesita precalentamiento, este tipo de lámparas traen los filamentos cortocircuitados internamente y, por lo mismo, solamente requieren un pin en cada extremo. Un tipo especial de lámparas de arranque instantáneo son los tubos fluorescentes empleados en anuncios para formar letras y otros patrones luminosos.

Las lámparas de arranque rápido, que son actualmente las más utilizadas en sistemas de iluminación, retienen las ventajas del arranque por precalentamiento, haciéndolo más suave, mientras eliminan la necesidad de un starter. El arranque rápido se implementa mediante una bobina de calentamiento de 3.5V incorporada en el balasto, con lo cual se consigue que la lámpara ilumine casi tan rápidamente como una lámpara de arranque instantáneo.

Un tipo especial de lámparas de arranque rápido son los tubos *all-*



**Figura 15-73. Formas y tamaños típicos de lámparas fluorescentes**

*weather*, los cuales utilizan una chaqueta colocada alrededor del exterior de la lámpara para mantener constante la temperatura del bulbo y ayudar a proporcionar una salida razonable de luz bajo diferentes climas, especialmente en invierno. En general, las lámparas fluorescentes comunes operan más eficientemente a temperaturas ambiente entre 21°C y 27°C, a las cuales la temperatura del tubo mismo está entre 100°F (38°C) y 120°F (49°C).

También se dispone de lámparas fluorescentes de precalentamiento, arranque rápido, las cuales pueden ser utilizadas tanto en sistemas diseñados para lámparas de precalentamiento (con starter), como en sistemas diseñados para lámparas de arranque rápido (sin starter). Actualmente son también muy populares las lámparas fluorescentes compactas de balasto electrónico (figura 15-74), diseñadas para reemplazar directamente lámparas incandescentes.

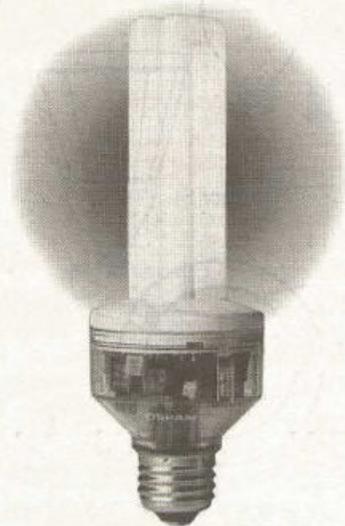


Figura 15-74. Lámpara fluorescente de balasto electrónico

Los balastos electrónicos ofrecen operación silenciosa, producen ahorros considerables de energía y no interfieren con la recepción de señales de radio o de televisión mientras las lámparas estén alejadas de los respectivos receptores por lo menos 1 m. Las lámparas de balasto electrónico se designan de acuerdo a su forma y tamaño por tipos, siendo los más comunes los tipos SL, SLS, PL y PLC.

Las lámparas tipos SL y SLS incorporan dentro de una cápsula de policarbonato un tubo fluorescente miniatura doblado en forma de S. Vienen con potencias nominales de 15W, 20W y 23W, y se caracterizan por su alta eficiencia. Una lámpara tipo SLS de 15W, por ejemplo, produce la misma cantidad de luz que una lámpara incandescente de 60W y consume apenas el 25% de energía. Las lámparas tipos PL y PLC ofrecen las mismas ventajas, pero vienen en una mayor diversidad de ventajas y tamaños. Además, duran hasta 13 veces más que el equivalente incandescente.

Las lámparas fluorescentes se especifican principalmente por su tamaño, su potencia nominal y el color de luz que producen. Estos datos están generalmente marcados en el propio tubo. Los tubos circulares, por ejemplo, se ofrecen en cuatro diámetros estándares: 6<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" (20W), 8<sup>1</sup>/<sub>4</sub>" (22W), 12" (32W) y 16" (40W). Los tubos rectos, por su parte, vienen en varias longitudes, siendo las más comunes 18" (15W), 24" (20W), 36" (30W) y 48" (40W). La tabla siguiente relaciona las principales características de esos tamaños.

Las lámparas de arranque por precalentamiento se fabrican generalmen-

Características de lámparas fluorescentes comunes de color blanco frío			
Designación (T-)	Longitud Pulgadas	Potencia (vatios)	Flujo Lumens
T-8	18	15	870
T-12	24	20	1250
T-8	36	30	2200
T-12	48	40	3150

te para potencias nominales desde 4 hasta 100W, las de arranque instantáneo para potencias desde 4 hasta 75W y las de arranque rápido para potencias desde 30 hasta 215W. Las lámparas que combinan precalentamiento con arranque rápido son típicamente de 40W.

En todos los casos anteriores, la potencia nominal es la consumida por la lámpara misma y no incluye la consumida por el balasto. Esta última puede ser hasta el 33% de la potencia total en sistemas que utilizan lámparas pequeñas e inferior al 10% en sistemas de lámparas grandes.

El tipo de luz emitida por una lámpara fluorescente depende de las características físicas y químicas de la mezcla de fósforo utilizada para recubrir la pared interna del tubo. Los principales colores de las lámparas fluorescentes son el blanco frío (CW), el blanco frío de lujo (DCW), el blanco cálido (WW), el blanco cálido de lujo (DWW), el blanco (W) y el luz día (D).

Las diferencias entre uno y otro tipo tienen que ver con la proporción de rojo y azul presente en la luz emitida por cada lámpara. Las variedades "cálidas", por ejemplo, enfatizan el rojo y el amarillo (similar a las lámparas incandescentes), mientras que las variedades "frías" enfatizan el azul (similar a la luz exterior natural).

Las lámparas de color **blanco frío** (*cool white*) proporcionan un efecto

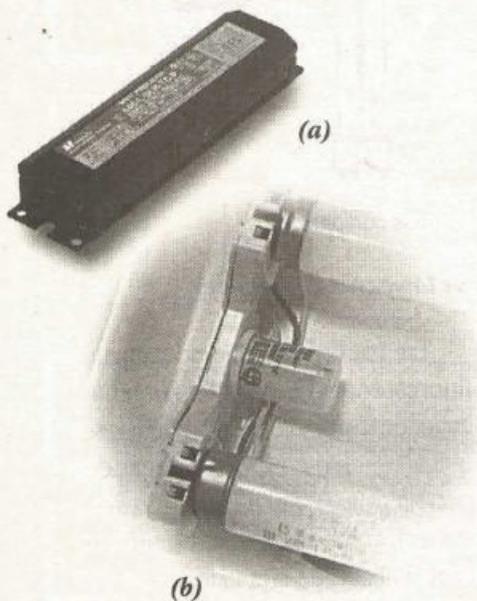


Figura 15-75. Dispositivos auxiliares de lámparas fluorescentes.

(a) Balasto reactancia. (b) Arrancador o starter instalado en una luminaria de dos tubos

de iluminación natural y son altamente eficientes. Por esta razón se utilizan ampliamente en oficinas, fábricas, escuelas, salas de dibujo, baños, locales comerciales y otras áreas donde se requiere crear una atmósfera de trabajo psicológicamente fría.

Las lámparas de color **blanco de lujo** (*deluxe cool white*) se utilizan para las mismas aplicaciones generales de las de color blanco frío, pero son menos eficientes. Se caracterizan por contener más rojo, con lo cual se enfatizan los tonos rosa de la piel y se favorece más la apariencia de las personas. También son muy empleadas en exhibidores de alimentos debido a que enfatizan la apariencia de los vegetales verdes, la carne molida, etc.

Las lámparas de color **blanco cálido** (*warm white*) proporcionan una iluminación muy similar a la de las lámparas incandescentes y se utilizan cuando se desea obtener una atmósfera social cálida. Proporcionan una apariencia aceptable a las personas, pero tienden a acentuar los rostros cetrinos (amarillentos). Además, enfatizan los tonos de color amarillo, naranja y canela, proporcionan una apariencia brillante a los rojos, hacen más cálidos los azules e imparten un tono blanco o gris amarillento a las superficies neutras.

Las lámparas de color **blanco cálido de lujo** (DWW: *deluxe warm white*) favorecen más el aspecto general de las personas que las de color blanco cálido e imparten un tinte colorado o bronceado a la piel, pero son aproximadamente 25% menos eficientes. Se recomiendan para aplicaciones domésticas o de ambiente social, y para uso comercial donde se consideran importantes los efectos de aparien-

cia de las personas y la mercancía.

Las lámparas de color **blanco** (*white*) se usan para aplicaciones generales de iluminación en oficinas, escuelas, almacenes y casas donde no son críticas una atmósfera de trabajo fría o una atmósfera social cálida. Enfatizan los tonos amarillos, verdes y naranjas. Sin embargo, son raramente utilizadas en la mayoría de aplicaciones prácticas.

Las lámparas color **luz día** (*daylight*) producen el más claro de todos los colores en lámparas fluorescentes. Se utilizan en áreas industriales y de trabajo donde se prefiere el color azul asociado con la luz de día real. También son muy empleadas en vitrinas y exhibidores. Mientras que hacen el azul y el verde más brillantes y claros, tienden a aclarar los tonos rojos, naranjas y amarillos. Por esta razón no deben utilizarse en áreas donde se realicen labores de selección de colores.

El tipo de blanco a utilizar depende de los efectos deseados. Las contrapartes "de lujo", por utilizar una segunda capa de fósforo, producen una mayor cantidad de rojos, con lo cual los colores aparecen más naturales, pero se sacrifica la eficiencia. También se dispone de lámparas fluorescentes coloreadas, utilizadas para conseguir efectos de color especiales en espectáculos, avisos, etc. Se caracterizan por su alta eficiencia. Una lámpara fluorescente verde, por ejemplo, produce cien veces más luz verde por vatio que una lámpara incandescente del mismo color.

### Dispositivos auxiliares

Las lámparas fluorescentes, como se mencionó anteriormente, necesitan de un equipo auxiliar formado por un balasto y un arrancador (*starter*) para operar adecuadamente (figura



**Figura 15-76. Bases para lámparas fluorescentes**

15-75). El balasto o reactancia, que es fundamentalmente una *bobina de choque* (un alambre bobinado sobre un núcleo de hierro), realiza las siguientes funciones:

- Transforma el voltaje de línea al voltaje de circuito abierto necesario para alimentar la lámpara
- Proporciona una cantidad específica de energía eléctrica para precalentar los filamentos, ya sea temporalmente como sucede en una lámpara de arranque por starter, o permanentemente, como sucede en una lámpara de arranque rápido.
- Suministra un pico controlado de alto voltaje para iniciar el arco a través del tubo en el caso de arranque por starter.
- Controla la corriente de la lámpara reduciendo el voltaje de circuito abierto con el fin de operar el tubo dentro de los límites de voltaje especificados por el fabricante.

El arrancador o starter, que es fundamentalmente un interruptor térmico

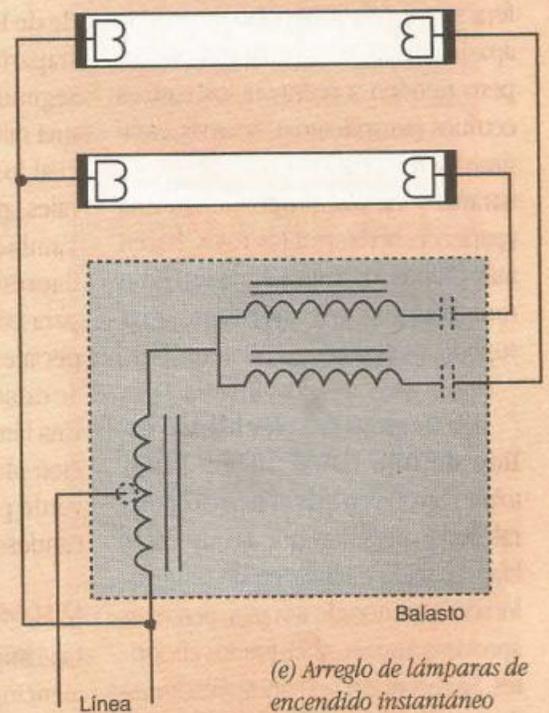
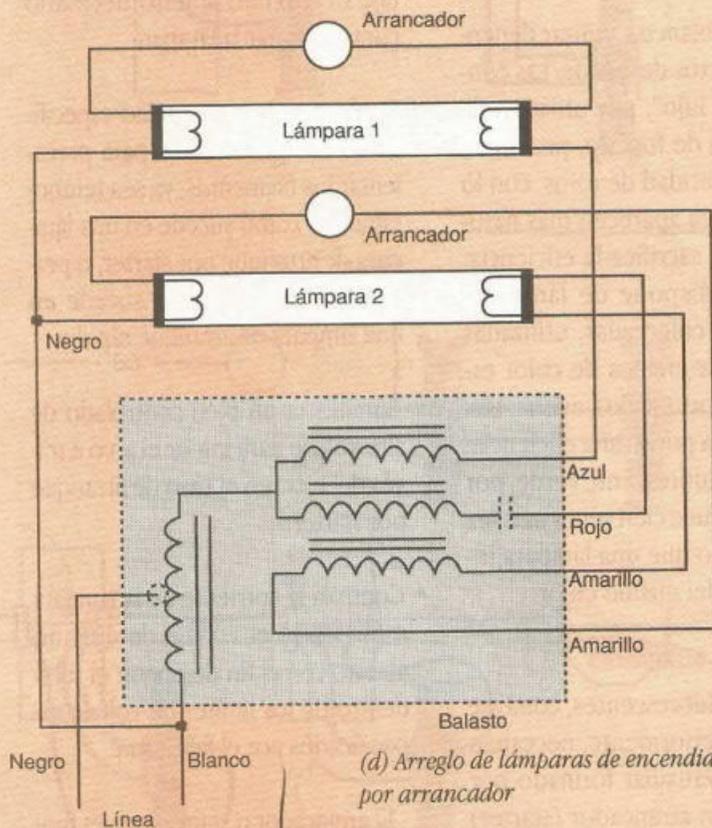
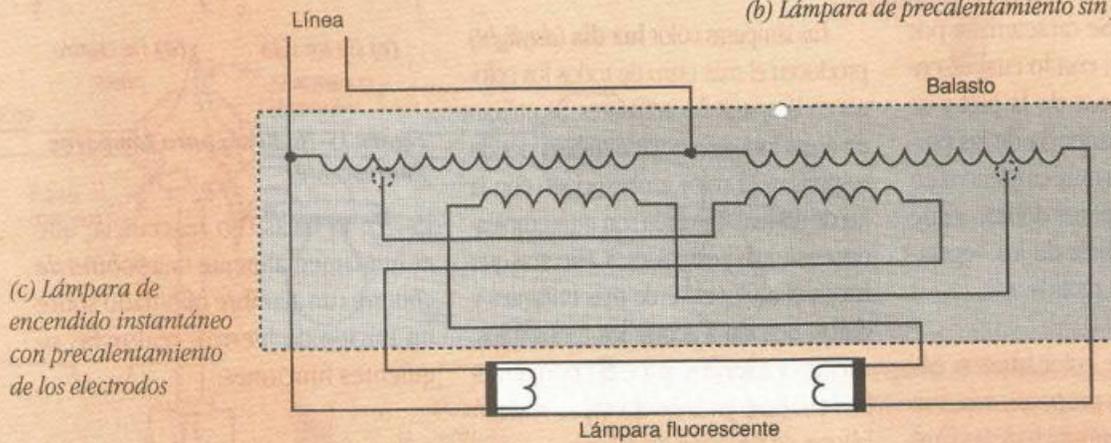
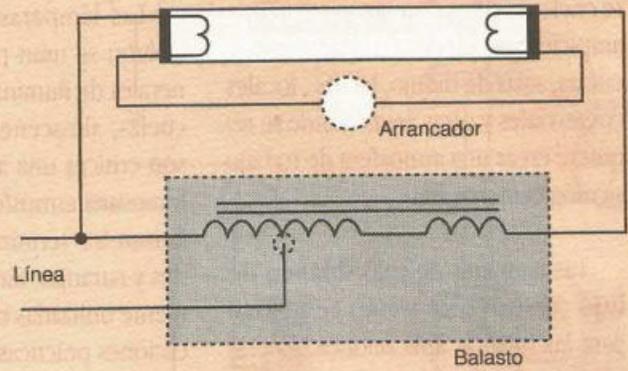
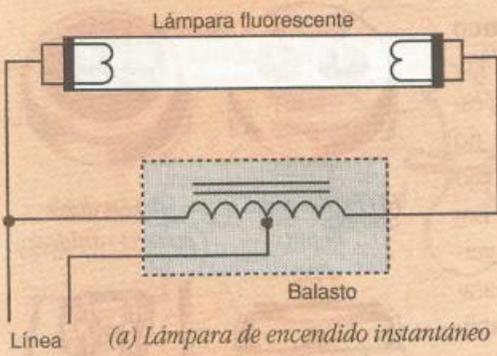


Figura 15-77. Métodos de conexión de lámparas fluorescentes

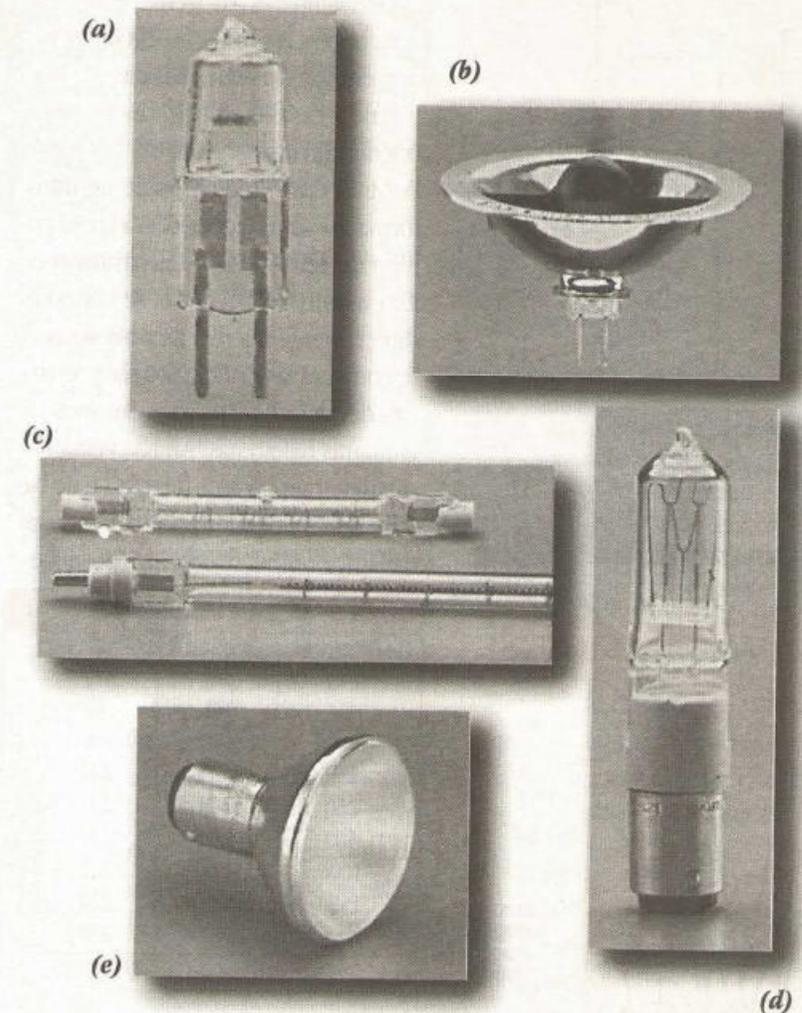
(bimetálico), se utiliza para calentar o caldear los filamentos, permitiendo el paso de corriente durante unos segundos a través de los mismos y favoreciendo la emisión de electrones. Está formado por dos láminas metálicas muy próximas entre sí instaladas dentro de una pequeña ampolla hermética que contiene un gas inerte, generalmente neón. Normalmente contiene también un condensador que ayuda a controlar el arco entre los contactos.

Inicialmente, al conectar el circuito de la lámpara a la red, y por efecto de la tensión aplicada, se establece un pequeño arco que dilata una de las láminas, cerrando el circuito de precalentamiento. Una vez que los filamentos empiezan a emitir electrones dentro del tubo, la temperatura del starter disminuye y la lámina dilatada retorna a su estado normal, interrumpiendo bruscamente el circuito y obligando al balasto a generar el alto voltaje que inicia el arco dentro del tubo.

### Bases para tubos fluorescentes

Las lámparas fluorescentes utilizan varios tipos de bases dependiendo de su tamaño y método de arranque. En la figura 15-76 se muestran algunos de los más comunes. En particular, las bases de dos pines (bi-pin) se utilizan en lámparas de arranque por precalentamiento (con starter) o que combinan precalentamiento con arranque rápido, las de un solo pin en lámparas de arranque instantáneo (*slimline*) y las de doble contacto anidado en lámparas de arranque rápido.

Las lámparas bi-pin y de doble contacto se designan generalmente por un código que especifica la potencia, la forma del tubo, el diámetro y, eventualmente el color u otras características constructivas especiales. Un ejem-



**Figura 15-78. Ejemplos de lámparas halógenas.** (a) De bajo voltaje sin reflector. (b) De bajo voltaje con reflector. (c) De alto voltaje con doble zócalo. (d) De alto voltaje con zócalo de bayoneta. (e) De bajo voltaje con reflector y zócalo de bayoneta.

plo de designación típica es "F30T8", donde "F" se refiere al tipo de tecnología (fluorescente), "30" a la potencia (30W), "T" a la forma (tubular) y "8" al diámetro en octavos de pulgada (8/8", o sea 1"). Para las lámparas slimline se utilizan códigos similares, excepto que éste incluye la longitud nominal en lugar de la potencia. Así, una lámpara "F48T12" es un bulbo fluorescente tubular de 48" de longitud y 12/8" (1½") de diámetro

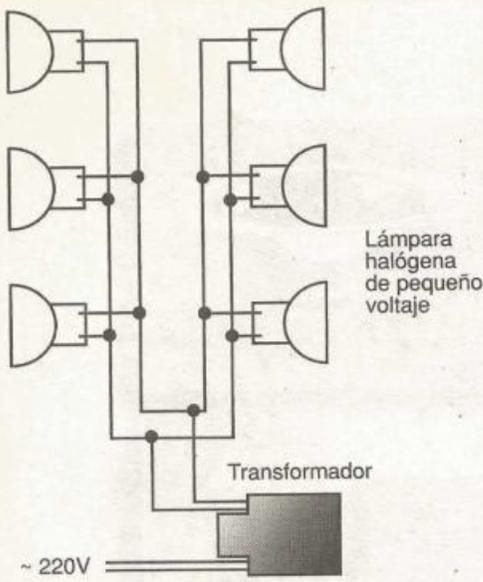
### Circuitos de tubos fluorescentes

Para finalizar nuestra estudio de las lámparas fluorescentes, en la figura 15-

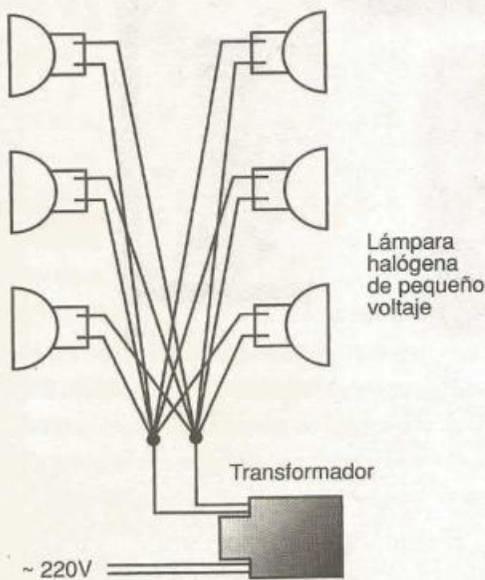
77 se muestran algunos esquemas básicos de conexión de tubos fluorescentes tal como se implementan en una luminaria. Estos diagramas complementan el circuito de la figura 15-72, correspondiente a una lámpara de encendido por starter. El circuito de la figura 15-77 (b), en particular se utiliza para eliminar el efecto estroboscópico (parpadeo) característico de las lámparas de arranque por starter.

### Lámparas halógenas

Las lámparas halógenas (figura 15-78) son un tipo particular de lámparas incandescentes constituidas por uno



(a) Conexión en anillo



(a) Conexión en estrella

Figura 15-79. Métodos de conexión de lámparas halógenas

o más filamentos de wolframio y un globo de vidrio de cuarzo. Este último contiene en su interior una sustancia halógena, generalmente sodio, la cual captura las partículas de wolframio desprendidas del filamento y las restituye al mismo, evitando que la lámpara se ennegrezca. Como resultado, se obtiene una mayor eficiencia luminosa.

Las lámparas halógenas se fabrican para potencias hasta de 2000W y vienen en dos versiones básicas: de bajo voltaje y de alto voltaje. Las primeras operan con tensiones de 6V, 12V o 24V. Por esta razón requieren de un transformador para su conexión a la red pública de 120V o 240V. Las lámparas de alto voltaje, por su parte, se conectan directamente a la red. La tabla siguiente compara las principales características de algunos vatiajes comunes de lámparas halógenas. Ambas versiones pueden traer zócalos de rosca o de bayoneta y se pueden montar en lugar de lámparas incandescentes normales.

Características de lámparas halógenas		
Potencia (W)	Flujo (lm)	Voltaje (V)
50	850	12
100	2000	24
150	2500	220
250	4200	220
500	9500	220
1000	22000	220
1500	33000	220
2000	44000	220

Las lámparas de bajo voltaje se emplean, solas o con reflectores, para realizar viviendas, vitrinas, exposiciones, etc., así como para trabajos de precisión. Vienen típicamente en tamaños de 15W, 20W, 25W y 50W. Las lámparas de alto voltaje, por su parte, se ofrecen con potencias desde 75W hasta 2000W, o más, y se utilizan con proyectores para la iluminación de monumentos, campos deportivos, escenas cinematográficas o de televisión, y otras aplicaciones que requieren altos niveles de luz. También son muy empleadas en aviación, fotografía, artes gráficas, etc.

En la figura 15-79 se muestran dos formas típicas de conectar lámparas halógenas de bajo voltaje. La configuración en anillo es la más simple, pero con fre-

cuencia se opta por la disposición en estrella debido a que así se reducen las pérdidas en la línea y se mejora la eficiencia luminosa.

### Lámparas de mercurio

Las lámparas de mercurio (figura 15-80) son dispositivos utilizados para producir grandes cantidades de luz, como la requerida para iluminar calles, puentes, parques y otros lugares. Constan de dos bombillas: una exterior y una interior. Esta última, denominada tubo de arco, es generalmente de cuarzo y contiene en su interior gas argón y una pequeña cantidad de mercurio. También aloja el electrodo de encendido y los electrodos principales.

Al aplicar un voltaje a la lámpara se produce un pequeño arco eléctrico a través del argón que calienta el mercurio y lo vaporiza gradualmente. Al cabo de unos minutos, el mercurio se ha vaporizado por completo y el arco se ha extendido por toda la longitud del tubo, permitiendo que la lámpara ilumine con su brillo máximo.

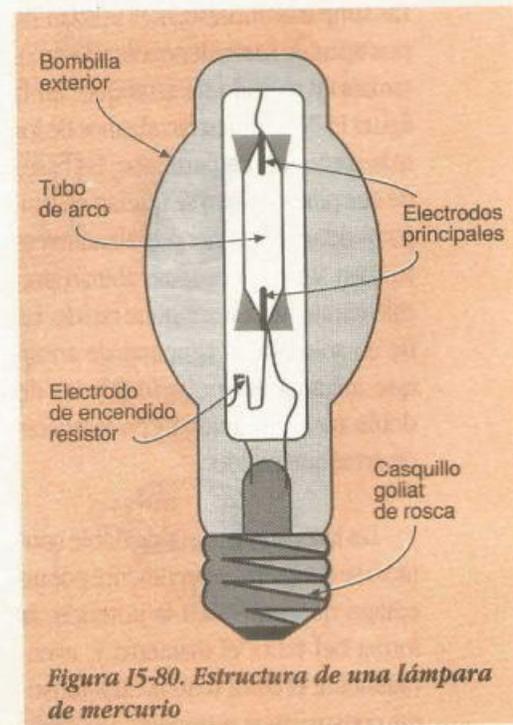
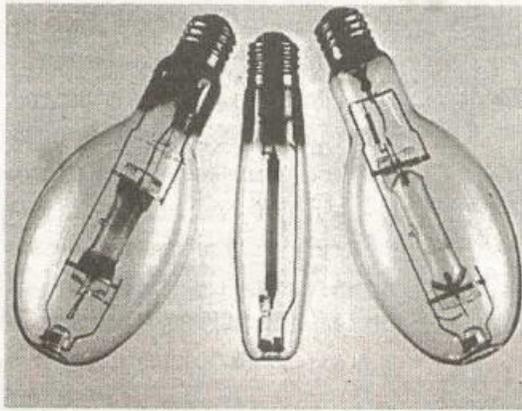


Figura 15-80. Estructura de una lámpara de mercurio



**Figura 15-81. Otros tipos de lámparas de descarga de alta intensidad (HID)**

Para encender, todas las lámparas de mercurio, al igual que las fluorescentes, requieren de un reactor o balasto adecuado al tipo de lámpara y al voltaje del circuito. El voltaje del balasto se aplica entre el electrodo principal inferior y el electrodo de encendido, produciendo la descarga eléctrica (arco) que calienta el mercurio, provoca su evaporación y permite el flujo de una alta corriente entre los electrodos principales. Este efecto, denominado **descarga de alta intensidad (HID)**, se utiliza también en otros tipos de lámparas como las de metal-haluro y las de sodio (figura 15-81).

Las lámparas de mercurio vienen en potencias desde 50W hasta 3,000W, siendo las más comunes las de 175W y 400W. El tamaño del bulbo varía de acuerdo con el voltaje de la lámpara. La figura 15-82 muestra varias formas comunes, siendo los más populares los bulbos tipo "R" (reflectores). La vida de una lámpara de mercurio es extremadamente larga, siendo superior a 24,000 horas (casi tres años de uso continuo) para potencias por encima de 100W y del orden de 16,000 a 18,000 horas para tamaños más pequeños.

La eficiencia en lumens por vatio de las lámparas de mercurio es muy superior a la de las lámparas incandescentes y similar a la de las lámparas fluorescentes. Sin embargo, es muy inferior a la de otras lámparas de descarga de alta intensidad como las de haluro y las de sodio. Estas dos últimas, a las cuales nos referiremos más adelante, están reemplazando a las lámparas de mercurio en las nuevas instalaciones. La siguiente tabla compara las características de estos tres tipos de lámparas.

Características de lámparas HID			
Parámetro	Mercurio	Haluro	Sodio
Vida (h)	24,000	20,000	24,000
Eficiencia (lm/W)	55	85	125
Color de luz	Bueno	Bueno, con énfasis en el verde y el amarillo	Amarillo, naranja
Costo de la lámpara	Bajo	Medio	Alto
Costo del consumo	Alto	Medio	Bajo

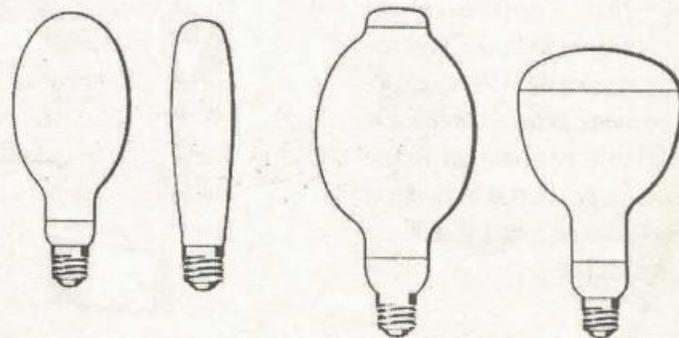
### Lámparas de metal-haluro

Las **lámparas de metal-haluro**, introducidas en 1964, son muy similares en su apariencia a las lámparas de mercurio y trabajan sustancialmente bajo el mismo principio. Sin embargo, el tubo de arco, en adición al gas argón y al mercurio, contiene otros ingredien-

tes tales como yoduro de sodio, yoduro de talio, yoduro de indio o yoduro de escandio. Esto conduce a una muy alta eficiencia, del orden de 80 a 100 lumens por vatio. Además requieren de balastos especiales.

Existen varios tipos de lámparas de metal-haluro. Algunas son de bulbo limpio y producen una luz similar a la de las lámparas fluorescentes de color blanco-frío. Otras tienen un recubrimiento de fósforo en el interior del bulbo y producen una luz similar a la de las lámparas fluorescentes de color blanco. En cuanto a su tamaño, vienen generalmente en cinco rangos de potencia: 175W, 250W, 400W, 1,000W y 1,500W. Su vida es mucho menor que la de las lámparas de mercurio, del orden de 20,000 horas para el tamaño de 400W y de 10,000 horas para el de 1,000W; además son más costosas.

No obstante, la salida en lumens por vatio de una lámpara de metal-haluro es aproximadamente un 60% mayor que la de una lámpara de mercurio y su luz puede ser dirigida fácilmente hacia un área relativamente pequeña con la ayuda de reflectores. Esto último no es posible con lámparas de mercurio debido que estas presentan una fuente de luz de considerable área al reflector, lo cual impide la producción de haces de luz estrechos.



**Figura 15-82. Formas comunes de bulbos de mercurio**

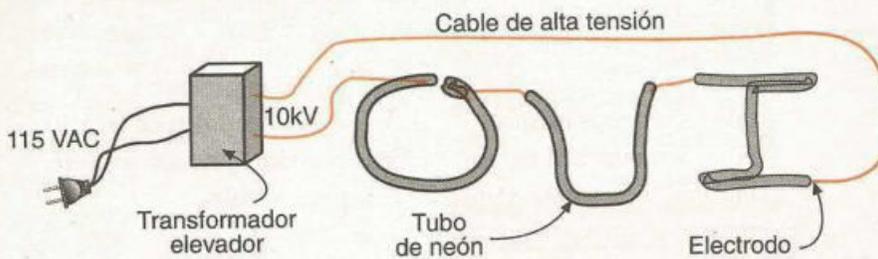


Figura 15-83. Circuito de un aviso de neón

### Lámparas de sodio

Las lámparas de sodio, introducidas en 1965, utilizan un tubo de arco hecho de un material cerámico translúcido especial, el cual opera a muy alta temperatura (1,300°C) y contiene sodio, solo o combinado con xenón y mercurio. Estas últimas, que son las más utilizadas, se denominan **lámparas de alta presión** y producen una luz rica en naranja y rojo, similar a la de las luces fluorescentes de blanco-cálido. Las lámparas de sólo sodio producen una luz amarillenta.

Las lámparas de sodio requieren de balastos especiales y se ofrecen en tamaños desde 50W hasta 1,000W. Su salida es la más alta de toda las fuentes de luz eléctrica conocidas: 80 a 140 lumens por vatio, casi el doble de la de las lámparas fluorescentes o de mercurio y cinco veces el de una lámpara incandescente de 500W. Su vida media es del orden de 24,000 horas.

### Lámparas electroluminiscentes

Las lámparas electroluminiscentes están formadas por dos electrodos encerrados en una ampolla de vidrio que contiene un gas inerte, generalmente argón o neón. Cuando se aplica un voltaje apropiado a los electrodos, el gas en el interior del tubo se ioniza y se libera energía en forma de luz visible.

Un tipo especial de lámparas electroluminiscentes son los letreros de

neón, compuestos de un tubo de vidrio lleno de neón y un electrodo en cada extremo (figura 15-83). Entre más largo sea el tubo, más alto tiene que ser el voltaje a aplicar entre los electrodos para ionizar suficientemente el gas.

El alto voltaje necesario para ionizar el gas dentro de un tubo de neón es suministrado generalmente por un transformador elevador y puede llegar a ser hasta de 10kV o más. Pueden obtenerse luces de colores diferentes empleando argón, helio o una mezcla de estos y otros gases. Se obtienen también diferentes colores utilizando tubos de vidrio pintados o recubiertos en su superficie interior.

### Luminarias

Las fuentes luminosas estudiadas anteriormente están generalmente aso-

ciadas a aparatos de iluminación llamados **luminarias** que sirven para dirigir, filtrar, transformar y, en general, controlar la luz emitida por las lámparas. Las luminarias comprenden todos los elementos necesarios para fijar y proteger mecánicamente las lámparas y para recibir al circuito de alimentación. En la figura 15-84 se muestran algunos ejemplos de luminarias.

Dependiendo de la forma como distribuyen la luz, las luminarias pueden ser de dos tipos: reflectores y difusores.

Los **reflectores** están constituidos de superficies acabadas (aluminio abri-llantado, vidrio plateado, etc.) y se utilizan para concentrar la luz emitida por la lámpara en un haz largo o estrecho según la aplicación. Los **difusores** están constituidos básicamente por cubiertas de vidrio o de plástico de distinto acabado y se utilizan para atenuar los efectos deslumbrantes de las fuentes luminosas.

Típicamente, el rendimiento de los reflectores (relación entre el flujo luminoso emitido por la lámpara y el flujo utilizable) es del 70% al 80%, y el de los difusores del 50% al 80%. ☺

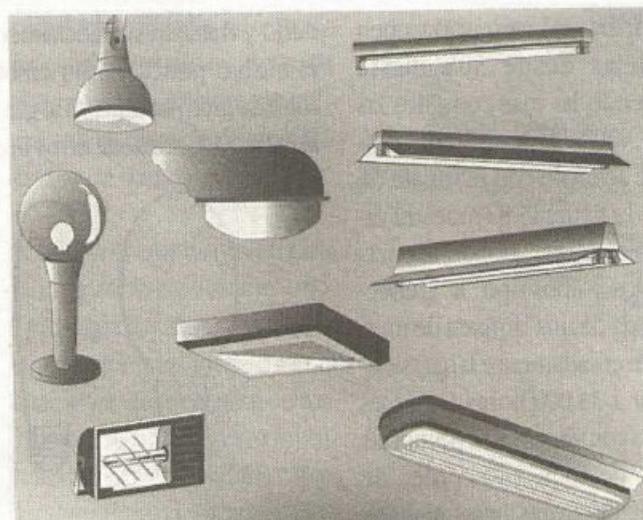


Figura 15-84. Luminarias

6

Capítulo

# Herramientas para el trabajo eléctrico



Figura 16-1. Herramientas

*Muchos trabajos eléctricos se pueden realizar con herramientas comunes disponibles en la mayoría de los hogares (alicates, destornilladores, martillos, etc.). Sin embargo, este no es el caso general y, con frecuencia, será necesario recurrir a herramientas diseñadas para realizar funciones específicas como pelar cables, cortar tubos, guiar alambres a través de conduit, proteger uniones de la oxidación, realizar agujeros, etc.*

*Este capítulo describe algunas de las principales herramientas utilizadas en el trabajo práctico con instalaciones eléctricas. Aunque seguramente no necesitará de todo este arsenal en un momento dado, algunas vez tendrá que enfrentarse a problemas que se solucionan con alguna de ellas.*

## Introducción

El electricista, profesional o aficionado, además de los conocimientos teóricos básicos acerca de las instalaciones eléctricas, debe conocer también cuales son las herramientas más adecuadas para realizar su trabajo en forma práctica, técnica y segura (figura 16-1). Además, las herramientas deberán estar organizadas en una caja de herramientas (figura 16-2), siempre lista para su empleo. Esta última deberá contener también regletas, tornillos, fusibles, terminales y otros elementos pequeños de repuesto.

En electricidad, como en cualquier otro trabajo, también es válido que para conseguir buenos resultados, se necesitan buenas herramientas. Además se debe prestar atención al aislamiento, especialmente porque siempre existe el riesgo de tocar inadvertidamente partes bajo tensión con la herramienta. Un simple recubrimiento plástico como el que se encuentra en algunas herramientas baratas no es suficiente. Las herramientas con aislamiento reglamen-

- Herramientas de uso general
- Herramientas para pelar conductores eléctricos
- Herramientas para soldar
- Herramientas para guiar alambres y cables
- Herramientas para hacer agujeros y regatas
- Herramientas para doblar conduit
- Herramientas para cortar conduit
- Herramientas para roscar conduit
- Herramientas para usos varios



Figura 16-2. Caja de herramientas

## Herramientas para el trabajo eléctrico

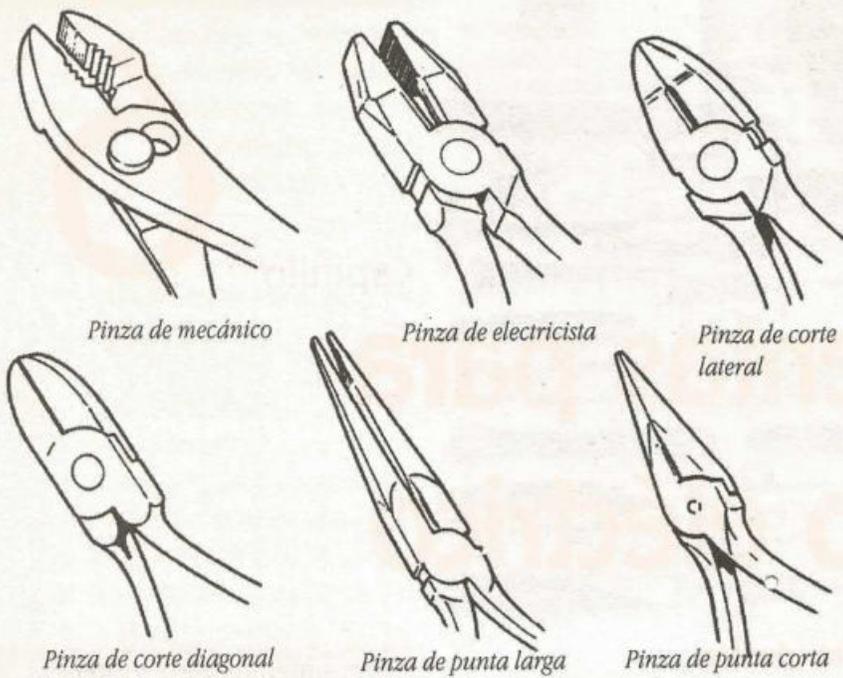


Figura 16-3. Pinzas o alicates

tario están marcadas con la tensión que pueden soportar.

En las siguientes secciones se describen varias de las principales herramientas manuales, eléctricas y de otros tipos utilizadas en la práctica de las instalaciones eléctricas, así como las aplicaciones típicas de algunas de ellas. Para muchas, no se proporcionan mayores detalles debido a que su uso es muy conocido. Para una mejor comprensión del tema, se han dividido para su estudio en las siguientes categorías:

- Herramientas de uso general: Pinzas, destornilladores, martillos, llaves, seguetas, probafases, etc.
- Herramientas para pelar alambres y cables: Navajas, cuchillos, rasgadores y pinzas pelacables.
- Herramientas para soldar: Cautines de llama y cautines eléctricos.
- Herramientas para guiar alambres y cables: Guías de acero.
- Herramientas para hacer agujeros y regatas: Taladros, cinceles, barrenos y pistolas.

- Herramientas para doblar conduit: Dobladoras de tubos.
- Herramientas para cortar conduit: Cortadoras de tubos.
- Herramientas para roscar conduit: Tarrajas.
- Herramientas para usos varios: Metros, trazadores, plomadas, niveles, escareadores, tenazas, limas, escaleras, etc.

### Seguridad y mantenimiento

A través de la historia, los hombres han ido inventando y utilizando herramientas para multiplicar su fuerza, cortar, martillar, torcer y realizar otras labores. Las herramientas incrementan enormemente la cantidad y calidad del trabajo producido por el ser humano, pero al mismo tiempo, por ser pesadas, presentar bordes afilados, tener una alta capacidad de palanca, etc., incrementan también las posibilidades de causar injurias y lesiones personales al usuario.

Por las mismas razones anteriores, para evitar accidentes y prevenir el daño de las mismas herramientas, és-

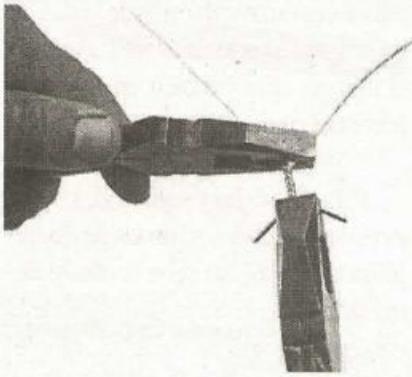
tas deberán ser manipuladas con cuidado y utilizadas en forma segura. Las herramientas, como las buenas amistades, deben ser tratadas bien y con respeto, sin abusar de ellas. Se pueden prevenir muchos accidentes utilizando la herramienta correcta para cada trabajo en lugar de una herramienta muy pesada o muy liviana, o haciendo un mal uso de la misma, por ejemplo emplear una lima o un destornillador como palanca en lugar de una barra.

También es importante mantenerlas en buen estado. Siga estas recomendaciones:

- ✓ Conserve sus herramientas limpias, protegidas contra la corrosión y libres de grasa.
- ✓ Sumerja ocasionalmente sus herramientas sucias en fluidos de limpieza y enjuáguelas para limpiarlas.
- ✓ Lubrique los puntos de ajuste y otras partes móviles de sus herramientas para prevenir desgaste y desalineamiento.
- ✓ Conserve las herramientas de corte afiladas. Las herramientas afiladas hacen el trabajo más fácil y confiable, ahorran tiempo, y son más seguras de usar que las herramientas romas.



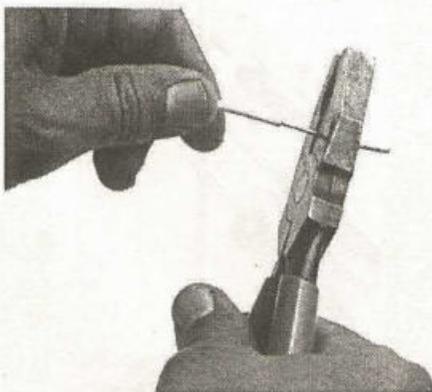
Figura 16-4. Partes de una pinza universal o de electricista



**Figura 16-5. Forma de utilizar las pinzas universales para realizar amarres o uniones**

## Pinzas o alicates

Las **pinzas** o **alicates** (figura 16-3) son herramientas metálicas compuestas de dos brazos trabados por un perno o eje, el cual permite abrirlas y volverlos a cerrar. En una de las extremidades de los brazos se encuentran sus mandíbulas las cuales, de acuerdo a sus formas, pueden servir para apretar, cortar o doblar. Los brazos, que permiten sujetar y gobernar la pinza con la mano, están recubiertos por un material aislante. Los principales tipos de pinzas utilizadas en electricidad son las universales, las de corte y las de punta. Estas últimas pueden ser de mandíbula plana, redonda, mediacaña, cigüeña, etc. En algunos casos, las superficies de contacto son lisas, mientras que en otros son estriadas. Tam-



**Figura 16-6. Forma de utilizar las pinzas universales para cortar alambres**

bién existen pinzas para retirar el aislamiento de alambres y cables y realizar otros trabajos especiales.

## Pinzas universales

Las **pinzas universales** o **de electricista** sirven para apretar, cortar y doblar. Tienen además los mangos cubiertos con aislante grueso, lo que aumenta su comodidad y seguridad al trabajar. Sin embargo, no se deben considerar 100% seguras cuando se trabaja con cables que llevan altas corrientes puesto que una gota de sudor o un agujero en el aislante pueden resultar desastrosos. Por esta razón, debe trabajarse con alicates universales solamente cuando la corriente esté desconectada. En la figura 16-4 se muestran las partes de una pinza universal típica.

La pinza universal es muy utilizada en todos aquellos trabajos que requieren efectuar considerables esfuerzos mecánicos, tales como cortado de conductores de gran sección, sujeción de conductores eléctricos, doblado de materiales conductores, etc.

Las mandíbulas de las pinzas universales son grandes, de manera que sostienen firmemente los alambres gruesos que se tienen que torcer y enroscar para hacer amarres o empalmes (figura 16-5). Junto al pivote (la parte donde se puede ejercer mayor fuerza) tienen unas cuchillas para cortar los alambres (figura 16-6). Las cuchillas están sobre un lado para poder cortar al ras, cerca de la superficie.

Aunque no es su función principal, con un poco de práctica usted puede aprender a utilizar las mandíbulas de corte de una pinza universal para retirar el aislamiento de cualquier tipo de conductor. Para hacer esto, coloque el alambre entre las quijadas, aplique su-



**Figura 16-7. Forma de utilizar las pinzas universales para pelar alambres**

ficiente presión en las manijas para que las quijadas corten a través del aislamiento y hale las pinzas hasta que se separe el aislamiento, asegúrese de aplicar la presión exacta con el fin de no cortar o mellar el alambres.

En el caso de alambres cubiertos con un aislamiento de plástico duro o tela, a menudo es necesario aplastar primero el aislamiento. Con la mayor parte de las pinzas universales, esto puede realizarse insertando el alambre entre las mandíbulas, justamente detrás del punto de pivote, y aplicando la presión suficiente, como se ilustra en la figura 16-7. De esta manera, el aislamiento puede arrancarse del alambre o separarse con las mandíbulas de corte.

## Pinzas de punta

Las **pinzas de punta plana** son alicates con superficies de contacto totalmente planas. Su uso es muy similar al de las pinzas universales.



**Figura 16-8. Forma de utilizar las puntas redondas para hacer ojales**

## Herramientas para el trabajo eléctrico

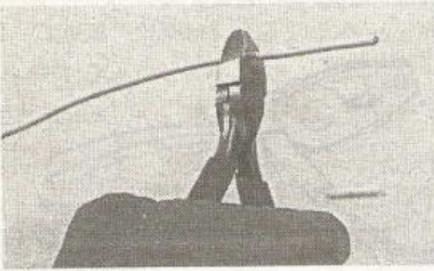


Figura 16-9. Forma de utilizar las pinzas de corte lateral para pelar y cortar alambre.

Las **pinzas de punta redonda** son herramientas caracterizadas por tener superficies de contacto planas y mandíbulas circulares, terminadas en punta como un cono. Se utilizan para realizar trabajos de precisión, incluyendo los ojales o argollas en los alambres cuando se conectan a clavijas, tomacorrientes, lámparas, interruptores y otros dispositivos eléctricos (figura 16-8).

Las **pinzas de punta mediacaña**, caracterizadas por tener las mandíbulas de esta forma, se utilizan para para redondear alambre o cable.

Las **pinzas de punta cigüeña** están formadas por dos punta en forma de pico de cigüeña, donde su extremo más distante se encuentra doblado. Cada una de sus puntas de contacto contiene un semicírculo acunado. Sus

principales aplicaciones son la sujeción momentánea de tornillos para poder atornillarlos en lugares de difícil acceso, bornes anillados en lugares de difícil acceso y, en definitiva, cualquier trabajo que precise una presión y en posiciones que dificulten el trabajo de herramientas más cortas.

### Pinzas de corte

Las **pinzas de corte** son alicates con superficies acunadas que se utilizan para cortar y pelar hilos, alambres, cables y similares cuando se quiere hacerlo con una herramienta más ligera que las pinzas universales (figura 16-9). Popularmente, reciben el nombre de **cortafíos**.

### Destornilladores

Los destornilladores o desarmadores (figura 16-10) son herramientas que se utilizan para girar tornillos cuyas cabezas sean de ranura simple o cruzada. Constan de un cuerpo cilíndrico de acero (flecha), con una de sus extremidades forjada en forma de cuña. La otra punta, en forma de espiga, va encajada sólidamente en un mango de material aislante, generalmente madera o plástico. El mango tiene ranuras longitudinales para evitar que resbale la mano del operador. Asimismo, para evitar electrocuciones, algunos destor-

nilladores van recubiertos de una capa de material plástico aislante no sólo en el mango, sino también en la mayor parte del cuerpo de metal.

Por comodidad y seguridad, los mejores destornilladores son los de mango plástico, aunque no debe confiarse demasiado en su capacidad aislante de la corriente. Puesto que existe mucha diferencia en cuanto a dimensiones y grosor de los tornillos en el mercado, habrá muchos tipos de destornilladores dependientes de sus dimensiones. Por ejemplo, existen destornilladores de hoja larga y delgada cuya punta tiene el mismo ancho que el cuerpo, lo que permite trabajar en lugares estrechos.

Los destornilladores se especifican por la longitud del cuerpo y la forma de la punta. Los destornilladores más utilizados en trabajo eléctrico son los de punta plana y los de punta estriada o Philips. El destornillador de punta plana se utiliza para introducir y apretar, o extraer y aflojar, todo tipo de tornillos con cabeza ranurada y el de punta estriada para las mismas operaciones en tornillos con cabeza doblemente ranurada. En ambos casos, la longitud total del destornillador varía generalmente desde 4" (10 cm) hasta 12" (30 cm).



Figura 16-10. Destornilladores

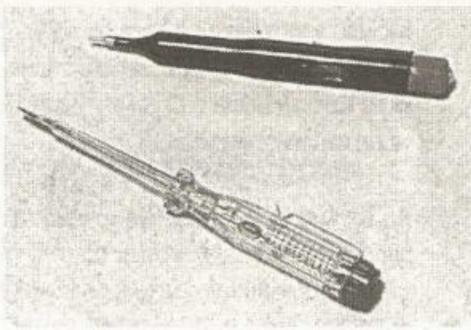


Figura 16-11. Destornillador probafase

## Destornillador probafase

El probafase o comprobador de tensión (figura 16-11) es un destornillador especial provisto de un mango plástico transparente que se utiliza para determinar si un contacto, por ejemplo en un tomacorriente o en un conductor, tiene voltaje. Para efectuar esta comprobación (figura 16-12), la punta no aislada del probafase se mantiene en contacto con el punto que se quiere examinar, y con el dedo se toca el contacto metálico del otro extremo. Si el punto tiene voltaje, circula una pequeña corriente (inofensiva) a través del probafase, que hace que se ilumine una lámpara de neón incorporada.

El empleo de un probafase como comprobador de tensión, aunque es rápido y sencillo, tiene varios inconvenientes en la práctica. Por ejemplo:

- Si la persona que lo emplea está bien aislada, no se ilumina la lámpara de neón, aunque haya tensión.
- Existen casos en que la lámpara de neón se ilumina aunque no haya tensión. Esto sucede, por ejemplo, cuando hay sobrecarga de la línea.

• No indica la medida de la tensión presente. Para obtener esta información debe utilizarse un voltímetro (ver el capítulo del tomo de reparaciones eléctricas)

- No se pueden comprobar el neutro y el conductor de protección (tierra).

En general, un probafase no debe emplearse para apretar o aflojar tornillos. Al hacerlo se corre el peligro de dañar el interior y hacer que la señal luminosa deje de ser fiable. Tampoco se recomienda adquirir probafases desmontables. Si al desmontarlo elimina la resistencia, intencionadamente o por descuido, puede recibir una descarga eléctrica al utilizarlo. Por estos motivos los electricistas y los aficionados expertos trabajan preferiblemente con otros aparatos de comprobación de tensión que no tienen estos inconvenientes.

En cuanto a herramienta, el buscapolos o probafase es un destornillador,

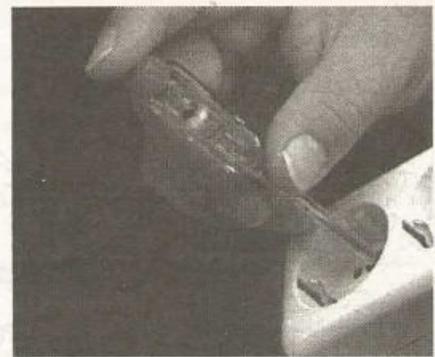


Figura 16-12. Forma de utilizar un destornillador probafase

pero además tiene una utilización muy definida. Esta utilización es la de comprobador de tensión en los enchufes como aparatos eléctricos.

## Martillos y macetas

Los **martillos** y **macetas** (figura 16-13) son herramientas de impacto, constituidas de un cuerpo de acero al carbono sujeto a un mango o cabo de madera que se utilizan para golpear y clavar. El golpe y la fuerza del impacto lo proporciona el movimiento conjunto del pulso y de las articulaciones del codo (figura 16-14). Para un trabajo correcto y seguro, el martillo o la maceta debe empuñarse próximo al final del cabo. Para su utilización, el cuerpo no debe tener rebabas ni deformaciones. Además, es necesario que el cabo presente buenas condiciones y esté bien fijado al cuerpo.



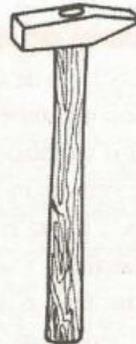
Martillo de orejas



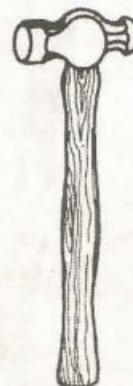
Martillo de goma



Martillo de albañil



Martillo de peña



Martillo de bola



Maceta o mandarria

Figura 16-13. Martillos

## Herramientas para el trabajo eléctrico

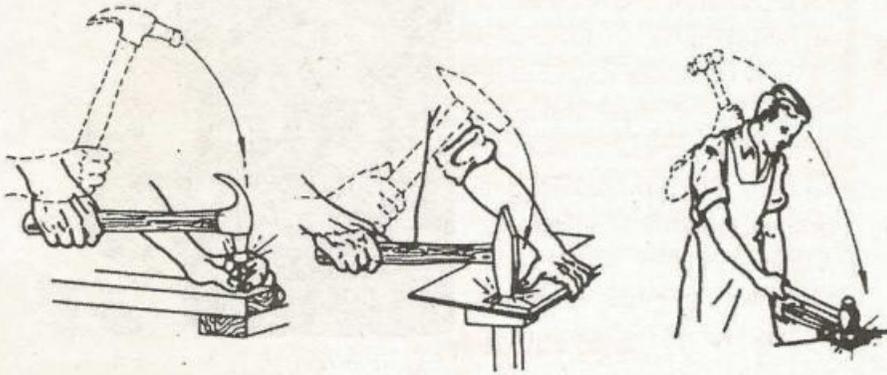


Figura I6-14. Forma correcta de utilizar los martillos

Dependiendo de la forma del cuerpo, los martillos reciben diversos nombres, siendo los más comunes los de orejas, los de bola, los de peña, los de albañil, etc. Los martillos de peña, a su vez, pueden ser verticales u horizontales. Dependiendo del peso del cuerpo, se habla de martillos ligeros (de 60 a 500 gramos) y martillos pesados (de 500 a 900 gramos). Los martillos de orejas se utilizan en trabajos generales de carpintería, los de bolas en trabajos de mecánica y de plomería, los de peña en trabajos con chapas finas y los de albañil en trabajos generales de albañilería.

La maceta o **mandarria** es una forma especial de martillo, utilizada típicamente por los herreros, que se emplea en las demoliciones y para golpear cinceles cuando se practican agujeros



Figura I6-15. Forma de utilizar un martillo para abrir regatas

o regatas en los muros de mampostería. Las más utilizadas son las de dos caras, identificadas en el mercado por el peso del cuerpo, el cual varía de 500 gramos a 5 kilogramos.

Aunque normalmente se utilizan macetas y cinceles para abrir regatas y agujeros en paredes de mampostería, el mismo trabajo puede hacerse también utilizando un martillo convencional y un destornillador suficientemente rudo para aguantar los golpes del martillo, como se ilustra en la figura I6-15. La mayoría de los destornilladores grandes con mango de plástico soportan esos tratos sin sufrir daño. Aunque esta es una técnica inapropiada de abrir regatas y agujeros para cajas y tubos, es un recurso válido cuando el trabajo a realizar es corto y no se dispone del equipo completo.

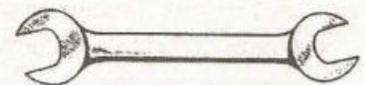
### Llaves de apriete

Las llaves de apriete (figura I6-16) son herramientas de acero forjado y templado que se utilizan para apretar o aflojar tuercas o tornillos, y para enroscar o desenroscar tubos y accesorios de forma circular. Sus tamaños son variados y tienen un cabo o brazo proporcionado con el cuerpo o con la boca. Los principales tipos de llaves de apriete utilizadas en elec-

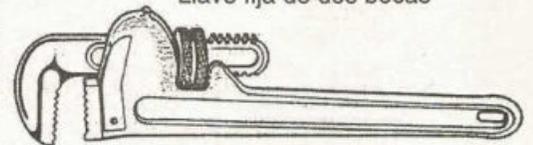
tricidad son la llave de boca fija, la llave de mordaza o *Stillson*, la llave inglesa, la llave alemana o *Crescent* y la llave de cadena.

Las **llaves de boca fija** se utilizan para enroscar o desenroscar tuercas y cabezas de tornillos que tengan forma poligonal. Pueden ser de una boca y de dos bocas y se identifican por la abertura de la boca, generalmente expresada en pulgadas.

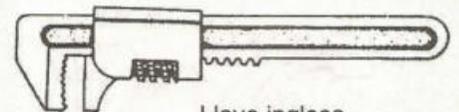
Las **llaves de mordaza** son herramientas de acero fundido o forjado que se utilizan para enroscar y desenroscar tubos y accesorios de forma circular. Están constituidas por (a) un brazo o mango que funciona como palanca, (b) mordazas que agarran el material, (c) dientes encajados en el brazo que facilitan el movimiento de las mordazas, (d) tornillos que regulan la separación entre las quijadas y (e) la par-



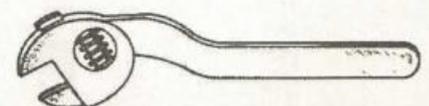
Llave fija de dos bocas



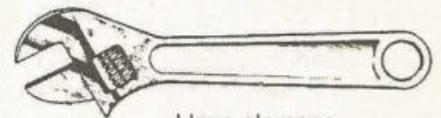
Llave de mordaza o Stillson



Llave inglesa



Llave pico de papagayo



Llave alemana

Figura I6-16. Llaves de apriete

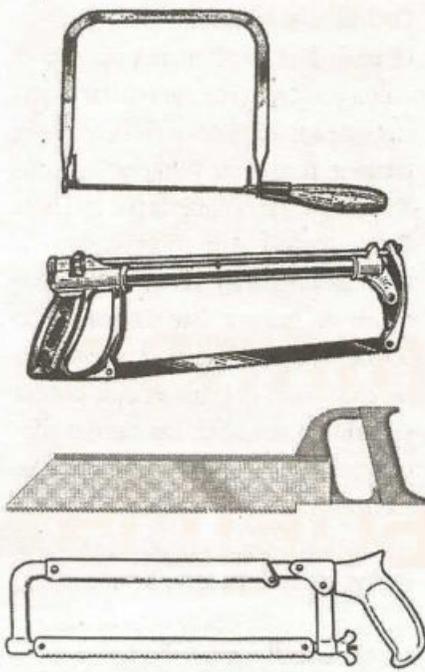


Figura 16-17. Seguetas

te móvil, que contiene la mordaza móvil. Esta última, graduada en pulgadas, facilita la regulación de la boca. La capacidad de la boca varía generalmente desde 6" hasta 36".

Las **llaves inglesas y alemanas** sustituyen a las llaves de boca fija, con la ventaja de tener la boca ajustable para distintos diámetros. Están compuestas por un brazo o cabo dotado de una quijada fija y un tornillo regulador. Se identifican en el comercio por su medida expresada en pulgadas o en

centímetros, o bien por la abertura de la boca en milímetros.

Las **llaves de cadena** se utilizan para tubos grandes. La cadena se enrolla sobre el tubo y lo presiona contra la mandíbula. Para desenroscar tubos muy cerca de las paredes o en sitios de poco espacio se prefiere la llave de mordaza.

## Seguetas

Las seguetas (figura 16-17) son herramientas que se utilizan para cortar metales, plásticos y otros materiales. En la figura 16-18 se muestra la estructura típica de una segueta. Consta básicamente de un armazón de hierro (marco), donde se monta la hoja de segueta, y un tornillo de mariposa, el cual permite tensionar la hoja. El marco tiene un mango de madera, de plástico o de fibra para facilitar su manejo, y se puede ajustar de acuerdo al largo de la hoja. La tensión de la hoja debe ser proporcionada en forma manual, sin emplear llaves.

Las hoja de segueta para cortar metales son unas láminas de acero relativamente estrechas y delgadas, que tienen a todo lo largo entalladuras inclinadas que forman los dientes. Los dientes están trabados, inclinados la-

teralmente y en forma alternada a un lado y a otro, a fin de que la lámina pueda deslizarse cortando. Las hojas se especifican por su longitud, su ancho y el número de dientes por pulgada. Este último puede ser 18, 14 o 32. Las longitudes más comunes son 8" (20cm), 10" (25cm) y 12" (30 cm.). El ancho es generalmente de 1/2" (12.5mm).

Las hojas de segueta debe seleccionarse de acuerdo al espesor y el tipo de material por cortar. El espesor del material no debe ser menor que dos largos de dientes. Entre más duro sea el material, mayor debe ser el número de dientes por pulgada de la hoja, y viceversa.

Una de las aplicaciones más comunes de la segueta en el campo de instalaciones eléctricas es el corte de tubos conduit (figura 16-19). Los instaladores necesitan con frecuencia trabajar con tubos de diferentes largos. Para ello debe cortar de un tubo grande una parte menor que va a utilizar. Esta operación, que se realiza con una hoja de dientes finos, puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Prepare la segueta colocando la hoja en el arco con los dientes orientados

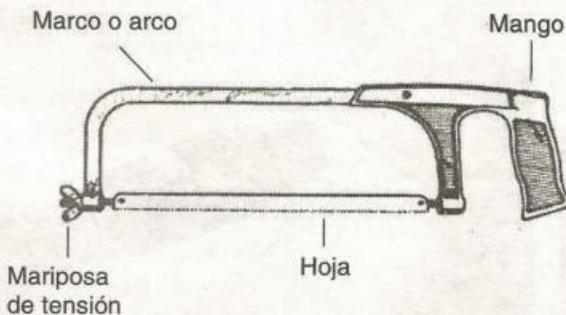


Figura 16-18. Partes de una segueta

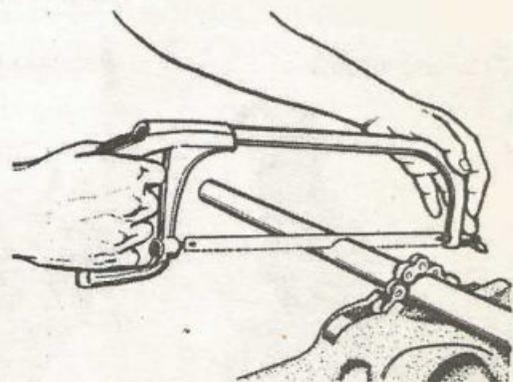
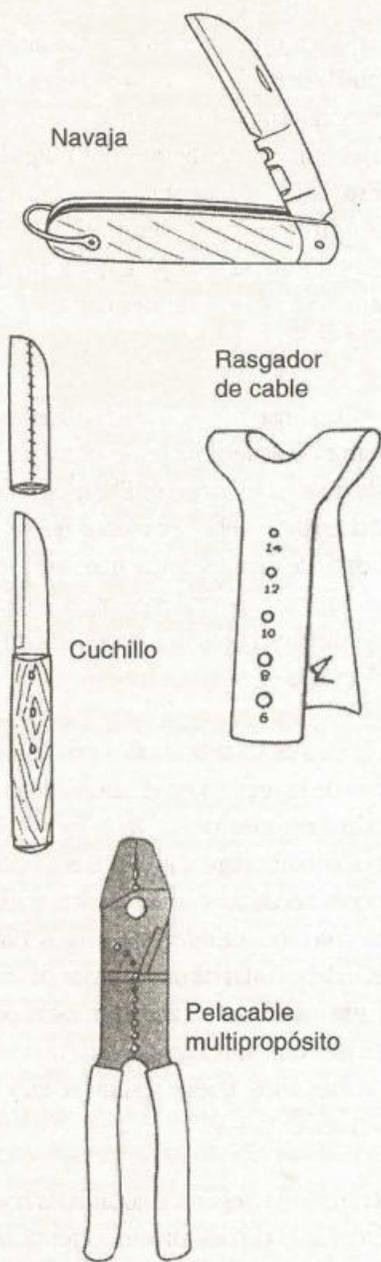


Figura 16-19. Forma de utilizar una segueta para cortar tubo conduit.



hacia adelante y tensándola con la mariposa.

2. Marque el tramo a cortar.
3. Corte el tubo apoyando la hoja en la marca y guiándola con el dedo pulgar. La hoja debe inclinarse ligeramente para que no resbale. Continúe el corte moviendo la segueta en vaivén corto hasta que se haya producido una pequeña muesca. Empuñe el arco con las dos manos y termine de cortar con un movimiento de vaivén largo.

Durante el corte, la segueta debe permanecer perpendicular al tubo. Asimismo, debe mantenerse el cuerpo inmóvil y usar la mayor longitud posible de la segueta sin golpear los extremos del arco contra el tubo. Poco antes de terminar el corte, sujete el tubo con una mano y termine de cortar con la otra.

### Herramientas para pelar alambres y cables

Cada vez que se tenga que realizar una conexión eléctrica, ya sea entre dos conductores o entre un conductor y un dispositivo, es necesario quitar el aislamiento de los conductores. Para ello se utilizan herramientas especiales (figura I6-20), siendo las más comunes las navaja, los cuchillo, las tijeras, las pinzas pelacables y los rasgadores de cable.

### Cuchillos y navajas

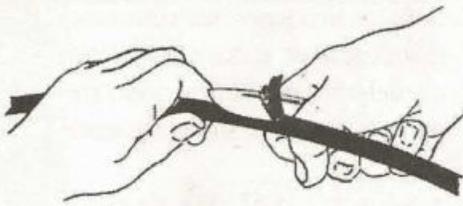
La **navaja** es una herramienta que se utiliza comúnmente para quitar el aislante de los alambres eléctricos. Sirve también para pulir y limpiar los conductores. Está compuesta por una hoja de acero con filo de aproximadamente 70 mm de largo que se pliega dentro de un mango. Este último puede ser de madera o plástico y tiene una hendidura en la cual penetra la hoja cuando no se utiliza. Las navajas adecuadas tienen la hoja de un solo lado, bien afilado y con una funda. Al cerrar una navaja debe evitarse colocar los dedos entre el mango y la navaja.

El **cuchillo** es una herramienta similar a la navaja, con filo a todo lo largo de la hoja de acero, que se utiliza para pelar alambres y cables y cables, así como para raspar el esmalte de los conductores con el fin de poder después empalmarlos o soldarlos. A diferencia de una navaja, en un cuchillo la hoja se encuentra unida rígidamente al mango mediante remaches y no se pliega, es decir se mantiene siempre recta. Su tamaño y forma son iguales a los de la navaja. En la figura I6-21 se ilustra la forma de pelar un cable utilizando una navaja o un cuchillo.

Con la existencia de pinzas especializadas para pelar cables puede pa-



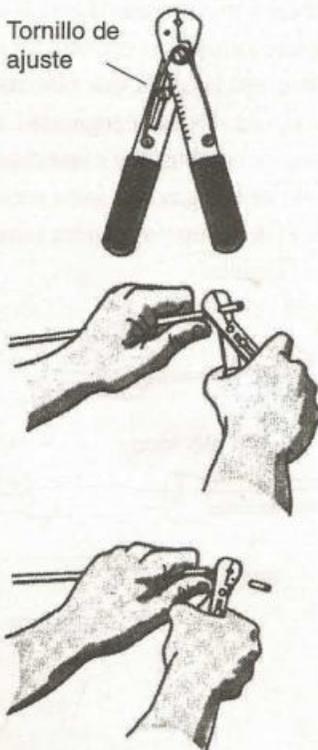
Figura I6-20. Herramientas para pelar alambres y cables



**Figura 16-21. Forma de pelar cable con navaja o cuchillo**

recer impráctico y arriesgado utilizar una navaja o un cuchillo para esta operación. Sin embargo, hay casos donde sólo una navaja o un cuchillo pueden servir para quitar un forro aislante. Un caso típico sucede, por ejemplo, cuando el tramo de aislamiento a retirar se encuentra a la mitad de un conductor grueso que corre continuo y se necesita derivar otro cable.

La tijera de electricista es una herramienta manual utilizada para los trabajos de corte de cables fino y pelado de conductores. Está compuesta de



**Figura 16-22. Forma de utilizar el pelacable básico**

dos piezas, cada una de las cuales tiene una zona cortante y otra de manipulación. Estas dos piezas van unidas gracias a un tornillo o remache.

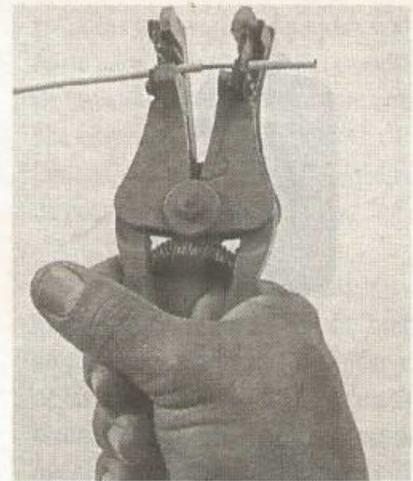
### Pinzas pelables

Las pinzas pelables, como su nombre lo indica, son herramientas que permiten realizar la operación de retirar el aislamiento de un conductor con mayor rapidez que una navaja o un cuchillo, y sin dañar el metal. Los tipos más comunes de pinzas pelables son la básica o estándar, la automática y la multipropósito.

Las **pinzas pelables estándar** tienen una hendidura con filo en el interior de cada mandíbula. Al cerrarse una punta se sobrepone sobre la otra, pero no cierra completamente, porque hay un tornillo ajustable que se lo impide. El tornillo hace que las mandíbulas se detengan donde terminan de cortar el aislante. De este modo, el tornillo regula la profundidad del corte. La remoción del aislante se realiza manteniendo fijo el alambre y halando la pinza. En la figura 16-22 se ilustra la forma de realizar esta operación.

Las **pinzas pelables automáticas** sirven para cortar y quitar simultáneamente el aislante de los conductores, sin lastimar el alambre. Al frente tienen unas muescas para alambres de diferentes groesos, que se cierran al apretar un poco los mangos. Al apretarlos aun más, una mandíbula de la pinza se abre, halando el cable que de esa manera queda desnudo. Esta operación se ilustra en la figura 16-23.

Las **pinzas pelables multipropósito** combinan varias funciones. El extremo de la punta es un cortador de alambre. Inmediatamente atrás, las mandíbulas tienen una hondonada que

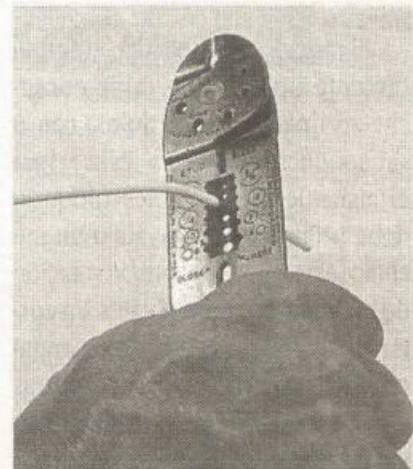


**Figura 16-23. Forma de utilizar el pelacable automático**

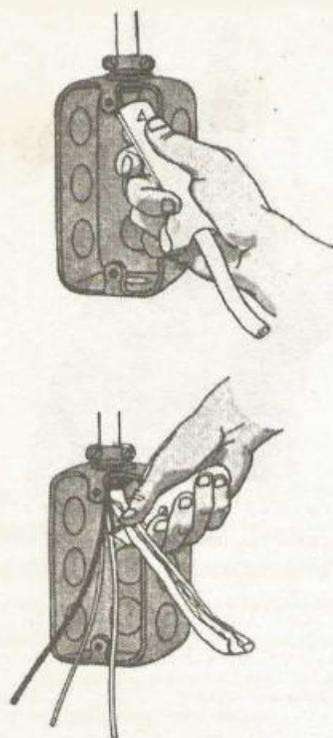
sirve para cerrar, apretar y remachar terminales. Alrededor del pivote están taladrados varios agujeros en los que entran tornillos de varios tamaños, los cuales pueden ser cortados a distintas longitudes con sólo cerrar las pinzas. Los brazos tienen unas muescas de varios tamaños para pelar alambres de varios calibres (figura 16-24).

### Rasgadores de cable

El **rasgador de cable** es una herramienta que se utiliza para rasgar el aislamiento exterior de cable encauchado de dos hilos con o sin tierra. Esta constituido por una pieza flexible de acero en forma de U y una



**Figura 16-24. Forma de utilizar el pelacable multipropósito**



**Paso 1.** Presione las mandíbulas del rasgador y arrástrelo hasta que salga del cable

**Paso 2.** Exponga los alambres internos del cable y corte el aislamiento rasgado junto con los materiales de separación.

Figura 16-25. Forma de utilizar el rasgador de cable

pequeña cuchilla triangular que penetra el caucho cuando se presionan las mandíbulas. Al arrastrar la herramienta a lo largo del cable y salir por el extremo, en el cable queda una zanja o hendidura relativamente profunda la cual permite que el aislamiento pueda ser retirado con facilidad utilizando un cuchillo, unas tijeras, etc. El proceso se resume en la figura 16-25.

El rasgador de cable debe ser únicamente utilizado en cable encauchado plano de dos hilos, con o sin conductor de tierra. Para rasgar el aislamiento de cables redondo debe utilizarse una navaja o un cuchillo. Así se puede seguir la rotación de los alambres individuales sin cortar su aislamiento. Una recomendación: No corte cable abierto mientras éste descansa sobre su rodilla o su muslo. Busque una mesa o una pared plana. Además, no corte en dirección de su cuerpo.

### Herramientas para soldar

Los soldadores son herramientas que se utilizan para efectuar soldaduras con estaño y obtener así un buen contacto eléctrico y rigidez mecánica en uniones de conductores, terminales y manguitos. Constan básicamente de una cabeza de cobre que se calienta por diversos métodos hasta que su temperatura alcance a fundir el estaño (232°C). Dependiendo del método de calentamiento, los soldadores utilizados en trabajos eléctricos pueden ser de dos tipos: de llama o eléctricos. Los primeros se utilizan cuando no se dispone de electricidad en el sitio de trabajo.

Las soldaduras empleadas en electricidad son aleaciones de estaño y plomo que protegen los alambres eléctricos de la corrosión y les proporcionan rigidez mecánica. Se presentan en forma de barras o de alambres con núcleos de resina. Las barras o los carretes de alambres tienen indicado el porcentaje de estaño que contiene la aleación.

Las aleaciones más comúnmente utilizadas en trabajos eléctricos, y que determinan la designación comercial de la soldadura, son las siguientes:

- Soldadura 33/67 (33% de estaño/67% de plomo). Se funde a 250°C. Empleada para soldar cables y terminales grandes
- Soldadura 50/50 (50% de estaño/50% de plomo). Se funde a 215°C. Empleada para soldar alambres y terminales pequeños

### Cautín de llama

El cautín de llama es una herramienta para soldar compuesto de una pieza de cobre, generalmente en forma de cuña, fijada a una varilla de hierro, con un mango aislante del calor en el otro extremo. El calentamiento de la punta se realiza por medio de una soplete a gas o gasolina, el cual produce una flama de calor muy elevado (figura 16-27). El soplete incluye un depósito de combustible, una boquilla, dos válvulas de presión, una válvula de seguridad, una entrada de combustible y una charola para alcohol. La gasolina sale a presión desde el depósito y se gasifica al pasar por la boquilla.

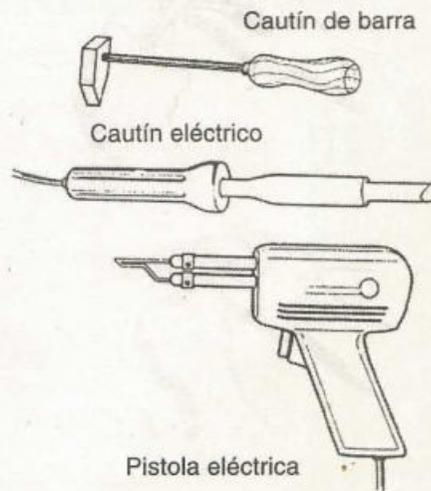


Figura 16-26. Herramientas para soldar



**Figura 16-27. Cautín de llama con soplete de gasolina.**

La boquilla del soplete está formada por un serpentín protegido por una cubierta ranurada que permite la entrada del aire. En el extremo del serpentín hay una pieza roscada denominada oído, la cual posee un pequeño orificio central por donde sale el combustible gasificado. El depósito de combustible, que puede ser de bronce o latón estampado, incorpora la



**Figura 16-28. Partes de un cautín eléctrico de calentamiento por resistencia.**

bomba de presión, la válvula reguladora de presión y el tapón de alimentación de combustible. El proceso de encendido del soplete comprende los siguientes pasos:

1. Llenar el depósito con gasolina y cerrar la válvula de seguridad. El depósito debe tener combustible hasta las 3/4 partes de su capacidad.

2. Colocar alcohol en la charola y prenderlo para precalentar la boquilla. Esta operación es absolutamente necesaria para poner en funcionamiento el soplete o lámpara de soldar.

3. Una vez logrado el precalentamiento, y antes de que se extinga la llama de alcohol, cerrar la válvula de presión de la boquilla.

4. Proporcionar presión a la gasolina, bombeando con la bomba unas diez veces.

5. Abrir la válvula de gasolina y encender la llama con un fósforo. Asegúrese de que en la dirección de la boquilla no haya elementos combustibles o personas.

6. Si la llama no enciende con el fósforo, cierre la válvula de gasolina y vuelva a calentar con un poco más de alcohol.

7. Cuando la llama de alcohol esté a punto de apagarse, encienda con la misma un papel periódico enrollado y acerque el fuego de éste último a la punta de la boquilla.

8. Abra entonces la llave de presión. El soplete debe encender. Si el combustible gasificado no sale, se debe desobstruir el orificio del oído con una aguja adecuada.

9. Gradúe la flama.

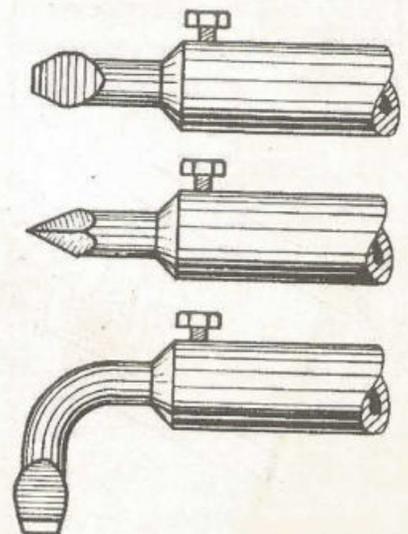
### Cautines eléctricos

Los soldadores o cautines eléctricos son herramientas empleadas para soldar con estaño todo tipo de empalmes, conexiones, etc. En un cautín eléctri-

co se genera calor debido al paso de una corriente a través de un elemento calefactor. Este último está formado generalmente por una bobina de alambre de alta resistencia devanada sobre un núcleo aislante.

En la figura 16-28 se muestra la estructura de un cautín eléctrico típico. Consta básicamente de una punta metálica, fijada a un tubo metálico, dentro del cual está ubicada la resistencia calefactora. Esta última calienta tanto el tubo como la punta. El tubo tiene acoplado un mango aislante del cual sale un cordón flexible para la conexión eléctrica de la resistencia a la red de alimentación.

Para soldar, la punta del cautín se pone en contacto con los elementos o partes metálicas que se desean unir y con la barra de soldadura de estaño. Por efecto de la alta temperatura de la punta, el estaño de la soldadura se derretirá y se propagará entre las dos partes previamente calentadas. Al apartar el soldador, y gracias a la disminución de la temperatura, el estaño volverá a solidificar, aunque ahora formará parte de un contacto eléctrico.



**Figura 16-29. Puntas para cautín.**

## Herramientas para el trabajo eléctrico



Figura 16-30. Insumos para soldar con caudín eléctrico.

Las puntas son generalmente de cobre, aunque algunas vienen niqueladas o blindadas para reducir la corrosión, y se ofrecen en diferentes formas dependiendo de la aplicación (figura 16-29). La mayor parte de los cautines tienen puntas reemplazables que se atornillan en la boquilla cilíndrica o se sujetan con un tornillo de ajuste.

La cantidad de calor generada por un caudín es proporcional a la potencia nominal del elemento calefactor. Para el trabajo eléctrico, la potencia nominal de los cautines varía de 25W a 100W. Los cautines de gran capacidad, que se emplean para soldar alambres de muy alto calibre o para soldar alambres en objetos grandes, pueden tener un vatiaje nominal de 250W o superior. Una regla general es seleccionar un caudín que no produzca más calor del necesario para el trabajo.

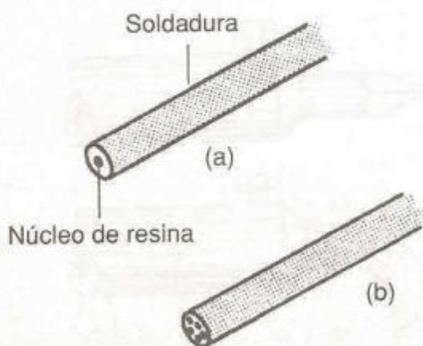


Figura 16-31. Soldadura con núcleo de resina (a) Un sólo núcleo (b) Multinúcleo.

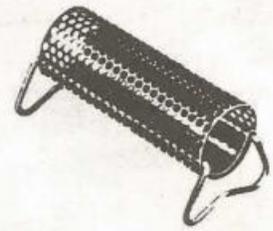
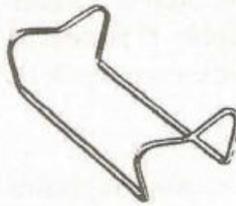


Figura 16-32. Portacautines

Para obtener una buena soldadura con un caudín eléctrico, los elementos a soldar deben estar limpios, libres de óxidos y recubiertos con desoxidantes o fundentes. Uno de los desoxidantes más utilizados es la resina, disponible como un producto separado (figura 16-30) o formando el núcleo del alambre de soldadura (figura 16-31). Cuando la soldadura se derrite, el fundente fluye sobre las superficies por soldar y actúa como un limpiador que elimina las capas de óxido de la superficie. Estos óxidos se producen cuando el oxígeno y el aire se combinan químicamente con el metal e impiden la correcta adherencia de la soldadura.

En lugar de resina se pueden utilizar también pastas fundentes que no contengan ácidos o sales. Los ácidos y sales producen corrosión en el cobre, la cual da como resultado una débil unión soldada y una alta resistencia entre los alambres conectados. Una vez soldadas, las piezas no deben moverse hasta que la aleación, que es de color plateado brillante cuando está fundida, adquiera un color plateado opaco. Eso indicará que ya se ha endurecido.

Los cautines deben siempre mantenerse en soportes adecuados (portacautines) mientras no se estén utilizando (figura 16-32). Esto evita que las superficies de trabajo se carbonicen o quemen por haber colocado el caudín

en forma inconveniente. Los soportes encerrados en una protección metálica perforada ofrecen la mejor defensa contra las quemaduras de piel o ropa. Un caudín puede provocar un incendio si se maneja en forma inadecuada. Por tal motivo, se debe ser muy cuidadoso cuando se emplee cualquier caudín.

Después de cierto tiempo, la punta de un caudín se cubre de una delgada capa de óxido, la cual reduce la cantidad de calor que se transfiere del caudín a la punta y ocasiona que la punta se pegue en el caudín. Para evitar que esto suceda, la punta debe retirarse del caudín después que se ha usado durante algún tiempo y limpiarse con lija antes de volver a utilizarse. Cuando coloque una punta en un caudín, asegúrese de haberla introducido completamente en la boquilla del mismo.

Las caras o superficies planas de una punta de caudín se cubren con el residuo quemado del fundente de la soldadura después de haberse utilizado por algún tiempo. Este recubrimiento reduce la cantidad de calor entregada a la superficie que se está soldando. Cuando utilice un caudín, conserve siempre la punta limpia y brillante frotándola sobre una esponja húmeda (figura 16-33), procedimiento necesario para un buen trabajo de soldadura. Una punta galvanizada nunca debe limpiarse con una lima o un cepillo de alam-



**Figura 16-33.** La punta de un cautín debe siempre conservarse limpia frotándola sobre una esponja húmeda.

bre, debido a que puede dañarse su recubrimiento protector.

Antes de comenzar a soldar, la punta de un cautín debe ser previamente **estañada**, es decir recubierta de una delgada capa de soldadura sobre su superficie. De esta manera se logra conducir más calor de la punta hacia la superficie que se está soldando. El proceso de estañado de una punta de cautín se resume en la figura 16-34 y comprende los siguientes pasos:

- a) Elimine las impurezas hasta dejar el cobre limpio.
- b) Caliente el soldador.
- c) Aplique en la punta pasta desoxidante o resina. Este paso no es necesario si utiliza soldadura con núcleo de resina.
- d) Estañe la punta. El estaño fluirá cuando la punta tenga el grado de calor requerido.
- e) Una vez realizado el estañado de la punta, elimine toda soldadura rema-



**Figura 16-34.** Forma de estañar la punta de un cautín

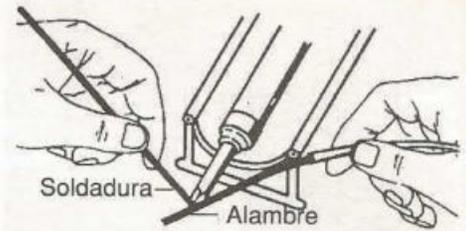
nente sobre ella frotándola con cuidado sobre una esponja húmeda suave. Por último, coloque el cautín en su correspondiente soporte metálico.

También es importante estañar los alambres desnudos de cobre antes de soldarlos entre sí o conectarlos a terminales. De este modo, la soldadura es más rápida, efectiva y requiere menos calor. Aunque los alambres a los cuales se les ha quitado el aislamiento están por lo general suficientemente limpios para la soldadura, siempre es conveniente, antes de estañarlos, limpiarlos con un borrador de tinta, una lija fina, una navaja, etc. Algunos alambres y terminales vienen preestañados, pero pueden soldarse más rápidamente si se reestañan antes de realizar el proceso.

Un alambre puede estañarse en forma rápida usando un portacautín como se ilustra en la figura 16-35. Para ello, primero funda un poco de soldadura sobre la punta del cautín. A continuación, ponga el alambre en contacto con la soldadura y funda una pequeña cantidad de soldadura adicional en la punta, girando el alambre hasta que toda su superficie quede cubierta con una delgada capa.

Todos los amarres o empalmes de conductores, especialmente los colgantes o sujetos a tensión mecánica, deben ser estañados inmediatamente después de realizados con el fin de garantizar un contacto perfecto, protegerlos de la oxidación, evitar su aflojamiento y proporcionarles firmeza. El proceso de estañado de una unión, representado en la figura 16-36, puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Apoye el soldador bien caliente, limpio y con la punta bien estañada en la parte inferior de la unión, aplicando



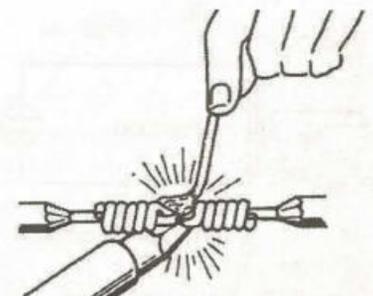
**Figura 16-35.** Modo de emplear un portacautín para estañar un alambre

al mismo tiempo el desoxidante sobre el arrollamiento.

2. Apoye la barra o el alambre de soldadura en la parte superior del arrollamiento y gire la unión hasta que el estaño fundido llene todos los espacios entre vueltas y cubra totalmente el arrollamiento.

3. Retire el cautín y deje enfriar la soldadura. No mueva ni toque la unión hasta que la soldadura haya enfriado lo suficiente. Se nota que esto ha sucedido cuando la soldadura cambia de brillo. Si mueve una conexión caliente, la soldadura repentinamente se tornará opaca, originando lo que se denomina una *soldadura fría*. Este tipo de unión no brinda un buen contacto eléctrico.

4. Aísle la unión con cinta plástica, enrollando oblicuamente esta última de un extremo al otro del aislamiento y manteniéndola tensa (figura 16-37). Coloque una o dos capas



**Figure 16-36.** Forma de estañar una unión

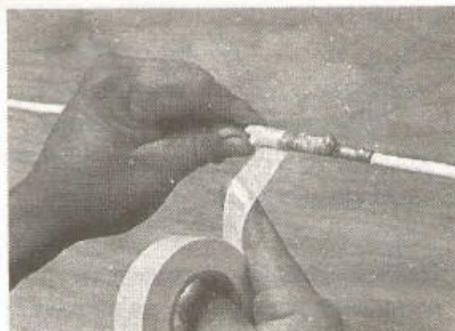


Figura 16-37. Forma de encintar una unión

adicionales de cinta para conseguir un aislamiento correcto. Para más detalles sobre la realización, estañado y aislamiento de uniones, se remite al lector al capítulo 5 del tomo de Proyectos de este curso.

### Pistolas para soldar

Una pistola es una herramienta fundidora de soldadura dotada de un transformador que aplica un bajo voltaje a través de la punta. La corriente que atraviesa la punta produce suficiente calor para derretir la soldadura. En la

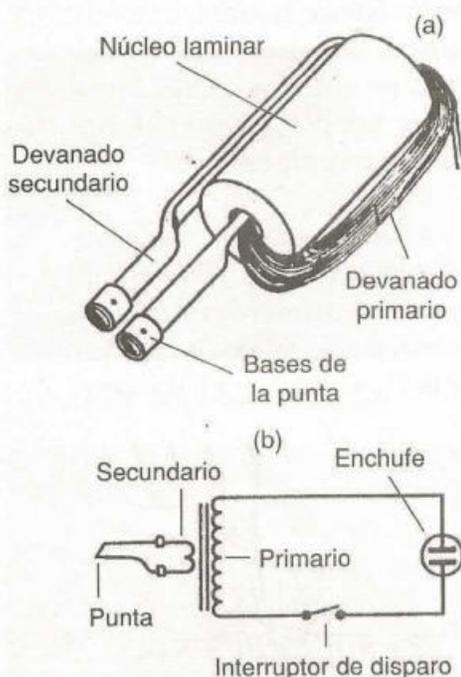


Figura 16-38. Estructura de una pistola para soldar  
(a) Construcción (b) Diagrama de conexiones

figura 16-38 se muestran la estructura interna y el diagrama de conexiones de una pistola para soldar típica.

La pistola se acciona generalmente mediante un interruptor que controla las operaciones de encendido y apagado. Este último tiene a menudo dos posiciones de disparo, lo que permite dos niveles de potencia de trabajo, digamos 100W y 140W. La segunda posición de disparo genera más calor para trabajos pesados. Además del interruptor, la mayor parte de las pistolas de soldar tienen también una o más lámparas que se encienden cuando se oprime el disparador. Las lámparas iluminan las superficies que se están soldando e indican que la pistola está en operación.

Para soldar con una pistola, sitúe inicialmente el interruptor en la primera posición de disparo. En pocos segundos, la punta se calentará a la temperatura para la soldadura. A continuación, coloque la punta en el metal y alimente un poco de soldadura en la misma para liberar el fundente. Después, aplique soldadura en el punto de trabajo hasta que fluya libremente. Retire inmediatamente la pistola y suelte el disparador. Si necesita más calor, utilice la segunda posición de disparo. Las puntas son reemplazables y se estañan y limpian de la misma manera que las utilizadas con los cautines.

Una recomendación final: Maneje siempre con cuidado un caudín o una pistola de soldar con el fin de no quemarse usted mismo, dañar componentes delicados o quemar el aislamiento de los alambres. El aislamiento quemado o carbonizado presenta un mal aspecto y además puede producir un cortocircuito o una falla a tierra.

### Herramientas para guiar alambres y cables

Después de fijar el conduit y las cajas a los muros de concreto, los conductores de una instalación eléctrica deben colocarse o enhebrarse dentro de los tubos. Para tramos cortos y rectos, los alambres pueden ser empujados, manualmente o con la ayuda de un alambre de acero galvanizado ordinario, a través del conduit de una salida a la siguiente. No obstante, en la mayoría de los casos, especialmente cuando el conduit contiene curvas y los tramos son largos, se utiliza algún tipo de guía, siendo la más común la cinta de pescar de acero.

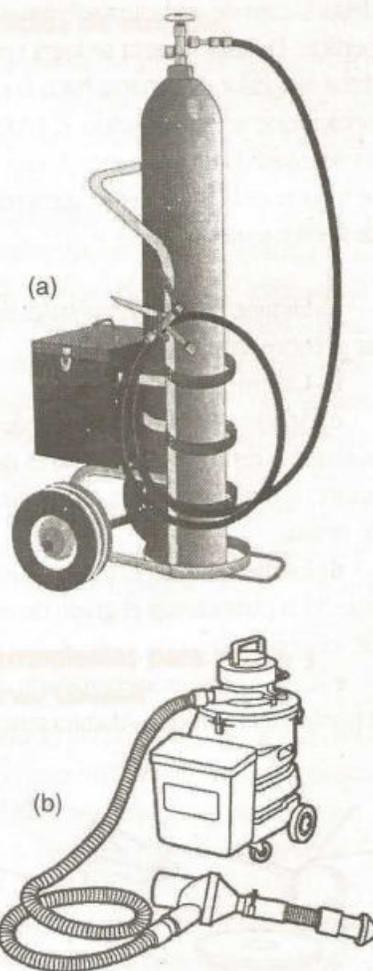


Figura 16-39. Equipos especializados de arrastre  
(a) Sistema Jet Line  
(b) Sistema de succión



Figura 16-40. Lubricante para arrastrar cable

También se dispone de cintas no metálicas, fabricadas generalmente de nylon o fibra de vidrio, que son muy útiles para guiar conductores a través de circuitos energizados. Para instalaciones grandes se utiliza equipo especializado que rápidamente empuja o arrastra una cuerda a través del conduit (figura 16-39). Esta cuerda, a su vez, se utiliza para arrastrar una cadena o un trazo al cual se acoplarán los conductores o el cable que será arrastrado a través del sistema de conduit.

Cada vez que se arrastran alambres y cables a través de tubos conduit, es conveniente y necesario lubricarlos previamente con el fin de

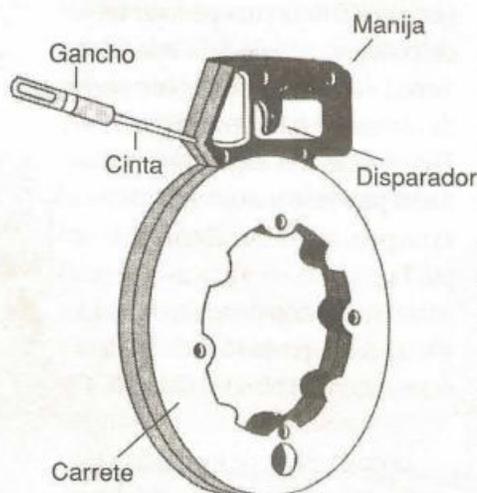


Figura 16-41. Guía de acero

reducir la fricción, facilitar el deslizamiento, minimizar la tensión y permitir un arrastre suave de los mismos sin dañar el aislamiento. Para esta operación se utilizan varios tipos de compuestos lubricantes como ceras, gels, talcos, parafinas, etc. (figura 16-40) cuyas características particulares (viscosidad, textura, etc.) dependen del tipo de cable y las necesidades de arrastre específicas.

### Guías de acero

La guía o cinta de acero (figura 16-41) es una tira metálica angosta de sección rectangular, rígida y flexible a la vez, que se utiliza para arrastrar los alambres dentro de los tubos de una instalación eléctrica. Traen un ojo o gancho en la punta al cual se acoplan los conductores y vienen generalmente en un estuche plástico circular llamado carrete. Este último facilita su manipulación y sirve de asidero para arrastrar los conductores después de haber sido acoplados. Se ofrecen en anchos de 1/8" y 1/4", espesores de 0.3mm a 0.6mm y longitudes de 15 m a 30 m.

El procedimiento para introducir conductores dentro de una tubería con la ayuda de una cinta de acero se puede resumir en los siguientes pasos:

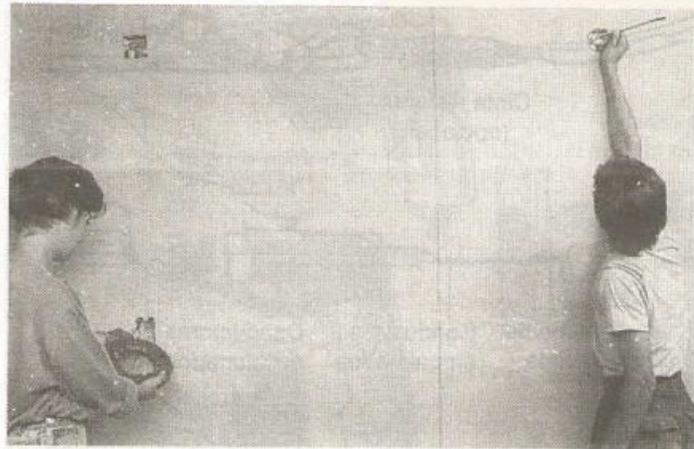


Figura 16-42. Forma de introducir la guía de acero

1. Seleccione la cinta de acero de acuerdo a la distancia entre las cajas y la sección del conduit.

2. Introduzca la punta de la cinta de acero por un extremo del tubo, empujándola hasta que sobresalga por el otro extremo (figura 16-42). Como la cinta es flexible y delgada, pasa con facilidad por las curvas.

3. Pele los conductores unos 10 cm y átelos al extremo de la cinta (figura 16-43). El diámetro del amarre debe ser el mínimo posible para facilitar el paso del conjunto a través del tubo. La unión de los conductores con la cinta de acero puede recubrirse con cinta aislante para evitar que las puntas de los conductores sobresalgan de la atadura. Asimismo, con el fin de reducir la fricción y facilitar el deslizamiento, es conveniente lubricar los conductores o cables con grasa, manteca o un compuesto lubricante adecuado y recubrir el interior del tubo con talco industrial aplicado por aspersión (soplando).

4. Tire de la cinta hasta que los conductores queden próximos a la boca de entrada del tubo. Esta operación requiere usualmente de dos personas, una halando de un extremo y otra alimentando los conductores en

## Herramientas para el trabajo eléctrico

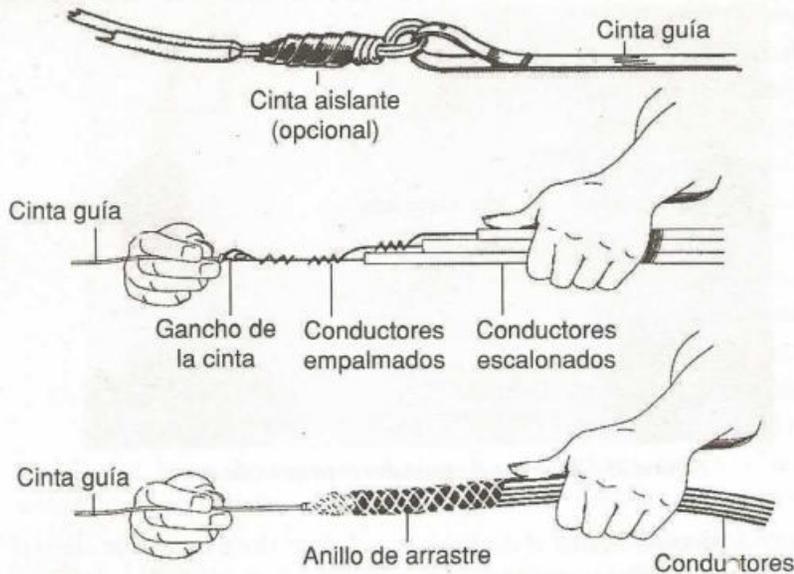


Figura 16-43. Forma de acoplar alambres a guías

el otro. Continúe halando suavemente la cinta de acero hasta que los conductores hayan sobresalido lo necesario para su utilización (10 a 25 centímetros). Corte entonces los conductores en el extremo de la atadura con la cinta. Durante el arrastre es conveniente utilizar guantes para protegerse las manos.

5. Finalmente, corte los conductores en el otro extremo, dejando la longitud necesaria para su utilización.

El mismo procedimiento anterior puede utilizarse para limpiar y secar la tubería antes arrastrar los conduc-

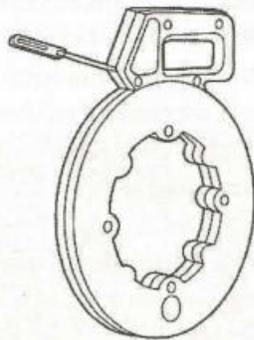


Figura 16-44. Carrete de cinta de fibra de vidrio

tores. En este caso, después de introducir la cinta de acero, se ata en el extremo un trozo de alambre galvanizado de longitud adecuada (mayor que la del tramo de conduit), se cubre la unión con trapo o estopa, se asegura esta última con alambre y se tira de la cinta. La envoltura de la estopa o el trapo debe ser de un diámetro ligeramente mayor que el del tubo para que haga presión contra las paredes internas de este último y garantice una correcta limpieza.

**Nota:** En caso de ruptura, el bucle de arrastre de una cinta de acero se puede formar nuevamente calentando el extremo con una antorcha y utilizando unas pinzas. Si se intenta formar un nuevo bucle sin calentar, la cinta se partirá.

### Cintas no metálicas

Las cintas no metálicas se utilizan para guiar alambres y cables a través de circuitos energizados. Pueden ser de nylon o de fibra de vidrio, y vienen normalmente en longitudes de 25ft (7.6 m), 75ft (23 m) y 100ft (30 m). Las cintas de fibra (figura 16-44) son actual-

mente más utilizadas que las de nylon debido a su facilidad para desplazarse a través de tramos rectos y curvos de conduit sin formar rizos. Las cintas de nylon, especialmente las de gran longitud, tienden a aglomerarse en las curvas.

### Herramientas para hacer agujeros y regatas

Con frecuencia, el electricista debe efectuar perforaciones en muros de mampostería con el objeto de colocar chazos y anclajes para la fijación de paneles, cajas, abrazadera y otros elementos. En algunos casos es necesario también practicar regatas para el pasaje de tubos. Todas estas operaciones implican el uso de herramientas especiales tales como taladros, cinceles, barrenos, pistolas, etc.

### Taladros eléctricos

El taladro eléctrico (figura 16-45) es probablemente la herramienta más práctica y popular para hacer agujeros en cualquier tipo de superficie y en cualquier posición. Algunos taladros, además de perforar, pueden ser también utilizados para meter y sacar tornillos, martillar y realizar otras funciones. Los taladros utilizados en instalaciones eléctricas para perforar muros de concreto son de baja velocidad y vienen dotados de brocas con puntas de carburo de tungsteno (figura 16-46). Estas brocas son especialmente diseñadas para este trabajo y su diámetro es un poco mayor que el resto del cuerpo. También existen brocas especiales para la realización de agujeros grandes y/o agujeros profundos en madera y otros materiales blandos (figura 16-47).

La mayor parte de los taladros eléctricos obtienen su tensión de alimentación de la red de distribución pública. Sin embargo, existen taladros ina-



Figura 16-45. Taladros

lámbricas que operan mediante baterías recargables incorporadas. Esto permite utilizarlos en cualquier momento y lugar. Son especialmente prácticos en situaciones donde la disponibilidad de salidas eléctricas es un problema o el uso de energía eléctrica puede ser un riesgo.

En la industria de la construcción eléctrica se utilizan tanto taladros de una velocidad como de velocidad variable, reversibles o no reversibles. Las unidades reversibles y de velocidad variable son particularmente útiles para introducir y extraer tornillos. Los taladros de gran potencia poseen generalmente dos mangos de fuerza (uno en forma de D y uno en forma de rodillo) debido a que deben sostenerse con ambas manos cuando se utilizan. Estos equipos aceptan brocas hasta de 1/2" y corren más lentamente que las unidades estándares de 1/4" o 3/8".

Para la perforación de concreto y mampostería es muy común la utilización de taladros que no solamente rotan una broca sino que golpean al mis-

mo tiempo para agilizar el proceso. Un ejemplo lo constituyen los taladros martillo. Este tipo de equipos utilizan brocas especiales, con puntas de carburo de tungsteno, para perforar concreto y traen generalmente un rodillo-guía ajustable que permite controlar la profundidad de la penetración. Pueden ser utilizados como taladros convencionales accionando una palanca que inhabilita la acción de martillado.

Una de las aplicaciones más comunes de los taladros eléctricos es la apertura de agujeros para chazos o tacos (figura 16-48). Cuando se realizan perforaciones para chazos con taladro eléctrico en paredes de concreto, la clave está en hacer el agujero lo más recto posible, sin subir ni bajar la mano en el momento de estar presionando. Así se garantiza que la boca del hoyo tenga el diámetro adecuado y el taquete quede presionado. El procedimiento para realizar perforaciones de chazos con un taladro eléctrico se explica en uno de los proyectos centrales de este curso.

Los taladros normalmente perforan en línea recta. Sin embargo, cuando se perforan vigas y otras piezas de madera en rincones o lugares estre-

chos, resulta más práctico utilizar un taladro de ángulo recto. Este tipo de equipos son generalmente de dos velocidades y reversibles. Para cambiar de un rango de velocidad a otro se retira el mandril o portaherramientas, se invierte la pieza de cambio de dirección y se reinstala el mandril (figura 16-49). También se dispone de extensiones largas para taladros que permiten a los electricistas realizar perforaciones en sitios altos desde el piso.

## Cinceles

El cincel (figura 16-50) es una herramienta de acero sólido que se utiliza en las instalaciones intramuro para abrir los huecos de las cajas y ranurar los muros con el fin de ocultar la tubería conduit. Los cinceles vienen en an-



Figura 16-46. Broca para concreto

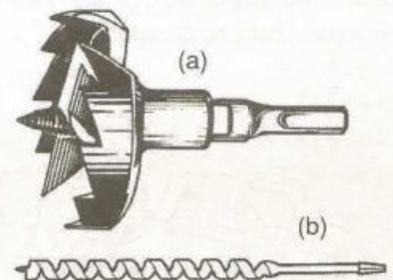


Figura 16-47. Brocas especiales para madera

- (a) Broca para agujeros grandes
- (b) Broca para agujeros profundos

## Herramientas para el trabajo eléctrico

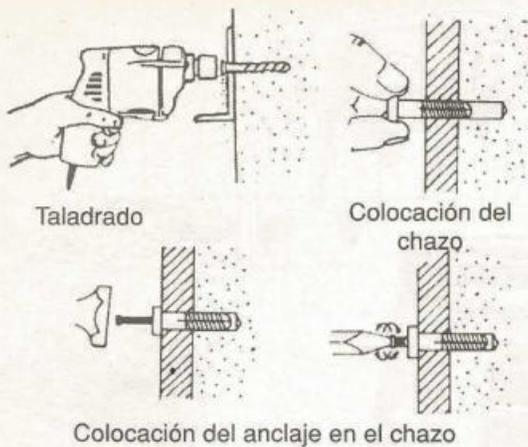


Figura 16-48. Forma de utilizar el taladro para colocar chazos o taquetes

chos desde 1/4" hasta 1 3/16" y se venden individualmente o en juegos. También se dispone de cinces especiales para cortar metales tales como hierro forjado, hierro fundido, acero, latón, bronce, cobre, aluminio, y piezas como pernos, tuercas, etc.

### Barrenos

Los barrenos o barrenas (figura 16-51) son herramientas de acero que se utilizan para hacer orificios en la mampostería cuando hay necesidad de poner chazos o taquetes para fijar cajas, abrazaderas, etc. Las barrenas más comúnmente utilizadas en el trabajo con instalaciones eléctricas son la de empuñadura desmontable o Raw-plug, la de punta de estrella y la hueca. Para realizar perforaciones en superficies de madera se utilizan el barreno de ojo o barreno salomónico y el barreno de mano.

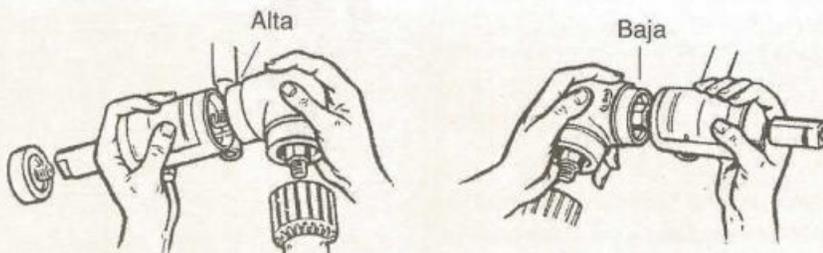


Figura 16-49. Forma de cambiar la velocidad en un taladro de ángulo recto

El **barreno de empuñadura desmontable** (figura 16-52) se utiliza para ejecutar pequeños agujeros en hormigón, ladrillos, losas, etc. Está constituido por una empuñadura metálica en la cual se introducen brocas intercambiables de varios diámetros, generalmente desde 4 mm (5/32") hasta 9.5 mm (3/8"). La empuñadura tiene un orificio lateral, donde se introduce una

cuña para sacar la broca. La broca se introduce en la empuñadura por su extremo cónico.

En la figura 16-53 se ilustra la forma de utilizar un barreno de puntas intercambiables. El agujero se hace dando golpes suaves y seguidos con un martillo o una maceta sobre la empuñadura. Entre un golpe y otro, la empuñadura debe girarse lentamente en uno u otro sentido para que vaya saliendo el material que se quita. A pequeños intervalos se saca el barreno para desalojar la tierra. El agujero debe tener el mismo diámetro del chazo y una profundidad ligeramente mayor a la longitud del mismo.

El **barreno punta de estrella** está constituido por una sola pieza de acero, con una punta cortante que tiene



Figura 16-50. Cinces

forma de estrella. Se utiliza para las mismas aplicaciones del barreno de punta desmontable.

El **barreno hueco** se emplea generalmente para hacer agujeros de paso de tubos conduit en muros en mampostería o ladrillo. En la figura 16-54 se muestra la estructura de un barreno de este tipo. Está constituido por una pieza cilíndrica hueca, con un extremo dentado, que sirve para realizar el corte. El material desprendido se evacua por el hueco longitudinal central y sale por un canal lateral o agujero de descarga. Vienen en distintos tamaños y se seleccionan de acuerdo con el espesor de la pared y el diámetro de la perforación.

El **barreno de ojo** o **barreno salomónico** (figura 16-55) se utiliza para agujerar la cimbra de madera de las losas cuando se necesita colocar un tubo conduit que baje desde el techo a un muro. Está constituido por

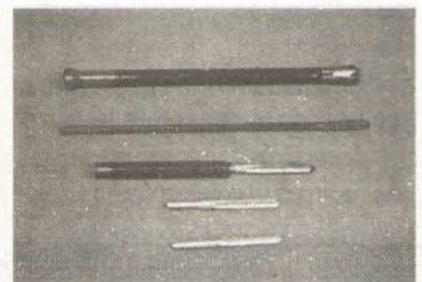


Figura 16-51. Barrenos

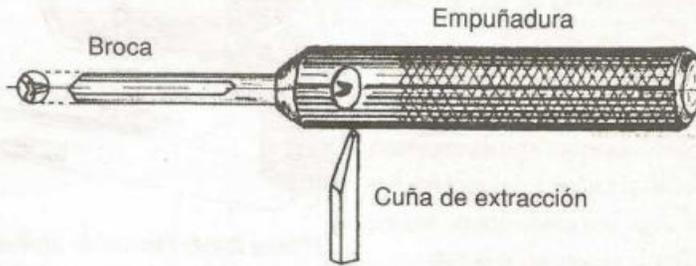


Figura 16-52. Partes de un barreno de empuñadura desmontable



Figura 16-53. Forma de utilizar un barreno de puntas intercambiables

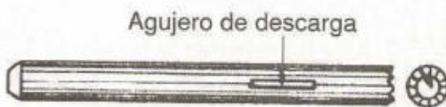


Figura 16-54. Estructura de una barrena hueca

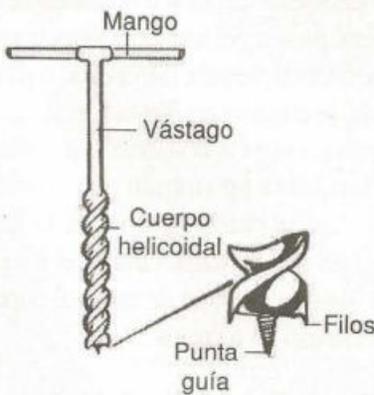


Figura 16-55. Barreno salomónico



Figura 16-56. Barreno de mano

una punta (guía) con rosca helicoidal que permite la penetración en la madera como si fuera un tornillo. Le siguen una parte más ancha con filos cortantes (cuerpo helicoidal), un vástago cilíndrico y un mango, generalmente de madera. Se designan por un número del 3 al 16 que indica el diámetro de su cuerpo en dieciseisavos de pulgada.

El **barreno de mano** (figura 16-56) se utiliza para hacer los agujeros guías de los tornillos cuando se colocan cajas o tubos sobre madera. Está constituido por una punta cónica de acero que se enrosca y penetra en la madera, seguida de una parte más ancha con filo helicoidal que corta la fibra. Esta última está provista de un mango de madera o de metal. Las barrenas de mano se seleccionan de acuerdo al diámetro del cuerpo. Este

último debe corresponder al diámetro del núcleo del tornillo. La profundidad del agujero debe ser igual al largo del tornillo.

### Pistolas de percusión

Las pistolas de percusión o Hilti (figura 16-57) se utilizan para fijar directamente clavos, tornillos y otros tipos de anclajes en muros de concreto sin necesidad de realizar previamente las perforaciones para los mismos. Simplemente se introduce el anclaje en la pistola, se coloca esta última contra la estructura o superficie de soporte y se acciona el gatillo para asegurar el anclaje al muro. La potencia para impulsar el anclaje la proporciona una cápsula explosiva (bala).

El proceso para incrustar un anclaje en concreto mediante una pistola de percusión se puede resumir en los siguientes pasos:

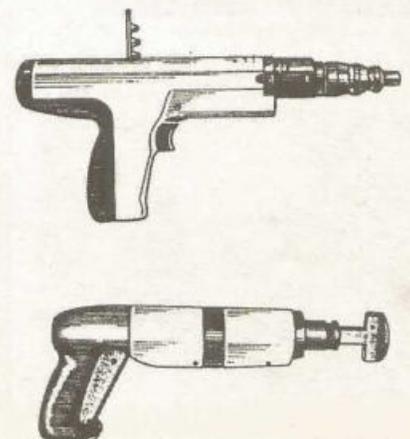
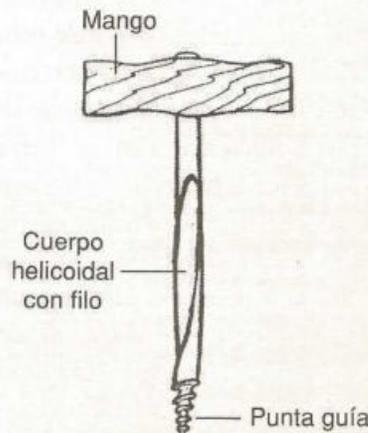


Figura 16-57. Pistolas Hilti

## Herramientas para el trabajo eléctrico

1. Seleccione el tipo de anclaje (clavo, tornillo, etc.). Los anclajes usados con pistolas de percusión son básicamente de dos tipos: lisos y roscados. Los anclajes lisos (*pinos*), que traen una cabeza de 5/16", vienen en diámetros de 9/64", 1/8" y 5/32", y longitudes desde 1/2" hasta 3" en incrementos de 1/4". Los anclajes roscados (*studs*), por su parte, son de 5/32" de diámetro y se ofrecen en longitudes desde 1/2" hasta 1 1/4" y tramos roscados desde 3/4" hasta 1 1/4". Algunas pistolas aceptan solamente pinos, mientras que otras acep-



Figura I6-58. Cargando una pistola de percusión



Figura I6-59. Disparando el anclaje



Figura I6-60. Anclaje enterrado en el muro

tan tanto pinos como studs. La longitud y el diámetro del anclaje dependerán del peso que deba soportar y de la dureza del concreto.

2. Seleccione la cápsula explosiva de acuerdo al tamaño del anclaje. Entre mas largo sea este último, mayor deberá ser la potencia de la bala

3. Abra la pistola, revise la recámara y extraiga la bala (si la hay). La manipulación posterior de la pistola puede resultar peligrosa si no se asegura de que la pistola esté descargada

4. Cierre nuevamente la pistola y, si es necesario, instale la zapata adecuada al tipo de anclaje. Simplemente apoye la zapata en el piso, sujétela con el pie y hale la pistola con un movimiento rápido de vaivén. Una zapata inadecuada no protege contra el rebote de un clavo o tornillo y significa un gran riesgo para el operario u otras personas.

5. Abra la pistola, introduzca el anclaje en la recámara y empújelo con una baqueta o varilla previamente graduada. Cuanto mayor sea la longitud de la varilla, menor será la penetración del clavo en el concreto y viceversa. A continuación coloque el fulminante (figura I6-58) y cierre la pistola.

6. Marque el punto donde debe ir el anclaje, apoye la zapata en el concreto y haga coincidir las ranuras de la misma con la marca en cruz hecha previamente sobre el muro. Empuje fuertemente la pistola contra el concreto, manteniéndola perpendicular al mismo, y oprima el gatillo (figura I6-59). Compruebe la penetración del anclaje (figura I6-60). Si es necesario, modifique la graduación de la baqueta para el próximo disparo. Dependiendo de si el clavo ha penetrado

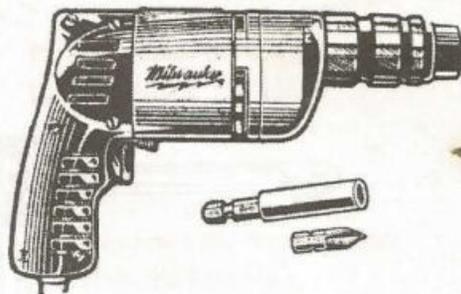


Figura I6-61. Pistola de atornillar

demasiado o muy poco en el concreto, habrá que disminuir o aumentar la potencia del impacto.

7. Abra nuevamente la pistola, introduzca la baqueta en la boca del cañón y empuje la cápsula vacía hasta extraerla. Hecho esto, cierre la pistola.

### Pistolas de atornillar

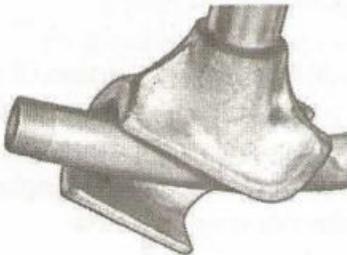
Una pistola de atornillar (figura I6-61) es básicamente un taladro de 1/4" de velocidad variable, con un mandril especial que acepta brocas de cuerpo hexagonales hasta de 1/4". Poseen generalmente un *clutch* o embrague el cual protege el tornillo y evita pueda ser sobreapretado, estropeado o partido. Se utilizan para fijar canaletas, luminarias y otras aplicaciones que utilizan dispositivos tipo tornillo para su anclaje. Algunas pistolas tienen madriles ajustables que permiten cambiar el torque y adecuarlo al tipo de material donde penetran los tornillos.

### Herramientas para doblar y curvar conduit

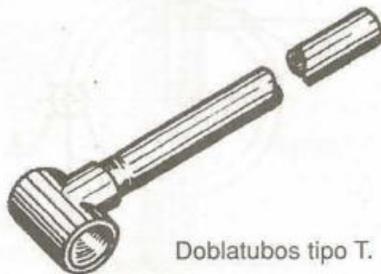
Quando prepara y coloca la canalización para instalaciones, el electricista debe curvar los tubos para adaptarlos a los recorridos más convenientes. Para este trabajo se utilizan herramientas especiales denominadas *dobladoras de tubos* o, simplemente, **doblatusos**. Existen doblatusos para tubos metálicos y doblatusos para tubos plásticos. Los dobladores de tubos metálicos, a su vez, pueden



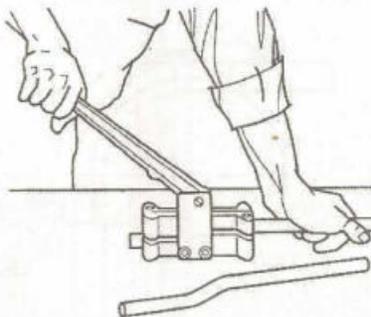
Doblatubos para conduit liviano o de pared delgada.



Doblatubos para conduit pesado o de pared gruesa



Doblatubos tipo T.



Doblatubos offset

Figura 16-62. Dobladores de tubos metálicos

ser manuales, mecánicos, electromecánicos, hidráulicos, etc. Los dobladores de tubos plásticos (PVC) siempre utilizan métodos térmicos.

El doblado se ejecuta durante el montaje de las instalaciones eléctricas a la vista y/o embutidas en concreto. El doblador permite doblar los tubos para que las curvas no sean muy agudas y el tubo no se adelgace.

### Dobladores manuales

Estas herramientas están constituidas por dos elementos: el arco donde se introduce el tubo y la palanca sobre la que se aplica la fuerza para el curvado. Los arcos son de diferentes tamaños y formas, según los diámetros y espesores de las paredes de los tubos. En las figuras 16-62 se muestran varios ejemplos de dobladores de tubos metálicos

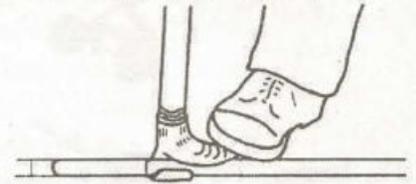
El doblatubos tipo T, en particular, puede ser construido por el propio electricista con un acoplador T y un trozo de tubo de hierro como los que se utilizan en las canalizaciones para agua caliente. Con la T puede doblarse cualquier tipo de tubo metálico. Sin embargo, el curvado debe hacerse con sumo cuidado para evitar deformar la sección del tubo.

Los dobladores manuales son capaces de doblar conduit EMT de 1/2", 3/4", 1" y 1 1/4". Son dobladores operados a mano y consisten de un zapato, con un gancho en un extremo para sostener el conduit en el zapato mientras se dobla, y una pieza de conduit de acero rígido que actúa como palanca o mango. Están siempre marcados para indicar el tamaño de conduit que doblaran. Algunos de ellos incluyen una marca para doblar también conduit rígido. Los dobladores diseñados para doblar conduit de acero rígido se conocen algu-

nas veces como "hickeys". Este tipo de dobladores tiene un zapato muy corto con un gancho de sostenimiento.

El procedimiento para doblar un tubo rígido se ilustra en la figura 16-63 y puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Determine y marque sobre el tubo los extremos del tramo que se va



Colocar el doblador en el tubo.



Apoyar el tubo y doblar.



Doblado de tubos cortos

Figura 16-63. Doblado de tubos metálicos rígidos con doblatubos.



**Figura 16-64. Dobladores mecánicos** a curvar. Utilice una tiza o un marcador de tinta.

2. Seleccione el doblador de tubos de acuerdo con el diámetro del tubo que va a doblar. Asegúrese que la palanca quede firmemente roscada para evitar golpearse en caso de que la misma se suelte accidentalmente.

3. Coloque el doblador en el tubo, en el extremo del tramo a curvar. Si el tubo que se dobla es corto, se introduce en otro de mayor diámetro y de largo suficiente para suplementarlo.

4. Inicie el curvado apoyando el tubo contra la pared y tirando la palanca hasta que la punta recta forme aproximadamente  $30^{\circ}$  con la dirección del tubo.

5. Termine el doblado desplazando el doblador aproximadamente la tercera parte del tramo hacia la segun-

da marca y doble otros  $30^{\circ}$ . Vuelva a correr el doblador hasta la segunda marca y finalice el doblado a  $90^{\circ}$ .

El mismo procedimiento anterior es aplicable al doblado de tubos con doblatubos tipo T. En este caso, deben disminuirse los avances y aumentar los puntos de doblado.

### Dobladores/curvadores mecánicos

Mucho trabajo eléctrico requiere conduit en tamaños de  $1/2"$ ,  $3/4"$  o  $1"$ . El doblado de tubos de estos tamaños de conduit usualmente no justifica el uso de dobladores eléctricos o hidráulicos. Consecuentemente, se han desarrollado dobladores mecánicos como los mostrados en la figura 16-64. Estas máquinas facilitan y agilizan el curvado de tubos. Sirven para doblar en frío y sin relleno tubos de pequeño diámetro.

Los dobladores mecánicos están montados en un bastidor con ruedas para soportarlos cuando se están usando. Una longitud de 1 a 1.5 metros de conduit de  $1"$  se usa como palanca. Los dobladores mecánicos son capaces de doblar conduit EMT desde  $3/4"$  hasta  $2"$ , conduit rígido desde  $1/2"$  hasta  $1\ 1/2"$  y conduit de aluminio desde  $1/2"$  hasta  $2"$ .

Los dobladores mecánicos constan de una polea fija o móvil, un rodillo, un dispositivo de sujeción (brida), un apoyo o tope y una palanca (figura 16-65). En la curvadora de polea fija, el tubo se fija mediante el dispositivo C; luego se gira la palanca B con el rodillo para hacer el curvado.

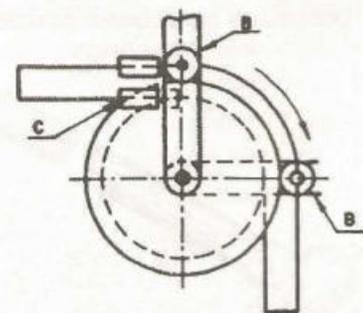
En la curvadora de polea móvil se fija el tubo mediante el dispositivo C, quedando fijos el conjunto de polea, tubo y palanca. Al hacer el curvado, el conjunto de polea y palanca giran

haciendo deslizar el tubo a través del carril de deslizamiento D. Este sistema ofrece mayores garantías para el doblado que el de la polea fija. La polea, el rodillo y el carril de deslizamiento deben ajustarse perfectamente al diámetro exterior del tubo para evitar deformaciones.

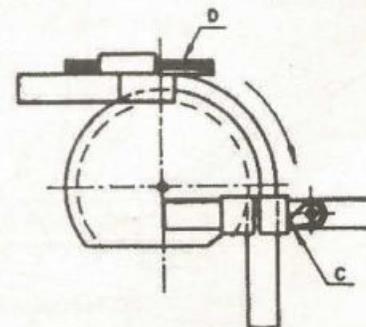
Una vez realizado el doblado de un tubo metálico es necesario verificar la fidelidad de la curva. Los métodos más comunes par la verificación de curvas son:

(a) Por medio de plantillas. Se traza una plantilla con el diámetro interior de la curva y se recorta en tal forma, que se puede hacer fácilmente la verificación.

(b) Por medida sobre un trazo. Cuando no es sino una pieza la que se va a hacer, o tiene una forma complicada, se hace un trazo sobre una superficie plana y sobre éste se verifica la curva.



Curvadora de polea fija.



Curvadora de polea móvil.

**Figura 16-65. Estructura de curvadoras mecánicas**

## Dobladoras electromecánicas e hidráulicas

Actualmente se dispone de una gran variedad de máquinas eléctricas e hidráulicas para el doblado de tubos conduit de acero (GRC, IMC, EMT) y de aluminio. En la figura I6-66 se muestran algunos ejemplos. Cada aplicación requiere el uso de zapatas especiales adecuadas al tipo y calibre del conduit. En general, cualquier dobladora para conduit rígido también doblará conduit de aluminio. Sin embargo, los dobladores rígidos no pueden ser utilizados para doblar conduit EMT a menos que se utilicen zapatas especiales.

El doblador de la figura I6-66(a) es eléctrico y está equipado con zapatas para doblar conduit rígido, EMT y de aluminio desde 1/2" hasta 2". También aceptan como accesorios unas zapatas especiales denominadas "shotgun" que permiten doblar, al mismo tiempo, cuatro piezas de conduit de acero rígido o de aluminio de 1/2" o de 3/4", o tres de 1". Las zapatas, asociadas a rodillos de soporte adecuados, tienen marcadas las estaciones de doblado correspondientes. El número de esta-

ciones depende del rango de tamaños de conduit cubierto por la zapata.

Por ejemplo, la zapata para doblar conduit rígido es de tres estaciones, cubre el rango de tamaños desde 1/2" hasta 1.1/4" y requiere un rodillo de soporte de tres estaciones. Asimismo, la zapata para doblar EMT es de 4 estaciones, cubre el rango de tamaños desde 1/2" hasta 1.1/4" y requiere un rodillo de cuatro estaciones. Para cada zapata de doblado debe utilizarse el rodillo correcto. Los rodillos para zapatas EMT no son intercambiables con los rodillos para zapatas rígidas y por tanto no pueden ser utilizados con este tipo de zapatas.

Los dobladores de las figuras I6-66 (b), (c) y (e) son hidráulicos y pueden operar con bombas manuales o eléctricas. El primero dobla conduit rígido desde 1/2" hasta 2", el segundo conduit EMT, IMT y rígido desde 1.1/4" hasta 2", y el tercero conduit de pared gruesa (GRC) desde 1.1/4" hasta 5". Este último es para trabajo pesado y viene en un contenedor metálico que se utiliza para su almacenamiento y el de los zapatos de doblado aplicables.

Con el fin de obtener resultados más exactos, los dobladores hidráulicos se operan frecuentemente sobre mesas de trabajo especiales como la mostrada en la figura I6-66 (d). En este caso, los extremos de la mesa están conectados mediante dos tubos rígidos de acero de 2"x10ft (5cm x 3m). Estos tubos, que forman los ejes laterales de la mesa, se aseguran a los extremos mediante clips de horquilla. El conduit a doblar se asegura en la mesa por medio de una prensa de cadena. La cadena permite deslizar el tubo hacia adelante y hacia atrás.

Todos los dobladores hidráulicos poseen una escala graduada (decal) para indicar el ángulo de doblado, así como el radio y la longitud de la curva. Esta escala es muy importante para el operario del doblador y debe ser tratada con cuidado. No apile equipos pesados sobre el doblador y evite que quede expuesta a arañazos de metal o cualquier otra cosa que pueda distorsionar o destruir la escala. Además, ningún doblador hidráulico es útil a menos que esté convenientemente lubricado. Por esta razón, el nivel de aceite de

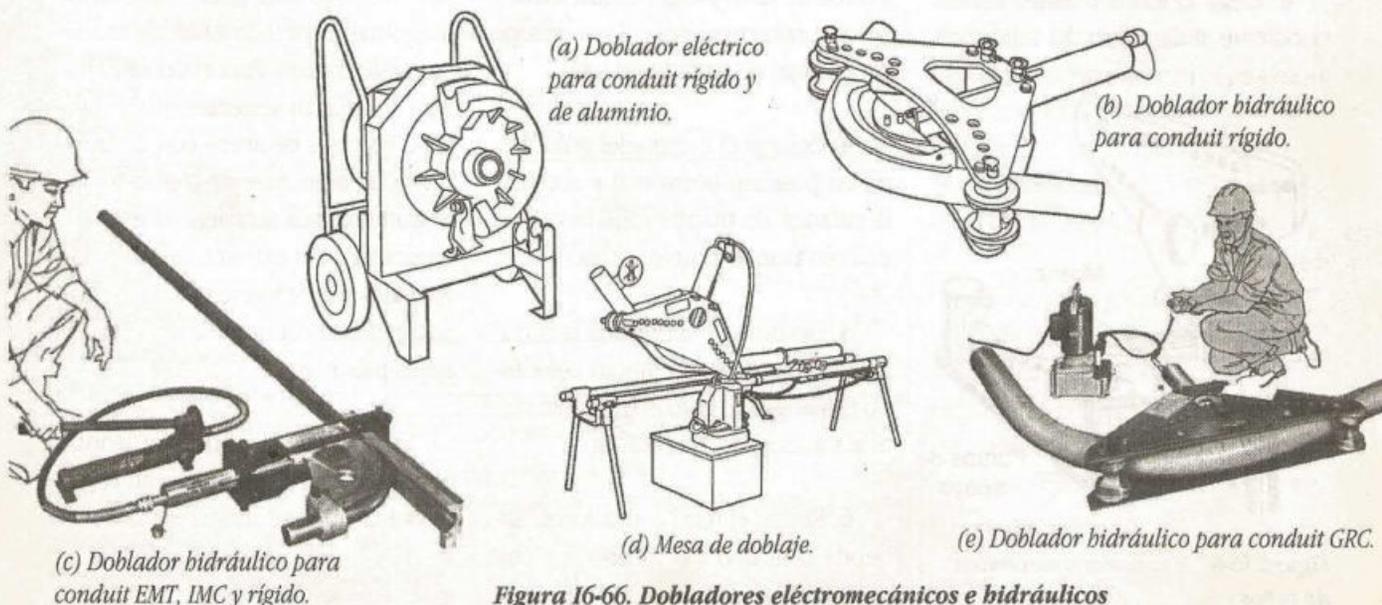


Figura I6-66. Dobladores electromecánicos e hidráulicos

## Herramientas para el trabajo eléctrico

la bomba debe ser chequeado y actualizado continuamente.

Además, puesto que los principales enemigos de los sistemas hidráulicos son el mugre y el agua, los dobladores hidráulicos vienen siempre equipados con tapas de protección para la bomba, las mangueras y los émbolos. Estas tapas, que evitan la penetración de contaminantes a la fuente de suministro de aceite de las bombas, deben permanecer en su lugar mientras la unidad esté guardada y retirarse cuando la misma esté en uso.

En la figura I6-67 se muestra más en detalle la estructura típica de una curvadora hidráulica de tubos. Como puede verse, consta básicamente de dos bastidores (superior e inferior), dos puntos de apoyo, una matriz o dado y un émbolo accionado por un sistema hidráulico. En los bastidores hay una serie de huecos, y frente a cada uno de ellos viene grabada una medida que corresponde a un diámetro de tubo. El procedimiento para curvar un tubo con un equipo de este tipo se ilustra en la figura I6-68 y puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Elegir la forma o matriz correspondiente al diámetro del tubo y colocarla en el extremo del émbolo.

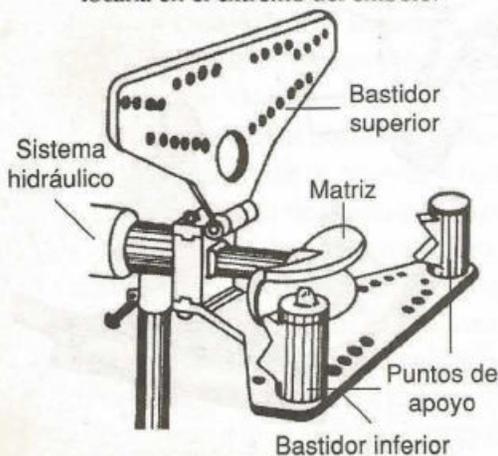
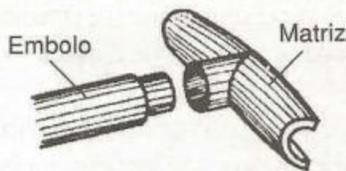
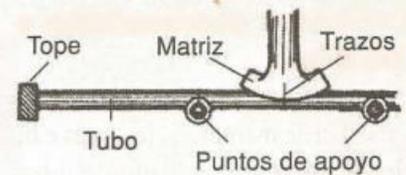


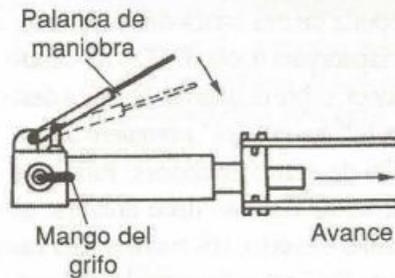
Figura I6-67. Curvadora mecánica de tubos



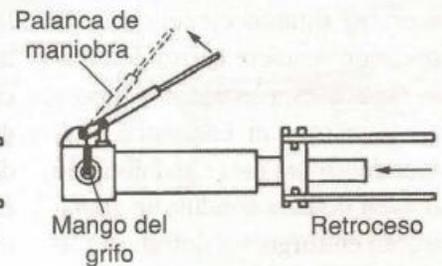
(a) Colocar la forma o matriz.



(b) Colocar los puntos de apoyo e introducir el tubo.



(c) Avanzar el émbolo.



(d) Retroceder el émbolo.

Figura I6-68. Forma a utilizar una curvadora hidráulica de tubos

2. Colocar los puntos de apoyo en los huecos correspondientes del bastidor inferior de modo que queden equidistantes del centro de la forma o matriz. Bajar entonces el bastidor superior.

3. Introducir el tubo entre los puntos de apoyo y la forma hasta que el punto de la parte que se va a curvar coincida con la marca central de la forma. Se recomienda engrasar un poco los tubos que se desea curvar para que se deslicen mejor las formas y los soportes. Si se van a construir varias piezas de igual forma y tamaño, es conveniente colocar un tope para facilitar el centrado del tubo.

4. Colocar el mango del grifo lateral en posición horizontal y accionar la palanca de maniobra para que el émbolo avance y curve el tubo

5. Después de terminada la curva, hacer retroceder el émbolo colocando el mango del grifo en posición vertical y accionando la palanca

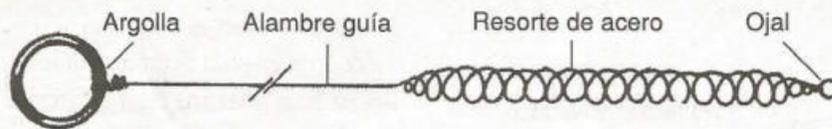
6. Retirar el tubo con la forma adherida al mismo y golpearlo con cuidado para desprenderla.

Para hacer curvas de radio más amplio que el de la forma o matriz, se divide la longitud del tubo correspondiente a la curva en un número de partes iguales, colocando cada una de estas divisiones en el centro de la forma para darles el mismo curvado.

### Dobladoras manuales de tubos de PVC

Los tubos de PVC se doblan calentándolos, formando la curva y enfriándolos. Esta operación puede realizarse por métodos manuales o utilizando máquinas especialmente diseñadas para este trabajo. Para el doblado manual se utilizan generalmente espirales o resortes de acero con un alambre guía en un extremo (figura I6-69). El alambre guía atraviesa el espiral y engancha en el extremo opuesto. Los espirales son de diferentes diámetros, adaptados al diámetro interno de los tubos plásticos.

El procedimiento para doblar conduit de PVC utilizando un resorte doblatubos se ilustra en la figura I6-70 y puede resumirse en los siguientes pasos:



**Figura I6-69. Doblatus para tubos plásticos.**

**Paso 1.** Determine la zona del tubo que deberá curvarse y márquela utilizando un lápiz grueso.

**Paso 2.** Seleccione el resorte correspondiente al tubo por curvar.

**Paso 3.** Coloque el resorte sobre el tubo de manera que coincida con la zona por curvar. Tome la guía del resorte con una mano haciendo tope en el extremo del tubo con los dedos pulgar e índice. Este punto sirve como referencia.

**Paso 4.** Introduzca el resorte dentro del tubo, empujándolo hasta que los dedos vuelvan a hacer tope con la boca del tubo.

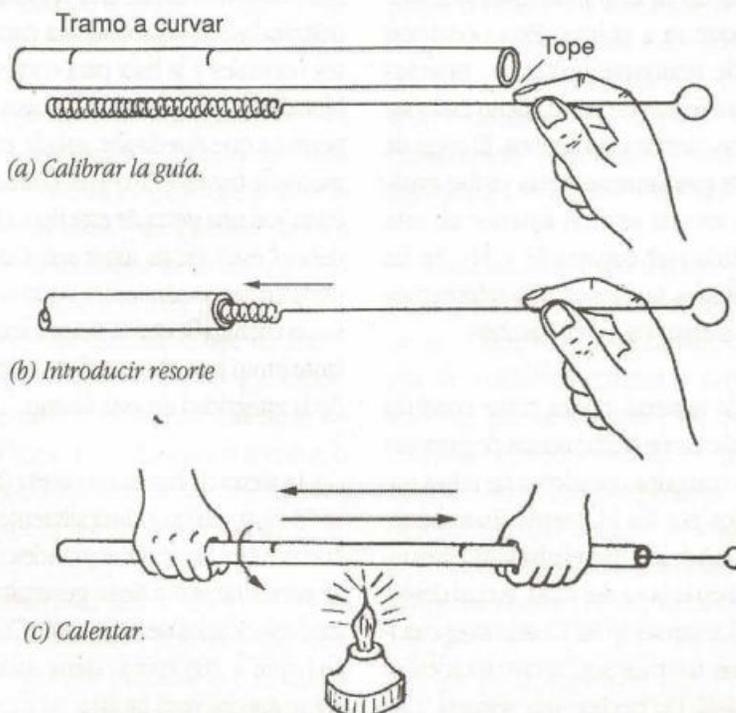
**Paso 5.** Ablande el plástico calentando la zona por curvar sobre una fuente de calor suave, haciendo girar el tubo y

desplazándolo en uno u otro sentido. Comience a curvar el tubo cuando note que el material cede. Continúe doblando el tubo hasta obtener la forma deseada, verificando el curvado con la plantilla correspondiente o superponiéndolo al trazado. Como fuente de calor puede utilizar una pequeña fogata de papel o alcohol. En todo caso, evite quemar o ablandar demasiado el plástico. Tampoco lo exponga a una llama abierta.

**Paso 6.** Enfríe inmediatamente la zona curvada, sumergiéndola en un recipiente con agua fría.

**Paso 7.** Retire el resorte tirando del anillo de la guía.

Otros métodos para doblar manualmente tubos de PVC se explican en el capítulo 8 (páginas 33 a 36) del



**Figura I6-70. Proceso de doblado manual de un tubo de PVC**

tomo de Proyectos de este curso. Estos incluyen el uso de arena o de un cilindro de caucho termo-resistente como coraza interna. Esta coraza, al igual que el resorte de acero, evita la reducción del diámetro interior del tubo cuando éste se expone al calor.

## Dobladoras térmicas y eléctricas

El calor necesario para doblar tubos rígidos de PVC puede ser también obtenido utilizando equipos especializado como los mostrados en la figura I6-71. El doblado propiamente dicho puede realizarse a mano o utilizando una plantilla adecuada. Debido al alto calor desarrollado en la superficie del conduit, es necesario utilizar guantes o trapos con el fin de protegerse las manos durante la manipulación del tubo. Una vez completada la curva o curvas necesarias (máximo 4), el conduit debe ser enfriado con agua para retornarlo a su estado rígido normal.

El doblador de la figura I6-71(a) permite doblar tubos de PVC desde 1/2" hasta 5", se calienta mediante propano y utiliza glicol de trimetileno como agente para transferir el calor al conduit. El tiempo de precalentamiento es del orden de 20 minutos. El tiempo necesario para calentar el tubo a la temperatura de doblado varía desde unos 30 segundos para conduit de 1/2" hasta menos de dos minutos para conduit de 5". El control del calor lo realiza un termostato interno.

El doblador eléctrico de la figura I6-71 (b) permite doblar tubos de PVC desde 1/2" hasta 1.1/2" en su versión de 110V y hasta de 220V en su versión de 220V. Consta internamente de elementos calefactores y rodillos que ayudan a calentar uniformemente el conduit alrededor de la zona de doblado. Además, está montado sobre ruedas



(a) Doblador de propano.

(b) Doblador eléctrico.

Figura 16-71. Dobladores profesionales de conduit PVC

para facilitar su desplazamiento de un sitio a otro, e incluye manijas de madera para proteger al operario del contacto accidental con partes calientes. Los dobladores eléctricos se conocen popularmente como "cajas calientes" (*hot boxes*).

En la figura 16-72 se ilustra la forma de doblar tubos de PVC utilizando un doblador eléctrico. Inicialmente se rota el tubo en la caja caliente y se extrae cuidadosamente utilizando guantes. A continuación se introduce en una criba o guía mecánica y se dobla en la forma

deseada. Finalmente se enfría utilizando un trapo húmedo. Con el fin de mantener la sección circular en las curvas, es importante sellar los extremos del tubo antes de calentarlo. La expansión del aire caliente dentro del tubo actúa como coraza de protección, evitando el colapso de las paredes cuando el material se ablanda.

### Herramientas para cortar conduit

Con mucha frecuencia, el instalador necesita trabajar con tubos conduit de diferentes largos. Para ello debe cortar de un tubo grande una parte menor que va a utilizar. Esta operación puede realizarse utilizando diversas herramientas de corte, incluyendo seguetas, sierras y cortatubos. El corte de tubos mediante seguetas ya fue explicada en una sección anterior de este capítulo (ver páginas 93 y 94). En las siguientes secciones nos referiremos a las sierras y a los cortatubos.

En general, nunca corte conduits metálicos con herramientas de partición tales como los cortadores de tubos utilizados por los plomeros. Estas herramientas dejan una rebaba muy pronunciada en la boca del tubo, la cual desgarrará el aislamiento de los alambres cuando los mismos son arrastrados en el conduit. De hecho, una segueta, una sierra o un cortatubos también dejan

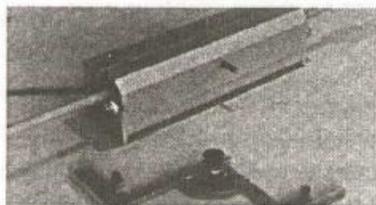
una rebaba, pero esta es muy leve y puede ser eliminada fácilmente utilizando una lima, una rima o un escariador (ver "Herramientas para eliminar rebabas" al final de este capítulo).

### Sierras

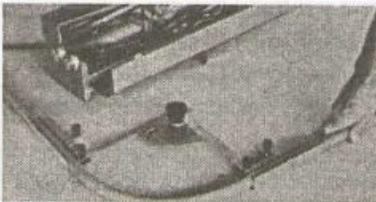
Las sierras son herramientas de corte constituidas por una hoja o cuchilla dentada impulsada por un motor eléctrico o de gasolina. En la figura 16-73 se muestran algunos ejemplos de sierras utilizadas para cortar conduit. Los requisitos con respecto al número de dientes de la hoja son los mismos de las seguetas. Por ejemplo, para conduit EMT se recomiendan cuchillas de 24 dientes por pulgada y para conduit GRC cuchillas de 14 dientes por pulgada. En la práctica, sin embargo, casi todas las operaciones de corte de conduit pueden realizarse con una cuchilla de 18 dientes por pulgada.

La sierra de banda portátil (figura 16-73-a) se utiliza para cortar todo tipo de conduit, tanto metálico como plástico. Normalmente son de dos velocidades, utilizándose la velocidad alta para cortes normales y la baja para cortes problemáticos. Incluye dos mangos para permitir que pueda ser guiada exactamente a través del corte. Cuando se corta con una sierra de este tipo, el tope deberá estar en su lugar antes de ponerla en funcionamiento. De lo contrario, la cuchilla llevará la sierra hacia adelante junto con el operador, arriesgando la integridad de este último.

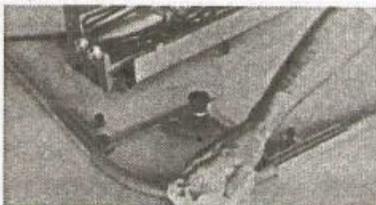
La sierra de banda con mesa (figura 16-73-b) se utiliza principalmente para cortar tubos de conduit grandes. Realiza cortes de 90° y tiene generalmente tres velocidades de operación (76 rpm, 141 rpm y 268 rpm). Viene montada sobre ruedas para facilitar su movilización. Estas ruedas deben permanecer



(a) Calentamiento.

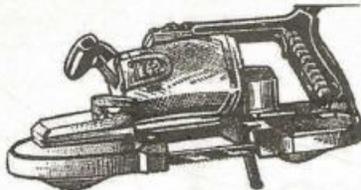


(b) Doblado.

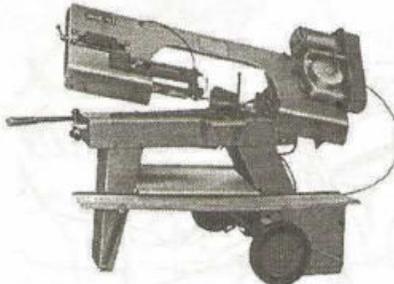


(c) Enfriamiento.

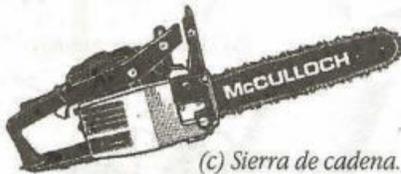
Figura 16-72. Doblado de un tubo de PVC en una dobladora eléctrica



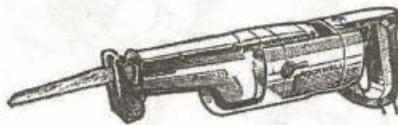
(a) Sierra de banda portátil.



(b) Sierra de banda montada en mesa.



(c) Sierra de cadena.



(d) Sierra de sable.

**Figura 16-73. Sierras para cortar conduit**

levantadas con el fin de garantizar la estabilidad de la sierra y evitar que se mueva durante la operación normal.

La sierra de cadena (figura 16-73-c) se utilizan también para cortar todo tipo de conduit y operan generalmente con un motor de gasolina. Deben ser manejadas por personal experto debido a que son muy peligrosas, especialmente durante la fase de arranque. Incluyen un depósito que expelle aceite en la cadena mientras tiene lugar el corte. Esta lubricación trae como resultado una acción de corte más fría y prolonga la vida de la cadena.

La sierra de sable (figura 16-73-d) es una herramienta de trabajo pesado (6 a 10 dientes por pulgada) que se utiliza para cortar conduit próximo al piso. No debe ser empleada como herramienta

general de corte de tubos. Puede también ser utilizada para cortar cajas de unión y láminas metálicas en sitios difíciles de alcanzar. Además es muy útil para cortar paredes huecas para la instalación de cajas de salida.

## Cortatubos

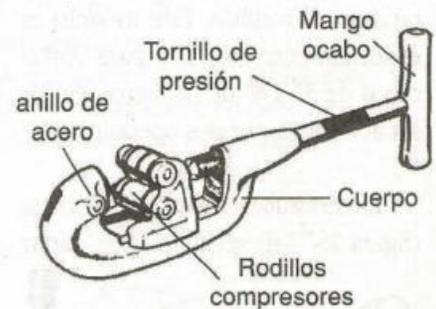
Los cortatubos (figura 16-74) son herramientas de corte utilizadas para cortar tubos metálicos de diferentes diámetros y materiales, incluyendo hierro galvanizado, hierro fundido, cobre y otros. Constan de un mango o cabo, un tornillo de presión, una cuchilla de acero, unos rodillos de compresión y un cuerpo. Al girar la cuchilla alrededor del tubo, abre un surco en la pared. La profundidad del surco se aumenta uniformemente al apretar, en cada giro del cortatubos, el tornillo de presión hasta seccionar el tubo.

Existen cortatubos para trabajos livianos y cortatubos para trabajos pesados. El cortatubos para trabajo liviano (figura 16-75) es una herramienta de pequeña resistencia mecánica, dotada de una cuchilla delgada y dos rodillos. Se utiliza para cortar tubos de cobre, bronce, aluminio, etc. de pared fina y metal blando. Vienen en dos rangos de capacidad: 1/8" a 1.1/4" y 1/8" a 2"

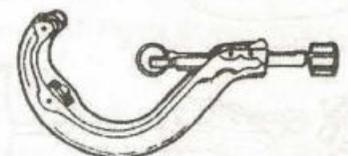
Los cortatubos de trabajo pesado (figura 16-76) son herramientas de gran resistencia mecánica, dotadas de cuchillas gruesas y rodillos anchos, que se utilizan para cortar con precisión tubos de hierro galvanizado y otros de pared gruesa. Pueden ser rodillos anchos, de rodillos normales o de cuatro cuchillas. Los primeros vienen con capacidades de 1/8" a 1.1/4" y 1/8" a 2"; los segundos con capacidades de 1" a 3", 2" a 4" y 4" a 6"; y los terceros con capacidades de 1/2" a 2" y 2.1/2" a 4".

Probablemente el tipo de conduit metálico más utilizado en instalaciones eléctricas es el de hierro galvanizado. Existen varios modelos de cortatubos destinados a cortar tubos de hierro laminado, galvanizados o sin galvanizar. En la figura 16-77 se muestran algunos ejemplos. El corte con estas herramientas es rápido y exacto comparándolo con el corte por segueta. Sin embargo, tiene la desventaja de producir una rebaba interior que debe eliminarse posteriormente con el fin de proteger el aislamiento de los alambres durante el arrastre de los mismos a través del conduit.

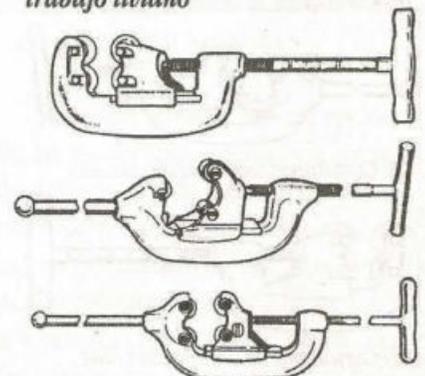
El cortatubos de rodillos (figura 16-77-a) está destinado a cortar tubos su-



**Figura 16-74. Estructura de un cortatubos**



**Figura 16-75. Cortatubos para trabajo liviano**



**Figura 16-76. Cortatubos para trabajo pesado**

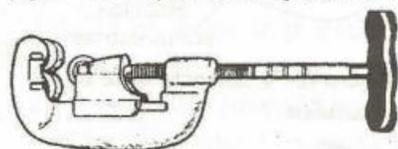
## Herramientas para el trabajo eléctrico

jetos en el trípode o en lugares donde haya suficiente espacio. Para operarlo, es necesario dar giros completos, pues de lo contrario el surco que va produciendo la cuchilla no abarcaría todo el contorno del tubo. Es muy resistente y proporciona siempre cortes a 90°.

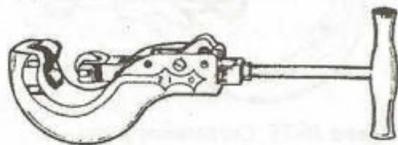
El cortatubos de acción rápida (figura I6-77-b) es una variante del modelo descrito anteriormente. La variación consiste en el mecanismo de avance de la cuchilla, el cual hace avanzar esta sin necesidad de atornillar la maneta. La penetración deseada se logra con un movimiento de vaivén del mango.

El cortatubos para trabajo pesado (figura I6-77-c) es otra variante del cortatubos de rodillos. Este modelo es especialmente indicado para cortar tubos de 3" a 6" de diámetro. Puede ser accionado por dos operarios.

El cortatubos de cuatro cuchillas (figura I6-77-d) se utiliza para cortar



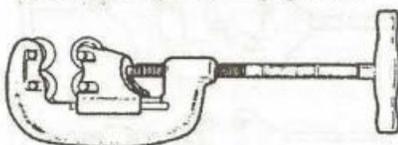
(a) Cortatubos de rodillos.



(b) Cortatubos de acción rápida.



(c) Cortatubos para trabajo pesado.



(d) Cortatubos de cuatro cuchillas.

**Figura I6-77. Cortatubos para hierro galvanizado**

tubos en lugares estrechos, donde no es posible dar vueltas completas. Los surcos producidos por las cuchillas se unen para formar uno solo que abarca todo el contorno del tubo. Debe colocarse sobre el surco completamente a 90°, pues de lo contrario el surco de una cuchilla no coincidiría con el de la precedente y, en lugar de cortar, formaría una especie de rosca.

Para finalizar, en la figura I6-78 se ilustra la forma de cortar un tubo metálico utilizando un cortatubos de rodillos. El proceso se puede resumir en los siguientes pasos:

**Paso 1.** Sujete el tubo en un trípode o en una prensa. Puede utilizar una prensa de tornillo común, una prensa para tubos o una prensa de cadena (figura I6-79). El tubo debe sobresalir un tramo algo mayor de la medida por cortar.

**Paso 2.** Coloque el cortatubos de modo que la cuchilla coincida con la marca.

**Paso 3.** Apriete el cortatubos hasta que la cuchilla presione sobre el tubo.

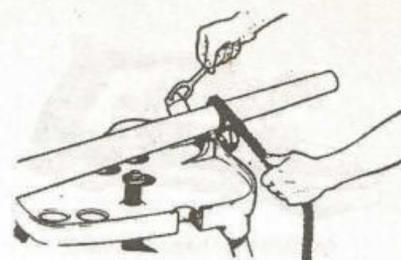
**Paso 4.** Haga girar el cortatubos una vuelta completa.

**Paso 5.** Coloque un poco de lubricante (grasa, manteca, etc.) en la línea de corte.

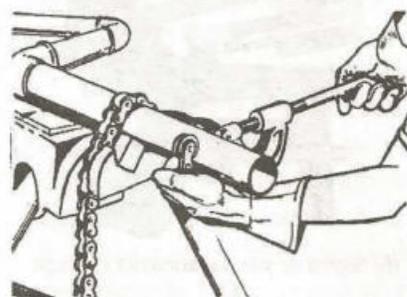
**Paso 6.** Continúe haciendo girar y apretando el cortatubos hasta terminar el corte.

### Herramientas para roscar conduit

El roscado de los tubos conduit metálicos de pared gruesa se realiza normalmente utilizando las mismas herramientas empleadas para roscar tube-



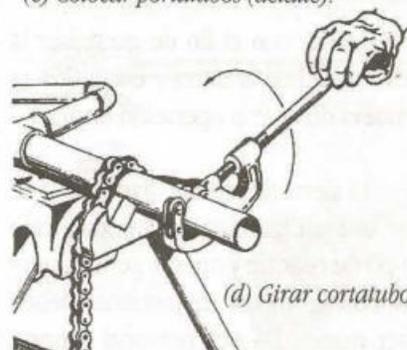
(a) Sujetar tubo



(b) Colocar portatubos



(c) Colocar portatubos (detalle).

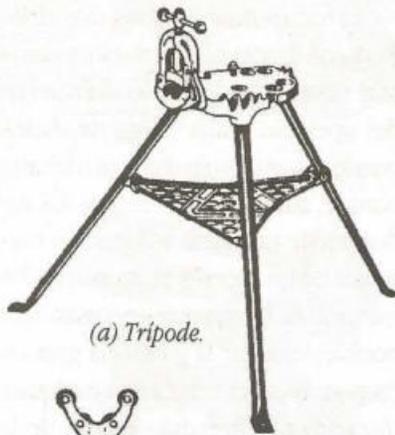


(d) Girar cortatubos.



(e) Terminar corte.

**Figura I6-78. Corte de tubos metálicos mediante cortatubos de rodillos**



(a) Tripode.



(b) Caballete.



(c) Prensa para tubos.



(d) Prensa de cadena.

**Figura I6-79. Herramientas para sujetar tubos**

ría de agua y gas. Estas herramientas se conocen comúnmente como **terrajás** o **tarrajás**. En la figura I6-80 se muestran dos ejemplos de terrajas utilizadas para roscar conduit. La terraja de la figura (a) contiene dados separados para tres tamaños de conduit (1/2", 3/4" y 1"), mientras que la de la figura (b) solo soporta un dado para un tamaño de conduit a la vez, aunque este último puede ser fácilmente sustituido por otro.

Las terrajas para roscar conduit metálico son básicamente de dos tipos: fijas y de ratchet. Estas últimas son las más utilizadas porque exigen un menor el esfuerzo físico. En la figura I6-81 se indican las partes de una terraja de ratchet. La herramienta se compone básicamente del tornillo de regulación, los dados, los tornillos de fijación de los dados, las orejas de ajuste de las guías y los trinquetes de orientación.

Los trinquetes de orientación (figura I6-81-b) tienen la forma de una cruceta o de una letra "T". Se componen de dos piezas torneadas de acero templado terminadas en una punta aguda (punta de flecha) que sirve para indicar la dirección en que la terraja debe girar. Para abrir la rosca, la punta debe quedar hacia la derecha; para retirar la terraja, la punta de la flecha debe quedar hacia la izquierda.

Las terrajas de ratchet o fijas, a su vez, pueden ser de dados fijos o de dados ajustables, siendo estas últimas las más usuales (figura I6-81). Las terrajas de dados fijos se utilizan principalmente para roscar tubos de pared fina (EMT). Los dados ajustables, también llamados dados partidos, se componen de dos piezas que se alejan o acercan del centro de la terraja mediante un mecanismo para adap-

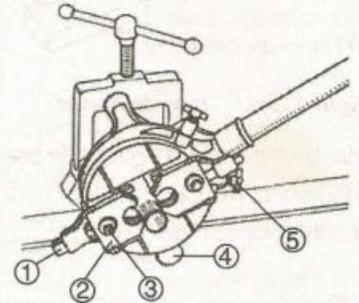


(a) De 3 vías (dados separados).



(b) De una vía (dados removibles).

**Figura I6-80. Ejemplos de terrajas**



(a) Partes de una terraja. (1) Tornillos de regulación; (2) Dados; (3) Tornillos fijadores de los dados; (4) Orejas de ajuste de las guías; (5) Trinquetes.



(b) Detalle de los trinquetes

**Figura I6-81. Partes de una terraja de ratchet**

tarse a los diferentes diámetros de los tubos por roscar. Estas terrajas se denominan también universales y permiten roscar distintos diámetros de tubo sin cambiar los dados.

Todas las terrajas, con excepción de las universales, utilizan un juego de dados para cada diámetro del tubo por roscar. Por ejemplo, para tubo de hierro galvanizado de 1/2", 3/4", etc. deben utilizarse dados y guía de 1/2", 3/4", etc. Las rosas que se hacen con las terrajas son surcos de forma helicoidal del tipo B.S.P.T. (inglesa) o N.T.P. (americana) y sirven para unir

## Herramientas para el trabajo eléctrico

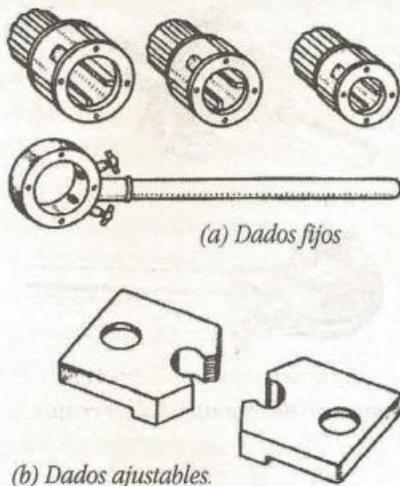


Figura 16-82. Tipos de dados

todas las conexiones y piezas de latón, bronce y hierro galvanizado. Pueden ser comunes o largas.

Se considera una rosca común aquella que se enrosca normalmente en una conexión. Esta rosca es cónica y su largo varía, dependiendo del diámetro del tubo. Las roscas comunes con diámetros desde 1/2" hasta 2" se ejecutan en dos pasadas, es decir regulando los dados de la terraja dos veces para facilitar su manejo y prolongar la vida de sus componentes, principalmente los dados. Durante el transcurso de esta operación, se debe remover las virutas que los dados van cortando en los tubos. Para ello debe utilizarse una brocha.

Las roscas largas (roscas corridas) necesitan de cuidados mayores con los tubos por ser utilizados. Estos últimos deberán tener paredes reforzadas para que, después de roscados, queden aún con pared para resistir a la presión y al tiempo. La medida de la rosca corrida dependerá de su utilización. Se emplea la rosca corrida con la finalidad de unir tubos que no es posible hacer girar. Se debe tener en cuenta que la rosca corrida penetrará siempre en una conexión, el

doble de la medida de una rosca común, más el espesor de una contratuercas, más el espesor de la junta.

Al utilizar una terraja debe tenerse el cuidado de no hacer la rosca del tubo demasiado larga porque entonces los extremos del conduit colapsarán antes de que el acoplamiento apriete. Esto puede dañar el alambre a medida que el mismo es empujado en el conduit y causar un aterrizaje deficiente del trayecto de canalización. También es importante cuidar la regulación de los dados, manteniéndolos limpios y lubricados al hacer las roscas. La rosca no deberá tener defectos, por ejemplo hilos empalmados, y acoplarse justo en la conexión, es decir sin holguras.

### Terrajas de dados fijos

Las terrajas de dados fijos se denominan así porque requieren un juego de dados por cada medida de tubo. Son sencillas y fuertes y se utilizan, principalmente, para roscar tubos de hasta 1" de diámetro. Algunos modelos permiten roscar hasta 3", pero con mucho esfuerzo por parte del operario. Las terrajas de dados fijos pueden ser de un dado, de dos dados o de cuatro dados.

La terraja de un dado (figura 16-83) es resistente, de fácil manejo y muy práctica para roscar tubos pequeños. Posee un trinquete reversible que permite hacer girar hacia atrás el cabezal de la terraja, manteniendo el mando inmóvil. El dado y la guía suelen estar unidos por medio de tornillos, aunque en algunos modelos dado y guía se presentan separadamente. Una variante de este tipo de terraja, es la de dos trinquetes, con la cual puede hacerse rosca derecha y rosca izquierda, siempre que se disponga de dados para este segundo tipo de rosca.

La terraja de dos dados (figura 16-84) permite efectuar la rosca en dos o más pasadas, reduciendo el esfuerzo del operario. Cada juego de dados puede roscar un solo diámetro de tubo porque, aunque la abertura de los dados puede variarse a voluntad, la curvatura de los dientes es invariable. En este tipo de terraja no es necesario (ni posible) cambiar la guía; una guía incorporada puede ajustarse a cualquier diámetro comprendido dentro de la capacidad mínima y máxima de la terraja. Viene en dos tamaños que pueden roscar de 1/8" a 1" y de 3/8" a 2", respectivamente.

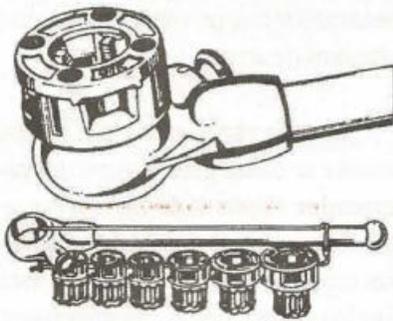
La terraja de cuatro dados (figura 16-85) permite roscar en posición invertida (con la guía hacia afuera), niples cortos, tubos empotrados que sobresalen escasamente de la pared y otros lugares donde la guía tropezaría. Los datos son desarmables y vienen en tres tamaños (1/8"-1", 1/8"-1. 1/4" y 1/8"-2"). No es adecuada para roscar tubos sobre-



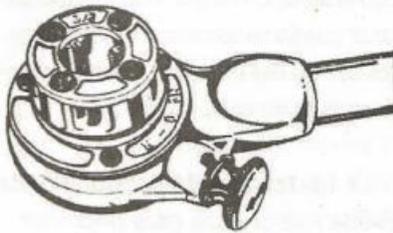
Figura 16-83. Terraja de un dado



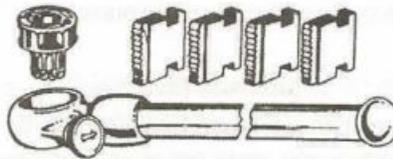
Figura 16-84. Terraja de dos dados



(a) De trinquete expuesto.



(b) De trinquete encerrado.



(c) Dados desarmables.

**Figura 16-85. Terrajas de cuatro dados**

medida porque, al no ser ajustables, debe hacerse la rosca en una sola pasada y esto ocasionaría la rotura de los hilos. Puede ser de trinquete expuesto o de trinquete encerrado y se usa en forma similar a la terraja de un solo dado.

En la figura 16-86 se ilustra la forma de roscar un tubo con una terraja de dos dados. El procedimiento puede resumirse en los siguientes pasos:

**Paso 1.** Prepare la terraja seleccionando los dados de acuerdo al diámetro del tubo. Retire los dados que están montados en la terraja, si es necesario, y coloque los dados selecciona-

dos en su respectivo encaje, con la medida hacia arriba. Ajústelos para la primera pasada dejando los trazos de referencia separados aproximadamente 3 mm de los trazos de la terraja. Finalmente, abra la guía.

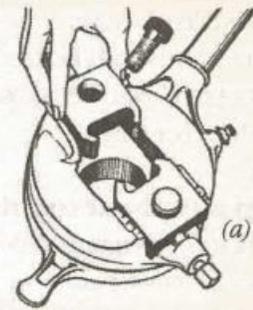
**Paso 2.** Inicie la rosca colocando la terraja en el tubo con la guía hacia la prensa. A continuación ajuste la guía girando la oreja del disco en sentido anti-horario hasta el tope. Oriente entonces los trinquetes, presiona la terraja contra el tubo y hágala girar en sentido horario hasta que los dados agarren. Finalmente, haga la pasada, accionando el mango con las dos manos, invierta la posición de los trinquetes y retire la terraja girándola en sentido anti-horario. Antes de retirar la terraja, abra ligeramente la guía. Lubrique periódicamente en cada pasada con aceite o manteca.

**Paso 3.** Termine la rosca apoyando la terraja en el banco y ajustándola para la segunda pasada. Haga la segunda pasada tal como se explica en el paso anterior. El ajuste será correcto cuando los trazos de los dados coincidan con los de la terraja.

**Paso 4.** Compruebe la exactitud de la rosca enroscando con la mano una conexión preferiblemente nueva. La rosca estará correcta si una conexión puede apretarse con la mano hasta la mitad.

### Terrajas de dados ajustables

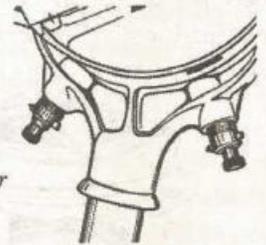
Las terrajas de dados ajustables permiten roscar distintos diámetros de tubo sin cambiar los dados. Pueden ser antitrabantes o de apertura rápida. Las antitrabantes, a su vez, pueden ser con trinquete o engranadas. En todas ellas, los dados son estrechos (tipo peine) y mediante un mecanismo pueden acercarse o alejarse del centro de la terraja para



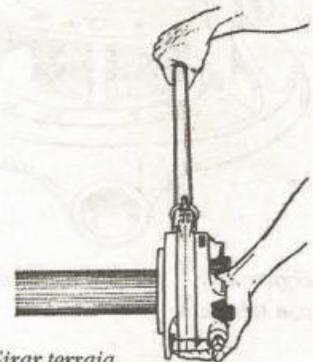
(a) Colocar dados.



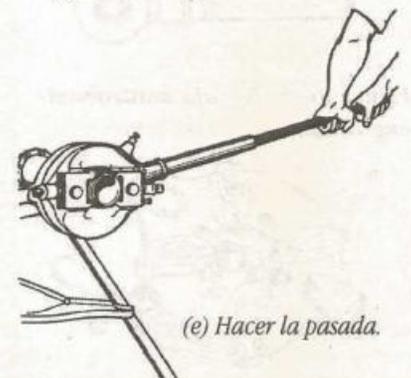
(b) Ajustar dados para la primera pasada.



(c) Orientar trinquetes.



(d) Girar terraja.



(e) Hacer la pasada.

**Figura 16-86. Roscado de un tubo con terraja manual de dos dados.**

## Herramientas para el trabajo eléctrico

adaptarlos a los diferentes diámetros de los tubos por roscar, sin más limitación que impuesta por el paso de la rosca (número de hilos por pulgada).

La **terraja antitrabante con trinquete** (figura I6-87) es una roscadora ajustable manual muy rápida y exacta en la cual la guía no se desliza alrededor del tubo sino que lo aprisiona. El cabezal gira con relación a la guía y la rosca del primero va introduciéndose en la guía, con lo cual se evita el deslizamiento de los dados al iniciar la rosca en el tubo. Los dados se separan automáticamente cuando la rosca del cabezal se acerca al final de su recorrido y, por tanto, la longitud de la rosca efectuada en el tubo será igual al tra-

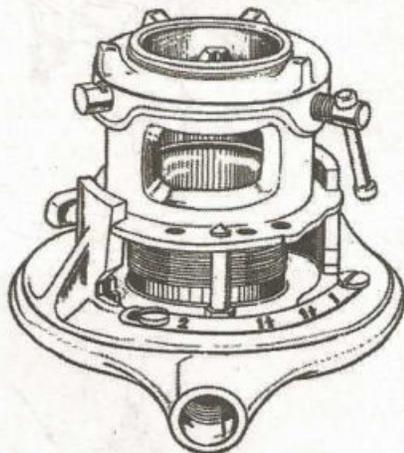


Figura I6-87. Terraja antitrabante con trinquete

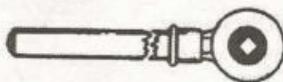


Figura I6-88. Terraja antitrabante engranada

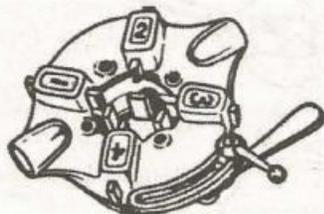


Figura I6-89. Terraja de apertura rápida

mo que quedaba fuera de la guía antes de iniciar el roscado.

La **terraja antitrabante engranada** (figura I6-88) permite roscar tubos de más de 2.1/2" sin mucho esfuerzo porque utiliza un juego de engranajes que multiplica la fuerza aplicada. En esta terraja, como en todas las antitrabantes, la guía aprisiona al tubo quedando fijada al mismo, y el cabezal gira junto con el armazón donde se alojan los engranajes. La rosca del cabezal va entrando en la guía y, como ésta está fija, va conduciendo los dados hacia el extremo del tubo, debido a lo cual, éstos agarran desde el primer contacto con el mismo.

La **terraja de apertura rápida** (figura I6-89) posee dos palancas, una de sujeción (la más corta) que sirve para fijar la posición de los dados cuando éstos han sido ajustados a la medida, y otra de apertura, la cual se acciona cuando la rosca alcanza la longitud deseada. El ajuste de los dados se logra haciendo girar el cabezal en uno u otro sentido, con la palanca de sujeción floja, hasta que la marca correspondiente a la medida elegida, coincide con la marca de referencia. Una vez terminada la rosca, los dados se pueden separar y la terraja se puede sacar sin hacerla girar al revés.

### Herramientas para usos varios

- Las **limas** (figura I6-90-a) se utilizan para quitar la rebaba exterior o interior en los tubos que se cortan o roscan (fig. I6-91-a). Se clasifican por su forma (plana, mediacaña, de bordes redondos, cuadrada, redonda, plana de punta cónica, triangular, etc.), picado (simple o doble), número de dientes por centímetro (finas, semifinas y bastardas) y tamaño (100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm). La limpieza se realiza ge-

neralmente con un cepillo o carda de alambres de acero.

- Para la eliminación de la rebaba interior se utiliza generalmente un **es-careador** (figura I6-90-b), una herramienta cónica provista de estrías filosas especialmente diseñada para esta función (figura I6-91-b). Es importante eliminar las rebabas de la pared interior con el fin de evitar que desgarran el aislante cuando se arrastran los conductores dentro del tubo y se origine posteriormente un corto circuito.

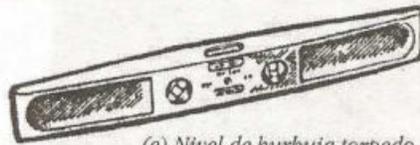
- Las **tenazas de presión** (figura I6-90-c) se utilizan para presionar y apretar las conexiones y fijar los acoples a los tubos conduit metálicos de pared delgada (figura I6-91-c). Estos tubos generalmente no llevan rosca sino que se unen entre sí mediante acoples y conectores de presión.

- La **plomada** (figura I6-90-d) es un instrumento que se utiliza para determinar la verticalidad de cualquier elemento. Están formadas por un cuerpo metálico, generalmente cilíndrico o en forma de trompo, de peso adecuado, un cordel o guaral de longitud variable y una corredera o chaveta perforada que desliza libremente por el guaral. Para usar una plomada; se coloca el guaral en un punto o línea determinada y se desliza el cuerpo hasta el sitio donde se quiera trasladar ese punto o línea. La punta de la plomada marcará o indicará el plomo exacto (figura I6-91-d).

- Los **niveles** (figura I6-90-e) son instrumentos que se utilizan para comprobar la horizontalidad de cualquier elemento. Su empleo es muy frecuente en la industria de la construcción eléctrica. Constan de uno o varios meniscos y un cuerpo. El menisco es



(k) Cartuchera de berramientas.



(e) Nivel de burbuja torpedo.



(j) Guantes de agarre de cables.



(d) Plomada de centro.



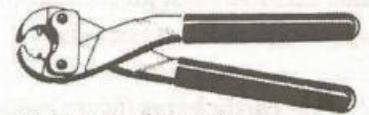
(b) Escareador.



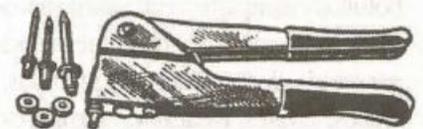
(g) Rayador.



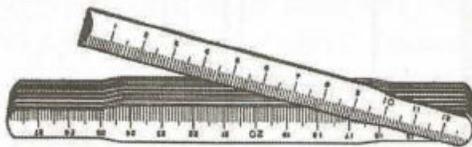
(a) Lima.



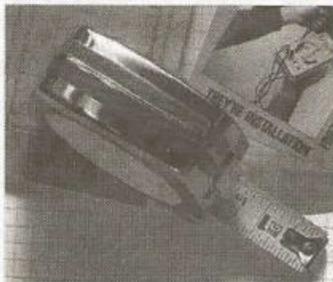
(c) Tenazas de presión.



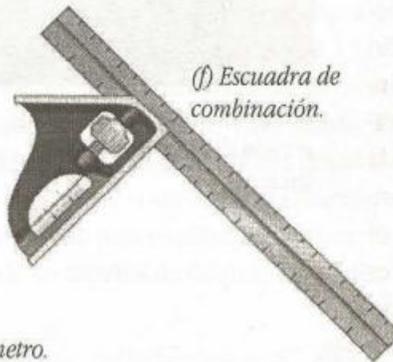
(l) Remachadora pop.



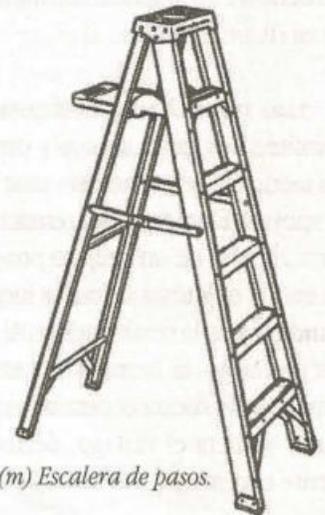
(b) Metro de madera doblable.



(i) Flexómetro.



(f) Escuadra de combinación.



(m) Escalera de pasos.

**Figura 16-90. Herramientas para usos varios**

un tubo de material transparente lleno de agua u otro líquido con una burbuja de aire. El cuerpo es una especie de regla gruesa hecha de aluminio, plástico u otro material. La burbuja se sitúa siempre en el punto más elevado de la curva del menisco y en el centro del tubo cuando el cuerpo del nivel está en posición horizontal.

- Las **escuadras** (figura 16-90-f) se utilizan para marcar dos direcciones perpendiculares entre sí y para reali-

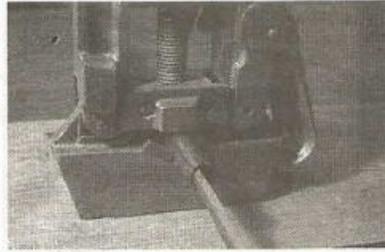
zar otros tipos marcaciones con elementos auxiliares de trazado como lápices, tizas, reglas, escalas graduadas, compases y rayadores (figura 16-90-g). Pueden ser de madera, metálicas o plásticas. Las dos primeras se utilizan en trabajos de campo y las plásticas en trabajos de dibujo, por ejemplo cuando se realizan los planos de una instalación eléctrica.

- Los **metros** (figura 16-90-h) y **flexómetros** (figuras 16-90-i) se utilizan

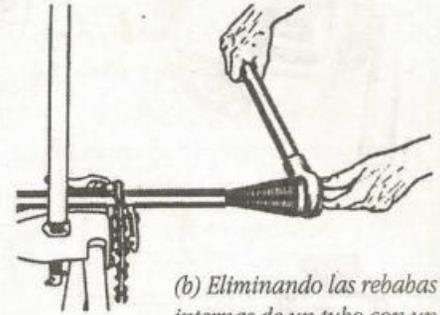
para medir longitudes. Los metros son generalmente de madera o metálicos y están compuestos de brazos articulados provistos de goznes y resortes para facilitar su uso. Los flexómetros convencionales son generalmente de 1/2", 3/4" ó 1" de ancho y vienen en longitudes estándares de 12ft, 16ft, 20ft, 25ft y 30ft dependiendo del ancho de la cinta. Traen un mecanismo de resorte que las retrae automáticamente cuando se libera el seguro y un clip de correa para facilitar su transporte y disponibilidad.

## Herramientas para el trabajo eléctrico

- Los **guantes de agarre de cable** (figura I6-90-j) se utilizan para manipular cable cubierto por lubricante. Su superficie no deslizante asegura un agarre más firme sobre el cable lubricado sin quitar por fricción el lubricante. También se dispone de guantes especiales para proteger las manos del calor cuando se manipula conduit de PVC caliente durante la operación de doblado del mismo y de guantes de propósito general para trabajos pesados.

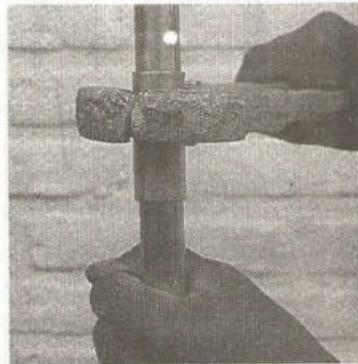


(a) Eliminando las rebabas internas de un tubo con una lima. El tubo está fijado a una prensa para tubos.

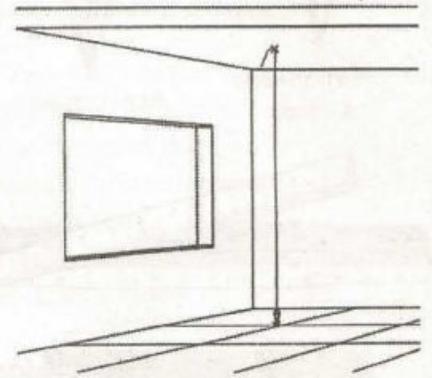


(b) Eliminando las rebabas internas de un tubo con un escareador. El tubo está fijado a una prensa de cadena.

- Las **cartucheras** (figura I6-90-k) se utilizan para guardar herramientas. Traen bolsillos y compartimientos de distintos tamaños y formas para mantener en su lugar pinzas, destornilladores, martillos, cuchillos, niveles, pelacables, leznas, cintas de acero y otras herramientas y utensilios frecuentemente utilizados en trabajos eléctricos (figura I6-91-e).

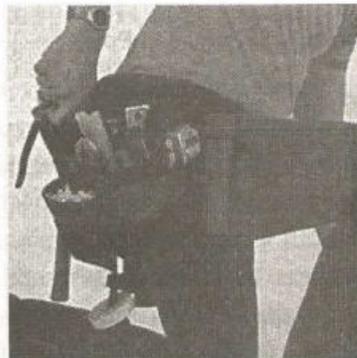


(c) Apretando un acople de presión de tubos delgados con tenazas.



(d) Determinando verticalidad con una plomada.

- Las **remachadoras** (figura I6-90-l) permiten fijar entre sí cajas y otros objetos mediante remaches, sin usar martillo ni apoyos. El cuerpo del remache se inserta a través de un agujero pre-perforado en los objetos a sujetar y luego en la mandíbula de la remachadora. Al comprimir el mango, la herramienta empuja el remache con fuerza contra las superficies a unir y libera el vástago, dejando solamente el remache.



(e) Utilizando una cartuchera de herramientas.

- Las **escaleras** y **andamios** se utilizan para realizar trabajos eléctricos en sitios altos. Las escaleras (figura I6-90-m) están constituidas por dos largueros unidos por una serie de travesaños horizontales que sirven de peldaños. Se fabrican generalmente de madera o aluminio y sus bisagras y tensores son de hierro. Pueden ser de mano, dobles o de tijera. Los andamios (figura I6-91-f) son estructuras desarmables constituídas por tablonos o vigas metálicas que se levantan delante de las fachadas para facilitar trabajos eléctricos relativamente complejos.

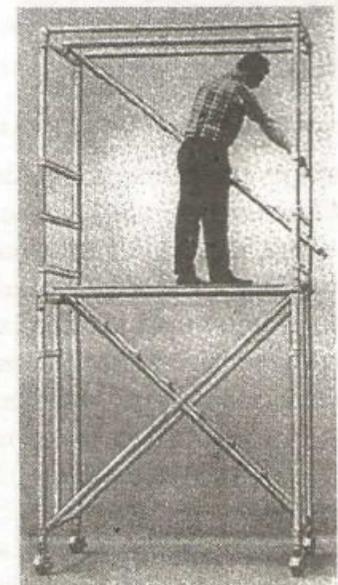


Figura I6-91. Ejemplos de aplicación (f) Operario sobre un andamio.

# Cómo trabajar con conductores eléctricos

Los conductores eléctricos necesitan ser empalmados entre sí o conectados a interruptores, tomacorrientes y otros dispositivos. Aunque estas operaciones son fáciles de realizar, con frecuencia se hacen incorrectamente o sin el debido cuidado. En este capítulo explicaremos, gráficamente y en palabras, los elementos prácticos y conceptuales básicos para trabajar con alambres y cables eléctricos. Aprenderemos, entre otras cosas, a pelar alambres, a unir alambres, a colocar terminales y a alambrear dispositivos eléctricos sencillos como interruptores, tomacorrientes y lámparas.

## Cómo pelar alambres y cables

Un cable consiste de alambres aislados y desnudos envueltos en una cubierta exterior de aislamiento. Antes de usted conectar un cable a un dispositivo o unirlo a otro cable, usted debe cortar y remover el revestimiento exterior, eliminar todos los materiales de separación y retirar el aislamiento de los extremos de los conductores individuales.

Para rasgar cable plano abierto, por ejemplo cable encauchetado (NM) de dos hilos (con o sin tierra), use un rasgador de cable o un cuchillo. La forma de rasgar un cable con un rasgacable se explicó en el capítulo 6 (ver páginas 95 y 96), pero se resume en la figura 17-1 por comodidad. Para rasgar cables redondos de tres hilos, tal como los utilizados para alambrear interrup-

- Cómo pelar y empalmar conductores
- Cómo utilizar tuercas ciegas (wrenuts) y anillos de compresión
- Cómo realizar argollas
- Cómo conectar a terminales y bornes de tornillo
- Alambrado de interruptores, tomacorrientes y lámparas

tores de tres vías, debe utilizarse una navaja o un cuchillo. Una vez expuestos los conductores internos, corte el revestimiento exterior y cualquier papel, banda u otros materiales de separación. Ahora usted está listo para retirar el aislamiento de los extremos de los alambres individuales.

- Sea cuidadoso para no fracturar un alambre cuando usted lo está des-

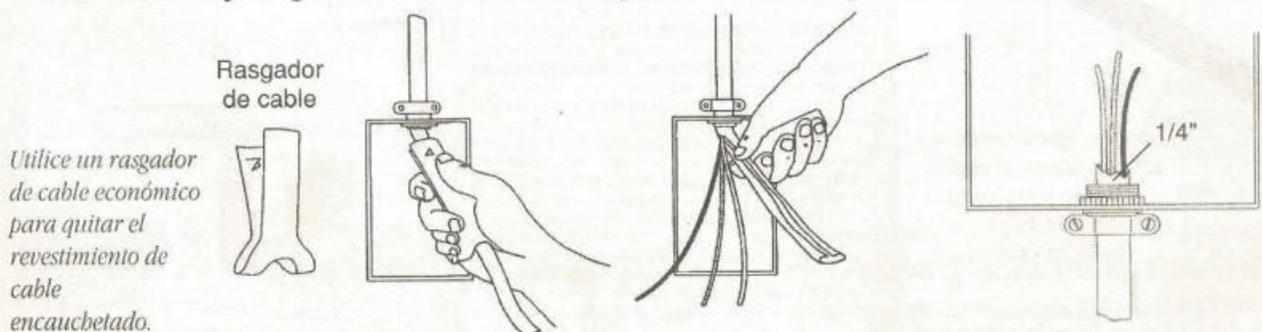


Figura 17-1. Forma de rasgar un cable

Siempre permita que 1/4" de aislamiento se insinúe dentro de la caja.

## Cómo trabajar con conductores eléctricos

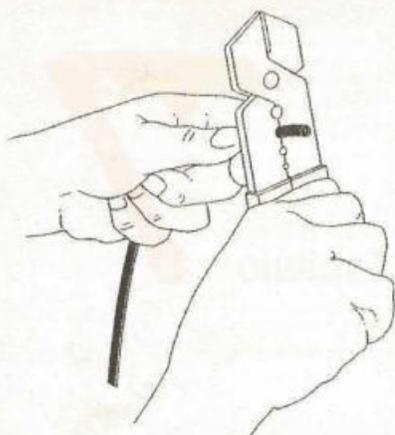
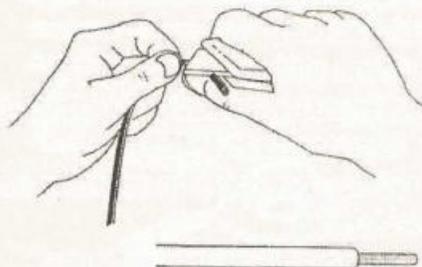
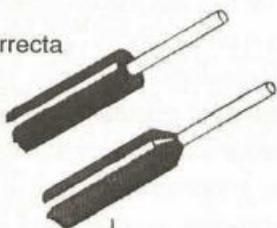


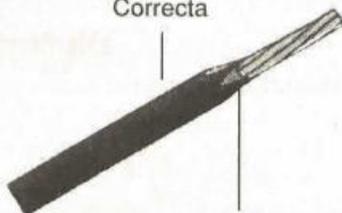
Figura 17-2. Forma de pelar un alambre delgado con pelacable multiuso



Incorrecta



Correcta



Corte el aislamiento de los alambres gruesos en ángulo para reducir el riesgo de fracturar la parte metálica

Figura 17-3. Forma correcta de pelar un alambre grueso con navaja o cuchillo.

nudando. Un alambre fracturado se romperá fácilmente, especialmente debido a que la fractura está usualmente en el punto justo cuando usted dobla el alambre para formar un bucle para una conexión a un tornillo. Si usted fractura un alambre, es mejor rehacer el pelado.

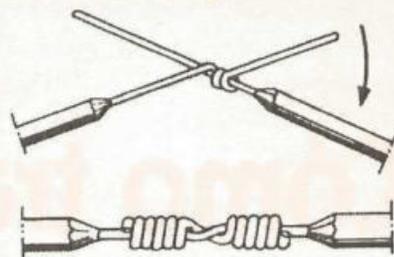
Los alambres sólidos del N° 14 al N° 10 son fácilmente pelados utilizando cualquiera de las pinzas pelacables estudiadas en el capítulo 6 (ver páginas 94 y 95). En la figura 17-2 se muestra como ejemplo la forma de pelar alambres con una pinza multipropósito. Después de que usted ha practicado el movimiento varias veces, se volverá muy fácil.

Para pelar alambres más grandes (calibres del N° 8 al N° 4/0) utilice una navaja o un cuchillo de electricista para retirar el aislamiento como si usted estuviera sacándole punta a un lápiz (figura 17-3). Corte hacia afuera de su cuerpo.

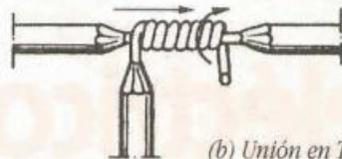
### Cómo empalmar alambres y cables sin accesorios

Con mucha frecuencia, cuando se realizan instalaciones eléctricas, hay que unir o empalmar dos o más conductores entre sí con el objeto de prolongar su longitud o realizar una derivación. Esta unión o empalme puede realizarse utilizando accesorios mecánicos desarrollados específicamente para esta función como conectores, wrenuts y anillos de compresión, o manipulando los extremos de los alambres mediante diversas técnicas de amarre. En esta sección nos referiremos exclusivamente a este último método. Más adelante aprenderemos a realizar uniones empleando accesorios mecánicos.

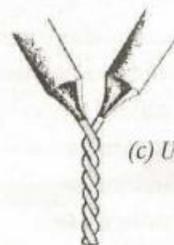
Existen diversas clases de amarres, según el calibre y el número de hilos



(a) Unión Western.



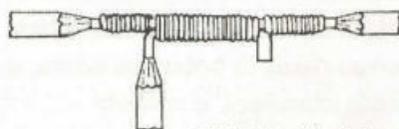
(b) Unión en T.



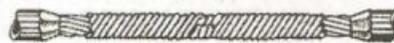
(c) Unión cola de rata.



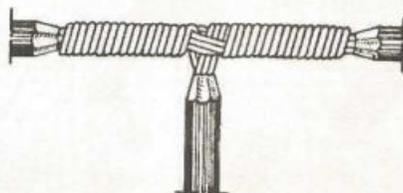
(d) Unión Britania.



(e) Derivación Britania.

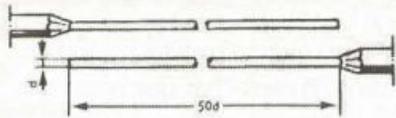


(f) Unión de alambres gruesos.

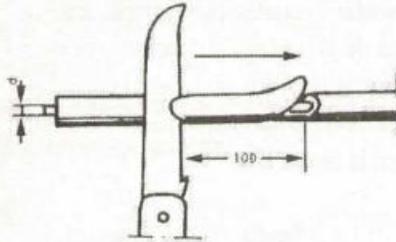


(g) Derivación de alambres gruesos.

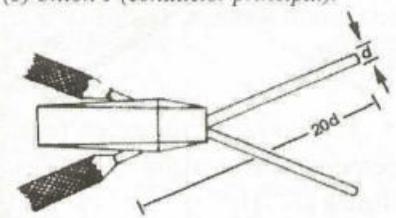
Figura 17-4. Ejemplos de empalmes



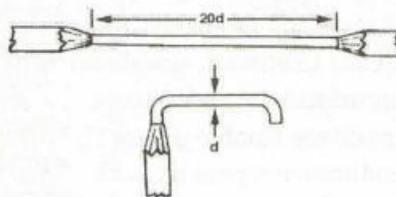
(a) Unión Western.



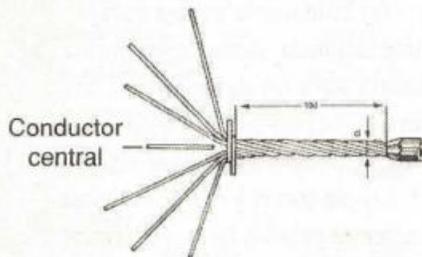
(b) Unión T (conductor principal).



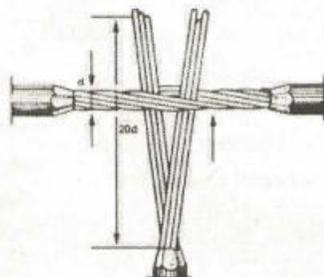
(c) Unión cola de rata.



(d) Derivación Britannia.



(e) Unión de alambres gruesos.



(f) Derivación de alambres gruesos.

Figura 17-5. Longitudes de pelado.

del conductor y el propósito de la unión. En la figura I7-4 se muestran algunas de las más comunes y frecuentes. Los detalles para la realización práctica de estos amarres se explican en el capítulo 5 del tomo de Proyectos de este curso. Las uniones deben ser siempre lo suficientemente fuertes para hacer un buen contacto eléctrico y quedar perfectamente aisladas.

- La unión Western (figura I7-4-a) se utiliza para prolongar líneas eléctricas. Se realiza con conductores hasta de  $5.2 \text{ mm}^2$  de sección. Este tipo de amarre es particularmente resistente a la tensión mecánica debido a que ocupa más punta y es mucho más fuerte. Cuando se realiza una unión Western, los conductores a unir se deben pelar en una longitud aproximadamente igual a 50 veces el diámetro (figura I7-5-a). Esto significa, por ejemplo, que se deben retirar, aproximadamente, 10 cm de aislamiento con alambres AWG12 (diámetro =  $2.053 \text{ mm} = 0.08081''$ ) y 8 cm de aislamiento con alambre AWG14 (diámetro =  $1.628 \text{ mm} = 0.06408''$ ).

La unión en T (figura I7-4-b) se realiza con conductores hasta de  $5.2 \text{ mm}^2$  de sección (AWG10). Se utiliza para unir el extremo de un conductor, llamado derivado, a un sitio intermedio de otro, llamado principal, que corre sin interrupción. Este tipo de conexión se denomina una derivación y se efectúa con el fin de suministrar energía eléctrica a un circuito ramal desde uno principal.

Cuando se realiza una unión T, los conductores derivado y principal deben pelarse, respectivamente, en longitudes iguales a 50 y 10 veces su diámetro. En el caso de alambres AWG12 ( $2.053 \text{ mm}$ ), el conductor derivado debe pelarse unos 10 cm y el principal unos 2 cm. En el caso de alambres

AWG14 ( $1.628 \text{ mm}$ ), el conductor derivado debe pelarse unos 8 cm y el principal unos 2 cm.

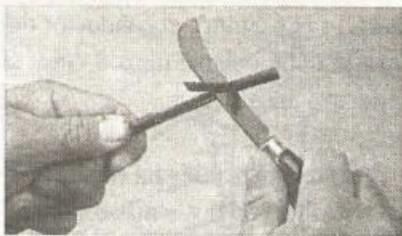
La unión cola de rata (figura I7-4-c) se realiza con dos o más conductores y se utiliza para prolongar o derivar líneas en las instalaciones eléctricas. Se efectúa principalmente dentro de cajas metálicas cuando la instalación está hecha en conduit.

Cuando se realiza una unión en cola de rata, las puntas de los conductores deben pelarse en una longitud de 20 veces su diámetro. En el caso de alambres AWG12 ( $2.053 \text{ mm}$ ), los conductores deben pelarse unos 4 cm. En el caso de alambres AWG14 ( $1.628 \text{ mm}$ ), los conductores deben pelarse unos 8 cm y el principal unos 3.5 cm.

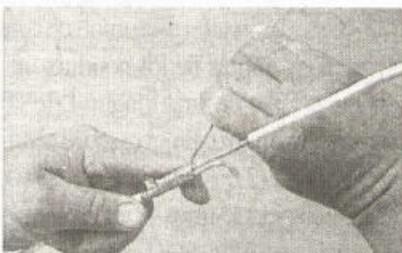
La unión y la derivación Britannia se realizan con alambres de secciones de  $5.3 \text{ mm}^2$  (AWG10) hasta  $16 \text{ mm}^2$  (AWG5). Se utilizan para prolongar y derivar líneas eléctricas constituidas por conductores duros y gruesos. El amarre se realiza utilizando un alambre más delgado llamado **alambre de atadura**.

Cuando se realiza una unión Britannia, los conductores a unir deben pelarse en una longitud aproximada de 20 veces su diámetro. El alambre de atadura debe tener un diámetro aproximadamente igual a la tercera parte el diámetro de los conductores a ser unidos y una longitud aproximada de 500 veces su diámetro. Por ejemplo, para unir dos alambres de cobre endurecido AWG4 ( $5.189 \text{ mm}$ ), éstos deben pelarse en una longitud aproximada de 105 mm. Como alambre de atadura puede utilizarse una longitud de 82 cm de alambre de cobre recocido AWG14 ( $1.628 \text{ mm}$  de diámetro).

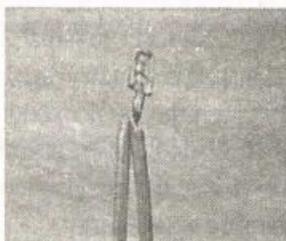
## Cómo trabajar con conductores eléctricos



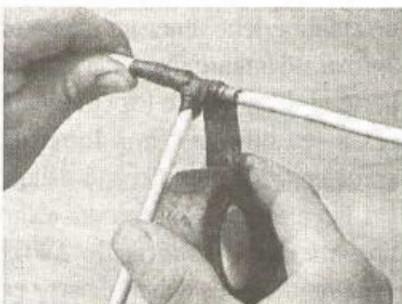
(a) Pelar.



(b) Hacer el amarre.



(c) Estañar.



(d) Aislar.

**Figura 17-6. Pasos para realizar una buena unión**

Cuando se realiza una derivación en unión Britannia, los conductores derivado y principal deben pelarse cada uno en una longitud aproximada de 20 veces su diámetro. En el caso de un empalme Britannia entre dos conductores AWG6, por ejemplo, que tienen un diámetro de 4.115mm, estos deben pelarse en un tramo de 82 mm, aproximadamente. Como atadura puede utilizarse un tramo de 65 cm de alambre AWG16 (1.291 mm).

La unión de alambres gruesos se utiliza para prolongar líneas eléctricas. Se realiza cuando no alcanza un solo cable para cubrir a distancia entre lugares que se requiere interconectar. Cuando se efectúa una unión de este tipo, la punta de cada uno de los cables debe pelarse en una longitud igual a 20 veces su diámetro. Por ejemplo, con alambres AWG0 (8.252mm), la longitud de pelado debe ser de aproximadamente 16 cm. La atadura provisional se coloca a una distancia igual a 10 veces el diámetro de cada conductor (a 8 cm, en este caso).

La derivación de cables gruesos se utiliza para suministrar energía eléctrica a un circuito ramal desde uno principal. Cuando se realiza una unión de este tipo, el extremo de los alambres que constituyen el cable derivado debe pelarse en una longitud igual a 20 veces su diámetro. La zona del cable principal donde se va a hacer la derivación debe pelarse en una longitud igual a 15 veces el diámetro del cable derivado. Por ejemplo, para realizar una derivación de un cable AWG2 (6.543mm) con un cable AWG4 (5.189mm), debe pelarse el cable principal en un tramo de 78 mm y el extremo del cable derivado en una longitud de 104 mm.

En general, son cuatro los pasos que hay que dar para hacer una buena unión. Primero, hay que pelar o desnudar los cables. Luego, hacer el amarre de los cables desnudos. Si se quiere tener un amarre perfecto, hay que soldar o estañar, para garantizar la fuerza de la unión y su contacto perfecto. Por último, hay que aislar la unión con cinta de aislar. Estos pasos se ilustran en la figura 17-6.

En la figura 17-7 se muestra como ejemplo el proceso de ejecución de una unión Western. Los pasos a seguir son:

1. Coloque el alicate en forma perpendicular al alambre y córtelo (figura 17-7-a).

2. Pele las puntas. Inicialmente marque con una navaja, sobre el extremo a conectar, una distancia de aproximadamente 50 veces el diámetro de ese alambre (figura 17-7-b). A continuación pele las puntas a partir de las marcas, hasta retirar toda la capa aislante (figura 17-7-b). Emplee con cuidado la navaja para no herirse utilícela siempre en forma inclinada para no dañar el alambre (figura 17-7-c).

3. Limpie con el lomo de la navaja los extremos pelados hasta que el metal quede brillante.

4. Cruce las puntas (figura 17-7-d).

5. Efectúe el enrollamiento (figura 17-7-e). Inicialmente, sujete los alambres sobre el cruce con un alicate (figura 17-7-f). A continuación, inicie el arrollamiento con los dedos (figura 17-7-g), apretando las espiras con los alicates (figura 17-7-h). Corte el alambre excedente (figuras 17-7-i).

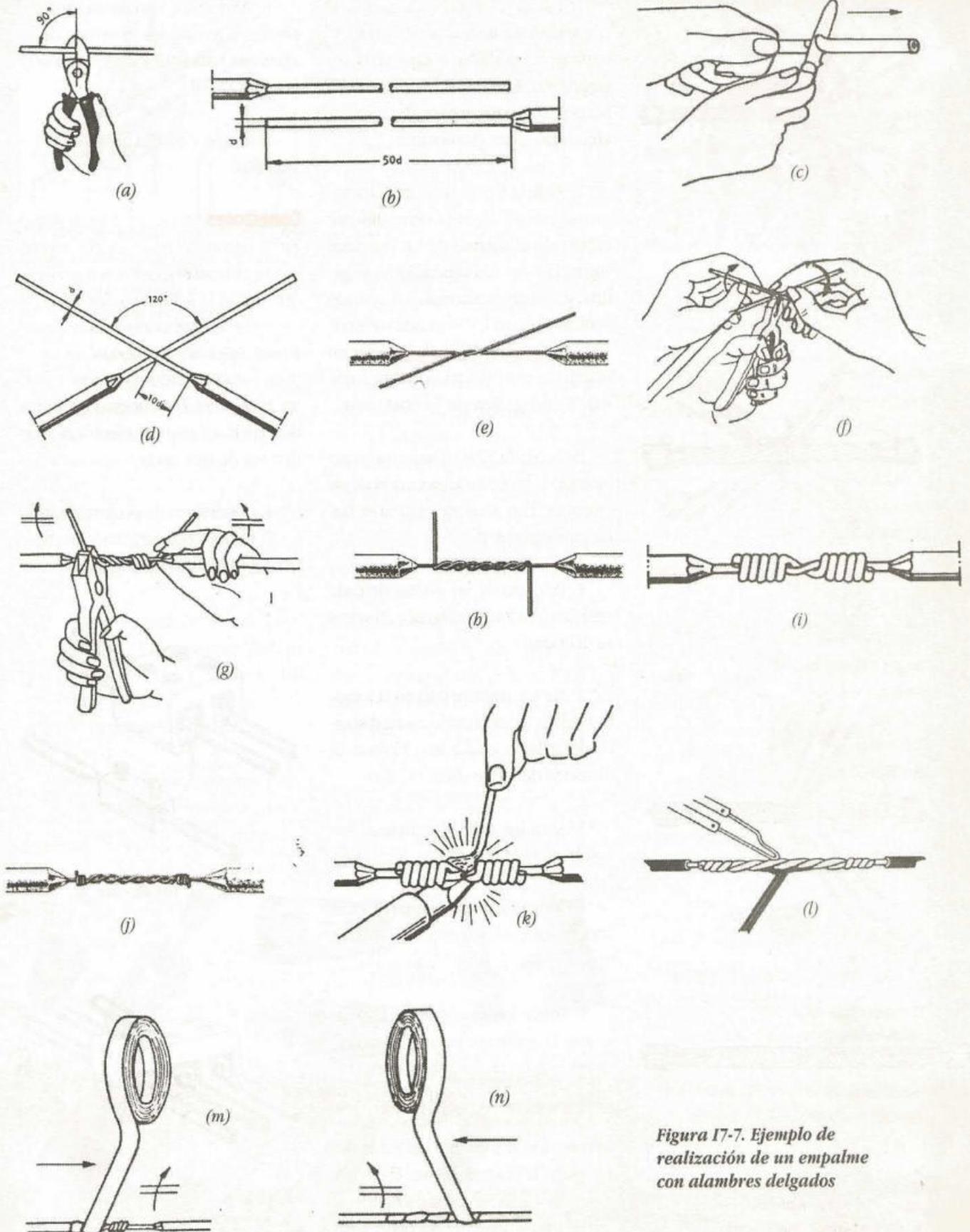
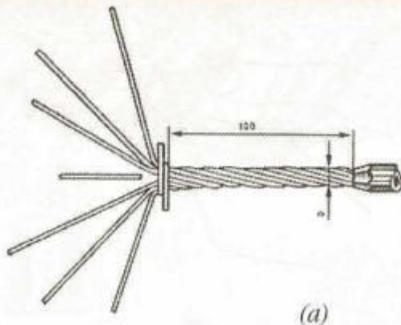


Figura I7-7. Ejemplo de realización de un empalme con alambres delgados

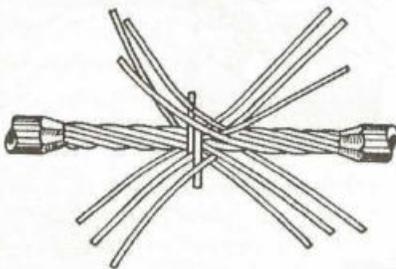
## Cómo trabajar con conductores eléctricos



(a)

6. Estañe la unión (figuras I7-7-k, l) siguiendo las instrucciones al respecto proporcionadas en el capítulo 6 (ver página 99). El estañado siempre debe hacerse inmediatamente después de efectuado el arrollamiento.

7. Aíse la unión con cinta. Inicialmente enrolle la cinta oblicuamente cubriendo el aislante de los extremos (figura I7-7-m). A continuación coloque una segunda encintando en sentido contrario (figura I7-7-n). Cada vuelta de cinta debe cubrir la vuelta anterior en una cuarta parte del ancho, como mínimo. Mantenga siempre la cinta tensa.



(b)

En la figura 17-8 se muestra como ejemplo el proceso de ejecución de un empalme con alambres gruesos. Los pasos a seguir son:

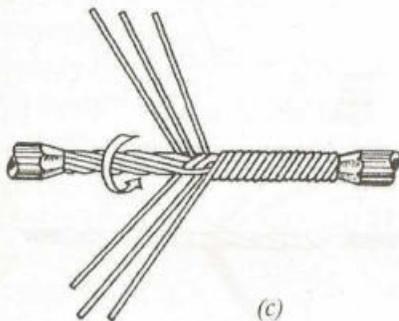
1. Pele una de las puntas de cada cable en una longitud igual a 20 veces su diámetro.

2. Ate un alambre fino en la longitud pelada de cada cable, a una distancia del aislante igual a 10 o 15 veces el diámetro del cable (figura I7-8-a).

3. Abra los cables, enderece sus alambres hasta la atadura y límpielos.

4. Corte el alambre central de cada uno de los cables, junto a la atadura (figura I7-8-a).

5. Arrolle los alambres. Inicialmente quite la atadura de uno de los cables. Entonces enfrente los cables, entrecruzando los alambres abiertos y comience a arrollar haciendo espiras en sentido contrario al trenzado del cable del que quito la atadura (figura I7-8-b). A continuación, quite la otra atadura y enrolle los alambres del otro lado, igual que el anterior (figura I7-8-c).



(c)



(d)

**Figura 17-8. Ejemplo de realización de un empalme con alambres gruesos (cables)**

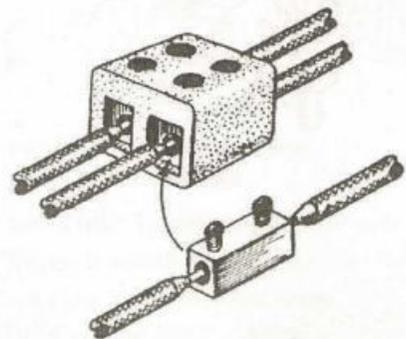
6. Afirme los enrollamientos con alicates y remate los extremos de los alambres hasta que queden como en la figura I7-8-d.

7. Estañe y aíse la unión en la forma usual.

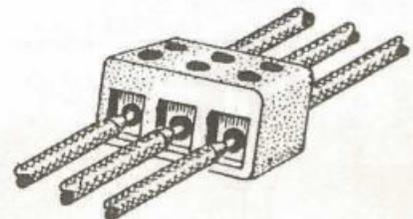
### Conectores

En la unión de conductores eléctricos se utilizan dispositivos mecánicos que evitan la soldadura llamados conectores o conectadores. Estos dispositivos sujetan y presionan los alambres, estableciendo conexiones eléctricas seguras. Los conectores utilizados en instalaciones eléctricas pueden ser de tres tipos:

1. Conectores de prolongación
2. Conectores para derivación
3. Conectores de empalme

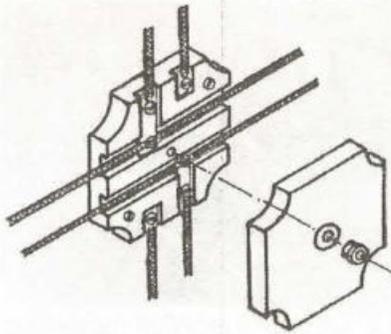


(a) Bipolar.



(b) Tripolar.

**Figura 17-9. Ejemplos de conectores de prolongación**



**Figura 17-10. Ejemplo de conectores para derivación (prensabilos)**

Los conectores de prolongación (figura 17-9), como su nombre lo indica, se utilizan para prolongar líneas eléctricas. Están formados por un cuerpo de baquelita o porcelana, dentro del cual se alojan los contactos y tornillos de bronce. Pueden ser monopolares o multipolares, según permitan realizar al mismo tiempo una o más conexiones.

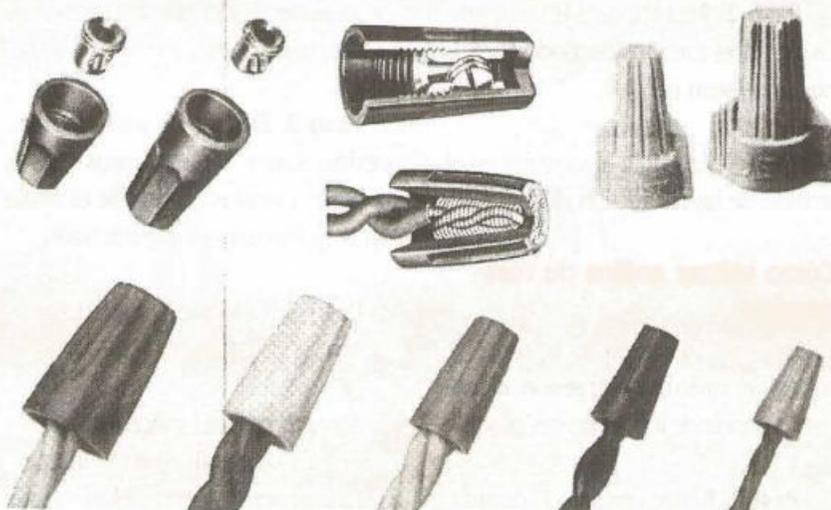
Para realizar una derivación puede utilizarse el dispositivo de conexión indicado en la figura 17-10, muy empleado en instalaciones a la vista con prensabilos.

Los conectores de empalme pueden ser de dos tipos: *wirenuts* y anillos de compresión. Los *wirenuts* (figura 17-

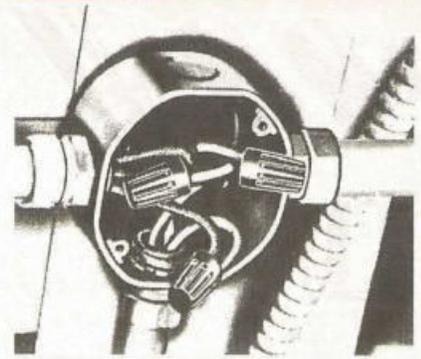
11), también llamados broches o tuercas ciegas, tienen forma de dedal y están construidas de plástico u otro material aislante dentro del cual hay un resorte cónico de metal que ayuda a la conexión eléctrica. Se utilizan principalmente en cajas de unión (figura 17-12) y en las conexiones de ciertos aparatos eléctricos. La conexión con un *wirenut* tiene la ventaja de que no hay necesidad de aislarla con cinta y además facilita el desarmado y armado.

Las tuercas ciegas vienen básicamente en cuatro tamaños, cada uno adecuado a un cierto número y calibre de alambres. Cada fabricante identifica los distintos tamaños mediante un código de colores propio. Por ejemplo, en una marca una *wirenut* roja puede ser utilizada para empalmar cuatro alambres #12 o cinco alambres #14. Una vez que usted sabe cuantos alambres de determinado tamaño se necesita empalmar, asegúrese de conseguir los tamaños del broche apropiados. Este dato figura normalmente en la caja de empaque del producto.

Los anillos de compresión (figura 17-13) son estructuras metálicas que reali-



**Figura 17-11. Ejemplos de broches o tuercas ciegas (Wirenuts)**



**Figura 17-12. Ejemplo de aplicación de conectores de alambre**

zan uniones por presión. Para usar anillos de compresión usted necesitará una herramienta especial de remachado (figura 17-14). Una vez que usted ha pelado dos o más alambres y los ha torcido juntos, la herramienta presiona un anillo sobre ellos con suficiente presión para solidarizarlos al metal en íntimo contacto. Una tapa aislante entonces se coloca sobre la conexión.

Otro dispositivo de unión, que requiere únicamente unas pinzas de mandíbulas paralelas para su instalación, es el conector mostrado en la figura 17-15. La tapa plástica tipo "concha de almeja" forma su propio aislamiento. Los alambres no deben ser desnudados. A medida que la tapa plástica posiciona los alambres bajo los elementos en forma de U de la cuchilla metálica, ésta corta el aislamiento cuando el dispositivo se cierra.

Para unir alambres de gran calibre se utilizan conectores de cobre desnudos como el mostrado en la figura 17-16. Una vez realizada la unión, el conector debe ser aislado con cinta. Estos conectores están también disponibles con tapas concha de almeja (clamp-on shells), lo cual elimina a necesidad de la cinta.

Frecuentemente es necesario realizar una derivación o tap, es decir

## Cómo trabajar con conductores eléctricos



Figura 17-13. Anillos de compresión

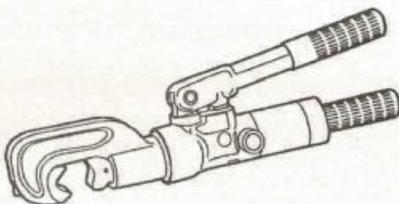
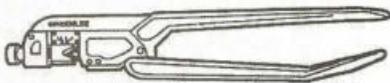
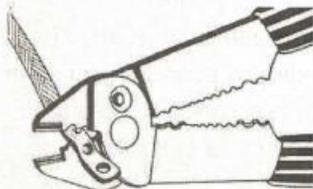
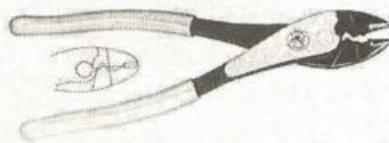


Figura 17-14. Ejemplos de remachadoras para anillos y terminales de compresión

conectar un alambre a otro que corre en forma continua. La forma más simple de hacer esta operación es utilizar un conector como el mostrado en la figura I7-17. A menos que el conector tenga una cubierta de aislamiento plástico, la conexión debe ser aislada con cinta.

Para unir alambres largos, y particularmente alambres de aluminio, se utiliza frecuentemente conectores de presión especiales, los cuales deben ser instalados mediante herramientas adecuadas. La herramienta a utilizar viene indicada en la caja del producto. La inversión en una herramienta de este tipo solo es justificable si usted debe realizar una gran cantidad de terminaciones.

### Cómo utilizar tuercas ciegas

- En la figura I7-18 se ilustra la forma de empalmar dos o más alambres utilizando una tuerca ciega o *wirenut*. El proceso comprende los siguientes pasos:

**Paso 1.** Pele cerca de 1" de aislamiento de los extremos de los alambres a unir. Tuerza en forma de cola de rata los extremos enrollando en el sentido de las manecillas del reloj al menos una vuelta y media.

**Paso 2.** Recorte de 3/8" a 1/2" de los alambres torcidos de modo que los extremos sean parejos.

**Paso 3.** Atornille el *wirenut* en el sentido de las manecillas del reloj.

### Cómo utilizar anillos de compresión

En la figura I7-19 se ilustra la forma de colocar un anillo de compresión. El proceso comprende los siguientes pasos:

**Paso 1.** Retire cerca de 1" de aislamiento de los extremos de los alam-

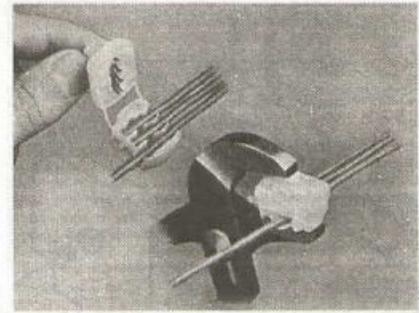


Figura 17-15. Conector "clam-shell" para empalmes y/o derivaciones

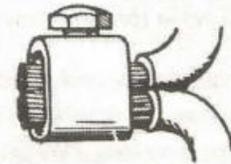


Figura 17-16. Conector para empalmar alambres gruesos

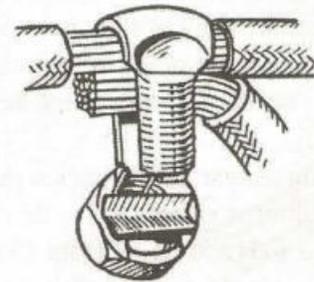


Figura 17-17. Conector para realizar derivaciones

bres a unir. Tuerza los extremos pelados en el sentido de las manecillas del reloj por los menos una vuelta y media. Corte de 3/8" a 1/2" los alambres torcidos de modo que los extremos queden uniformes.

**Paso 2.** Deslice el anillo de compresión sobre los extremos de los alambres torcidos. Remache el anillo con la herramienta de remachado.

**Paso 3.** Coloque la tapa de aislamiento.

Algunas normas eléctricas locales exigen el uso de anillos de compresión para alambres de tierra debido a que los mismos proporcionan un contac-

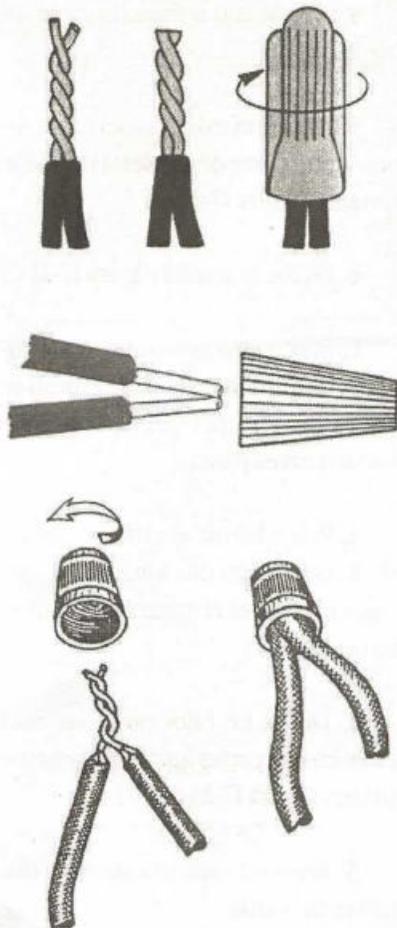


Figura 17-18. Formas de colocar un conector de alambre tipo wirenut



Figura 17-19. Forma de colocar un anillo de compresión

to más permanente que los wirenuts. Cuando se usa para alambres de tierra, un anillo de compresión no necesita ser cubierto con una tapa de aislamiento. La cinta de electricista nunca deberá ser usada en lugar de una wirenut o un anillo de compresión. La cinta es útil para reparaciones de aislamiento de emergencia, pero no deberá ser utilizada como sustituto de un empalme mecánico.

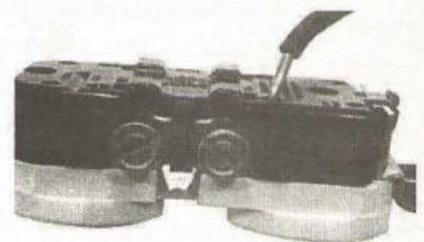
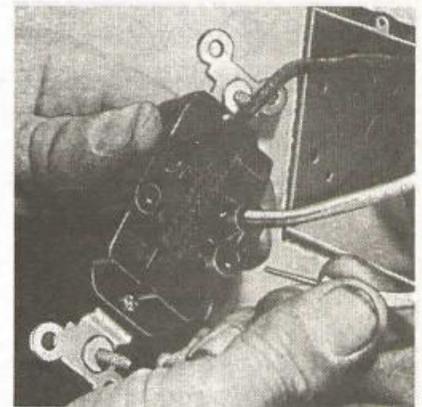
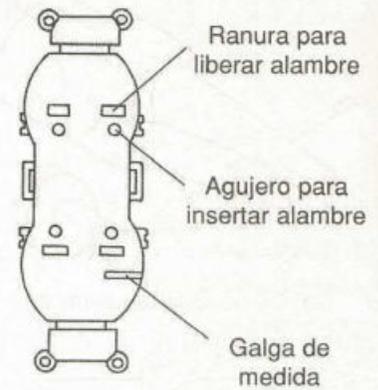
### Cómo conectar alambres a bornes de inserción o push-in

Algunos interruptores y tomacorrientes se fabrican sin terminales de tornillo y en su lugar vienen con terminales de inserción o *push-in*. En este caso, el extremo recto de cada alambre se introduce dentro de un pequeño agujero en el dispositivo, como se muestra en la figura 17-20. La cantidad de aislamiento a retirar viene indicada por la galga. Si se requiere retirar un alambre, se introduce la punta de un destornillador pequeño en las ranuras correspondientes del dispositivo para liberar el alambre. Algunos dispositivos poseen tanto terminales de tornillo como terminales push-in.

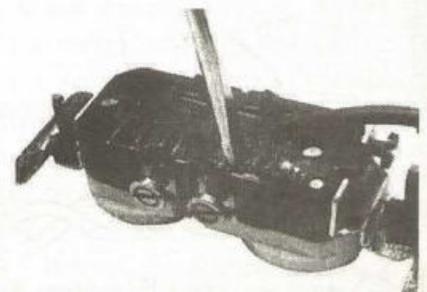
### Cómo realizar argollas en alambres, cables y cordones

Para conectar conductores eléctricos (alambre, cables, cordones, etc.) a terminales de tornillo de elementos eléctricos como interruptores, tomacorrientes, etc., debe hacerse una argolla u ojal en el extremo de cada conductor. En la figura 17-21 se ilustra la forma de ejecutar una argolla en la punta de un alambre delgado. El proceso se puede resumir en los siguientes pasos:

**Paso 1.** Realice el aro en el extremo del conductor. Inicialmente, pele y limpie el extremo el conductor por conectar, en una longitud aproximada-

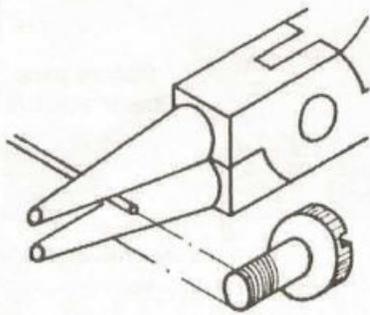


Inserción del alambre



Extracción del alambre

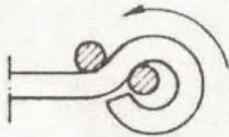
Figura 17-20. Cómo conectar alambres a bornes push-in o de inserción



(a) Colocación del alambre

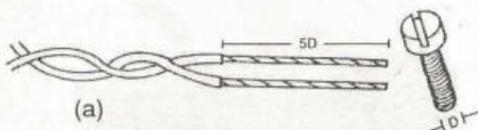


(b) Forma de hacer los giros

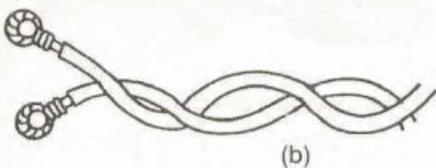


(c) Realización del aro

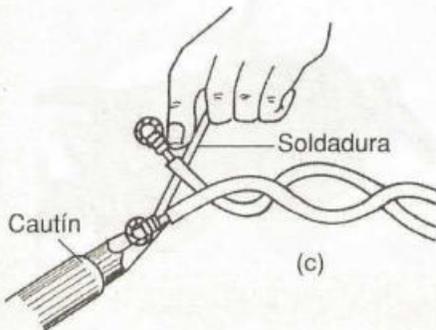
Figura 17-21. Como realizar argollas en alambres delgados



(a)



(b)



(c)

Figura 17-22. Cómo realizar argollas en cordones de cable delgado

mente 5 veces el diámetro del tornillo que lo fijará. A continuación, coloque la punta del conductor entre las mordazas del alicate de puntas redondas, en el lugar en que estas tienen aproximadamente el diámetro del tornillo (figura 17-21-a). Inicie entonces el doblado, dando un giro al alicate hasta que la punta haga tope con el conductor (figura 17-21-b)

**Paso 2.** Tuerza el aro con la parte más delgada del alicate, dándole un giro contrario hasta que el eje del conductor coincida con el diámetro (figura 17-21-c).

**Paso 3.** Fije el conductor al terminal de tornillo del elemento.

En la figura 17-22 se ilustra la forma de preparar cables de alambres delgados para su conexión a los bornes de elementos tales como interruptores, tomacorrientes, clavijas, aparatos electrodomésticos, extensiones, etc. Estas argollas se confeccionan utilizando los picos redondos de una pinza, o sobre un clavo, una varilla o un alambre. La argolla debe resultar de un diámetro ligeramente superior al diámetro del tornillo que lo sujetará. El procedimiento se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Pele y limpie el extremo del cable conductor en una longitud aproximada de 5 veces el diámetro del tornillo que lo fijará.

2. Retuerza los hilos que forman el cable hasta que tengan alguna dureza (figura 17-22-a)

3. Coloque el centro del extremo del conductor pelado en las mordazas de la pinza de puntas redondas, donde estos tienen un poco más grande el diámetro del tornillo.

4. Enrolle con la mano el cable sobre la pinza

5. Enrolle el extremo del cable sobre la otra parte descubierta del cable restante (figura 17-22-b)

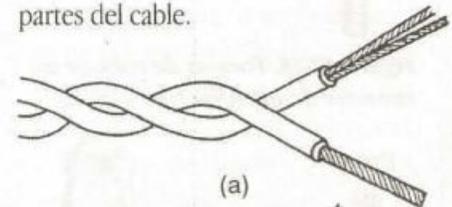
6. Estañe la argolla (figura 17-22-c)

El procedimiento para formar argollas en cordones de cable grueso se detalla en la figura 17-23 y comprende los siguientes pasos:

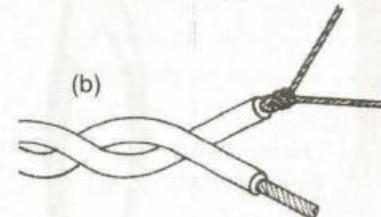
1. Pele y limpie el extremo del cable a conectar en una longitud aproximada de 5 veces el diámetro del tornillo que lo fijará.

2. Divida los hilos que forman el cable en dos partes aproximadamente iguales (figura 17-23-a).

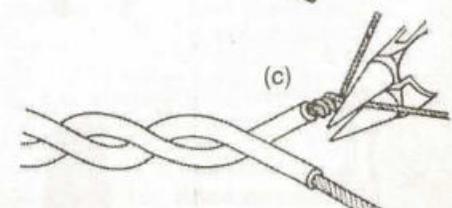
3. Retuerza cada una de estas dos partes del cable.



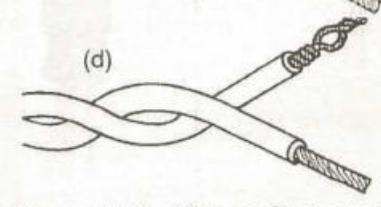
(a)



(b)



(c)



(d)

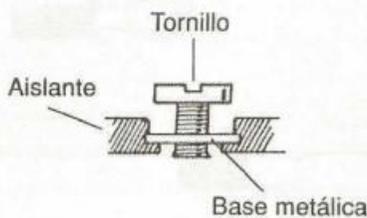
Figura 17-23. Cómo realizar argollas en cordones de cable grueso

4. Retuerza tres veces entre sí las dos partes anteriores (figura I7-23-b)

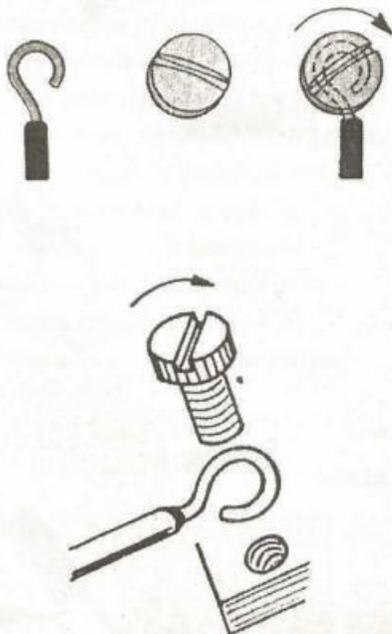
5. Coloque la punta de la pinza redonda entre las dos partes restantes, en el lugar en que éstas tienen aproximadamente el diámetro del tornillo (figura I7-23-c).

6. Finalmente, retuerza con la mano, o con un alicate según el diámetro del cable, los extremos restantes (figura I7-23-d).

7. Estañe la argolla.



**Figura 17-24. Estructura de un borne de tornillo**



**Figura 17-25. Como conectar alambres delgados a bornes de tornillo**

## Cómo conectar alambres a bornes de tornillo

Los conductores se conectan a los dispositivos eléctricos por medio de terminales diseñados para este propósito. Para alambres N<sup>o</sup> 10 y más delgados, que son sólidos, se utilizan normalmente terminales de tornillo del tipo mostrado en la figura 17-24. La base metálica del terminal, así como el aislamiento circundante, se configura para evitar que el alambre se deslice fuera del tornillo. A estos terminales pueden también conectarse alambres trenzados, como los utilizados en los cordones eléctricos, torciendo primero los filamentos

Para conectar un alambre a un terminal de tornillo, comience por realizar una argolla u ojal en el extremo del conductor tal como se explicó en la sección anterior. Debe retirar de 1/2" a 3/4" de aislamiento y formar con las pinzas medio bucle en el alambre desnudo.

A continuación, afloje el tornillo de conexión (no es necesario sacarlo del todo), enganche el alambre en el sentido de las manecillas del reloj alrededor del tornillo y apriete el tornillo para cerrar el bucle. Si el alambre se engancha en sentido anti-horario, al apretar el tornillo el bucle tendería a abrirse. Los detalles claves del proceso se muestran en la figura 17-25.

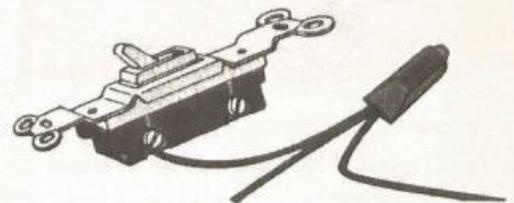
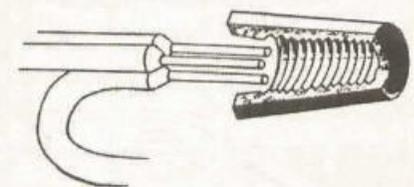
Siempre pele los alambres de modo que el alambre desnudo se extienda más allá de la cabeza del tornillo no más de 1/16". Asimismo, no deje que el aislamiento se extienda dentro del área aprisionada. Tampoco intente colocar más de un solo alambre bajo un terminal de tornillo debido a que estos elementos están diseñados para alojar únicamente un alambre. Estas y otras reglas básicas relacionadas con la



(a) El alambre debe conectarse al terminal de modo que el bucle se cierre al apretar el tornillo.



(b) No deje un alambre largo expuesto cerca de un terminal



(c) No conecte más de un alambre a un terminal. Utilice conectores de alambre tipo wirenuts

**Figura 17-26. Reglas básicas de conexión de alambres a bornes de tornillos**

conexión de alambres a bornes de sujeción por tornillo se ilustran en la figura 17-26.

Nunca trate de unir dos o más alambres o cables en un mismo terminal de tornillo. Mejor tome un trozo de alambre o cable extra, una las puntas (con un conector o un amarracola de rata) y aislelas. Luego, conecte al tornillo la punta del cable extra (figura 17-26-c). Este último se

## Cómo trabajar con conductores eléctricos



Figura 17-27. Formas incorrectas de conectar alambres a terminales de tornillo

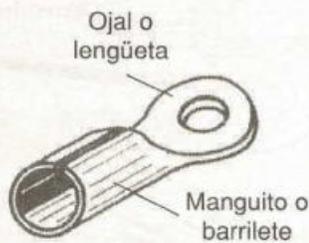


Figura 17-28. Partes de un terminal

denomina comúnmente *pigtail* o cola de cerdo. Para finalizar, en la figura 17-27 se muestran varios errores comunes cometidos al conectar alambres a terminales de tornillo.

### Terminales

Los terminales son piezas que se colocan en los extremos de los conductores con el fin de realizar una buena conexión eléctrica a los bornes de un accesorio o aparato. Se fabrican generalmente de cobre, bronce, latón o plomo. Algunos de ellos vienen estañados para protegerlos contra la oxidación y facilitar la soldadura.

Los terminales están constituidos por un solo cuerpo en el que se distinguen

dos partes: el manguito o barrilete, donde se introduce el conductor, y el ojal o lengüeta, con el que se efectúa la conexión al borne del aparato (figura 17-28).

Dependiendo de la forma en que se unen a los extremos de los conductores, los terminales pueden ser de dos tipos:

- Terminales soldables.
- Terminales a presión.

Los terminales soldables (figura 17-29), como su nombre lo indica, se fijan a los conductores con soldadura de estaño. Pueden ser de manguito abierto o cerrado, y tener ojales de diferentes formas dependiendo de la aplicación.

La conexión de un terminal soldable a un conductor delgado es relativamente simple. Primero se estaña el interior del manguito y se pela y estaña la punta del conductor. A continuación se inserta éste en el terminal, previamente calentado. Una vez montado el conductor en el terminal, el aislante del conductor debe quedar a tope con el manguito de modo que el conductor no quede expuesto al aire. La conexión de terminales a alambres gruesos es más compleja y se explicará más adelante.

Los terminales a presión (figura 17-30) son los que se sujetan a los conductores por medio de tornillo o por aplastamiento del manguito. El aplastamiento del manguito se realiza con una pinza especial o una pinza pelacable multipropósito con mordazas de remache. Estos terminales se emplean en todos los tipos de instalaciones y tienen la ventaja de que permiten realizar las conexiones con mayor rapidez.

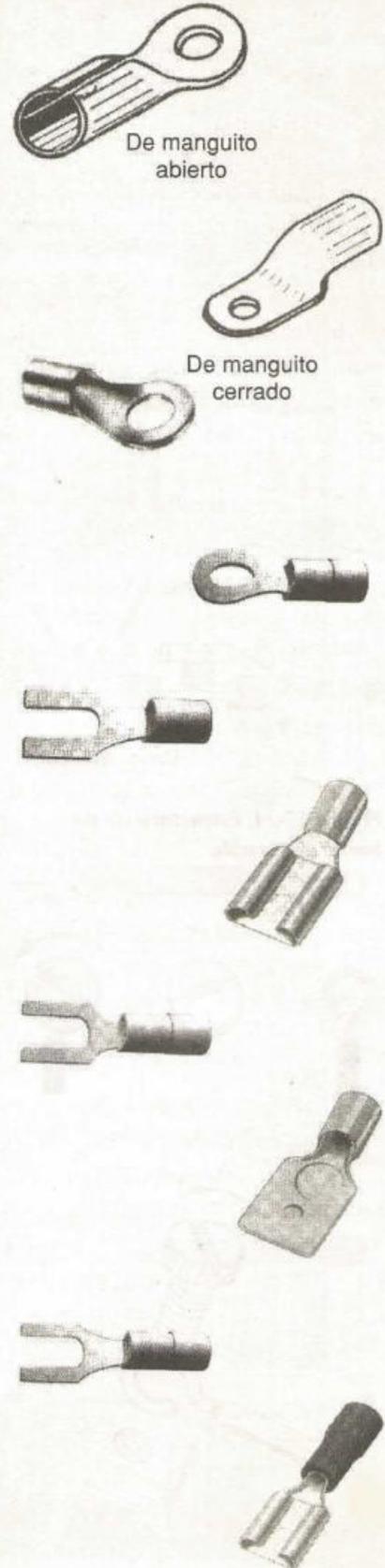
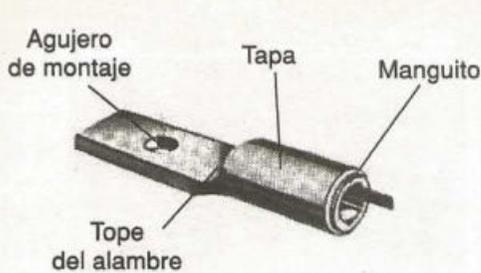
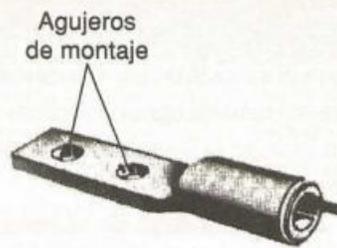


Figura 17-29. Ejemplos de terminales soldables



Orejeta de un solo agujero.



Orejeta de dos agujeros.

**De fijación por aplastamiento.**

**Figura I7-30. Ejemplos de terminales a presión o no soldables**

Los terminales a presión representados en la figura I7-30 se denominan genéricamente **orejas** u **orejetas** (*lugs*) no soldables y proporcionan un método rápido y satisfactorio para realizar uniones en las cuales los conductores involucrados no están sometidos a esfuerzos mecánicos. Por esta razón son mucho más utilizadas que los terminales y orejetas soldables. Además tienen una mayor resistencia mecánica que estas últimas y no presentan problemas corrientes como uniones frías, aislamientos quemados, etc.

Las orejetas no soldables de fijación por tornillo pueden ser sencillas o dobles, según acepten uno o dos conductores. Aunque la mayoría están diseñadas para conectar conductores de cobre, existen también orejetas **duales**, las cuales permiten conectar tanto alambres de cobre como de aluminio. Las orejetas de fijación por aplastamiento, por su parte, aceptan generalmente un solo conductor y pueden tener uno o dos agujeros para su montaje a las barras colectoras de los paneles de servicio. También existen versiones duales para alambres de aluminio.

Un ejemplo particular de terminales no soldables lo constituyen los utilizados para realizar conexiones a tierra a tierra. En la figura I7-31 se muestran algunos tipos comunes. Las mordazas, por ejemplo, se diseñan para mantener el contacto y el alineamiento apropiado

entre el alambre y la varilla de tierra, o entre el alambre de tierra y la tubería metálica de agua (cuando ésta forma parte del sistema de tierra). Se seleccionan de acuerdo al diámetro de la varilla o la tubería, y los calibres de alambre de tierra que pueden acomodar. Los conectores de tuerca dividida o *split-bolt* permiten conectar alambres o varillas de tierra entre sí, o alambres a varillas de tierra. En general, no debe conectarse más de un conductor al electrodo de tierra, excepto si el terminal está aprobado para este uso.

**Conexión de empalmes soldables a conductores delgados**

Hemos visto anteriormente que dos conductores se pueden unir entre sí recurriendo a alguna técnica de amarre sin accesorios adecuada (por ejemplo una unión Western) o utilizando un accesorio de empalme no soldable como una tuerca ciega (*wirenut*) o un anillo de compresión. Otra alternativa es utilizar un empalmador soldable, consistente en un tubo metálico corto cuyo diámetro interno tiene la medida justa para insertar en sus extremos las puntas peladas de los conductores a unir. En la figura I7-32 se ilustra la forma de utilizar un dispositivo de este tipo. El procedimiento se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Estañe el interior del empalmador. Inicialmente, caliente el empalmador con un cautín o una pistola y llene

# Instalaciones

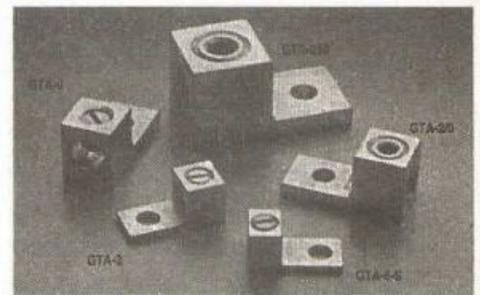
**De fijación por tornillo**



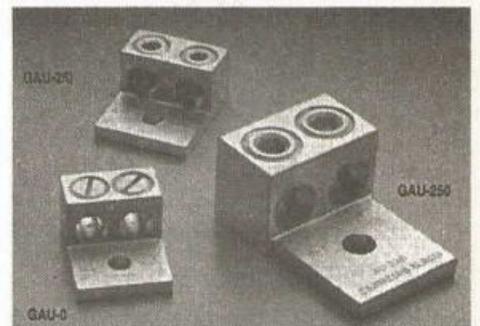
Orejeta sencilla de doble tornillo.



Orejeta sencilla de un solo tornillo.



Orejeta sencilla dual.



Orejeta doble dual.



Orejetas sencillas tipo poste.

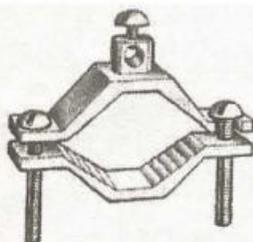
## Cómo trabajar con conductores eléctricos



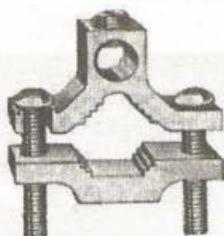
De trabajo pesado



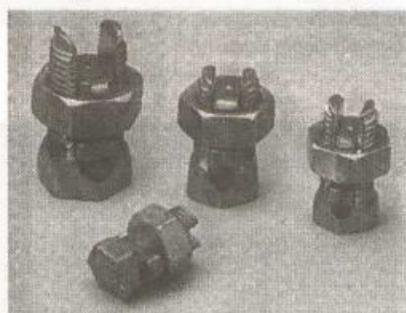
Estándar



De alta resistencia



Dual (para cobre y aluminio)  
Mordazas



Conectores de perno dividido (split bolt)

Figura 17-31. Ejemplos de terminales a presión para conexiones a tierra

su interior de soldadura. Con la soldadura aún fundida, agite el empalmador para expulsar la soldadura hacia el exterior

2. Pele y estañe las puntas de los conductores en la forma usual

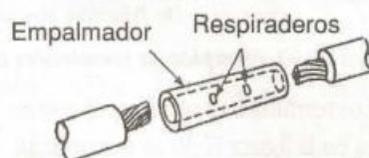
3. Introduzca las puntas de los conductores en los extremos del empalmador (figura 17-32-a). Si es necesario, corte las puntas de los mismos de modo que el aislante quede a tope con el empalmador cuando los conductores se introducen completamente. Así se evita que los conductores queden expuestos.

4. Caliente el empalmador (figura 1-32-b) para fundir la soldadura del estañado. Limpie el exceso de soldadura expulsado a través de los respiraderos del empalmador. Permita que se enfríe la unión.

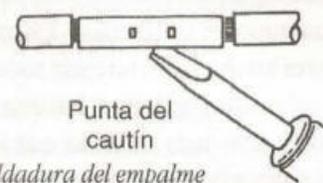
5. Una vez frío el empalme, aíslalo con cinta o utilizando un trozo de material plástico termoencogible (figura 1-32-c). Este último debe deslizarse sobre uno de los conductores antes de realizar el empalme, colocarse sobre la unión una vez la misma esté fría y calentarse rápidamente con un fósforo o un encendedor para que se contraiga y la aprisione.

### Conexión de empalmes no soldables a conductores delgados

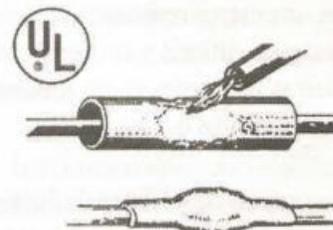
Además de las tuercas ciegas y los anillos de compresión, otro tipo de empalmador mecánico no soldable muy utilizado en las instalaciones eléctricas es el de fijación por tornillo mostrado en la figura 17-33. En la misma figura se ilustra la forma de utilizar este tipo de elemento. Simplemente se desliza un trozo de espaguetti termoencogible en uno de los conductores, se pelan y limpian las puntas de los conductores en la forma usual, se introducen por los extremos del



(a) Estañado e introducción de los conductores



(b) Soldadura del empalme



(c) Aislamiento mediante spaguetti termoencogible.

Figura 17-32. Forma de utilizar un empalmador soldable.

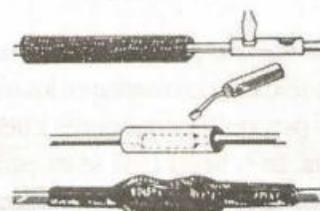


Figura 17-33. Cómo utilizar un empalmador no soldable.

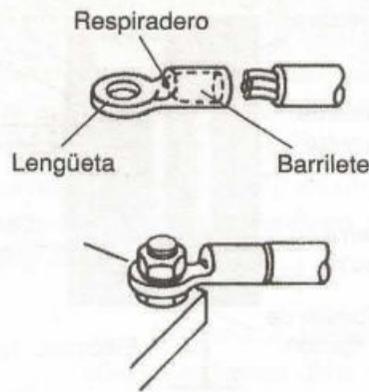
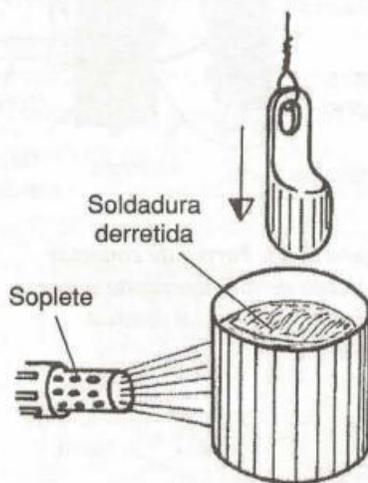
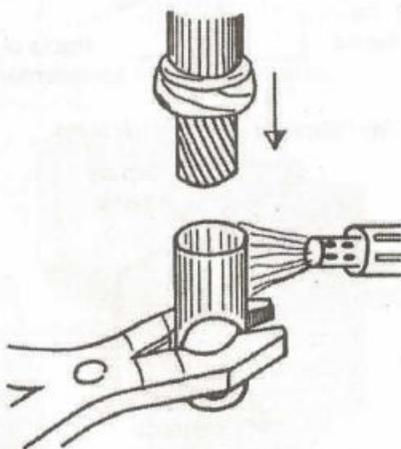


Figura 17-34. Cómo conectar alambres delgados a terminales soldables.



(a) Estañado del terminal.



(b) Sujeción y soldado.

Figura 17-35. Cómo conectar alambres gruesos (cables) a bornes de tornillo.

empalmador, se aprietan los tornillos, se coloca el espaguete sobre la unión y se aplica calor.

### Conexión de terminales soldables a alambres delgados

Muchas veces, el procedimiento de conexión de un alambre delgado a un terminal de tornillo de un elemento eléctrico realizando una argolla (ver figura 17-25, página 131) no es aconsejable. En estos casos, la conexión puede realizarse utilizando un terminal soldable, como se ilustra en la figura 17-34. El procedimiento, que es muy sencillo, se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Estañe el interior del manguito o barrilete del terminal.
2. Pele y estañe la punta del conductor.
3. Caliente el terminal e inserte la punta del conductor en el barrilete de modo que el aislante quede a tope y no quede expuesto el alambre. Permita que se enfríe la unión. Si el terminal es aislado, deslice la cubierta aislante sobre el manguito o protéjalo con espaguete termocongelable (colocado antes de realizar la unión). El uso de cinta aislante no es recomendable en este caso por razones estéticas.

### Conexión de terminales soldables a alambres gruesos

En la figura 17-35 se ilustra una forma de fijar un terminal soldable al extremo de un conductor grueso para su conexión a un terminal de tornillo. Esta operación es relativamente más compleja que la descrita en la sección anterior debido a que se requieren una mayor cantidad de calor y soldadura para garantizar un contacto confiable. El procedimiento se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Pele y limpie el extremo del cable en una longitud aproximadamente 5 mm mayor que la del manguito del terminal.

2. Funda el estaño en un recipiente utilizando un soplete. Mantenga la llama del soplete retirada de todo material inflamable y de la zona donde se desplazan personas.

3. Estañe el terminal. Inicialmente cúbralo con pasta desoxidante, y a continuación introdúzcalo en el recipiente que contiene el estaño fundido hasta que lo cubra totalmente (figura 17-35-a)

4. Estañe el extremo del cable. Primero proteja el extremo del aislamiento con un trapo húmedo, luego cúbralo con pasta o resina desoxidante y, por último, introduzca la punta en el estaño fundido hasta que lo cubra totalmente.

5. Suelde el terminal. Inicialmente, sujete el terminal con un alicate (figura 17-35-b) y caliéntelo con el soplete. A continuación, rellene con soldadura 3/4 partes del manguito del terminal e introduzca lentamente el extremo del cable en el manguito del terminal. Por último, enfríelo con un trapo humedecido y compruebe que el cable haya quedado rígidamente soldado al terminal.

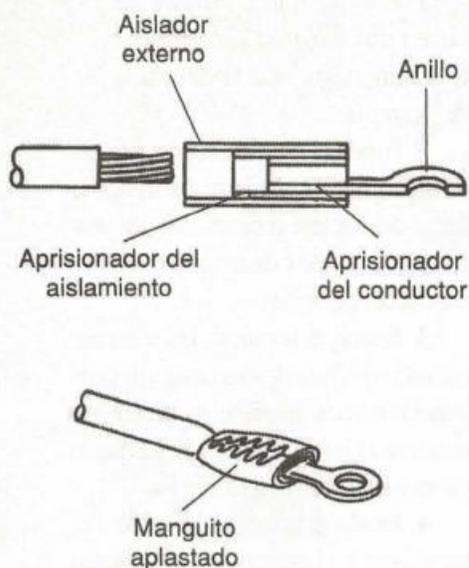
6. Aísle la unión, cubriendo el extremo del aislamiento del conductor y el manguito terminal.

7. Finalmente, conecte el terminal al borne del elemento, pasando el tornillo por el agujero del terminal, y atornille.

### Conexión de terminales no soldables a alambres delgados

Como hemos visto, los terminales no soldables se fijan a los extremos de los conductores básicamente por dos métodos: mediante tornillos o por aplastamiento del manguito. En el caso de un terminal de fijación por tornillo, la conexión es muy simple pues solo se trata de pelar el conductor, even-

## Cómo trabajar con conductores eléctricos



**Figura 17-36.** Forma de conectar un conductor a un terminal no soldable de aplastamiento.



**Figura 17-37.** Forma de conectar un conductor a un terminal de manguito partido.

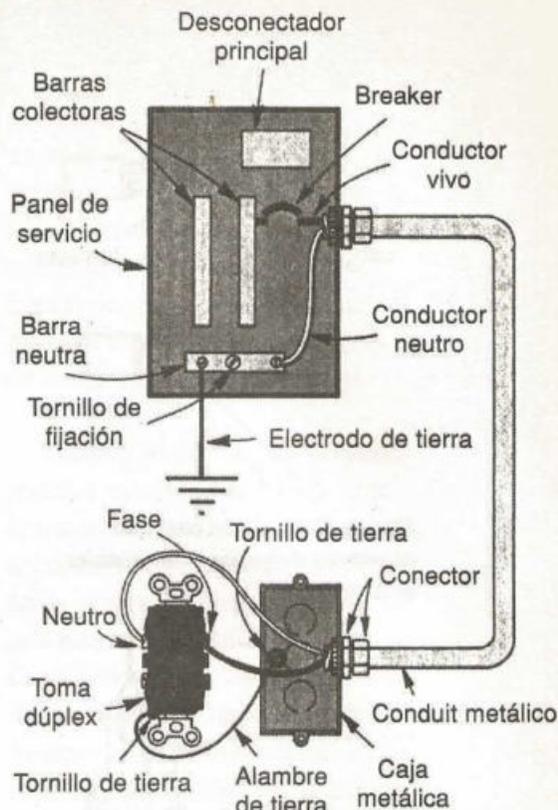
tualmente estañar la punta, introducirla en la ranura correspondiente y apretar el tornillo de sujeción con la herramienta adecuada (un destornillador, una llave de tuercas, una llave Allen, etc.). Tratándose de un terminal de fijación por aplastamiento, el procedimiento es similar, excepto que el manguito debe ceñirse sobre el conductor utilizando una herramienta de compresión adecuada, como se ilustra en la figura 17-36.

Un tipo especial de terminal no soldable, que no se asegura al conductor mediante tornillos por aplastamiento, es la orejeta de cuña o de manguito cónico mostrada en la figura 17-37. En este caso, una vez pelado, el alambre se introduce por el orificio del manguito hasta que encuentre un tope. A continuación se gira el terminal en forma similar a una tuerca ciega. Cuando esto se hace, los segmentos del manguito, en forma de cono o huso, se comprimen alrededor del conductor, asegurándolo. Hecho esto, el terminal se atornilla al borne del elemento, pasando el tornillo por el ojal o lengüeta.

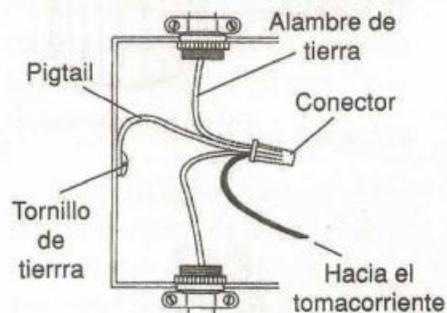
### Como conectar alambres de tierra a cajas y tomacorrientes

Los códigos eléctricos modernos exigen, por razones de seguridad, que todo circuito monofásico de dos hilos (fase y neutro) tenga un sistema de tierra. Por lo mismo, deben utilizarse tomacorrientes con polo a tierra y todas las cajas metálicas deben estar conectadas a tierra.

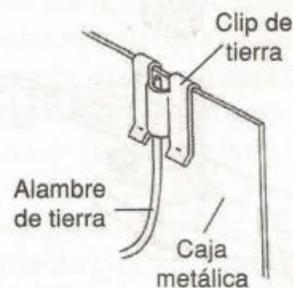
Cuando la instalación de una vivienda se realiza con cable blindado, conduit metálico rígido o conduit metálico flexible, la envoltura metálica del cable o el conduit conecta eléctrica-



**Figura 17-38.** Forma de conectar una caja de tomacorriente a tierra en instalaciones con conduit metálico.



(a) Utilizando un tornillo de tierra.



(b) Utilizando un clip de tierra.

**Figura 17-39.** Forma de conectar una caja de tomacorriente a tierra en instalaciones con conduit no metálico.

mente las cajas al sistema de tierra. La conexión a tierra de los tomacorrientes se realiza conectando el tornillo verde de los mismos a la caja metálica correspondiente mediante un trozo corto de alambre, como se ilustra en la figura I7-38.

En el caso de conduit no metálico (PVC) o cable encauchetado, debe correrse, junto con los conductores de fase y neutro un cable separado de tierra (verde o verde/amarillo). La conexión a tierra de las cajas metálicas, así como de los tomacorrientes, se realiza conectando los tornillos de tierra de las mismas al cable de tierra mediante segmentos de alambre adicionales o pig-tails. Esta situación se ilustra en la figura I7-39 (a). En este caso, la unión de

los alambres de tierra se realiza en una tuerca ciega (wrenut). Si no se dispone de un tornillo de tierra en la caja, la conexión a tierra de la misma puede realizarse utilizando un clip de tierra, como se muestra en la figura I7-39-b.

## Conexión de conductores a elementos eléctricos.

### Interruptores y tomas

Como sabemos, la mayoría de interruptores y tomacorrientes para instalaciones eléctricas vienen con dos juegos de terminales para su conexión a los conductores: terminales de tornillo y terminales push-in o de alambreado posterior. En la figura I7-40 se ilustra la forma de alambrear un dispositivo con terminales de tornillo. El procedimiento, aplicado en este caso a un

interruptor, se puede resumir en los siguientes pasos (se asume el uso de cable encauchetado):

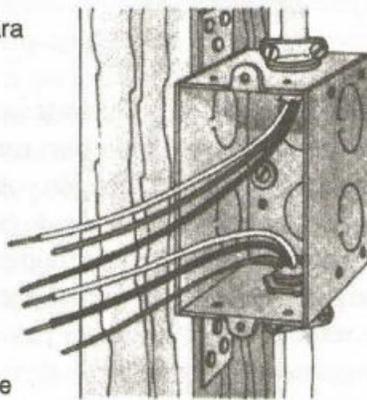
**Paso 1.** Instale la caja. Asegure los cables a la caja de modo que sobresalgan de 6 a 8 pulgadas (15 a 20 centímetros) de cada cable fuera de la caja.

**Paso 2.** Rasgue el forro o cubierta exterior de caucho de cada cable y retírela junto con todos los materiales de separación. Pele de 1/2" (12.5 mm) a 3/4" (19 mm) de aislante de la punta de cada conductor.

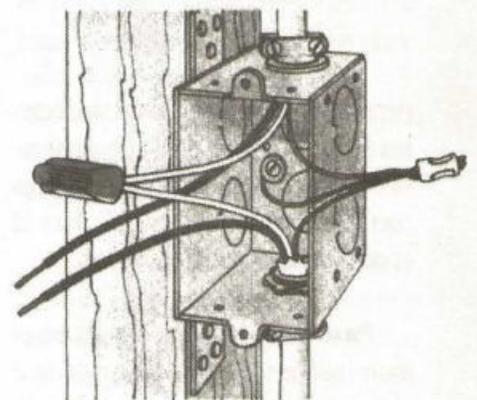
**Paso 3.** Empalme y aisle los dos conductores neutros (blancos) utilizando una tuerca ciega (wrenut) u otro método. Realice las conexiones de



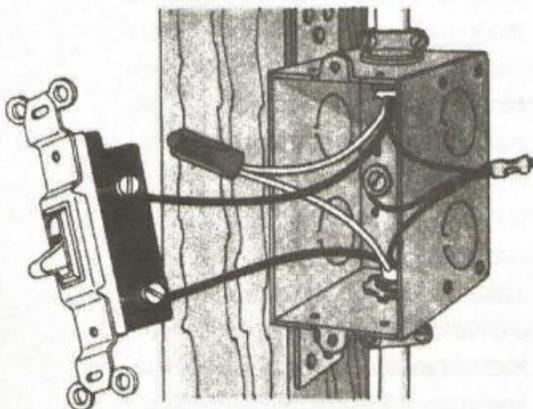
(a) Instalar caja y asegurar cables.



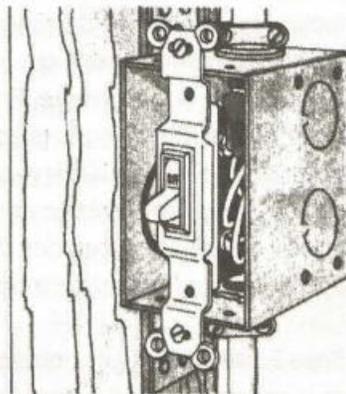
(b) Retirar aislamientos y materiales de separación



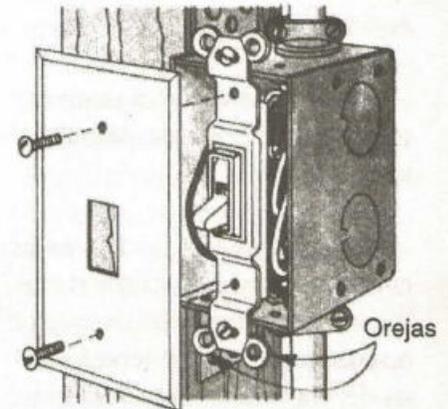
(c) Empalmar conductores neutros y de tierra entre sí



(d) Conectar conductores de fase al interruptor



(e) Fijar el interruptor



(f) Colocar la cubierta

**Figura I7-40. Secuencia de instalación de un interruptor de un polo.**

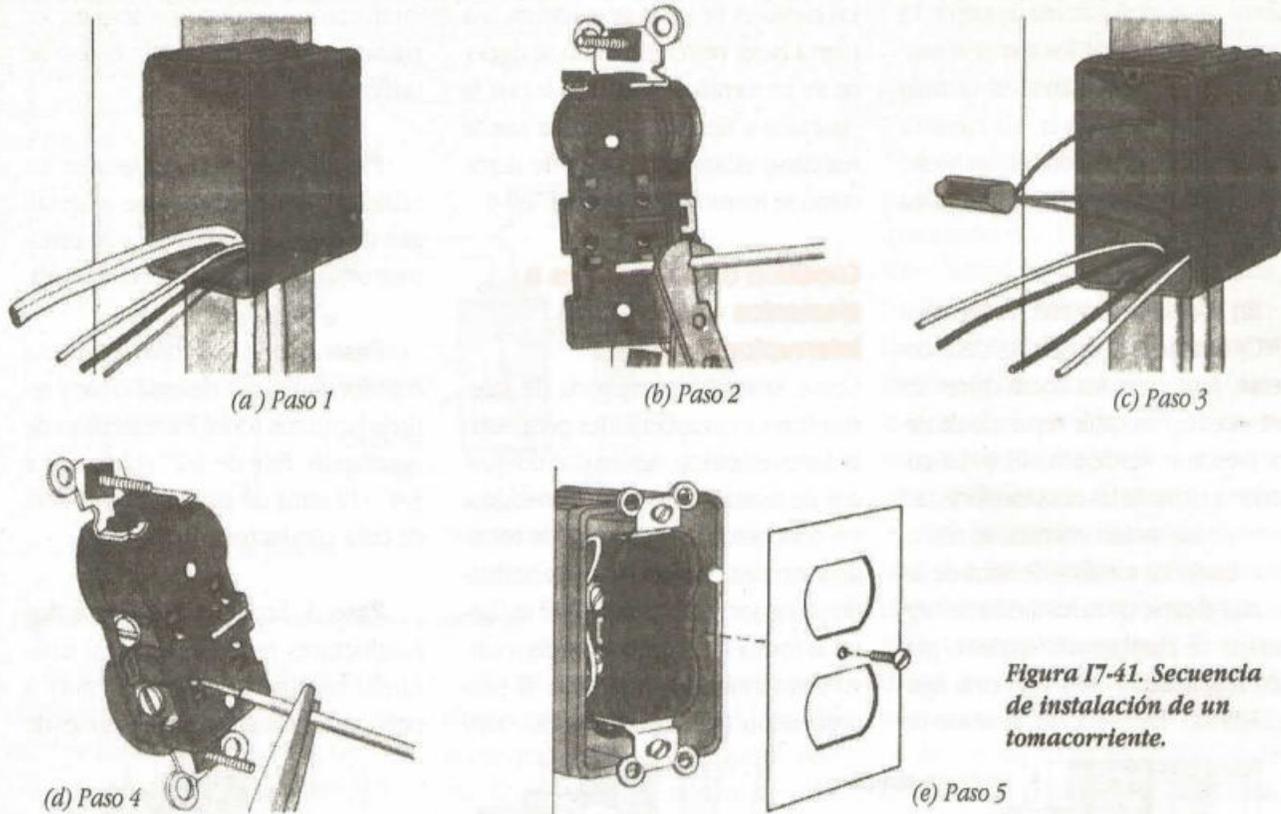


Figura 17-41. Secuencia de instalación de un tomacorriente.

tierra empalmando los dos conductores de tierra con un anillo de compresión o una tuerca ciega. Si la caja es metálica, agregue un pigtail para la conexión de esta última a tierra.

**Paso 4.** Forme una argolla en el extremo de cada conductor de fase (negros) y enróllelos alrededor de los terminales de tornillo en el sentido de las manecillas del reloj. Apriete los tornillos.

**Paso 5.** Introduzca los alambres y el interruptor en la caja. Atornille el interruptor a la caja.

**Paso 6.** Ajuste los tornillos en las ranuras de montaje hasta que el interruptor quede recto. Si el interruptor no está a ras de la pared, retire las orejas del yugo de montaje y utilícelas como cuñas o calzas para adelantar el interruptor. Finalmente, atornille la cubierta decorativa.

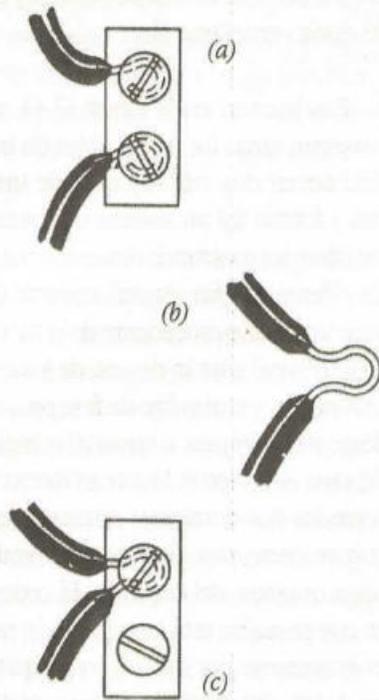
En la figura 17-41 se ilustra la forma de alambrar un dispositivo con terminales push-in de conexión posterior. El procedimiento, aplicado en este caso a un tomacorriente dúplex con polo a tierra tipo Leviton, se puede resumir en los siguientes pasos (nuevamente se asume el uso de cable encauchetado):

**Paso 1.** Instale la caja. Inserte en la misma el cable que viene de la fuente de alimentación y el cable que va hacia el siguiente tomacorriente. Permita que sobresalgan de 6 a 8 pulgadas de cada cable fuera de la caja y asegúrelos. Retire el forro aislante exterior y los materiales de separación de cada porción de cable dentro de la caja.

**Paso 2.** Utilizando la galga moldeada en la parte posterior del dispositivo, mida y retire el aislamiento indicado de los extremos de los conductores individuales.

**Paso 3.** Realice la conexión a tierra uniendo los dos conductores de tierra de los cables entre sí y con el pigtail de tierra del dispositivo. Utilice una tuerca ciega, un anillo de compresión o un amarre cola de rata convenientemente aislado. Si la caja es metálica, incluya también en la unión el pigtail de conexión a tierra del tornillo o la mordaza de tierra de la misma. Seleccione la longitud de los pigtails de modo que usted pueda halar y desconectar el tomacorriente sin interrumpir la continuidad del sistema de tierra del circuito.

**Paso 4.** Inserte los alambres de conexión en los agujeros posteriores apropiados del dispositivo: los neutros o de retorno (blancos) en los agujeros identificados como WHITE y los de fase o vivos (negros) en los agujeros opuestos. Conecte también uno de los pigtails de tierra al tornillo de tierra (verde) del tomacorriente y el otro al



**Figura 17-42. Formas de conectar varios tomacorrientes en cadena.**

tornillo o mordaza de tierra de la caja. Apriete entonces los tornillos de tierra. Si el dispositivo trae terminales de tornillo, apriételos también puesto que no se necesitan y pueden causar problemas. Recuerde que los tornillos de color dorado son terminales de fase o vivos y los de color plateado terminales neutros o de retorno.

**Paso 5.** Introduzca los alambres y el tomacorriente en la caja. Asegure el dispositivo a la caja y coloque la cubierta decorativa del mismo. Instale el siguiente tomacorriente del circuito en la misma forma.

Naturalmente, un tomacorriente como el anterior puede también alambrarse utilizando los terminales de tornillo. Para simplificar el cableado de los demás tomacorrientes incorporados al mismo circuito y per-

mitir que se puedan conectar dos alambres a un mismo terminal, estos últimos vienen siempre con dos tornillos de conexión. En este caso, la conexión del dispositivo con los conductores de entrada y con los conductores de alimentación del siguiente tomacorriente puede realizarse utilizando cualquiera de los métodos mostrados en la figura 17-42.

Si se utiliza conduit, en lugar de arrastrar un tramo de alambre desde la fuente de alimentación (digamos el panel de servicio) hasta la caja del primer tomacorriente, luego otro desde esta caja hasta la del segundo, y así sucesivamente (figura 17-42-a), resulta algunas veces más conveniente arrastrar un alambre continuo desde la fuente de alimentación hasta la última caja de la cadena. En este caso, permita que un bucle del alambre se proyecte cerca de 6" (15 cm) fuera de cada caja, como se ilustra en la figura 17-42-b, pélelo como se indica en la misma figura y conéctelo bajo uno de los tornillos del terminal como se muestra en la figura 17-42-c.

El modo de conexión "por detrás" de dispositivos eléctricos descrito anteriormente es adecuado únicamente para alambres de cobre. Si usted utiliza alambres de aluminio, debe utilizar necesariamente los terminales de tornillo y asegurarse que el tomacorriente o el interruptor esté diseñado para soportar también alambres de aluminio (marca CO-ALR o similar en el cuerpo).

En general, todos los tomacorrientes con polo a tierra deben ser aterrizados, independientemente de si se colocan como reemplazos en instalaciones existentes o forman parte de instalaciones nuevas. Si se utiliza un tomacorriente con polo a tierra

para reemplazar un tomacorriente no aterrizable en un circuito existente que no tiene un alambre de conexión a tierra, el nuevo tomacorriente debe ser aterrizado independientemente conectándolo a un tubo de agua fría. Si esto resulta impráctico, es mejor reemplazar el tomacorriente viejo por uno no aterrizable.

Las dos salidas de un tomacorriente dúplex vienen diseñadas para operar en paralelo. Sin embargo, en algunas ocasiones, resulta conveniente poder operarlas independientemente. Por ejemplo, usted puede desear tener una salida controlada mediante un interruptor y la otra siempre viva, o utilizar cada una en un circuito diferente. En estos casos, las dos salidas se pueden independizar retirando con unas pinzas o un destornillador la aleta de ruptura que conecta los dos terminales de fase del dispositivo, tal como se explicó en el capítulo 6 (ver páginas 65 a 67).

Con respecto a la conexión de interruptores, recuerde que estos deben ser conectados siempre sobre la línea de fase, nunca sobre el neutro y mucho menos interrumpiendo la línea de tierra. En el caso de interruptores de un polo, que son los más comúnmente utilizados en las instalaciones domiciliarias, no importa como se conecten los conductores de fase a los terminales del dispositivo. En el caso de interruptores de tres vías, utilizados para implementar sistemas conmutables, dos de los terminales (llamados viajeros) son del mismo color (dorados o plateados) mientras que el restante (llamado común) es de otro color (generalmente negro). Asegúrese siempre de conocer donde debe ir conectado este último para que el sistema trabaje apropiadamente.

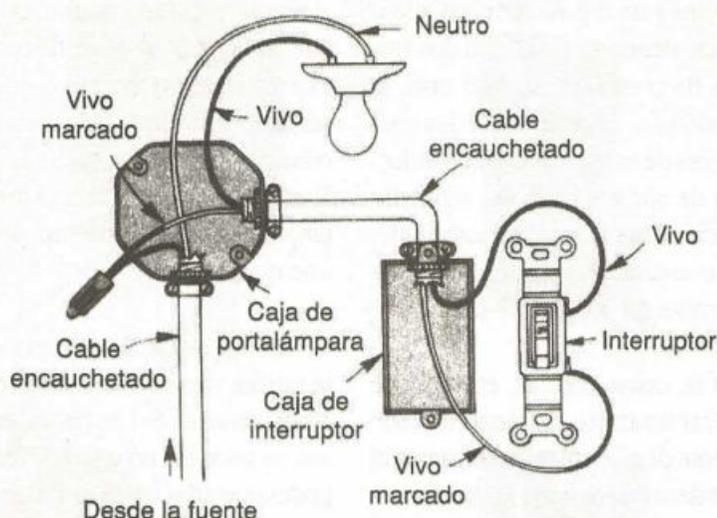


Figura 17-43. Interruptor conectado en un loop.

En las instalaciones eléctricas domiciliarias se asume siempre que un alambre blanco es un alambre neutro y que los alambres negros, rojos o de otros colores distintos al blanco, al verde y al gris son alambres vivos. Sin embargo, debido a las limitaciones de los códigos eléctricos con respecto al número de alambres que se pueden acomodar en una caja, algunas veces es necesario transgredir esta regla y utilizar un alambre blanco como fase. En la figura 17-43 se muestra un caso típico.

En la situación representada, el alambrado del circuito se realiza utilizando cable encauchado de dos conductores. El tramo de cable procedente de la fuente de alimentación llega primero a la caja de la lámpara, conectándose el conductor blanco (neutro) directamente a uno de los terminales de la lámpara y el conductor negro (fase) al otro terminal a través del bucle o loop del interruptor. Por tanto, ambos conductores del tramo de cable que va desde la caja de la lámpara hasta la caja del interruptor llevan corriente de fase.

En otras palabras, el conductor blanco que forma parte del loop del interruptor no es un conductor neutro. En tal caso, este conductor debe conectarse obligatoriamente al conductor negro (fase) del cable de entrada e identificarse como un conductor vivo pintando de negro (o cubriendo con una cinta negra) los extremos donde se une con un terminal u otro conductor vivo. El conductor negro del loop del interruptor corre directamente hacia la lámpara. Por tanto, a la lámpara siempre debe llegar un conductor blanco (neutro) y uno negro (fase).

La regla anterior es estándar. Si en lugar de cables se utilizan alambres individuales, usted puede obviarla utilizando dos alambres de colores diferentes al blanco, al verde o al gris en el loop del interruptor. Lo importante es que conserve la identidad del neutro y de la tierra a través de toda la instalación. Recuerde: en las instalaciones regidas por normas americanas, como es el caso de Colombia, el conductor neutro debe ser blanco y el de tierra verde o desnudo, mientras que en las instalaciones regidas por normas Eu-

ropeas, como es el caso de Argentina, el conductor neutro debe ser azul y el de tierra verde/amarillo.

Finalmente, en la figura 17-44 se muestran varias formas posibles de interconectar dos interruptores de tres vías y formar así un sistema conmutable (lámpara controlada desde dos puntos diferentes). En general, conecte el alambre de fase procedente de la fuente al terminal común de uno de los interruptores y el alambre de fase procedente de la lámpara al terminal común del otro interruptor. Entonces interconecte los dos terminales restantes del primer interruptor con los dos terminales restantes del segundo. El orden en que se realice esta interconexión no es importante por que los interruptores de tres vías no tienen posiciones de ON o de OFF definidas. Para más detalles, se remite al lector al capítulo 5 de este curso (ver páginas 59 y 60).

Por último, en la figura 17-45 se muestra la forma de conectar un interruptor de cuatro vías entre dos interruptores de tres vías para posibilitar el control de una lámpara desde tres puntos diferentes. Nuevamente, el alambre de fase del cable de alimentación se conecta al terminal común del primer interruptor de tres vías y el alambre de fase de la lámpara al terminal común del otro interruptor de tres vías. La interconexión de los interruptores de tres vías con el interruptor de cuatro vías se realiza utilizando cable de tres conductores (con o sin tierra).

### Alambrado de portalámparas y luminarias

Las luminarias vienen generalmente prealambradas, con todos los elementos necesarios para fijar y proteger mecánicamente las lámparas y para recibir el circuito de alimentación. Por tan-

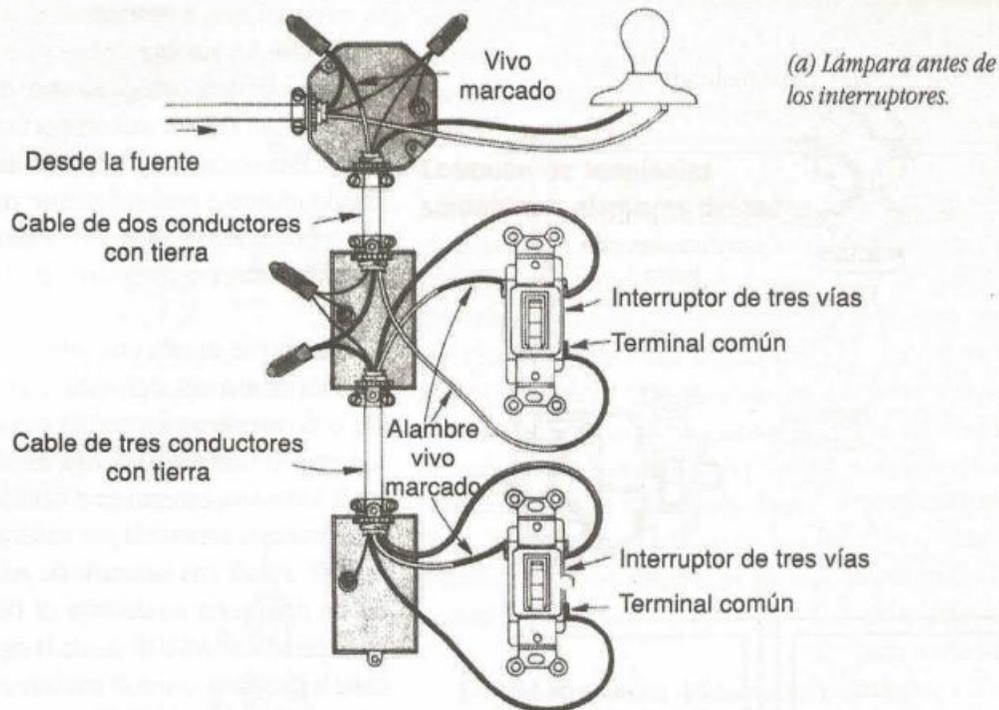
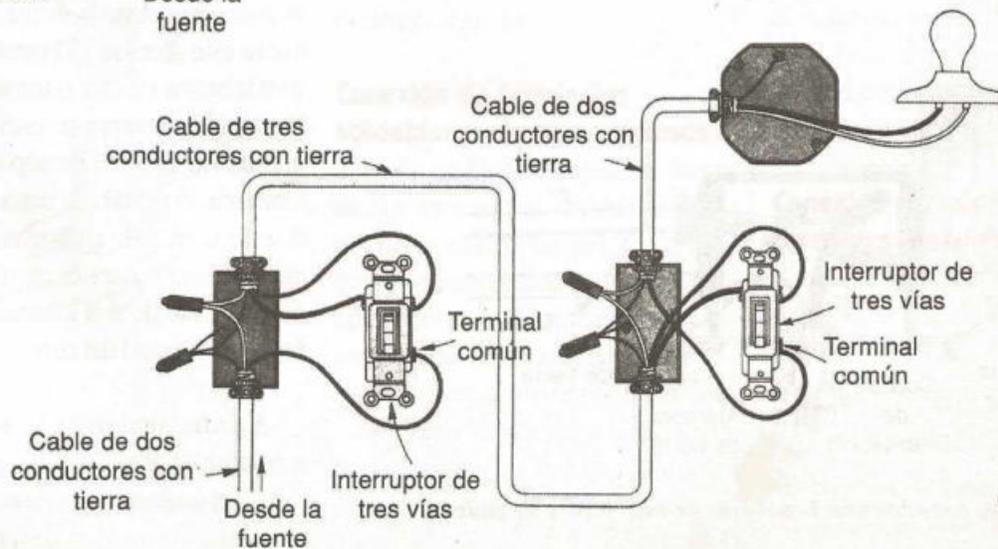
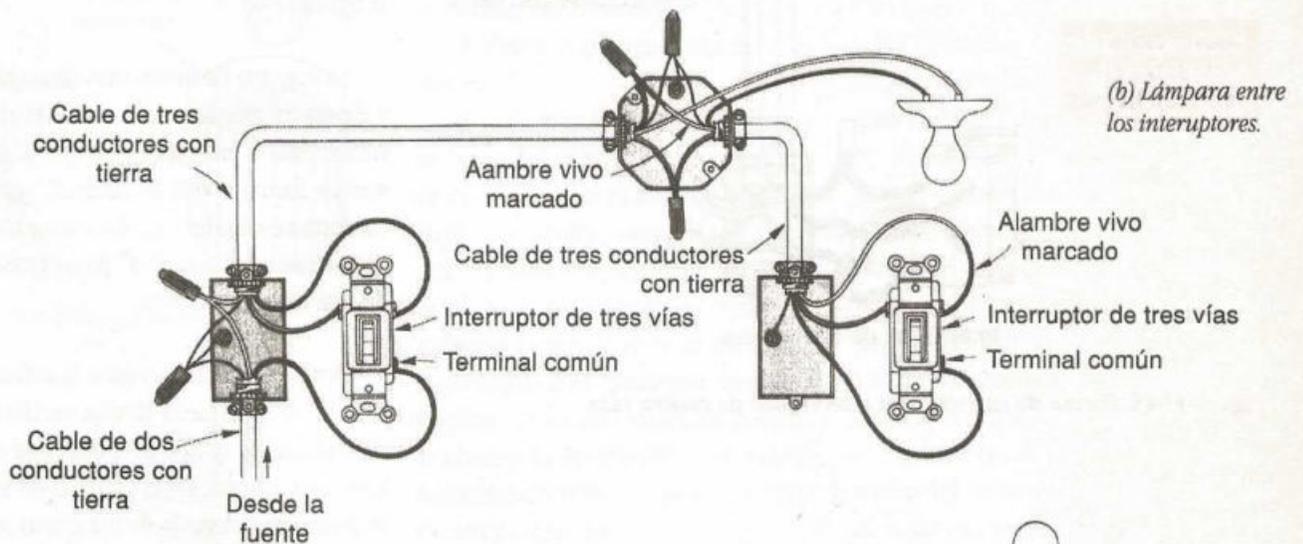


Figura 17-44. Formas de conectar interruptores de tres vías para constituir un sistema conmutable.



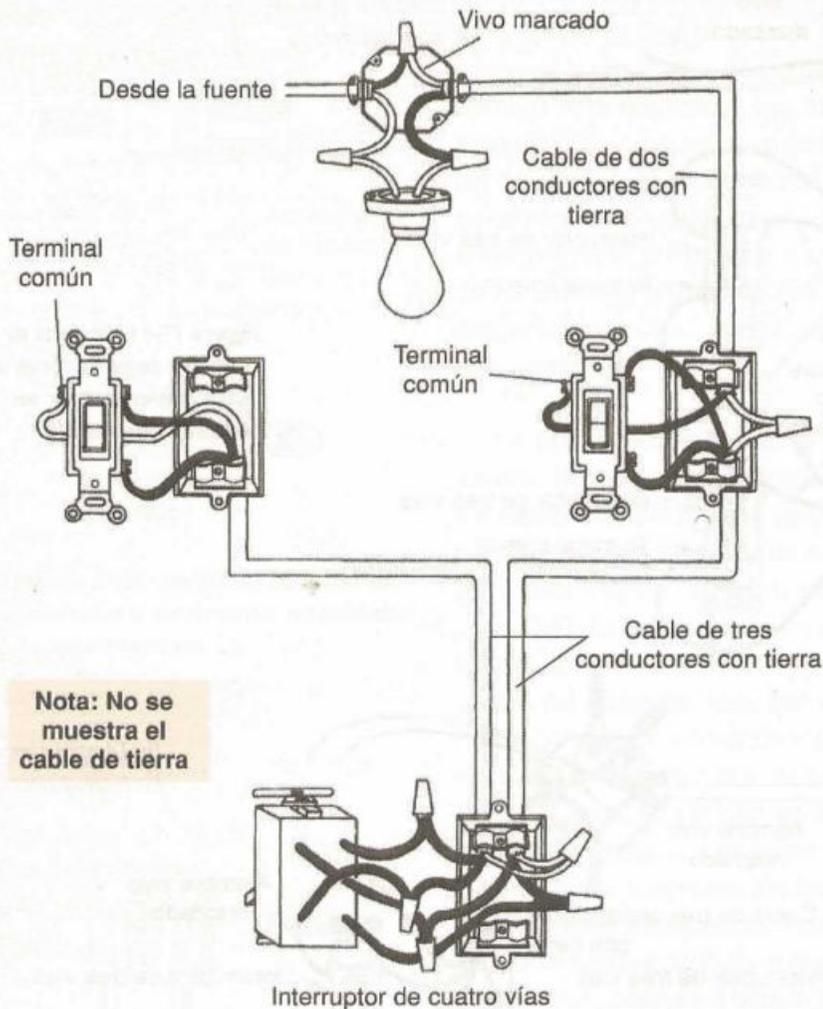


Figura I7-45. Forma de conectar un interruptor de cuatro vías.

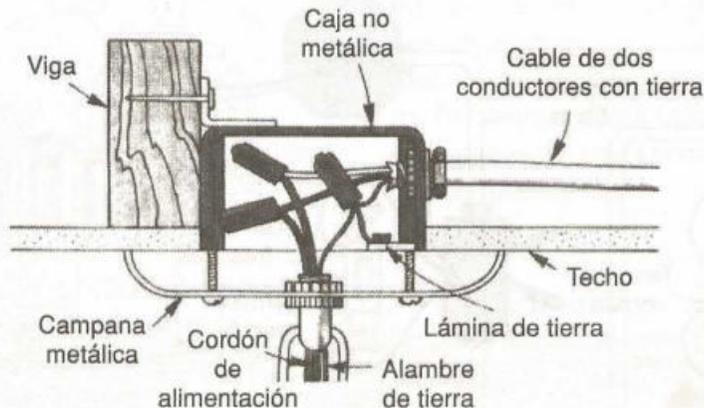


Figura I7-46. Cómo conectar una luminaria de interruptor de cadena.

to, en estos casos, la conexión se limita a empalmar los alambre de fase y neutro de la luminaria con los alambre de fase y neutro del circuito, respectivamente. Esta unión puede realizarse utilizando amarres o, preferiblemente, conectores mecánicos (wrenuts, anillos de compresión, empalmadores, etc.).

Cuando se monta una luminaria metálica en una caja aterrizada (metálica o no metálica), los tornillos que soportan la luminaria a la caja aterrizan la luminaria, excepto en el caso de una luminaria accionada por cadena. Cuando instale una luminaria de este último tipo, corra un alambre de tierra separado N<sup>o</sup> AWG18 desde la caja hasta la luminaria, como se muestra en la figura I7-46.

La mayoría de luminarias de techo y de pared pueden ser acopladas directamente a una caja de salida, de la misma forma como se atornilla una cubierta a cualquier caja. Esta situación se ilustra en la figura I7-47 para el caso de una caja no metálica.

Note en la figura anterior la utilización de una pequeña lámina metálica atornillable en la caja para conectar la luminaria a tierra. En la figura I7-48 se muestra en detalle la forma como se instala este accesorio. El tornillo A asegura la lamina a la caja, el tornillo B recibe el cable de tierra y la rosca C recibe uno de los tornillos de soporte de la luminaria. El tornillo de tierra (B) puede estar conectado al alambre de tierra directamente o a través de un *pigtail*, dependiendo de si la luminaria está al final o en la mitad del circuito.

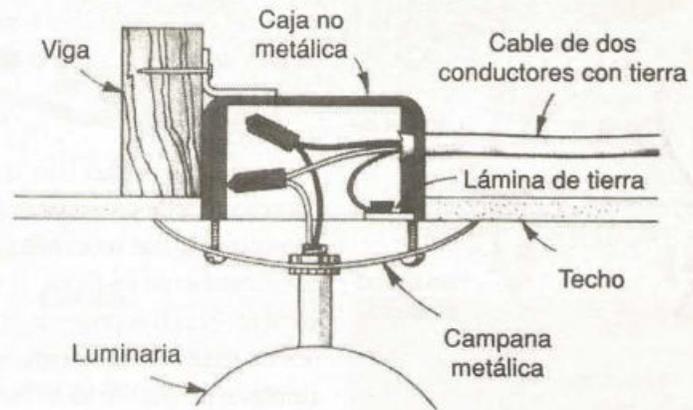
Algunas luminarias se sostienen mediante un adaptador o soporte especial, el cual se monta directamente en la caja, como se muestra en la fi-

gura I7-49 para el caso de una caja metálica. Si se utiliza una caja plástica, debe emplearse una lámina de aterrizaje como la descrita anteriormente para proveer continuidad al sistema de tierra. Generalmente, tanto los adaptadores como los soportes o espárragos se suministran conjuntamente con la luminaria.

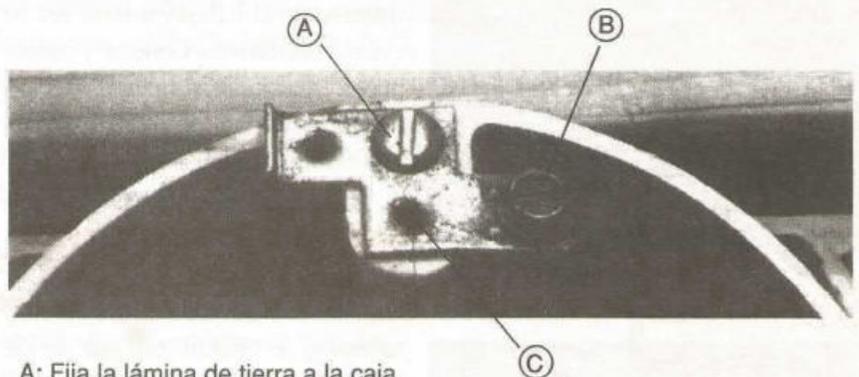
En las figuras I7-50 e I7-51 se muestran otras formas de montaje típicas de lámparas. La luminaria de la figura I7-50 se acopla a la caja utilizando una lámina metálica de suspensión y dos espárragos roscados. Una vez conectados los alambres, atornille la lámina en la caja e instale los espárragos en los agujeros correspondientes. Finalmente, coloque la lámpara en su lugar y asegúrela a los espárragos con tuercas ornamentales.

La luminaria de la figura I7-51, por su parte, utiliza un espárrago roscado y un acoplador para acoplarse a la caja. Inicialmente, los alambres de la lámpara se introducen por el espárrago y el acoplador. A continuación, se atornilla el espárrago en el acoplador, se conectan los alambres de la lámpara a los alambres de la caja y se atornilla el acoplador al espárrago de la caja. Finalmente, la lámpara se atornilla en el espárrago y se asegura a la caja con tornillos decorativos.

Por último, en la figura I7-52 se muestra la forma de instalar una luminaria fluorescente típica de precalentamiento (con starter). Note que el starter esta conectado entre los soportes de la lámpara, es decir en paralelo con el tubo, y el balasto o reactancia en serie con la fase de alimentación. Puesto que todas estas conexiones ya han sido realizadas en fábrica, la operación de instalación se limita a conec-

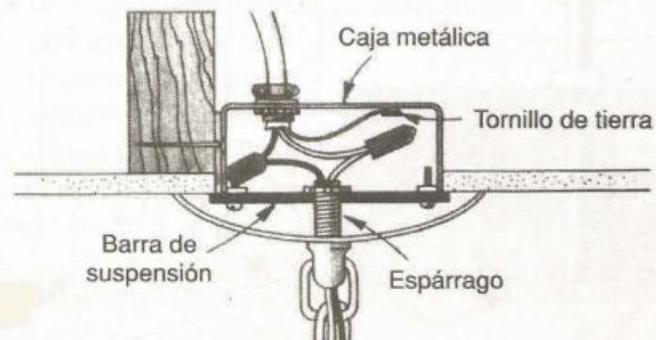


**Figura I7-47. Como conectar una luminaria de techo.**



- A: Fija la lámina de tierra a la caja
- B: Recibe el alambre de tierra
- C: Recibe el tornillo de fijación

**Figura I7-48. Como instalar una lamina de tierra en una caja no metálica.**



**Figura I7-49. Como conectar una luminaria de montaje en soporte.**

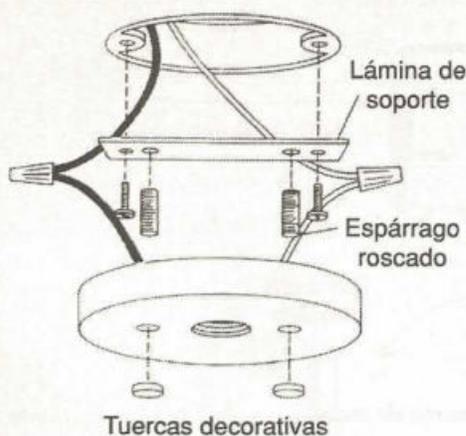


Figura 17-50. Instalación de una luminaria con lámina de soporte.

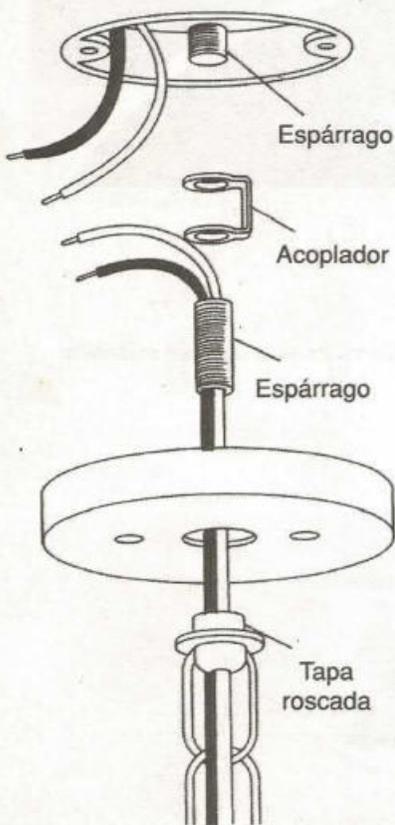


Figura 17-51. Instalación de una lámpara con espárragos y acoplador.

tar los alambres de fase y neutro de la lámpara con los alambres correspondientes de la caja, y a fijar la luminaria en su sitio definitivo.

En las luminarias con lámparas fluorescentes de precalentamiento se presentan algunas veces fallas que exigen el cambio de los tubos, el starter y el balasto. Las dos primeras operaciones no requieren la manipulación de alambres, pero la última sí. Para reemplazar un balasto, retire los tubos y la cubierta de modo que queden expuestos el balasto y el alambrado. Sustituya entonces el balasto defectuoso por el nuevo desconectando cada alambre del balasto viejo y conectándolo inmediatamente al balasto nuevo. Así se evitan confusiones. Conecte y desconecte un alambre al tiempo. Hechas estas conexiones, retire el balasto viejo y monte el nuevo.

### Alambrado de desvanecedores de luces (dimmers)

Los desvanecedores de luces, como sabemos, se utilizan en lugar de los interruptores electromecánicos convencionales cuando, además de sim-

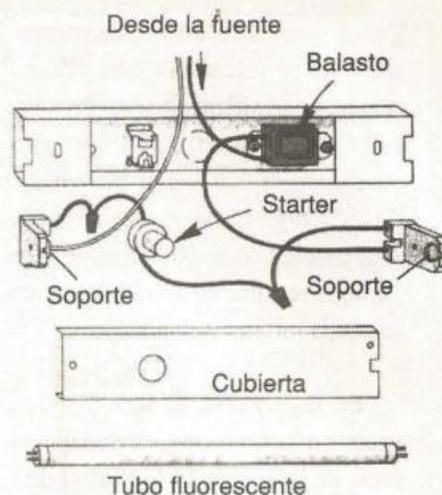


Figura 17-52. Instalación de una lámpara fluorescente.

plemente prender y apagar una lámpara, se desea tener control sobre la cantidad de luz emitida por la misma. Este control puede realizarse mediante una perilla rotatoria o deslizante, por contacto o a control remoto.

Los dimmers se instalan exactamente de la misma forma que los interruptores electromecánicos. En la figura 17-53 se muestra un ejemplo típico. En este caso se utiliza un dimmer para sustituir un interruptor de un polo.

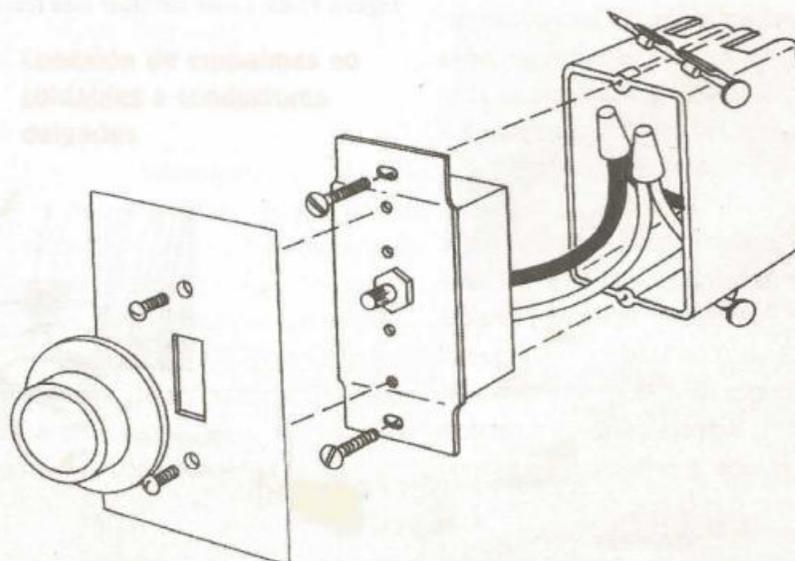


Figura 17-53. Forma de alambrear un desvanecedor de luces (dimmer).

# Pruebas y mediciones eléctricas básicas

**A**demás de conocimientos técnicos y la habilidad para manejar herramientas, uno de los aspectos más importantes del trabajo profesional en electricidad es el uso de equipos de medición y prueba. La selección del instrumento apropiado ayudará al electricista a evaluar el trabajo que está realizando y a ejecutarlo plena y correctamente.

*En este capítulo conoceremos y aprenderemos a utilizar los instrumentos más comúnmente empleados en el trabajo con instalaciones eléctricas para verificar continuidad, detectar la presencia de voltaje, probar la resistencias aislamiento, chequear tomacorrientes y medir resistencia, voltaje, corriente, potencia, energía, etc. También proporcionaremos las instrucciones necesarias para construir aparatos de prueba sencillos.*

## Generalidades

La prueba de los circuitos de una instalación eléctrica deber hacerse en lo que se denomina la etapa "rough-wiring" o de obra negra. En esta etapa no hay interruptores, tomacorrientes o luminarias instaladas. Sin embargo, si deberán estar hechos todos los empalmes de los conductores vivos, neutros y de tierra, de modo que cada circuito sea continuo hasta la última caja.

El aspecto más importante a chequear es la presencia de elementos en cortocircuito. Mientras un alambre vivo toque algún elemento aterrizado (ya sea un alambre neutro, un alambre de tierra o una caja metálica puesta a tierra), usted está ante una situación de cortocircuito. Esto podría suceder, por ejemplo, porque el aislamiento está defectuoso, ha penetrado una grapa en el cable, el alambrado esta realizado incorrectamente o por alguna otra razón.

- Es importante que usted verifique una instalación mientras el alambrado está aún expuesto debido a que así los problemas son más fáciles de identificar y de corregir. Pruebe nuevamente

- Probadores de continuidad
- Probadores de voltaje
- Probadores de tomacorrientes
- Probadores de aislamiento (meggers)
- Multímetros análogos y digitales
- Pinzas voltio-amperimétricas
- Ohmetros, voltímetros y amperímetros
- Vatímetros
- Medidores de energía
- Otros instrumentos de prueba

la instalación después de instalar paredes, techos y pisos antes de los toques finales, porque ocasionalmente una puntilla u otro objeto podría penetrar el alambrado y causar un corto.

Si usted desea tomarse su tiempo, puede también realizar pruebas para localizar circuitos abiertos. Sin embargo, un circuito abierto es usualmente el resultado de una conexión incorrecta, floja u olvidada a una caja. Este tipo de situaciones pueden ser identificadas y corregidas rápidamente una vez que se instale el respectivo elemento eléctrico (un interruptor, un tomacorriente, etc.) y se energice el circuito.



Figura 18-1. Probadores de continuidad profesionales



Figura 18-2. Partes de un probador de continuidad

Sin embargo, no tiene las consecuencias catastróficas de un cortocircuito.

### Probadores de continuidad

Con el nombre de “comprobación de continuidad o de paso” se designa la comprobación de líneas o aparatos eléctricos utilizando un instrumento muy común llamado **probador de continuidad**. Los probadores de continuidad vienen en una gran variedad de formas y tamaños. Algunos contienen una batería y un indicador luminoso (lámpara), mientras que otros contienen una batería y un indicador audible (zumbador o campana). También se dispone de probadores de continuidad que proveen tanto indicación sonora como visual. La idea es simple: la batería proporciona un voltaje y la lámpara o el zumbador una señal cuando el circuito se cierra y circula una corriente.

Independientemente del tipo de probador de continuidad que usted utilizará, éste hará fluir una pequeña corriente a través del circuito bajo prueba, informándole cuando el mismo está abierto o cerrado, o si existe un cortocircuito. De todas formas, antes de emplear un probador de continuidad para probar cualquiera de los circuitos de una instalación eléctrica, asegúrese que el mismo esté desconectado, ya sea pasando el *breaker* del circuito a la posición *off* o retirando el fusible.

En la figura 18-1 se muestran varios ejemplos de probadores de continuidad profesionales con indicación luminosa. Esta última provee una lámpara o bulbo que se ilumina cuando se detecta continuidad entre el terminal tipo caimán y la punta de prueba. El probador de la figura 18-1-c, en particular, puede ser utilizado adicional-

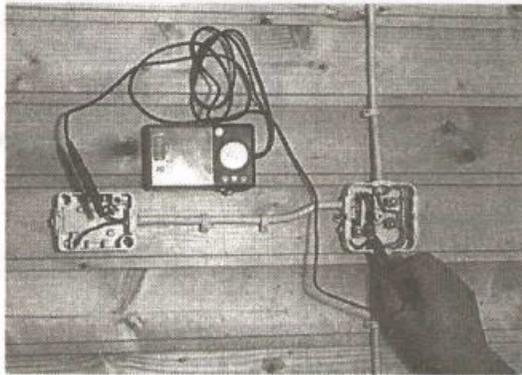
mente como linterna de bolsillo. En la figura 18-2 se indican las partes de un probador de este tipo.

En el probador de continuidad mostrado, la estructura metálica del mismo actúa como punta de prueba. El terminal de caimán se conecta a uno de los extremos del elemento o circuito cuya continuidad se desea verificar y con la punta de prueba se toca el otro extremo. Si el circuito está alambrado correctamente, la lámpara se iluminará. Adicionalmente, el diseño en forma alargada facilita la realización de pruebas de continuidad en sitios estrechos o de difícil acceso.

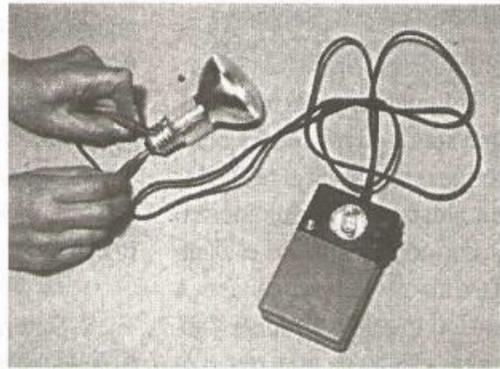
En el caso de probadores con doble indicación, se recibe una señal luminosa o un zumbido, dependiendo de la posición de un conmutador. Generalmente, la primera posición (lámpara) permite comprobar continuidades hasta de  $10\Omega$  (adecuada para probar elementos de baja resistencia) y la segunda (zumbador) hasta de  $100\Omega$ . Esta última es apropiada para comprobar lámparas incandescentes y bobinados de motores, así como cables de baja resistencia.

### Como utilizar el probador de continuidad

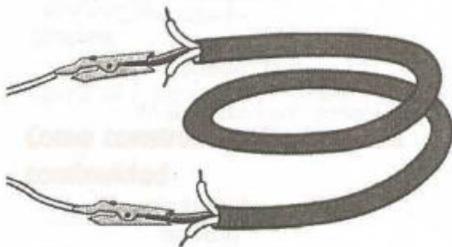
Para comprender como se utiliza un probador de continuidad, consideremos un ejemplo sencillo. Supongamos que usted acaba de completar un circuito desde el centro de distribución hasta una lámpara o luminaria nueva y desea verificarlo antes de conectar el *breaker* correspondiente. Simplemente coloque el probador de continuidad entre el extremo del alambre de fase de su circuito que va al *breaker* y tierra. En otras palabras, afiance el clip tipo caimán del probador a la barra colectora del neutro y



(a) Búsqueda de conductores entre cajas de derivación



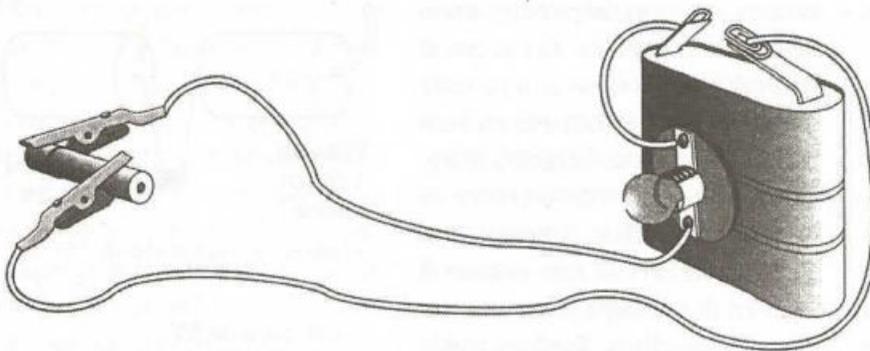
(b) Comprobación de lámparas y otras cargas eléctricas



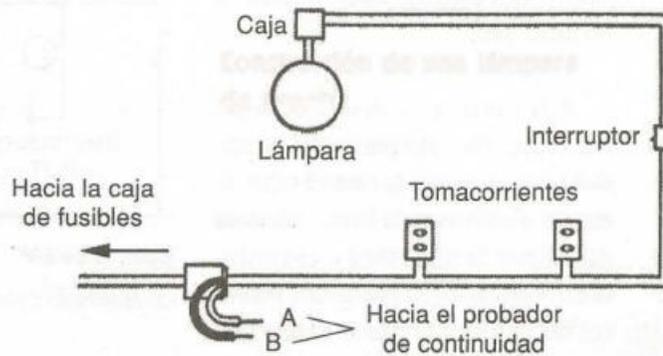
(c) Comprobación de cables y alambres eléctricos



(d) Comprobación del cableado de lámparas, motores, etc.



(e) Comprobación de fusibles, breakers, etc.



(f) Comprobación del cableado de instalaciones eléctricas

Figura 18-3. Pruebas de continuidad típicas en instalaciones eléctricas

## Pruebas y mediciones eléctricas básicas

toque el extremo del alambre de fase con la punta del probador.

A continuación, sin instalar la lámpara en la luminaria, solicítele a alguien que accione varias veces el interruptor de la misma. Si el probador no emite ninguna señal (luminosa o sonora), con toda seguridad el alambre de fase no está cortocircuitado. A continuación instale la lámpara y solicítele a su ayudante que repita la prueba. Si el probador de continuidad se ilumina o suena cuando el interruptor está cerrado (ON) y deja de hacerlo cuando está abierto (OFF), entonces su circuito está alambrado correctamente. Por tanto, ahora puede continuar su instalación, conectando el alambre de fase al terminal del *breaker* y energizando el circuito.

Además de su uso obvio como linternas o alertadores sonoros, los probadores de continuidad se utilizan principalmente para las siguientes funciones:

√ Búsqueda de un conductor, por ejemplo cuando en una caja de derivación los conductores individuales no se pueden diferenciar por el color (figura 18-3-a). En este caso, con el comprobador de continuidad se puede averiguar cual es el conductor que corresponde a una conexión.

√ Comprobación de lámparas de incandescencia o del paso de corriente en el bobinado de un motor eléctrico (figura 18-3-b). Si el filamento de la lámpara o el devanado del motor están abiertos o interrumpidos, el probador no emitirá ningún tipo de señalización.

√ Comprobación de alambres, cables y líneas eléctricas en general, no

energizadas (figura 18-3-c). Si la lámpara o el zumbador no se energizan, entonces el circuito no está cerrado, es decir el conductor o la línea bajo prueba están abiertos

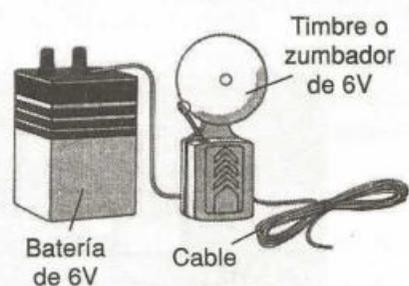
√ Comprobación del cableado de circuitos de lámparas y motores (figura 18-3-d).

√ Determinación del estado de fusibles y breakers (figura 18-3-e). En el caso de un fusible fundido o un *breaker* abierto, el probador no emitirá ningún tipo de señal.

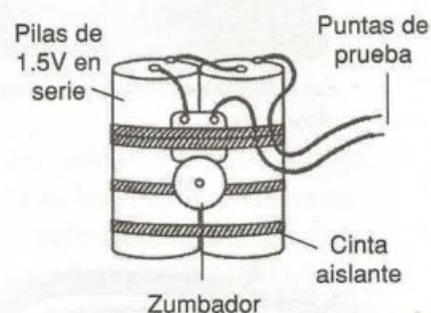
√ Comprobación del cableado de circuitos derivados o de instalaciones completas antes de conectarlas a los *breakers* del tablero de distribución (figura 18-3-e). En este caso se pueden realizar dos tipos de pruebas: de continuidad y de cortocircuito.

En la prueba de continuidad, se conecta una punta del probador a uno de los cables (digamos A) y la otra al otro cable (B). Si el circuito no tiene interrupciones y el foco está en buen estado, entonces se energizará la lámpara o el zumbador del probador. Si nada de esto sucede, habrá que rastrear todo el circuito para localizar el lugar en donde estén rotos o desconectados los cables. También puede ocurrir que algunos interruptores ya no funcionen.

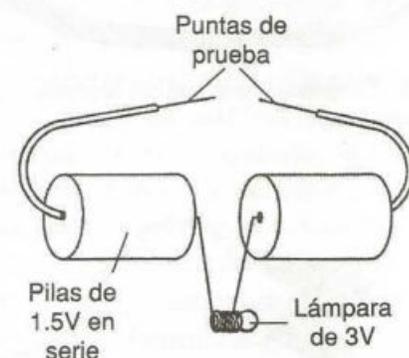
Para averiguar si hay una fuga a tierra, toque con una punta del probador un línea y con la otra el tubo (si este es metálico) o la barra colectora del neutro. Si la lámpara o el zumbador del probador se energizan, entonces hay una fuga, la cual se debe eliminar antes de aplicar la corriente. Para rastrear la fuga, abra el interruptor y haga pruebas antes y después de él.



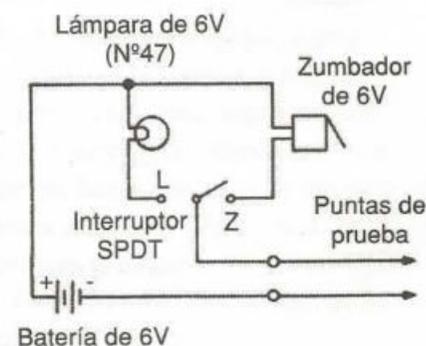
(a) Sonoro, separado de la batería



(b) Sonoro, con batería de 6V

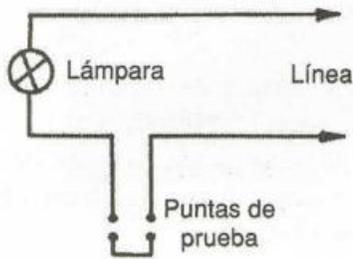


(c) Luminoso, con baterías de 1.5V

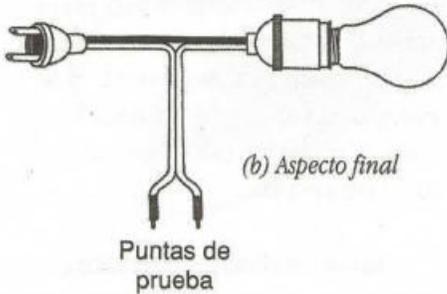


(d) Luminoso y sonoro, con batería de 6V

**Figura 18-4 Probadores de continuidad que usted mismo puede construir**



(a) Diagrama esquemático



(b) Aspecto final

**Figura 18-5. Lámpara de prueba**

### Como construir probadores de continuidad

Usted puede probar elementos y circuitos eléctricos adquiriendo un probador de continuidad profesional o construyendo usted mismo uno. Es muy fácil. En la figura 18-4 se presentan algunas ideas. Para realizar el probador de la figura 18-4-a, por ejemplo, asegure con cinta aislante un timbre o un zumbador de 6V a una batería del mismo valor. Con un alambre corto, conecte un terminal de la batería a un terminal del zumbador o del timbre. A continuación conecte un alambre largo, digamos de 60 cm, al otro terminal del indicador.

Para asegurarse que usted ha hecho las cosas correctamente, verifique el probador tocando momentáneamente con el extremo libre del alambre el terminal libre de la batería. El zumbador o el timbre debe sonar.

La construcción del probador de continuidad de la figura 18-4-b es similar a la anterior, excepto que en este

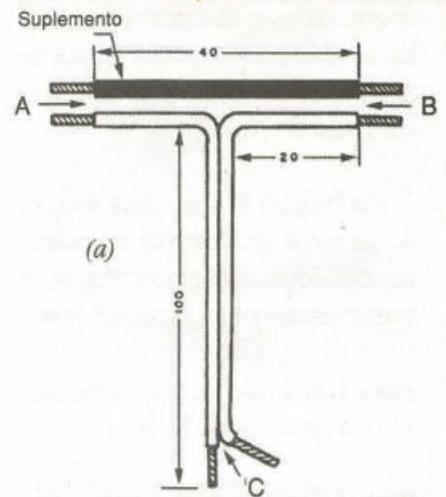
caso se utilizan dos baterías secas tamaño C de 1.5V conectadas en serie y un zumbador o un timbre de 3V. Además sobresalen dos cables de prueba y los mismos se aseguran mediante cinta a las baterías, al igual que el timbre o el zumbador, de modo que se pueda levantar toda la unidad sin ejercer presión sobre el elemento indicador o los terminales de las baterías.

El probador de continuidad de la figura 18-4-c es esencialmente igual al anterior, excepto que utiliza una lámpara de linterna de 3V en lugar de un indicador sonoro. Nuevamente, la lámpara y los alambres de prueba deben asegurarse a las baterías mediante cinta para obtener un instrumento seguro y fácil de manipular.

Por último, en la figura 18-4-d se muestra el circuito de un probador de continuidad con indicación sonora y visual. Como fuente de voltaje puede utilizarse una batería de 6V o cuatro pilas secas de 1.5V tamaño C conectadas en serie. El selector entre indicación por lámpara o zumbador es un interruptor spdt (de un polo, dos posiciones) tipo miniatura con posición central de desconectado. En uno de los proyectos centrales de este curso se describe paso a paso el proceso de construcción de un probador de continuidad similar al mostrado.

### Construcción de una lámpara de prueba

La lámpara de prueba o serie es un sencillo probador de continuidad alimentado por la red de corriente alterna que ayuda al electricista a localizar defectos en los circuitos eléctricos. En la figura 18-5 se muestran el circuito y el aspecto final de una lámpara de prueba típica. El elemento o circuito eléctrico bajo prueba, que debe estar desenergizado,



(a)



(b)



(c)

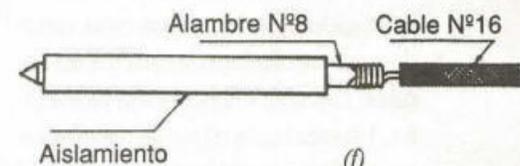


(d)



(e)

Cinta enrollada



(f)

**Figura 18-6. Como construir una lámpara de prueba**

## Pruebas y mediciones eléctricas básicas

se conecta entre los alambres de prueba. Si se unen entre sí los puntos de prueba, el circuito puede utilizarse como una lámpara común.

En la figura I8-6 se ilustra la forma de construir una lámpara de prueba como la anterior. El procedimiento se puede resumir en los siguientes pasos:

**Paso 1.** Provéase de una longitud de 120 cm cable dúplex N<sup>o</sup> 16.

**Paso 2.** Despegue los terminales 20 cm en uno de sus extremos y coloque un suplemento de 40 cm de longitud como se indica en la figura I8-6-a

**Paso 3.** Conecte un enchufe en el extremo A. Inicialmente, introduzca el enchufe en el extremo a conectar. A continuación pele los terminales y realice en cada uno una argolla. Conecte entonces cada terminal a los correspondientes tornillos dado una vuelta por detrás de la clavija como se indica en la figura I8-6-b

**Paso 4.** Conecte un portalámpara en el extremo B. Inicialmente, introduzca el cable por el orificio de la tapa del portalámpara y realice un nudo de sujeción como se indica en las figuras I8-6-c e I8-6-d. El objeto de este nudo es evitar que los esfuerzos de tracción ejercidos eventualmente sobre el cable los desprendan de los bornes de la lámpara. Si el cable está constituido por conductores aislados encauchetados, la sujeción puede hacerse por medio de una ligadura de hilo o con unas capas de cinta enrollada en la extremidad del cable, como se muestra en la figura I8-6-e. Una vez hecho el nudo, conecte los terminales al portalámpara.

**Paso 5.** Realice las puntas de prueba soldando terminales de alambre N<sup>o</sup> 8

al extremo C. Inicialmente corte dos alambres de 15 cm de longitud y corra el aislamiento del alambre un poco hacia atrás. A continuación desbaste ligeramente el extremo del alambre donde va a realizar la soldadura (figura I8-6-f). Finalmente, corra otra vez el aislamiento del alambre hasta cubrir la soldadura.

### Pruebas de instalaciones eléctricas por continuidad

Como se mencionó al comienzo de este capítulo, las pruebas de continuidad de una instalación eléctrica deben realizarse preferiblemente en la etapa de obra negra, es decir con todos los empalmes hechos pero sin instalar todavía los elementos eléctricos en las cajas. La discusión que sigue asume que las pruebas se realizan durante esta etapa y ninguno de los circuitos está conectado al panel de servicio.

Antes de comenzar las pruebas de continuidad es buena idea realizar primero una inspección visual del alambrado. Comenzando en el centro de distribución, recorra cada circuito buscando problemas. Reflexione acerca de la función de cada alambre y verifique que el alambrado del circuito corresponda a la misma. Hecho esto, comience a buscar con el instrumento cortocircuitos y, si los hay, a rastrearlos. También pruebe si hay circuitos abiertos.

#### Localización de cortocircuitos.

Puesto que esta prueba se extiende a través de toda la longitud de un circuito, comience por unir temporalmente, en cada caja, los alambres vivos donde debe conectarse un interruptor. Esta operación simula la posición de ON de los mismos y por tanto extiende su prueba para incluir el alambrado desde el interruptor hasta la carga

que controla. En el panel de servicio pruebe cada circuito así:

1. Conecte uno de los terminales del probador de continuidad (el que tiene el clip caimán en el caso de un probador profesional) a la barra colectora del neutro.

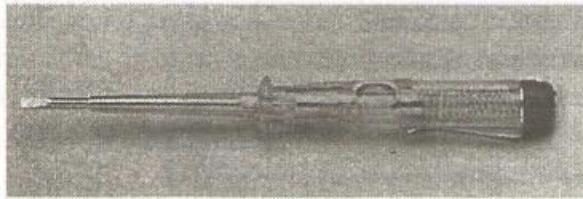
2. Toque con la punta de prueba del probador cada alambre vivo, uno a la vez. El circuito deberá, naturalmente, ser reportado como abierto. Si se energiza el indicador luminoso o sonoro del probador, usted tiene un corto en ese circuito.

Cuando se chequean circuitos conectados a un subpanel, la prueba anterior deberá realizarse dos veces: primero con el terminal de caimán del probador conectado a la barra colectora del neutro para revisar los circuitos conectados entre la fase y el neutro, y luego con el mismo terminal conectado al terminal del alambre de tierra para chequear los circuitos con corrientes de falla.

**Rastreo de cortocircuitos.** Si usted detectó un corto en uno de los circuitos, antes de rastrearlo eléctricamente verifique los alambres libres de las cajas no se estén tocando inadvertidamente entre sí o con las cajas metálicas. Esto podría ahorrarle algún tiempo tratando de buscar un corto inexistente.

Si el alambrado está expuesto, un chequeo visual cuidadoso del circuito podría solucionar el problema. Si aún no puede localizarlo, o si el alambrado ya ha sido cubierto, proceda así:

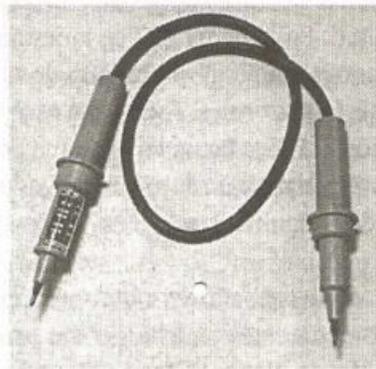
1. Deshaga los empalmes de alambre en la caja inmediatamente anterior a la última para abrir el cir-



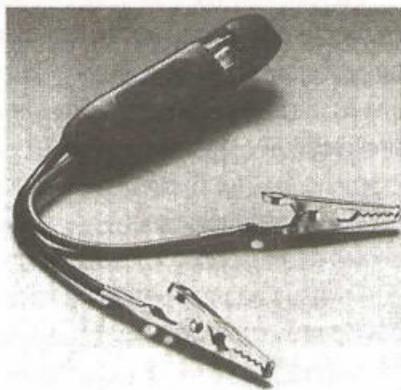
(a) Monopolar o probafase



(c) Bipolar de 4 vías, para trabajo pesado



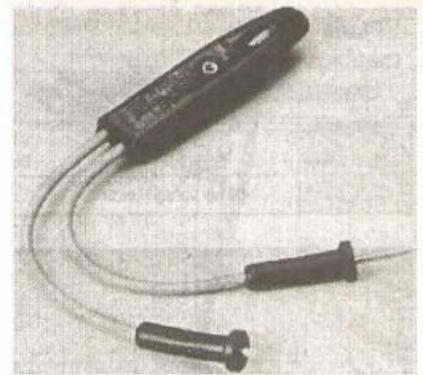
(d) Bipolar de 5 vías, estilo europeo



(f) Bipolar para aplicaciones de baja tensión



(g) Bipolar con solenoide de vibración



(b) Bipolar de propósito general, estilo americano



(e) Bipolar de 6 vías, con indicadores de polaridad



(h) Bipolar con probador de continuidad incluido

## Figura 18-7. Comprobadores de voltaje profesionales

cuito en ese punto. Repita entonces la prueba de continuidad en el centro de distribución.

2. Si es necesario, continúe este procedimiento, acercándose cada vez mas a la fuente, hasta que el probador reporte el circuito bajo prueba como abierto. De este modo, usted ha logrado aislar el corto y puede asegurar que el mismo se localiza entre la caja don-

de apareció como abierto y la caja previa, o en una de estas cajas.

**Localización de circuitos abiertos.** Como se señaló al comienzo, la prueba de circuitos abiertos puede generalmente esperar hasta que se aplique potencia. Sin embargo, si su alambrado involucra conduit metálico que será cubierto, usted puede desear chequear la continuidad de su

sistema de tierra ( las uniones de las secciones de conduit). Una forma de hacer esto en cada caja es conectar el alambre neutro al clip de caimán del probador y tocar con la punta de prueba del mismo la caja. La lámpara o el zumbador del probador deberán energizarse, indicando continuidad. Si esto no sucede, lo más probable es que falte una conexión a lo largo del trayecto del neutro o del conduit.

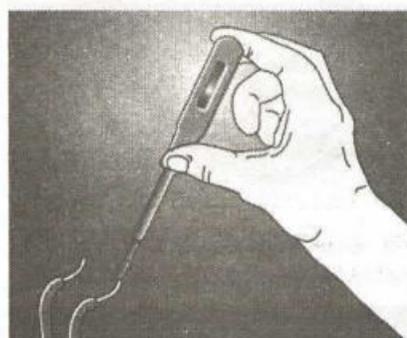
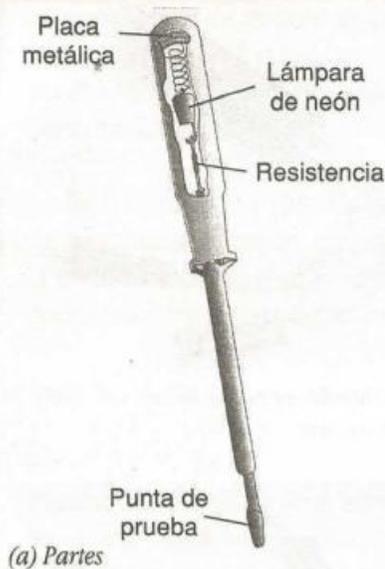


Figura 18-8. Estructura de un probador monopolar

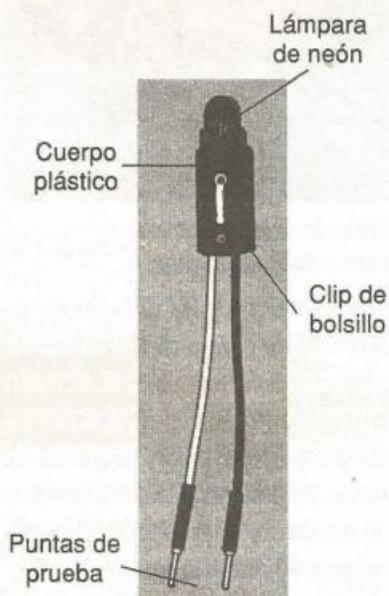


Figura 18-9. Estructura de un probador bipolar

### Probadores de voltaje

Los probadores de tensión, como su nombre lo indica, se utilizan para determinar si un circuito eléctrico está o no energizado y/o conocer la magnitud y la polaridad del voltaje aplicado. Pueden ser monopolares o bipolares dependiendo de sí solamente indican la presencia de voltaje o también informan su polaridad y su magnitud. En la figura 18-7 se muestran varios ejemplos de probadores de voltaje profesionales. Todos, con excepción del de la figura 18-7-a, son bipolares y algunos incluyen un probador de continuidad.

Los probadores monopolares, comúnmente conocidos como **probafases**, tienen la forma de un pequeño destornillador y utilizan una lámpara de efluvios o de neón incorporada para indicar si un tomacorriente o un conductor están o no bajo tensión. Aunque su empleo es rápido y sencillo, en la práctica tiene varios inconvenientes. Los siguientes son algunos de ellos:

√ Si la persona que lo emplea está bien aislada, no se ilumina la lámpara de neón aunque haya tensión.

√ Existen casos en que se ilumina la lámpara aunque no haya tensión (sobrecarga de la línea).

√ No indica la medida de la tensión presente.

√ No se puede comprobar el neutro y el conductor de protección (tierra).

√ Al ser utilizado inadvertidamente para apretar o aflojar tornillos se corre el peligro de dañar el interior y hacer que la señal luminosa deje de ser fiable.

√ Al ser desmontado para su reparación o revisión y volver a utilizarlo, se corre el riesgo de recibir una descarga eléctrica por eliminación, intencional o inadvertida, de la resistencia de protección.

Por estos motivos, los electricistas y los aficionados expertos trabajan, en general, con el comprobador de tensión bipolar, el cual no tiene estos inconvenientes. Además de indicar cuál es el conductor de fase, con un comprobador bipolar se puede determinar:

√ La medida de la tensión (importante, por ejemplo, para distinguir, entre 120V y 208V, o entre 220V y 380V), así como su naturaleza (AC o DC).

√ Si efectivamente existe tensión (recuerde que la lámpara de neón de un probafase también se ilumina por una sobrecarga de la línea o una tensión ciega).

√ Si el conductor neutro y el conductor de protección están conectados, aunque no puede diferenciar los dos tipos de conductores.

Además, algunos comprobadores bipolares, como el de la figura 18-7-h, pueden ser también utilizados como comprobadores de continuidad. La indicación del voltaje presente entre los puntos de medida se indica generalmente mediante LEDs y, en algunos casos, mediante un solenoide de vibración. La existencia de continuidad se señala generalmente en forma luminosa o audible.

Para finalizar, en las figuras 18-8 e 18-9 se muestran, en su orden, la estructura típica de un probador monopolar y de uno bipolar. Este último consiste generalmente de un par de cables

que llevan en un extremo un pequeño bulbo de neón que prende cuando se energiza. Las puntas del probador se introducen en los bornes de un tomacorriente o se adhieren a los conectores desnudos para ver si pasa corriente, lo que se comprueba cuando se enciende. Para más detalles sobre los probadores monopoles, se remite al lector al capítulo 6 (ver página 91).

## Como utilizar el comprobador de tensión

En la figura 18-10 se muestran algunos ejemplos típicos de aplicación de los comprobadores de tensión monopoles (proba-fases) y bipolares). En la figura 18-10-a se ilustra la forma de utilizar un probafase para determinar el contacto de un tomacorriente correspondiente a la fase. Para efectuar la comprobación, la punta no aislada del probafase se mantiene en contacto con el conductor que se quiere examinar y con el dedo se toca el contacto del otro extremo. Si el conductor está bajo tensión, circula una pequeña corriente (inofensiva) a través del probafase, que hace que se ilumine la lámpara de efluvios incorporada.

En las figuras 18-10-b e 18-10-c se indica la forma de utilizar un probador de tensión bipolar para verificar la tensión de salida de un tomacorriente. Para efectuar la comprobación, se insertan las dos puntas del probador en los dos contactos del tomacorriente. Si la lámpara de efluvios se ilumina significa que hay tensión. Si, por ejemplo, usted acaba de desenchufar del tomacorriente una lámpara o un electrodoméstico debido a que éste supuestamente no trabaja, el comprobador puede indicarle si el artefacto está defectuoso o el circuito que lo alimenta está muerto.

En el caso del comprobador de la figura 18-10-b, al apretar un botón apa-

rece en la escala la medida de la tensión, digamos 220V O 380V. Si la lámpara se apaga tras apretar el botón y el medidor no indica tensión, existirá una sobrecarga o una tensión ciega. En otros modelos, el procedimiento puede ser distinto.

Con un comprobador bipolar usted puede también determinar cuál es el alambre vivo de un circuito de dos conductores con tierra. En este caso, toque con una de las puntas de prueba el alambre de tierra o la caja metálica y con la otra punta los otros alambres, uno a la vez. El probador se iluminará cuando la segunda punta de prueba toque el alambre de fase.

Otras aplicaciones de los probadores bipolares incluyen la prueba de fusibles tipo cartucho mientras están instalados en sus respectivos portafusibles. En la mayoría de portafusibles usted encontrará unos pequeños agujeros tanto en la parte superior como en la inferior de cada fusible. Simplemente inserte los terminales del probador en ambos agujeros. Si la potencia está aplicada, la luz de neón se iluminará si el instrumento está conectado a través de un fusible fundido, pero no lo hará si está conectado a través de un fusible en buena condición. Un criterio similar puede aplicarse para la prueba de *breakers*.

Los probadores de tensión bipolares son también muy útiles para localizar otros tipos de fallas en instalaciones eléctricas. En la figura 18-11, por ejemplo, se ilustra la forma de reparar un sistema conmutable, constituido por dos interruptores de tres vías que permiten controlar una lámpara desde dos puntos diferentes. Si el sistema ha dejado de funcionar, la causa más probable será que uno de los interrup-



(a) Detección del conductor de fase con un probador unipolar



(b) Medición del voltaje de línea con un probador bipolar estilo europeo



(c) Medición del voltaje de línea con un probador bipolar estilo americano

### Figura 18-10. Ejemplos de aplicación de los probadores de voltaje

tores está defectuoso. Para encontrar cuál es el interruptor causante del problema siga este procedimiento:

**Paso 1.** Accione los interruptores hasta que la lámpara se ilumine (figura 18-11-a).

**Paso 2.** Sitúe entonces cada interruptor en la posición opuesta (figura 18-11-b). Así estará fijando un punto de partida para la realización de las prue-

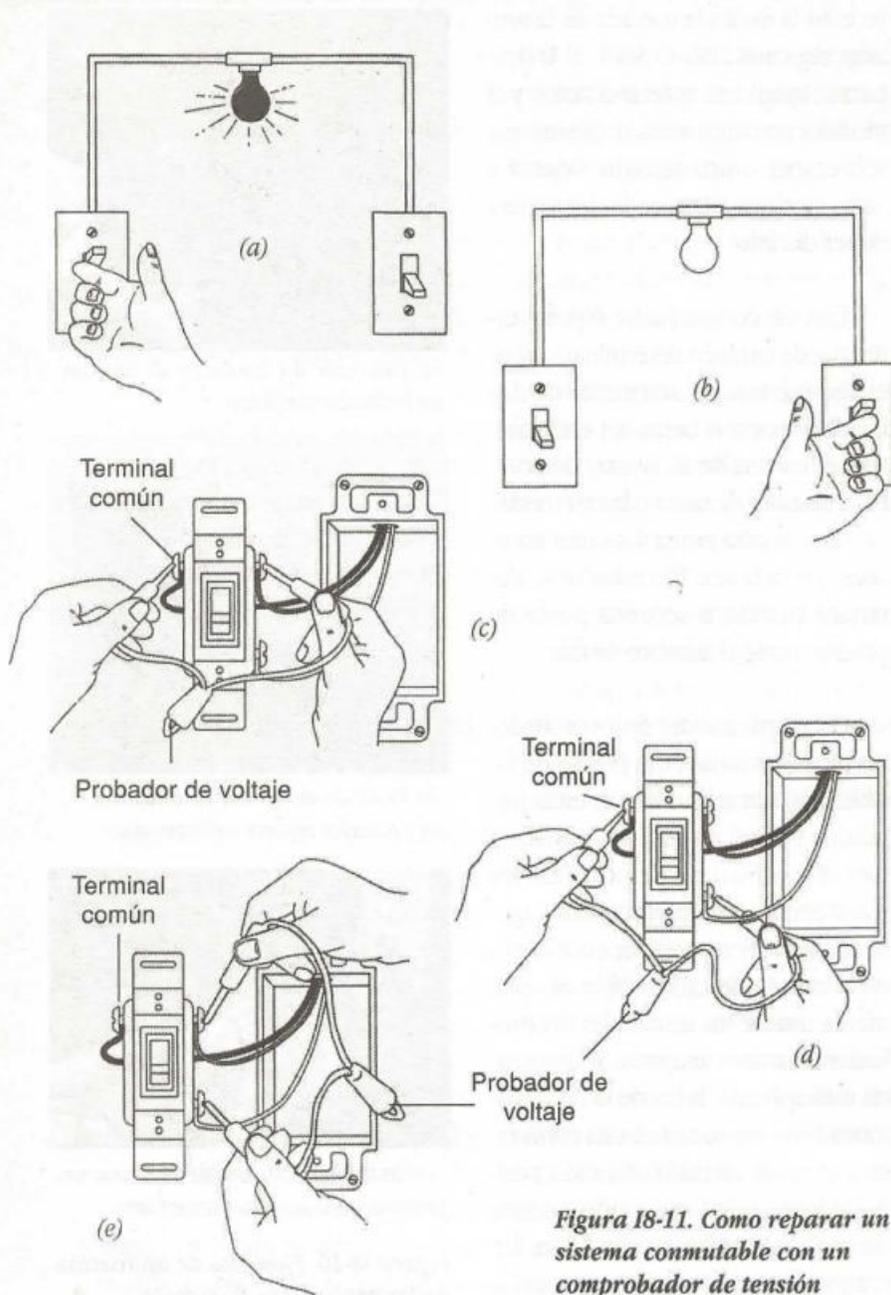


Figura I8-11. Como reparar un sistema conmutable con un comprobador de tensión

bas. Recuerde que el circuito esta vivo. Sea cuidadoso en este sentido.

**Paso 3.** Retire la cubierta de uno de los interruptores. Se observarán tres terminales. Si los mismos no son accesibles, usted tendrá que extraer el interruptor de la caja para realizar la prueba. En este caso, desconecte el *breaker* asociado al circuito y retire los tornillos de montaje del interruptor. Saque el interruptor lo suficiente para

llegar a los terminales. Los alambres mantendrán el interruptor a distancia de la caja.

**Paso 4.** Reconecte nuevamente el *breaker* y toque con uno de las puntas de prueba del probador uno de los terminales del interruptor. A continuación, toque con la otra punta de prueba del instrumento uno de los otros terminales del interruptor (figura I8-11-c). Enseguida desplace una

de las puntas de prueba a un terminal diferente del interruptor (figura I8-11-d). Por último, chequee el voltaje entre los dos terminales restantes (figura I8-11-e).

**Paso 5.** En cada caso, observe en el comprobador la presencia de voltaje. Si este último indica voltaje en cualquiera de la combinaciones anteriores, el interruptor está defectuoso. Si la lámpara no muestra voltaje, el interruptor está en buen estado.

**Precaución:** Lo anterior no significa que no haya voltaje en el interruptor. De hecho existe tensión, pero por ahora usted sólo está probando si hay un circuito abierto en el interruptor.

**Paso 6.** Repita la prueba con el otro interruptor, si es necesario. Una vez identificado el interruptor defectuoso, baje el *breaker* (OFF) y desconecte el interruptor para reemplazarlo por uno nuevo. Sin embargo, antes de desmontarlo, determine cuál es el tornillo correspondiente al terminal común y, por tanto, cuales son los tornillos correspondientes a los terminales viajeros. Generalmente, el terminal común es negro o trae algún otro tipo de identificación.

**Paso 7.** Conecte el interruptor de reemplazo en la misma forma como lo estaba el interruptor original, reconecte el *breaker* (ON) y verifique la reparación. Para más detalles, se remite al lector al capítulo 5 del tomo de Instalaciones (ver páginas 59 y 6) y al capítulo 3 del tomo de Proyectos (ver páginas 13 y 14).

Finalmente, recuerde que cuando se utiliza un probador de voltaje usted está cerca de alambres vivos. Sea cuidadoso en este sentido. No toque nin-

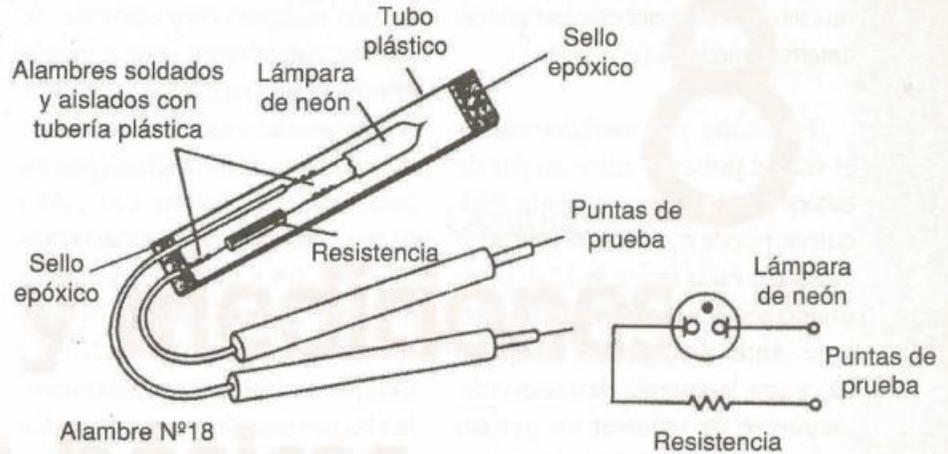
guna parte metálica con sus manos. Una punta de prueba colocada descuidadamente puede causar un cortocircuito si la misma toca accidentalmente y al mismo tiempo un punto conectado a la fase y otro a tierra.

## Como construir probadores de voltaje

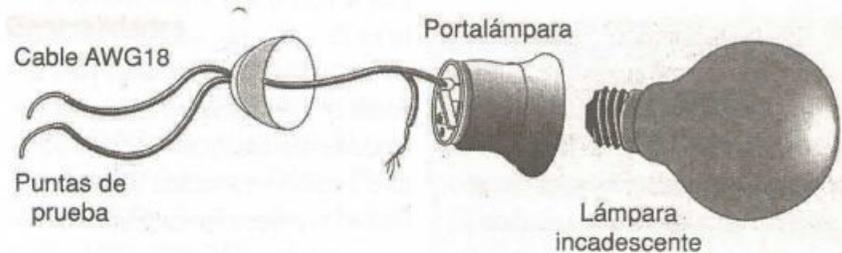
Dependiendo de su presupuesto y su labor profesional como instalador electricista, usted puede optar por adquirir un probador de voltaje profesional o construir uno con elementos fácilmente disponibles. En la figura I8-12 se ofrecen varias ideas.

El probador de la figura I8-12-a, por ejemplo, utiliza una lámpara de neón y resulta muy útil para detectar convenientemente la presencia de voltaje en los tomacorrientes y terminales de una instalación eléctrica, así como entre las cajas o alojamientos de aparatos no conectados a tierra y esta última. Se necesita un voltaje de por lo menos 60 voltios AC para encender la lámpara. Un voltaje DC causará que sólo brille el electrodo de la lámpara de neón conectado al terminal negativo. Por tanto, el dispositivo puede también ser empleado para determinar la polaridad de voltajes DC. En uno de los proyectos centrales de este curso se explica paso a paso el proceso de construcción de un probador de este tipo.

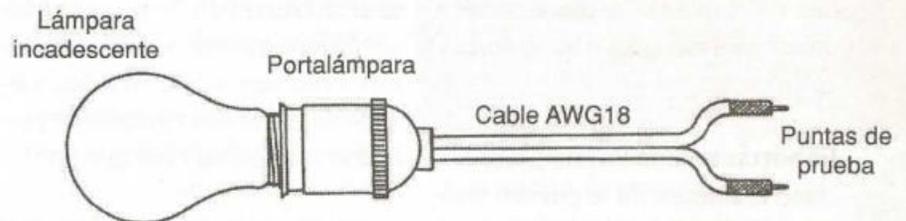
Los probadores mostrados en las figuras I8-12-b e I8-12-c son básicamente lámparas de prueba de 120VAC o 220VAC, constituidas por un cable de dos conductores, un portalámparas y una bombilla incandescente. El circuito es útil para detectar la presencia de voltaje en tomacorrientes y cargas eléctricas, así como entre las cajas o alojamientos de aparatos no conectados a



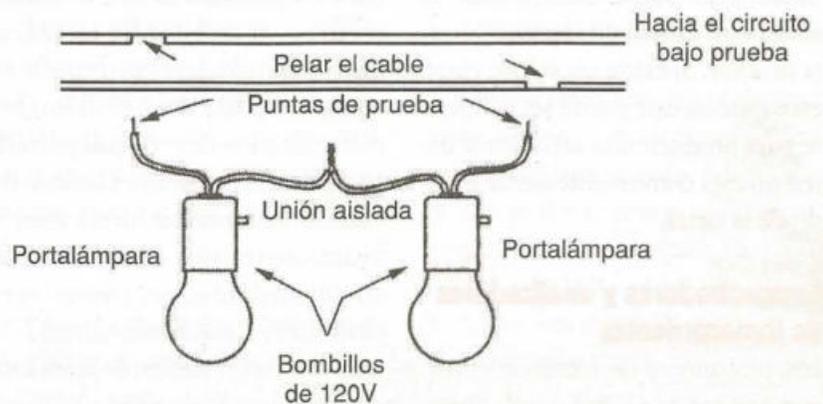
(a) Probador de voltaje con lámpara de neón



(b) Lámpara de prueba sencilla. Detalle



(c) Lámpara de prueba sencilla. Ensamblada



(d) Lámpara de prueba doble

Figura I8-12. Probadores de voltaje que usted mismo puede construir



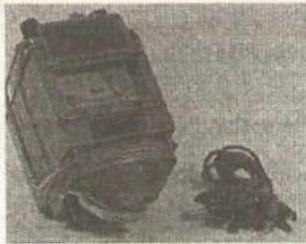
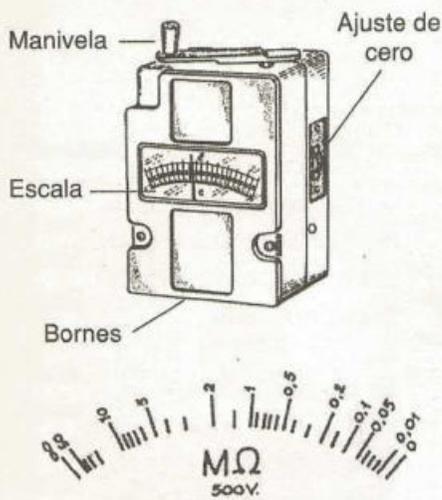
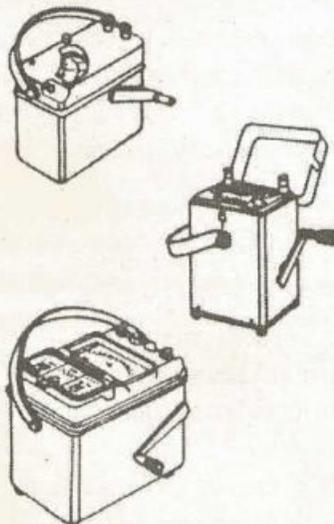


Figura 18-14. Megóhmetro o megger



Detalle de una escala



Presentaciones común

Figura 18-15. Partes de un megger

## Probadores de aislamiento. Meggers

El megóhmetro o megger (figura 18-14) es un instrumento portátil que se utiliza para medir la resistencia al flujo de la corriente de los elementos de aislamiento de equipos eléctricos como instalaciones, motores, generadores, transformadores, etc. Los resultados de este tipo de pruebas se emplean para detectar la presencia de polvo, humedad y síntomas de deterioro del aislamiento.

Un megóhmetro o megger típico (figura 18-15) se compone de un instrumento de medida con escalas graduadas en megoohmios ( $M\Omega$ ) y kilohmios ( $k\Omega$ ), un pequeño generador de corriente alterna (AC) o continua (DC) manejado manualmente o mediante un motor, un par de bornes o terminales de conexión y, algunas veces, un pulsador. Este último permite ajustar el instrumento en el momento de efectuar la medida. En los meggers sin pulsador, la tensión del generador se mantiene constante, independientemente de la velocidad de giro de la manivela o el motor.

Los meggers se construyen con diferentes alcances de escala y diferentes voltajes de trabajo. En algunos casos, este último es fijo, mientras que en otros se puede seleccionar de acuerdo a la aplicación. Los más comunes son los que permiten medir hasta  $50M\Omega$  con una tensión de 500V. También se dispone de meggers que pueden medir resistencias de aislamiento hasta de  $100M\Omega$  con tensiones seleccionables en rangos desde 100V hasta 1,000V o más. En general, cuando la instalación eléctrica o el aparato bajo prueba son para trabajar con alta tensión, deben utilizarse meggers de gran alcance, digamos de

$1,000M\Omega$  o  $10,000M\Omega$ , con generadores capaces de proporcionar tensiones de 2,500V o 5,000V.

## Como utilizar un megger

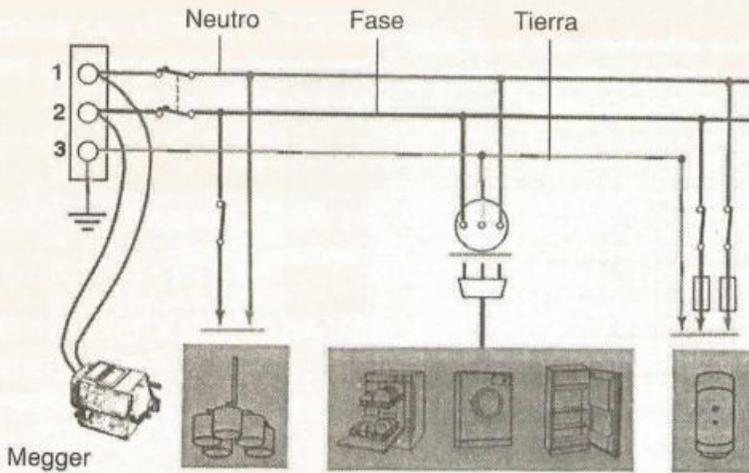
Para utilizar un megger se procede de la siguiente manera:

(a) Desconectar de la fuente de suministro de energía el circuito o equipo que se quiere probar. En el caso de que se pretenda medir el aislamiento de cada uno de los circuitos individuales de una instalación, abrir todos los interruptores, fusibles o breakers del panel de distribución, desenchufar todas las cargas de los tomacorrientes y cerrar todos los interruptores. Para mayor seguridad, verifique con los rangos de voltaje del megger que no haya tensión entre los terminales del equipo o sistema bajo prueba y tierra.

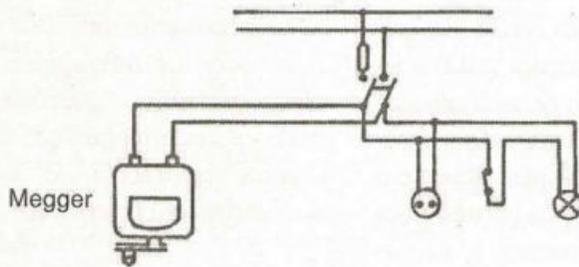
(b) Conectar a los bornes de conexión del megger el circuito o equipo bajo prueba. Para mayor confiabilidad de los resultados, aisle completamente el motor o el circuito, desconectando todos los cables que llegan al mismo. Si no es posible aislarlo completamente, asegúrese de conocer todos los componentes que serán incluidos en la prueba cuando se conecte el megger. De lo contrario, podría pasarse por alto un circuito interconectado, proporcionado el megger una lectura de resistencia inferior a la esperada.

(c) Girar la manivela mientras se oprime el pulsador de ajuste de cero (si lo trae), controlando que la aguja se estacione en el cero de la escala. Para conseguirlo, disminuir o aumentar la velocidad de giro de la manivela. Si el megger no trae pulsador de prueba, cortocircuitar los puntos de medida y girar la manivela hasta que la aguja indicadora se sitúe en cero.

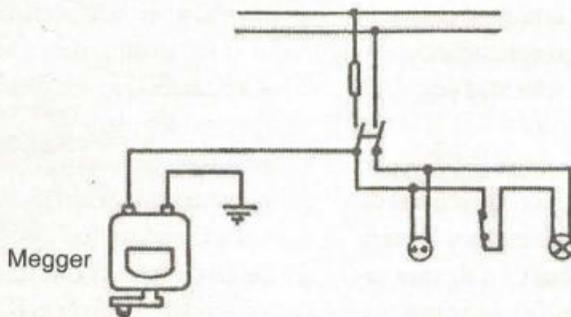
## Pruebas y mediciones eléctricas básicas



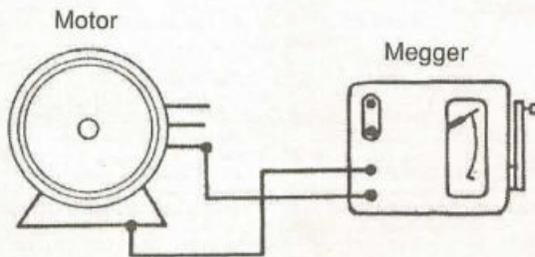
a) Medición de la resistencia de aislamiento entre conductores (I)



b) Medición de la resistencia de aislamiento entre conductores (II)



c) Medición de la resistencia de aislamiento entre un conductor y tierra



d) Medición de la resistencia de aislamiento de un motor

Figura 18-16. Ejemplos de aplicación del megger

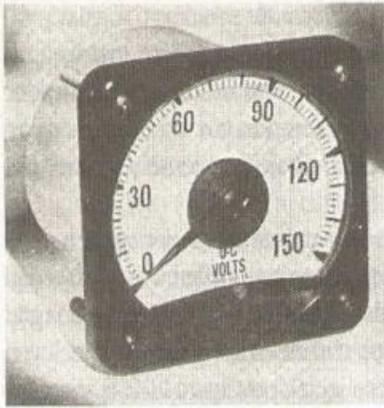
(d) Soltar el pulsador y, mientras se gira la manivela a velocidad constante durante por lo menos un minuto, realizar la lectura sobre la escala. Si se encontraran valores inferiores a los admitidos por las normas, efectuar mediciones en las diferentes secciones de la instalación o el equipo abriendo sucesivamente los interruptores.

(e) Repetir el mismo procedimiento para los demás puntos bajo prueba. Nuevamente, asegúrese de desenergizar toda la instalación y de conocer todos los elementos interconectados a los puntos de medida que quedarán incluidos en la prueba. Realice un registro escrito de esto.

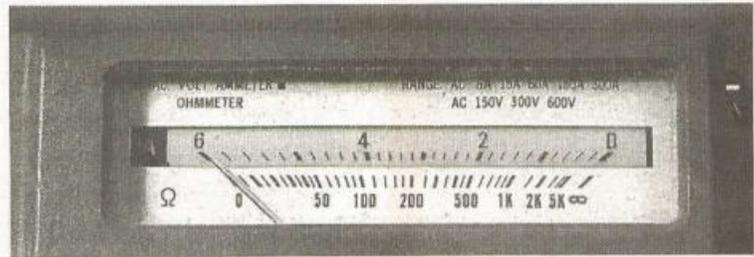
En la figura 18-16 se ilustra como ejemplo la forma de medir la resistencia de aislamiento de instalaciones eléctrica y de motores. La resistencia de aislamiento de una instalación (figura 18-16-a) se comprueba conectando el instrumento a los conductores de alimentación (figura 18-16-b) y entre estos y la conexión a tierra (figura 18-16-c). En general, los valores de resistencia de aislamiento obtenidos en el sistema de la figura 18-16-a, entre 1-2, 1-3 y 2-3, antes o después del desconectador principal de la instalación, no deben ser inferiores a  $400,000 \Omega$  para sistemas de 50V o más y a  $250,000 \Omega$  para sistemas de 50V o menos.

**Nota:** Para las partes de la instalación situadas en ambientes húmedos, solamente en comprobaciones posteriores a la de la puesta en servicio, se admiten valores no inferiores a la mitad de los indicados anteriormente.

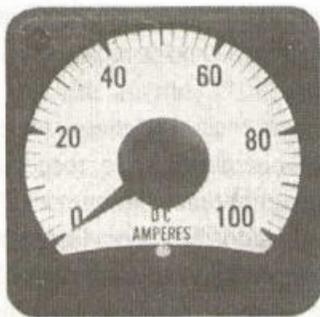
En el caso de un motor, la resistencia de aislamiento se mide conectando el instrumento entre masa y cada uno de los bornes del motor (figura



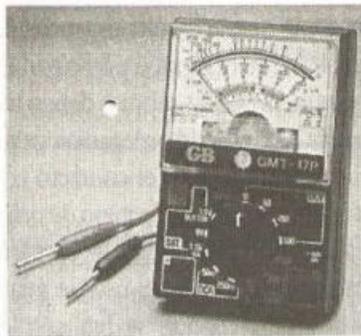
(a) Voltímetro de tablero



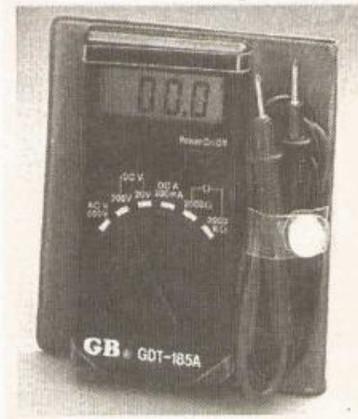
(c) Ohmetro



(b) Amperímetro de tablero



(d) Multímetro análogo



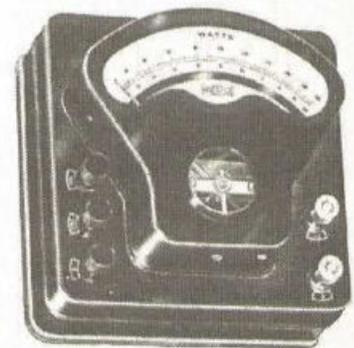
(e) Multímetro digital



(f) Multímetro tipo lápiz



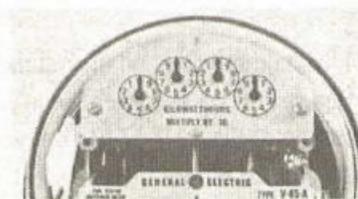
(g) Pinza voltioamperimétrica



(h) Vatímetro



(i) Contador de energía tipo ciclómetro

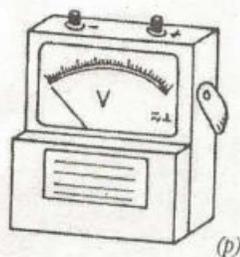


(j) Contador de energía tipo reddy

Figura 18-17. Instrumentos de medida comunes

## Pruebas y mediciones eléctricas básicas

- (a)  Amperímetro
- (b)  Frecuencímetro
- (c)  Miliamperímetro
- (d)  Ohmetro
- (e)  Medidor de factor de potencia
- (f)  Voltímetro
- (g)  Watímetro
- (h)  Medidor de kilovatios - hora
- (i)  Sincronoscopio
- (j)  Instrumento para DC
- (k)  Instrumento para AC
- (l)  Instrumento para AC y DC
- (m)  Instrumento para posición vertical
- (n)  Instrumento para posición horizontal
- (o)  Instrumento para posición inclinada



**Figura 18-18. Simbología de instrumentos de medida**

(a) Ohmetro, (b) Amperímetro, (c) Miliamperímetro, (d) Voltímetro  
 (e) Watímetro, (f) Medidor de kilovatios-hora, (g) Frecuencímetro  
 (h) Medidor de factor de potencia, (i) Sincronoscopio, (j) Instrumento para DC, (k) Instrumento para AC, (l) Instrumento para AC y DC, (m) Instrumento proyectado para trabajar en posición vertical, (n) Instrumento proyectado para trabajar en posición horizontal, (o) Instrumento proyectado para trabajar en posición inclinada y grados de inclinación, (p) Ejemplo

18-16-d). Después se prueba entre fases, para lo cual se quitan los puentes en la placa de conexiones. Con un megger se pueden también realizar pruebas de aislamiento en cables multiconductores. Por ejemplo, puede medirse la resistencia de aislamiento entre cada conductor y la cubierta externa, entre cada par de alambres, entre cada alambre y tierra, entre cada alambre y los materiales de separación, etc.

**Importante:** Debido a que las pruebas con un megger involucran la presencia de altos voltajes, todas las personas que realizan o participan indirectamente de las mismas deben utilizar las medidas de precaución pertinentes para prevenir el contacto con partes energizadas del equipo de prueba y los circuitos asociados. En particular, se recomienda el uso de guantes de goma cuando se realicen las conexiones a los terminales de alto voltaje y se manipulen los controles, incluso si el montaje de prueba y las conexiones a tierra han sido realizado(a)s correctamente.

### Medidores eléctricos. Generalidades

La electricidad es una forma invisible de energía y, como tal, no podemos verla. No obstante, cantidades eléctricas como el voltaje, la corriente, la resistencia y la potencia pueden medirse con instrumentos llamados medidores. En la figura 18-17 se muestran algunos ejemplos de medidores de cantidades eléctricas comunes.

El voltaje se mide con un voltímetro (figura 18-17-a), la corriente con un amperímetro (figura 18-17-b) y la resistencia con un óhmetro (figura 18-17-c). Los voltímetros, amperímetros y óhmetros pueden venir como instrumentos individuales para su montaje

en tableros de pruebas o formar parte de un multímetro. Este instrumento utiliza un solo mecanismo indicador, pero diferentes circuitos internos para medir voltaje, corriente y resistencia.

Los multímetros, por su parte, pueden ser análogos (figura 18-17-d) o digitales (figura 18-17-e), y vienen en una gran variedad de estilos y tamaños, incluyendo el tipo lápiz (figura 18-17-f) y la pinza voltioamperimétrica (figura 18-17-g). Toda la teoría referente al uso de los multímetros, tanto análogos como digitales, se trata con suficiente detalle en el capítulo 3 del tomo de reparaciones.

La potencia y la energía eléctricas se miden utilizando, respectivamente, un vatímetro (figura 18-17-h) y un contador. Los contadores o medidores de kilovatios-hora (kWh), a su vez, pueden ser de lectura directa (figura 18-17-i) o indirecta (figura 18-17-j). También se dispone de medidores de frecuencia, factor de potencia y otras cantidades eléctricas, los cuales hacen uso de los mismos principios básicos empleados en los multímetros análogos o digitales para medir corriente o voltaje.

En la figura 18-18 se muestran algunos de los símbolos utilizados en los esquemas eléctricos para representar instrumentos de medida, así como los empleados en las escalas de los propios instrumentos para especificar su posición de trabajo y el tipo de corriente que miden (AC o DC). El instrumento de la figura 18-18-p, por ejemplo, es un voltímetro que puede usarse tanto para DC como para AC, y debe trabajarse en posición vertical.

Los instrumentos especificados para corriente continua se utilizan solamente con circuitos eléctricos DC.

Uno de los bornes tiene una marca (+) que indica que debe conectarse al polo positivo del circuito; el otro lleva la marca (-) y debe conectarse al polo negativo del circuito. Cuando instale un instrumento análogo de este tipo, realice una conexión momentánea observando el desplazamiento de la aguja: si se desliza en sentido contrario al de la escala, debe invertir las conexiones del instrumento. En el caso de instrumentos digitales, la polaridad invertida se indica mediante un signo (-) antepuesto al valor numérico de la cantidad medida,



Convencional



Tipo pinza

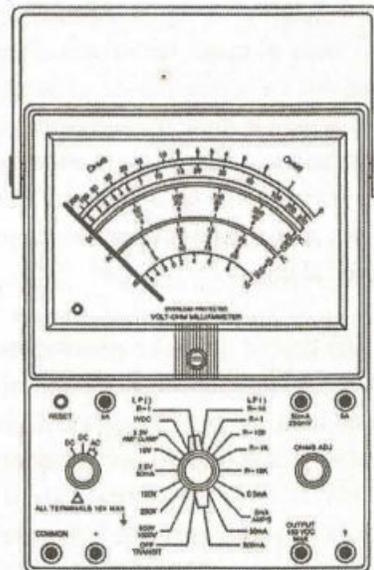
Figura 18-19. Tipos de multímetros analógicos

Los instrumentos especificados para corriente alterna se utilizan solamente para circuitos AC. Sus bornes no necesitan ninguna indicación de polaridad. Los instrumentos especificados para ambos tipos de corrientes pueden ser utilizados indistintamente en circuitos AC o DC.

### Multímetros analógicos

De todas las herramientas y equipos que un electricista pueda poseer en su banco o en su maletín de trabajo, probablemente la más útil y versátil sea el multímetro. Con un multímetro, análogo o digital, se pueden realizar mediciones de voltaje, corriente y resistencia, realizar pruebas de continuidad, etc. Para ello, todo lo que se necesita es colocar el selector en la posición correcta.

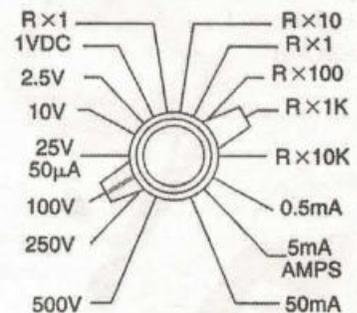
Existen multímetros análogos y multímetros digitales. Los multímetros análogos (figura 18-19) son los más comunes por su sencillez, portabilidad y tamaño compacto. Además son más baratos que los multímetros digitales y resultan más convenientes de emplear en ciertas situaciones, por ejemplo cuando es necesario medir cambios de voltaje o de corriente.



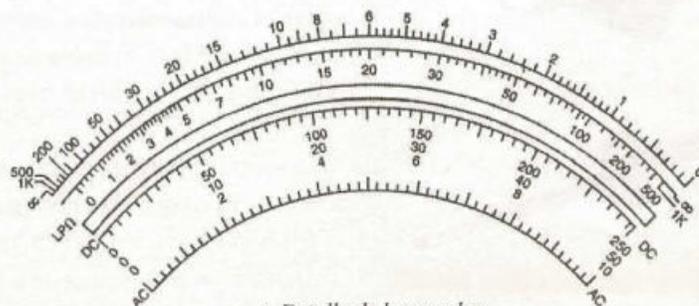
• Estructura externa



• Puntas de prueba



• Detalle del selector



• Detalle de las escalas

Figura 18-20. Partes de un multímetro análogo

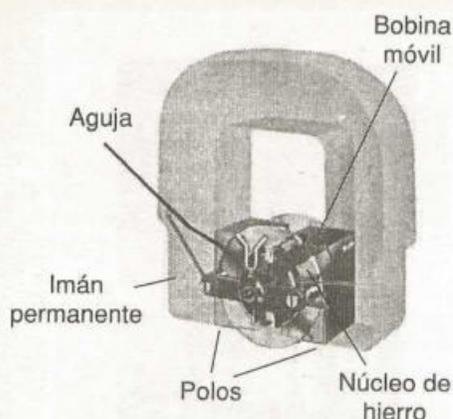


Figura 18-21. Principio de funcionamiento

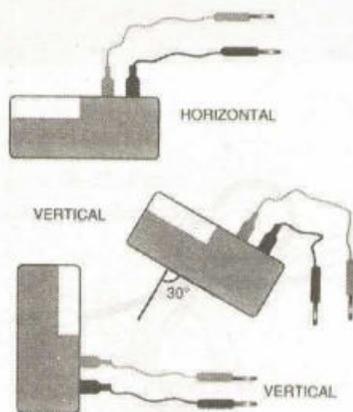


Figura 18-22. Posiciones normales de trabajo de los multímetros analógicos



(a) Amperímetro de gancho



(b) Punta de alto voltaje

Figura 18-23. Accesorios para multímetros analógicos

Los multímetros analógicos vienen en una gran variedad de formas, tamaños y presentaciones. No obstante, la mayoría tiene en común los siguientes elementos (figura 18-20).

√ Un par de puntas de prueba. Comunican el instrumento con el circuito bajo prueba.

√ Escalas análogas y aguja. Indican el valor numérico de la cantidad eléctrica que se está midiendo.

√ Selector de función. Permite seleccionar la naturaleza de la medida, es decir si se trata de un voltaje o una corriente AC o DC, o simplemente una medición de resistencia.

√ Selector de rango. Permite seleccionar el rango de valores a ser medido. En la mayoría de multímetros analógicos modernos, el selector de rangos y el selector de función están integrados en un solo interruptor y, por tanto, las dos operaciones se hacen al tiempo.

En general, todos los multímetros analógicos emplean una bobina móvil como la mostrada en la figura 18-21, la cual se encarga de desplazar una aguja. El montaje físico se conoce como cuadro móvil o instrumento de D'Arsonval y consta de una bobina de alambre muy fino arrollada sobre un tambor que se encuentra montado entre los polos de un imán permanente. Cuando circula una corriente directa a lo largo de la bobina, el campo magnético generado por el paso de la corriente interactúa con el campo magnético del imán.

La fuerza resultante de esta interacción provoca que el tambor gire y, por consiguiente, desplace la aguja. La magnitud de la deflexión de la aguja es un indicador de la cantidad de corriente que circula por la bobina. Más exactamente, la deflexión de la

aguja es directamente proporcional a la cantidad de corriente que circula a lo largo de la bobina. Si se necesita una corriente de  $100\mu\text{A}$  para conseguir que la aguja se desplace hasta alcanzar el máximo valor de la escala, entonces una corriente en la bobina de  $50\mu\text{A}$  producirá un desplazamiento de la aguja igual a la mitad del desplazamiento máximo.

Los multímetros analógicos tienen normalmente una posición de utilización (figura 18-22). Esta última es generalmente horizontal, aunque existen excepciones donde la posición podrá ser vertical o con algún otro ángulo de inclinación. El fabricante siempre indicará el ángulo de inclinación a utilizar para realizar mediciones correctas.

Los multímetros analógicos se ofrecen generalmente con algunos accesorios que permiten la realización de mediciones especiales. En la figura 18-23 se muestran dos de los accesorios más comunes: la pinza de medición de corriente y la punta de alto voltaje. La pinza de medición de corriente (figura 18-23-a) se coloca alrededor del alambre por el que circula la corriente cuyo valor quiere medirse, eliminando así el problema de tener que abrir el circuito. En este caso es el campo magnético de la corriente el que se utiliza para medir el valor de ésta. Este tipo de amperímetro solo es capaz de medir corriente alterna y se utiliza en general para medir la corriente de la línea de alimentación de 50 o 60Hz.

La punta de la figura 18-23-b se emplea para medir voltajes relativamente altos, superiores en muchos casos a 30kV. Básicamente, se trata de una resistencia multiplicadora externa acoplada al voltímetro DC del instrumento. El valor de esta resistencia



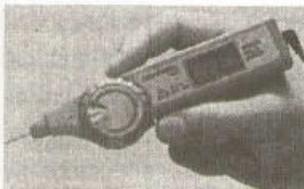
• Convencional



• Tipo lápiz



• De bolsillo



• Forma de utilizar un multímetro tipo lápiz



• Tipo pinza

**Figura 18-24. Presentaciones de multímetros digitales**

depende de la sensibilidad del equipo y del rango de medida. Por ejemplo, una punta de alto voltaje de 30kV para un instrumento de 20k $\Omega$ /V y un rango de 1,000V requiere una resistencia de 580M $\Omega$ .

## Multímetros digitales

Los multímetros digitales (figura 18-24) se caracterizan por poseer una pantalla numérica que da automáticamente la lectura con punto decimal, polaridad y unidad (V, A o  $\Omega$ ). En general, los multímetros digitales ofrecen mejor exactitud y resolución que los multímetros análogos, y son más confiables y fáciles de usar. Vienen en una gran variedad de presentaciones y, además de voltaje, corriente y resistencia, en muchos casos pueden también medir frecuencia, capacitancia, inductancia y otras cantidades eléctricas.

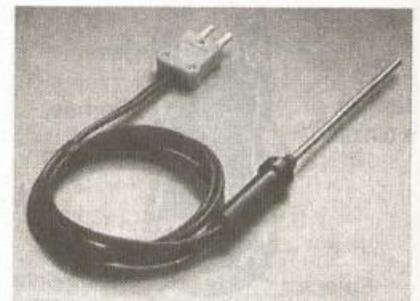
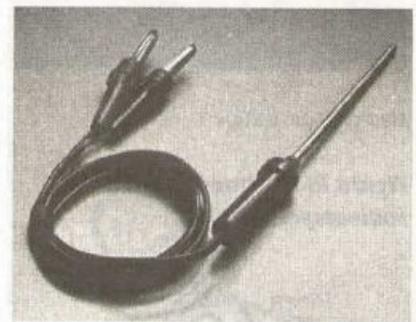
Un multímetro digital típico (figura 18-25) se compone básicamente de una pantalla, una perilla selectora y los bornes para conectar las puntas de prueba. En muchos casos, la perilla selectora es sustituida por interruptores del tipo push-button.

La mayoría de fabricantes de multímetros digitales ofrecen una variedad de accesorios opcionales para sus instrumentos que extienden los rangos existentes o la utilidad de los mismos. Entre estos accesorios figuran puntas de prueba de alto voltaje, puntas de medición de temperatura (figura 18-26), pinzas de medición de corriente, dispositivos de medición de luz, etc. La selección de los accesorios depende de sus necesidades de medición particulares.

Por ejemplo, para realizar reparaciones en electrodomésticos o instalaciones eléctricas, se necesita como mínimo una punta de medición de corrien-



**Figura 18-25. Partes de un multímetro digital**

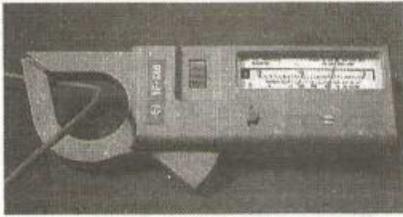


**Figura 18-26. Puntas de prueba de temperatura para multímetros digitales**

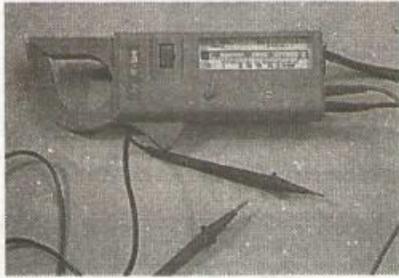
te. La mayoría de multímetros digitales pueden medir hasta 2A o 3A, mientras que los artefactos eléctricos frecuentemente consumen 10 o más amperios. Las puntas de prueba de temperatura, por su parte, son una excelente ayuda para los especialistas en sistemas de calefacción y aire acondicionado.

## Pinzas voltioamperimétrica

La pinza voltioamperimétrica (figura 18-27) es un instrumento que permite efectuar con facilidad medidas de in-



Medición de corriente



Medición de voltaje

Figura 18-27. Pinza voltioamperimétrica

tensidad de corriente y tensión eléctrica alternas en los circuitos y cargas de las instalaciones eléctricas. Se trata de una herramienta muy útil para el electricista porque le permite medir la corriente a través los circuitos sin necesidad de abrirlos o interrumpirlos. Además es muy fácil de usar y de transportar. Sin embargo no es tan precisa como un amperímetro convencional, el cual debe ser conectado en serie con el conductor cuya corriente se desea medir.

En la figura 18-28 se muestran las partes de una pinza voltioamperimétrica típica. Como puede observarse, consta básicamente de una pinza, un instrumento de medida, un selector de escala y unas puntas de prueba.

La pinza se compone de dos piezas metálicas o mordazas, recubiertas por material aislante, que se mantienen unidas por la acción de un mecanismo resorte. Una de las piezas es movable y se separa de la parte fija mediante un botón o palanca, permitiendo así rodear el conductor cuya corriente se desea medir.

El instrumento de medida puede ser digital o analógico. Este último está diseñado de modo que sea resistente al transporte y a las vibraciones. Posee generalmente dos escalas: una pintada de rojo sobre la que se realizan las lecturas de tensión y otra pintada de negro sobre la que se realizan las medidas de corriente. En la mayoría de los casos también se dispone de una escala adicional para la medición de resistencias.

El selector permite elegir la escala adecuada a la medida de tensión o corriente que se desea realizar. En el caso de las pinzas analógicas, el selec-

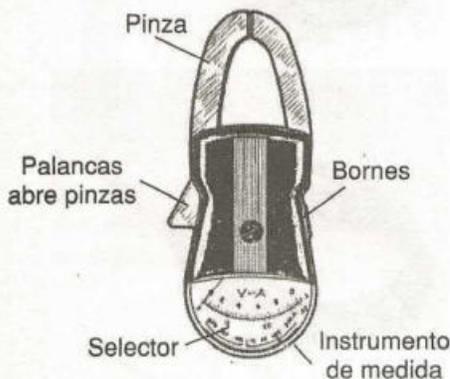
tor se mueve por medio de una palanca ubicada detrás del instrumento, en la parte inferior o debajo del instrumento de medida. Las puntas de prueba se utilizan para la medición de voltaje AC y de resistencia.

Además de las puntas de prueba para la medición de voltajes y resistencias, las pinzas voltioamperimétricas vienen generalmente con varios accesorios, incluyendo puntas de medición de alto voltaje, puntas de medición de temperatura y divisores de línea o splitters. Estos últimos (figura 18-29) separan los conductores de fase y neutro de los cordones de potencia cuando se realizan mediciones de consumo de corriente en aparatos operados por AC. Un extremo se conecta al tomacorriente y en el otro se enchufa el equipo bajo prueba.

### Empleo de la pinza voltioamperimétrica

Debido a que su empleo no exige la interrupción del circuito eléctrico bajo prueba, la pinza voltioamperimétrica es un instrumento extremadamente útil para realizar mediciones de corriente alterna y determinar si un dispositivo eléctrico está operando de acuerdo a las especificaciones del fabricante. La medición puede hacerse sobre conductores aislados, como se indica en la figura 18-30-a, o sobre barras conductoras pintadas (figura 18-30-b).

Para utilizar una pinza voltioamperimétrica como amperímetro, simplemente coloque el conductor dentro de la pinza del instrumento y, si desconoce la magnitud de la corriente a medir, seleccione la escala de corriente más alta. Observe la deflexión de la aguja y reduzca la escala, si es necesario, hasta que la lectura de la corriente



• Estructura externa



• Presentaciones usuales

Figura 18-28. Partes de una pinza voltioamperimétrica

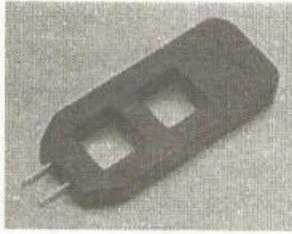
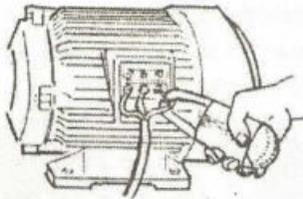
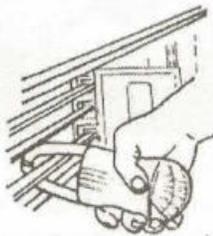


Figura 18-29. Divisor de línea para pinzas voltio-amperimétricas



(a) Medición de corriente sobre conductores aislados



(b) Medición de corriente sobre barras aisladas

Figura 18-30. Ejemplos de aplicación de la pinza voltiamperimétrica

éste cerca de la mitad de la escala. Así la medida será más precisa.

Recuerde que el dispositivo eléctrico bajo prueba debe estar operando y causando una demanda de potencia. La potencia no necesita ser desconectada para abrazar el conductor. Si se prueban conductores desnudos o barras colectoras, las mordazas del medidor deberán estar bien aisladas. Extreme las precauciones en estos casos.

Quando utilice la pinza voltioamperimétrica como medidor de voltaje, debe utilizarse la extensión que viene

con el instrumento. Esta extensión tiene en uno de sus extremos un enchufe que se conecta al instrumento y en el otro una puntas aisladas que se conectan al circuito bajo prueba. Una vez utilizado el equipo, éste debe guardarse en su estuche protector.

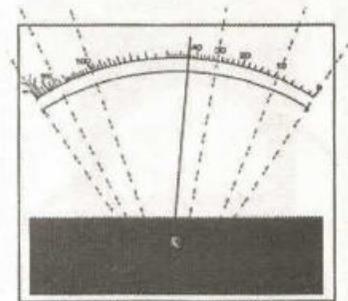
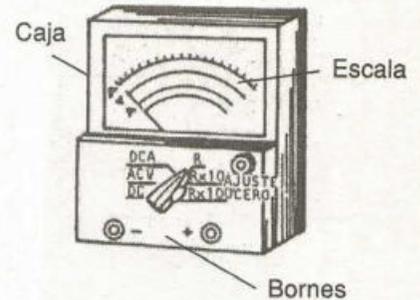
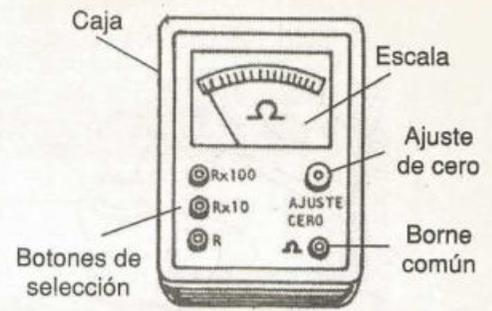
### Medidores de resistencia. Ohmetros

El óhmetro (figura 18-31) es un instrumento que permite medir la resistencia en ohmios ( $\Omega$ ) de elementos eléctricos. Puede venir como un instrumento independiente (óhmetro solamente) o, lo que es más usual, incorporado en un multímetro que además provee las funciones de amperímetro y voltímetro. Consta básicamente de las siguientes partes:

- √ Una caja que aloja todos los componentes
- √ Un instrumento con escala digital o análoga calibrada en ohmios
- √ Un conmutador selector de rangos de escala. En algunos casos no existe este elemento y la selección se hace por medio de bornes enchufables.
- √ Una perilla reguladora de ajuste de la aguja a cero (en el caso de instrumentos análogos)
- √ Dos bornes de conexión con puntas de prueba

En la figura 18-32 se muestra el esquema eléctrico básico de un óhmetro análogo. Básicamente esta formado por una batería interna, un instrumento de bobina móvil y una resistencia limitadora de corriente. Para medir resistencia, las puntas de medición del óhmetro se conectan a través de los extremos de la carga cuya resistencia se desea medir, teniendo cuidado de desconectar el voltaje de alimentación del circuito bajo prueba. De esta manera, la batería interna del óhmetro es

## Instalaciones



Detalle de la escala

Figura 18-31. Partes de un óhmetro

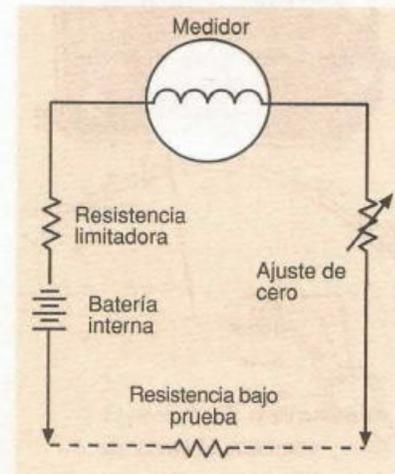
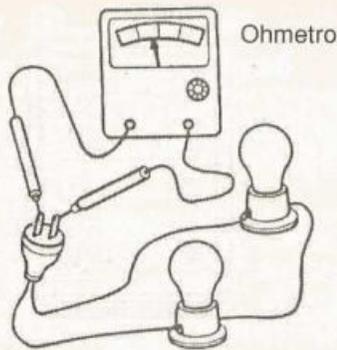
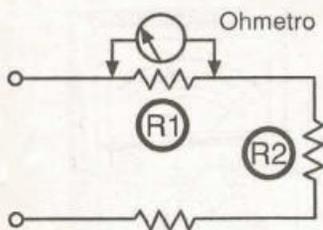


Figura 18-32. Esquema eléctrico básico de un óhmetro análogo

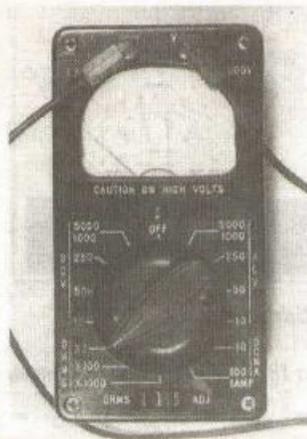


• Representación pictórica



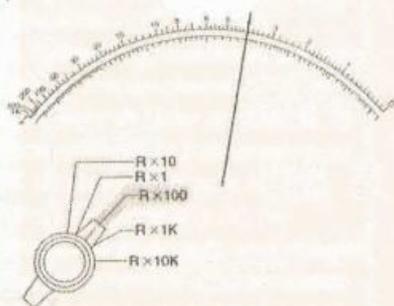
Representación esquemática

Figura 18-33. Forma de conectar un ohmetro



Multímetro utilizado como ohmetro

Posición de la aguja



Posición del selector

Figura 18-34. Lectura de resistencia con un multímetro

la única que produce la corriente para desplazar el cuadro móvil.

Dado que la cantidad de corriente que circula a lo largo del cuadro móvil depende del valor de la resistencia sujeta a medición, la escala del instrumento puede calibrarse en ohmios ( $\Omega$ ). La deflexión de la aguja a lo largo de la escala indica, de manera directa, el valor de la resistencia medida. La aguja del ohmetro siempre se desplaza en la misma dirección, sin importar la polaridad de las puntas de medición, ya que la polaridad de la batería interna es la que determina la dirección en la que circula la corriente a lo largo del cuadro móvil.

Para compensar la disminución del voltaje de salida de la batería debido al uso de la misma, los ohmetros siempre incluyen una resistencia variable, la cual sirve para calibrar la escala de resistencia. Esta calibración se realiza uniendo las puntas del ohmetro para simular una carga de  $0\Omega$  y variando la resistencia de ajuste hasta que la aguja se encuentre exactamente sobre la marca correspondiente a  $0\Omega$  en la escala. Una vez hecho lo anterior, la lectura será la correcta en cualquier valor de resistencia que se encuentre sobre la escala.

### Como utilizar el ohmetro

El ohmetro se conecta siempre en paralelo con los terminales del dispositivo o circuito bajo prueba (figura 18-33). Sin embargo, al contrario de un amperímetro o un voltímetro. Las mediciones de resistencia deben ser realizadas con la potencia desconectada. Esto se debe a que los ohmetros suministran traen incorporada su propia fuente de alimentación. Cualquier voltaje adicional proveniente del circuito bajo prueba puede causar sufi-

ciente corriente extra para dañar el medidor. Incluso si no ocurre daño, cualquier lectura sería inútil puesto que el medidor está calibrado para trabajar a partir de su voltaje interno únicamente.

Tratándose de ohmetros digitales, la lectura es directa. En el caso de ohmetros análogos, para obtener una medida exacta, el instrumento debe ajustarse previamente a cero. Este procedimiento se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Sitúe el botón de ajuste de cero aproximadamente a la mitad de su recorrido y conecte entre sí las puntas de prueba.
2. Gire el botón de ajuste de cero hasta que la aguja coincida con la marca de  $0\Omega$  de la escala.
3. Separe las puntas de prueba. La aguja deberá deflecar completamente a la posición de circuito abierto (resistencia infinita). Su ohmetro estará ahora calibrado para la escala elegida. Si cambia la escala de ohmios en el medidor, tendrá que ajustar a cero otra vez. Si el ohmetro no puede ajustarse a cero, ellos se debe, la mayor parte de las veces, a que la pila o batería del circuito del medidor esta baja o agotada.

En la figura 18-34 se ilustra la forma de realizar una lectura con un multímetro programado como ohmetro. En (a), el selector de rango está en la posición x1 y la aguja del medidor esta defleada completamente hacia la izquierda. Por tanto, se trata de un circuito abierto. En (b) y (c) el selector esta en la posición Rx100 y la aguja coincide con la marca "4" de la escala de ohmios. Por tanto, resistencia del circuito o elemento bajo prueba es  $4 \times 100 = 400\Omega$ .

En general, el procedimiento de medición de una resistencia con un multímetro análogo se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Conecte las puntas de prueba al multímetro. Enchufe el cable negro en la salida negativa (-) y el rojo en la salida positiva (+).

2. Sitúe el selector de función del medidor, si lo tiene, en la posición 'OHMS' (ohmios)

3. Sitúe el selector de rango en la posición adecuada a la resistencia que usted espera encontrar entre los puntos bajo prueba. En el caso del multímetro de la figura 18-34, el selector ofrece cinco rangos. En Rx1, la resistencia real es la que se lee en la escala, mientras que en Rx10, Rx100, Rx1k $\Omega$  y Rx10k $\Omega$ , el valor real se obtiene multiplicando el valor medido por 10, 100, 1,000 y 10,000, respectivamente. Si desconoce la resistencia probable del elemento o circuito a medir, utilice el rango más alto posible.

4. Ajuste el instrumento a cero mediante el procedimiento antes descrito. Esta operación debe hacerse cada vez que usted utilice el medidor.

5. Conecte las puntas de prueba al elemento o circuito cuya resistencia pretende medir.

6. Realice la medición multiplicando el rango por la lectura en la escala. Si es necesario, cambie de rango y reajuste el cero para conseguir que la aguja quede en el tercio central de la escala.

Una de las aplicaciones más comunes del óhmetro es la verificación de

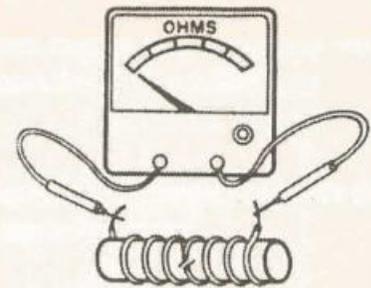
continuidad de elementos y artefactos eléctricos. Los chequeos de continuidad se realizan midiendo la cantidad de resistencia eléctrica presente entre los puntos de interés. Si esta resistencia es prácticamente infinita se tiene el caso de un circuito abierto y si es igual a cero se tiene el caso de un cortocircuito. De otro lado, si hay una resistencia finita, significa que hay continuidad, pero existe una carga entre esos puntos, digamos un motor o una lámpara.

Las pruebas de continuidad son muy útiles para inspeccionar bobinados de motores, interruptores, cables, transformadores, fusibles, lámparas, resistencias calefactora, y otros elementos eléctricos. En la figura 18-35 se muestran algunos ejemplos. En (a), la aguja permanece en el extremo izquierdo de la escala, significando que el dispositivo bajo prueba (una bobina, en este caso), está abierto.

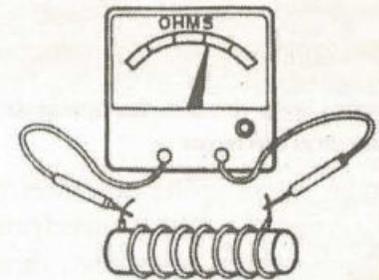
En (b) la aguja se mueve a una posición intermedia, indicando la existencia de continuidad. El valor de resistencia estará determinado por las características del dispositivo o del circuito que se está probando.

En (c), existe continuidad directa (prácticamente 0 $\Omega$ ) entre el núcleo de la bobina y uno de los terminales del arrollamiento, indicando que el aislamiento del alambre está defectuoso en algún punto.

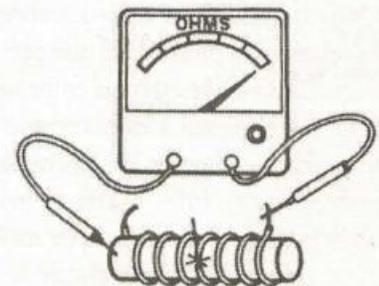
En otras palabras, existe un corto entre el alambre y el núcleo. En el caso de un motor, por ejemplo, esta condición podría ser peligrosa y/o causar que el mismo trabaje en forma inadecuada. Por tanto, lo más probable es que el motor tenga que ser rebobinado.



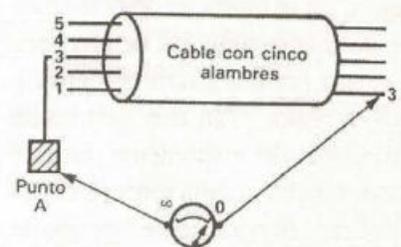
(a) Componente abierto



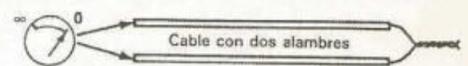
(b) Componente con continuidad



(c) Componente en corto



(d) Prueba de continuidad entre dos puntos de un circuito



(e) Prueba de continuidad de un cable de dos conductores

**Figura 18-35. Ejemplos de prueba de continuidad con un óhmetro**

## Pruebas y mediciones eléctricas básicas

AWG N°	$\Omega/\text{km}$
14	8.43
12	5.31
10	3.34
8	2.10
6	1.34
4	0.85
3	0.67
2	0.53
1	0.42
0	0.33
00	0.27
000	0.21
0000	0.17

Figura 18-36. Resistencias típicas de alambres eléctricos

En (d) se utiliza un óhmetro como probador de continuidad para determinar cual de los cinco alambres del cable es el que se conecta al terminal A. En este caso se verifica la continuidad de cada alambre con respecto al punto A. El que presente la mas baja resistencia entre su extremo y el punto A es el conductor buscado. Aunque esta prueba puede parecer innecesaria si los alambres están codificados por medio de colores, la misma puede revelar si alguno de ellos esta abierto.

En (e) se utiliza un óhmetro para verificar la continuidad de una línea formada por dos alambres, pero cuyos extremos están muy alejados de las puntas del instrumento. En este caso, los dos conductores se cortocircuitan temporalmente, por uno de sus extremos, de manera que puede verificarse la continuidad haciendo uso del otro extremo.

Como puede observarse de los dos últimos ejemplos anteriores, el óhmetro es de gran utilidad para probar la continuidad de los alambres y cables que constituyen una instalación eléctrica. Puesto que, en condiciones normales, un conductor eléc-

trico tiene una resistencia prácticamente igual a cero, las pruebas de continuidad sobre estos elementos deben realizarse seleccionando el rango de medida más bajo ( $R \times 1$ ).

Un conductor puede tener una interrupción que no es visible debido al aislante que lo recubre o por una mala conexión a un terminal. La prueba de continuidad consiste en verificar que la resistencia entre cualquier par de puntos ubicados a lo largo del conductor tenga un valor de prácticamente cero ohmios ( $0\Omega$ ).

Una interrupción de la trayectoria de conducción se hace evidente cuando la lectura del óhmetro indica un valor de resistencia infinito, lo que constituye un indicio claro de la presencia de un circuito abierto.

Para finalizar, en la tabla de la figura 18-36 se relacionan las resistencias típicas de los alambres de cobre normalmente utilizados en las instalaciones eléctricas. Se asume una longitud de 1 km.

El conocimiento de este parámetro es de vital importancia para evaluar las caídas de voltaje en los circuitos derivados de una instalación eléctrica. Por regla general, en todas las

instalaciones los conductores se deben dimensionar de manera que la máxima caída de voltaje en cada circuito derivado no sea superior al 3% del voltaje aplicado.

La resistencia ( $R$ ) de un alambre se puede evaluar, en forma aproximada, mediante la fórmula

$$R = \rho L/S$$

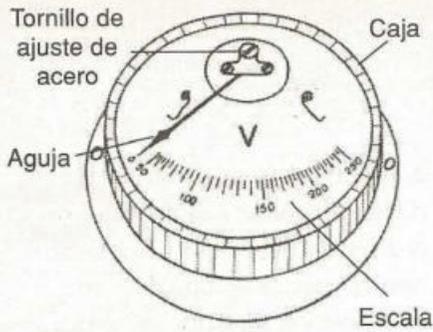
siendo  $\rho$  la *resistividad* del conductor ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ),  $L$  su longitud (m) y  $S$  su sección o área transversal ( $\text{mm}^2$ ). Para el cobre,  $\rho = 0.01724 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ . Por ejemplo, la resistencia de un tramo de alambre de cobre N° 16 ( $S = 1.3090 \text{ mm}^2$ ) de 100 m de longitud es

$$R = 0.01724 \times 100 / 1.3090 = 1.32 \Omega$$

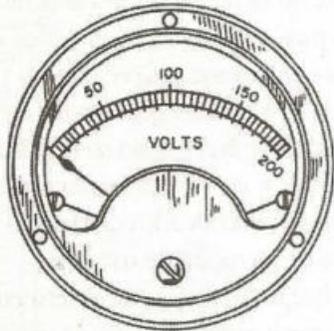
Por último, en la tabla de la figura 18-37 se relacionan las resistencias típicas de algunos componentes eléctricos comunes. Por ejemplo, los interruptores, fusibles y breakers tienen, idealmente, una resistencia de  $0\Omega$  cuando están cerrados e infinita cuando están abiertos. La resistencia de las lámparas de filamento de tungsteno es muy baja cuando están frías y se incrementa a medida que aumenta la temperatura.

• Fusibles y breakers:	$0\Omega$ cuando están cerrados
• Lámparas de filamento de tungsteno :	Casi $0\Omega$ cuando están frías
• Interruptores electromecánicos:	$0\Omega$ cuando están cerrados
• Tomacorrientes:	$0\Omega$ entre terminales afines (fases, neutros o tierras)
• Devanados de marcha de motores monofásicos:	del orden de $1\Omega$
• Devanados de arranque de motores monofásicos:	del orden de $5\Omega$ a $40\Omega$
• Devanados principales de motores trifásicos:	del orden de $1\Omega$ a $5\Omega$

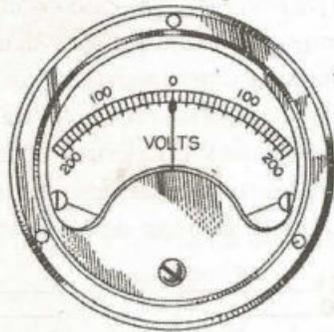
Figura 18-37. Resistencias típicas de componentes eléctricos



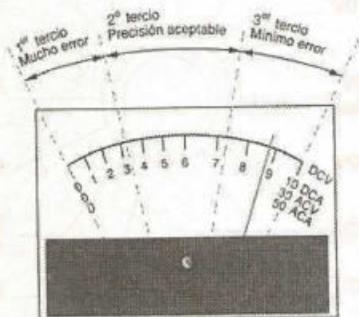
(a) Estructura externa



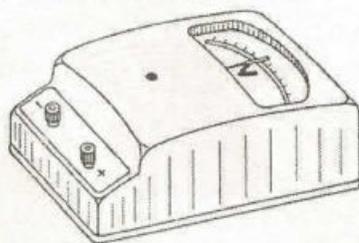
(b) Escala con cero a la izquierda



(c) Escala con cero en el centro



(d) Detalle de una escala



(e) Voltímetro portátil

Figura 18-38. Partes de un voltímetro de tablero

## Medidores de voltaje. Voltímetros

Para impulsar una corriente de electrones a través de un circuito eléctrico se necesita un voltaje (E) o fuerza electromotriz (fem). La corriente, a su vez, al circular por los distintos elementos de un circuito, crea caídas de voltaje (drops) o diferencias de potencial (ddp) entre cualquier par de puntos considerados. Todos estos parámetros (voltajes, tensiones, caídas de voltaje, fuerzas electromotrices, diferencias de potencial, etc.), que son equivalentes, se expresan en voltios (V) y se miden utilizando un instrumento llamado **voltímetro**.

Existen voltímetros análogos y voltímetros digitales. Los voltímetros análogos (figura 18-38) están formados por la caja de protección, la escala de medida, la aguja indicadora y los bornes de conexión. Las cajas se construyen de metal o plástico y pueden tener diferentes tamaños y formas, con frente circular o rectangular protegido mediante un vidrio. Este último permite observar la desviación de la aguja sobre la escala.

La escala de medida está constituida por un conjunto de divisiones que permiten determinar el valor del voltaje medido. Junto a la escala tienen generalmente impresa una letra "V" que permite identificar el instrumento como un voltímetro. La aguja indicadora es una lámina metálica liviana y delgada, uno de cuyos extremos está fijo al mecanismo que la hace girar. El otro extremo señala sobre la escala el valor de la magnitud. Generalmente, en el frente de la caja hay un tornillo que permite ajustar la aguja a la posición cero de la escala. El cero puede estar a un lado o en el centro de la escala.

Existen voltímetros DC y voltímetros AC, así como voltímetros fijos y voltímetros portátiles. Los voltímetros fijos, como el mostrado en la figura 18-38-a, se construyen para ser colocados en tableros, cuando se desea una indicación permanente del voltaje que se controla. Los voltímetros portátiles, como el mostrado en la figura 18-38-e, son instrumentos transportables y se utilizan para hacer medidas en los lugares donde se quiera comprobar el valor de la tensión.

En la figura 18-39 se muestra el esquema eléctrico básico de un voltímetro análogo. En este caso se emplea una resistencia de alto valor en serie con el cuadro móvil. Esta resistencia se denomina *multiplicadora* y, en general, se encuentra en el interior del voltímetro. En la práctica, los voltímetros tienen varias resistencias multiplicadoras que trabajan en conjunción con un solo cuadro móvil. Un interruptor (el selector de rango) se encarga de seleccionar la resistencia multiplicadora adecuada para la escala deseada.

## Como utilizar el voltímetro

Debido a que los voltímetros miden diferencias de potencial y tienen una resistencia interna muy alta, los mis-

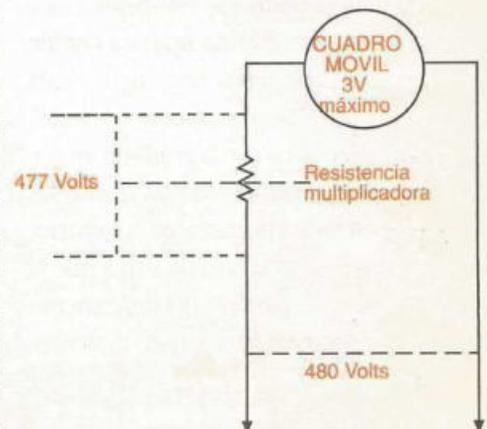


Figura 18-39. Esquema eléctrico básico de un voltímetro

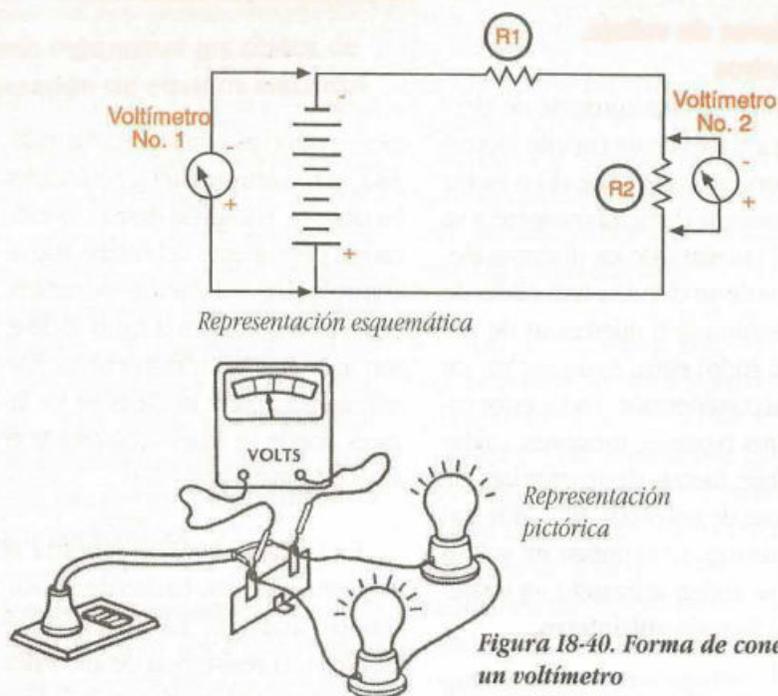


Figura 18-40. Forma de conectar un voltímetro

mos se deben conectar en paralelo con los puntos de interés, como se ilustra en la figura 18-40. En (a), el voltímetro #1 mide la fuerza electromotriz proporcionada por la fuente de voltaje (una batería, en este caso), mientras que el voltímetro #2 mide la diferencia de potencial o caída de voltaje a través de la carga R2. Ambos son voltímetros DC. En (b) se utiliza un voltímetro AC para medir el voltaje aplicado a la entrada de un circuito serie de dos lámparas.

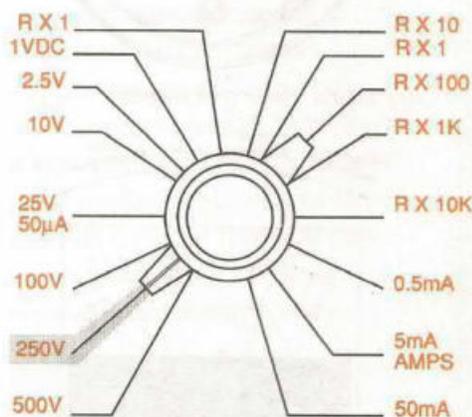
Observe que no se necesita abrir el circuito. Dado que esto resulta muy conveniente, es una práctica común llevar a cabo todas las pruebas para detectar fallas en instalaciones y aparatos eléctricos con la ayuda de un voltímetro. Además, entra más grande sea la resistencia interna de un voltímetro, menor será el efecto de carga que la conexión en paralelo del instrumento ejerce sobre el circuito que se encuentra a prueba.

Los voltímetros DC tienen un terminal positivo y uno negativo. El pri-

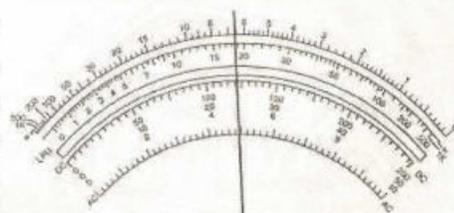
mero está marcado "POS" o "+" y el segundo "NEG" o "-". Si usted conecta los terminales de un voltímetro DC con la polaridad invertida y este no tiene la posición de cero en el centro de la carátula, la aguja del medidor presionará contra el tope de cero en lugar de indicar una lectura. Esto puede dañar el mecanismo de la aguja. En tal caso, basta con invertir las conexiones. Los multímetros DC digitales no tienen esta restricción e indican automáticamente la polaridad del voltaje.

En la figura 18-41 se ilustra la forma de interpretar una lectura de voltaje AC en un multímetro análogo típico. En (a) el selector está en el rango de 250V y en (b) la aguja está detenida entre las marcas de 120V y 125V de la misma escala (más cerca de 120V que de 125V). Por tanto, el voltaje o la caída de tensión presente entre los puntos bajo prueba es del orden de 121VAC. En general, para medir un voltaje cualquiera con un voltímetro o un multímetro puede seguirse este orden:

1. Coloque el instrumento de medida en la posición adecuada, si así se requiere.
2. Sitúe el selector del instrumento en el rango de voltaje más alto para evitar el deterioro del mismo. Coloque también el selector de tipo de corriente en la posición adecuada (AC o DC) si éste no viene integrado a la perilla selectora general. Un buen hábito consiste en colocar el selector en la posición OFF cada vez que termine de usar el aparato. Si el mismo no tiene un interruptor de ON/OFF, asegúrese de dejarlo seleccionado con el rango más alto de medición de voltaje.
3. Instale las puntas de prueba en los bornes correspondientes y conéctelas en paralelo a los puntos del circuito o componente bajo prueba. Algunas puntas de prueba tienen terminales tipo caimán en sus extremos. Para evitar recibir un shock eléctrico en estos casos, es conveniente desconectar el circuito de la fuente de voltaje antes

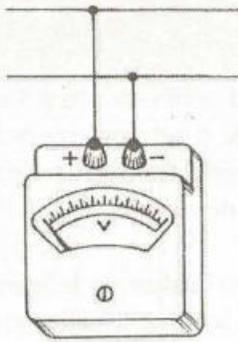


(a) Posición del selector

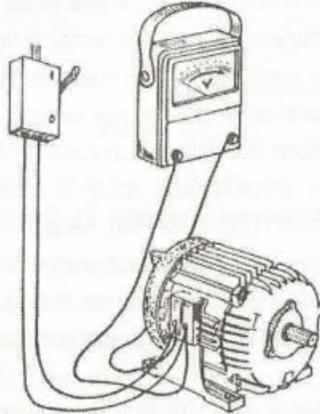


(b) Posición de la aguja

Figura 18-41. Lectura de voltaje con un multímetro



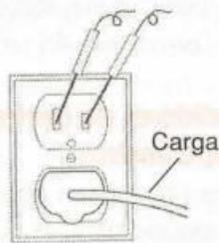
(a) Medición de voltajes de línea



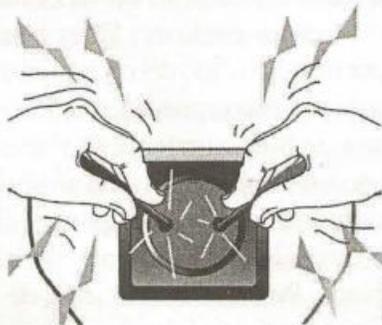
(b) Medición de caídas de voltaje en cargas



(c) Medición de voltaje sin carga



(d) Medición de voltaje con carga



(e) Nunca baga esto

Figura 18-42. Ejemplos típicos de medición de voltaje

de adherir los caimanes a los puntos bajo prueba. Si su voltímetro tiene puntas de prueba tipo pin o sólidas, el circuito se puede dejar conectado.

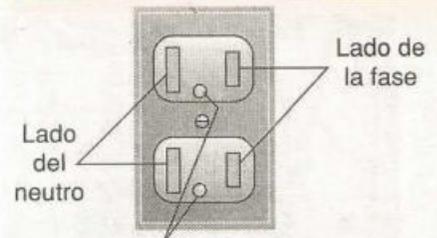
4. Seleccione un rango adecuado a la medición en curso, calculando que la posición de la aguja quede en unas 3/4 partes de la escala. En esta zona las medidas son más exactas.

5. Tome la lectura colocándose frente al instrumento para evitar errores de paralaje.

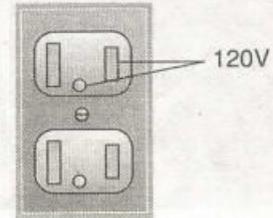
En la figura 18-42 se ilustran varios ejemplos típicos de medición de voltajes. En (a) se utiliza un voltímetro para medir la tensión entre los conductores de una línea eléctrica y en (b) para medir la tensión en los bornes de un receptor o carga (un motor, en este caso). La medición del voltaje de línea es la primera, y más importante, parte del proceso de localización de fallas en artefactos y circuitos eléctricos.

En (c) se muestra la forma de medir el voltaje de salida de un tomacorriente doméstico sin carga y en (d) la forma de hacerlo con carga, es decir con un electrodoméstico conectado y consumiendo potencia. En este último caso se obtiene una lectura ligeramente inferior. Cuando realice este tipo de mediciones, tenga la precaución de **no** tocar o manipular la parte metálica de las puntas de prueba (figura 18-42-e): sosténgalas siempre por los agarres plásticos para evitar choques eléctricos y distorsionar la medición.

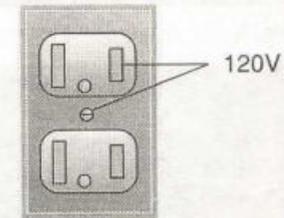
Con un voltímetro se puede también verificar la distribución de voltajes de un tomacorriente polarizado, la polaridad de las ranuras y las conexiones a tierra antes de enchufar al mismo un electrodoméstico. Cuando un equipo está aterrizado a un chasis, no debe existir voltaje entre el componen-



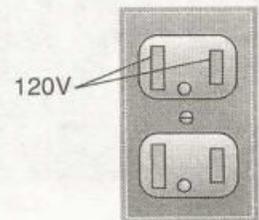
(a) Puntos de identificación



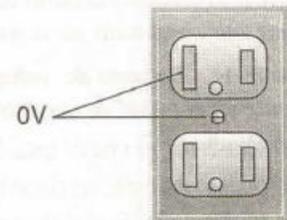
(b) Entre fase y tierra



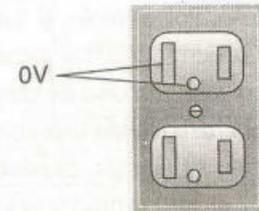
(c) Entre fase y tornillo de tierra



(d) Entre fase y neutro

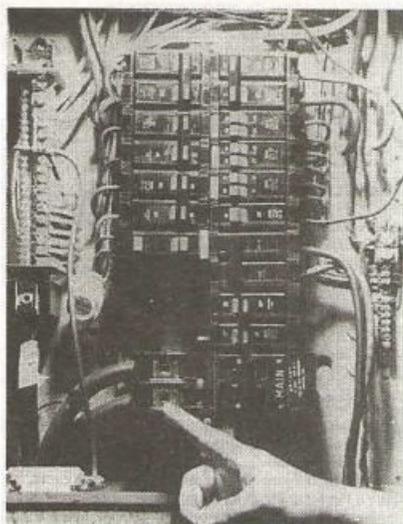


(e) Entre neutro y tornillo de tierra

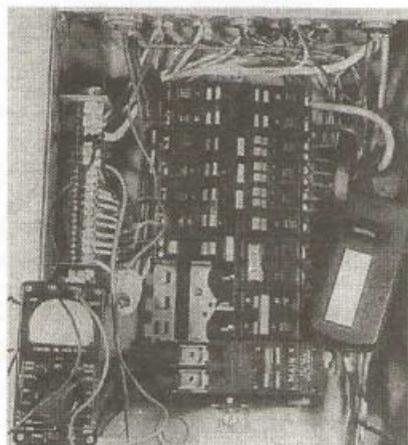


(f) Entre neutro y tierra

Figura 18-43. Mediciones de voltaje en tomacorrientes polarizados



(a) Panel de servicio destapado. Se señalan los cables de entrada al breaker principal



(b) El voltímetro mide el voltaje aplicado a un circuito derivado y la pinza la corriente total consumida por el mismo

### Figura 18-44. Chequeos de voltaje y corriente en el panel de servicio

te y el chasis. Si el chasis está físicamente puesto a tierra, no debe haber voltaje entre el chasis y el sistema de tierra. Si hay un voltaje, esto podría ser peligroso. Por ejemplo, si usted está sobre la tierra, digamos parado en el suelo o sobre un piso de concreto, y toca el chasis, fluiría una corriente a través de su cuerpo, causándole un shock e incluso la muerte.

Del mismo modo, si un tomacorriente está mal alambrado, esto es con

el alambre de fase conectado al terminal neutro (ranura larga) y el alambre del neutro conectado al terminal de fase (ranura corta), el artefacto conectado a esa salida podría ser inseguro de operar o causar la ruptura del fusible de protección y/o el disparo del breaker. En la figura I8-43 se muestran las lecturas correctas que deben obtenerse entre cada par de puntos de un tomacorriente polarizado

En la figura I8-43-a se muestran los puntos de interés, para propósitos de prueba, de un tomacorriente dúplex estándar. Recuerde que las ranuras largas, asociadas a los tornillos de conexión plateados, corresponden al neutro, mientras que las cortas, asociadas a los tornillos de conexión dorados, corresponden al vivo. La ranura redonda, asociada al tornillo de conexión verde, corresponde a la conexión a tierra. Se supone que el tomacorriente está conectado a un circuito monofásico de 120V.

Note que entre la ranura de fase y el agujero de tierra (figura I8-43-b) debe obtenerse una lectura de 120V. Lo mismo debe suceder entre la ranura de fase y el tornillo de tierra que asegura la cubierta al puente metálico del elemento (figura I8-43-c). Esto significa que tanto el tomacorriente como la caja de salida, están evidentemente aterrizados.

Para probar la polaridad, mida inicialmente el voltaje entre la fase y el neutro para asegurarse que existe una tensión de línea (figura I8-43-d). Debe obtenerse una lectura de 120V. A continuación mida el voltaje entre el neutro y el tornillo de tierra (figura I8-43-e), así como entre el neutro y el tornillo de tierra (figura I8-43-f). En ambos casos debe obtenerse, idealmente, una

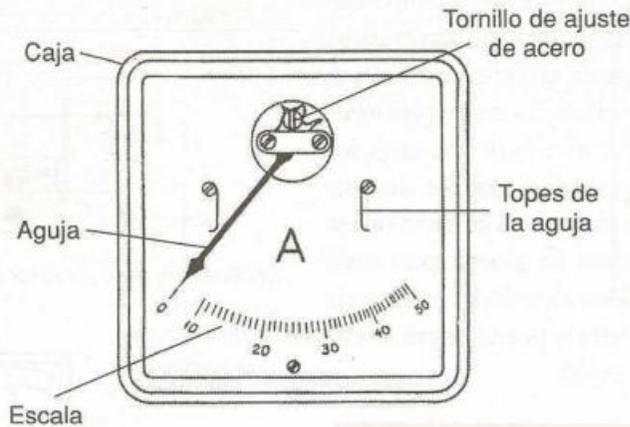
lectura de 0V o muy baja. Si esto no se cumple, el tomacorriente está alambrado incorrectamente y podría ser peligroso de usar.

Para finalizar, en la figura I8-44 se ilustra la forma de utilizar un voltímetro, o un multímetro configurado como voltímetro AC, y una pinza voltioamperimétrica para verificar voltajes y corrientes en un panel de servicio con el propósito, por ejemplo, de localizar una falla en un circuito derivado. Inicialmente, retire la cubierta del panel (figura I8-44-a). Asegúrese de no causar un arco o un cortocircuito tocando accidentalmente con la cubierta alambres que llevan corriente.

En la figura I8-44-b se muestra el montaje completo requerido para medir el voltaje y la corriente del circuito derivado protegido por el primer breaker de arriba hacia abajo. Note que el terminal común del voltímetro está conectado a la barra colectora del neutro y el otro terminal al breaker. La pinza, por su parte, rodea el conductor de fase que sale del breaker.

### Medidores de corriente. Amperímetros

Para trabajar con circuitos e instalaciones eléctricas es necesario conocer la capacidad de conducción de electrones a través del circuito, es decir, cuantos electrones libres pasan por un punto dado del circuito en un segundo. Esta capacidad, como sabemos, se llama **corriente** (I) y se expresa en amperios (A). Un amperio corresponde al flujo de aproximadamente  $6.24 \times 10^{18}$  electrones por segundo. Para medir la corriente eléctrica se utiliza un instrumento llamado **amperímetro**. En la figura I8-45 se indican las partes típicas de un amperímetro análogo para tablero.



**Figura 18-45. Partes de un amperímetro de tablero**

Aunque el amperímetro anterior es de una sola escala (0 a 50A), estos instrumentos, al igual que los voltímetros, tienen generalmente diferentes escalas en la misma carátula. El rango apropiado a cada una se selecciona mediante un selector de escala.

Existen amperímetros AC y amperímetros DC, así como amperímetros fijos para tableros y amperímetros portátiles para trabajos de campo. Un tipo especial de amperímetro AC es el tipo pinza o *clamp-on*, el cual tiene una pinza móvil que se amordaza alrededor de cualquier alambre continuo que lleve una corriente AC. El medidor muestra entonces el número de amperios que fluyen en ese alambre. En la figura 18-46 se muestran los esquemas eléctricos básicos de un amperímetro análogo convencional y de uno de pinza.

Un amperímetro análogo convencional (figura 18-46-a) posee una o más resistencias de muy bajo valor en paralelo con el cuadro móvil. Estas resistencias, llamadas *shunts*, transfieren prácticamente todo el voltaje y la corriente disponibles a la carga, excepto una corriente y un voltaje muy pequeños que se utilizan para causar la deflexión de la aguja. Esta última es proporcional al

valor de la corriente principal. El valor de la resistencia de derivación (*shunt*) requerido para medir un intervalo de corriente determinada puede calcularse mediante la Ley de Ohm así:

$$R_s = V_M / I_s$$

siendo  $R_s$  la resistencia de derivación,  $V_M$  el voltaje a través del cuadro móvil e  $I_s$  la corriente a través de la derivación. Como ejemplo, supóngase que se desea adaptar el circuito de la figura 18-46-a para medir una corriente de 1A. Se sabe que la aguja del cuadro móvil se deflecta al máximo cuando a través de la bobina del mismo aparece una tensión de 3V y circula una corriente de 1mA ( $I_M$ ). Esto implica que la resistencia interna de la bobina del medidor ( $r_M$ ) es

$$r_M = V_M / I_M = 3V / 1mA = 3 \text{ k}\Omega$$

Puesto que la máxima corriente de entrada es 1A (1000mA) y debe derivarse 1 mA a través del cuadro móvil para causar la máxima deflexión de la aguja bajo esta condición, la corriente a través de la resistencia de derivación ( $R_s$ ) debe ser

$$I_s = I - I_M = 1000 \text{ mA} - 1 \text{ mA} = 999 \text{ mA}$$

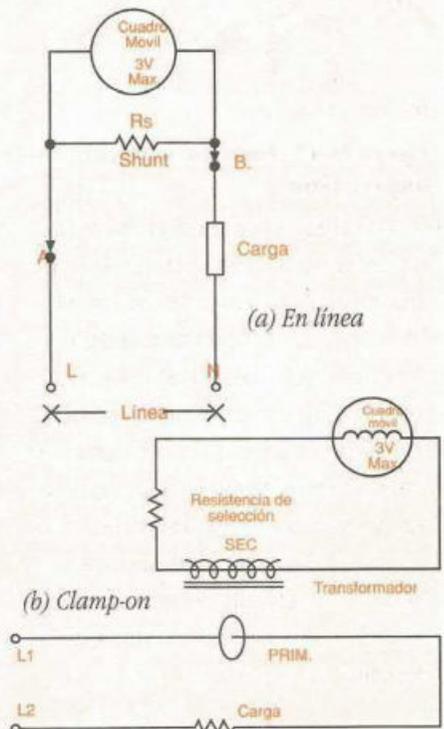
Por tanto, puesto que el voltaje a través del cuadro móvil ( $V_M$ ) es igual al voltaje a través de la resistencia shunt, el valor de esta última ( $R_s$ ) debe ser

$$R_s = V_M / I_s = 3V / 999mA \approx 3.003\Omega$$

Debido a que a través de esta resistencia debe circular prácticamente toda la corriente de la carga (1A), la misma debe estar en capacidad de disipar, como mínimo, 3W. Del mismo modo se procede para calcular el valor de la resistencia shunt correspondiente a cualquier otro rango. Estas resistencias son de precisión y se construyen, generalmente, de alambre devanado. Para valores muy pequeños, digamos  $0.15\Omega$ , puede utilizarse un alambre de dimensiones muy precisas.

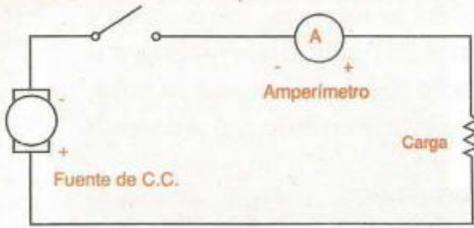
## Como utilizar el amperímetro

Puesto que un amperímetro mide la cantidad de electrones por segundo que fluyen a través de un circuito o una carga, éste debe conectarse en serie

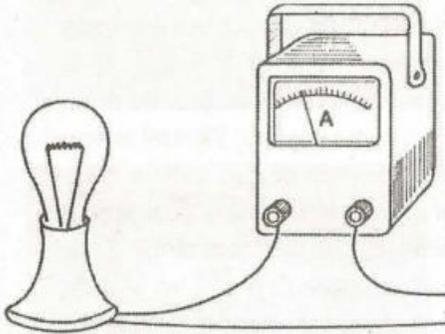


**Figura 18-46. Esquema eléctrico básico de un amperímetro**

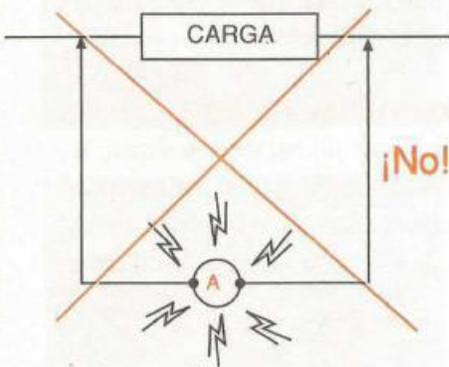
## Pruebas y mediciones eléctricas básicas



(a) Representación esquemática



(b) Representación pictórica



(c) Nunca haga esto

### Figura 18-47. Forma de conectar un amperímetro

con la carga o el circuito, como se ilustra en la figura 18-47. Tratándose de mediciones de corriente en circuitos DC con un multímetro análogo, se debe tener el cuidado de conectar el instrumento con la polaridad correcta. Esta precaución no es necesaria con amperímetros digitales o de aguja central, los cuales indican automáticamente cuál es la polaridad de la corriente. Nunca conecte un amperímetro en paralelo con una carga porque este se destruirá de inmediato.

Para finalizar, en la figura 18-48 se muestran dos ejemplos típicos de me-

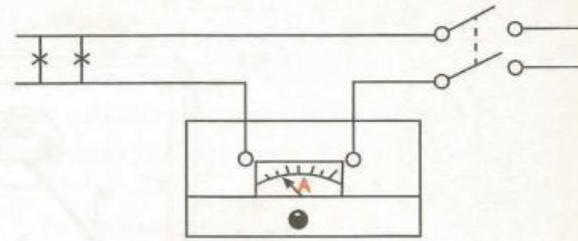
dición de corriente con un amperímetro. En (a), se utiliza un amperímetro AC para medir la corriente a través de una línea eléctrica y en (b) para medir la corriente a través de una carga, formada en este caso por dos lámparas en serie conectadas a un tomacorriente doméstico. En general, para medir una corriente a través de cualquier circuito eléctrico puede seguirse este procedimiento:

1. Configure el aparato a utilizar como amperímetro AC o DC según el caso, en la posición de trabajo recomendada por el fabricante y en un rango de corriente apropiado. Si desconoce la corriente a través del circuito a medir, escoja el rango de corriente más alto disponible.
2. Conecte el amperímetro en serie con el circuito bajo prueba, antes o después de la carga. Asegúrese que el circuito no tenga un voltaje aplicado.
3. Verifique las conexiones y aplique tensión al circuito, cerrando, por ejemplo, el interruptor principal o los breakers de protección.
4. Realice la lectura de frente al instrumento. Si es necesario, reduzca el rango hasta obtener una lectura en el segundo o tercer tercio de la escala graduada. En este último la lectura es más exacta.

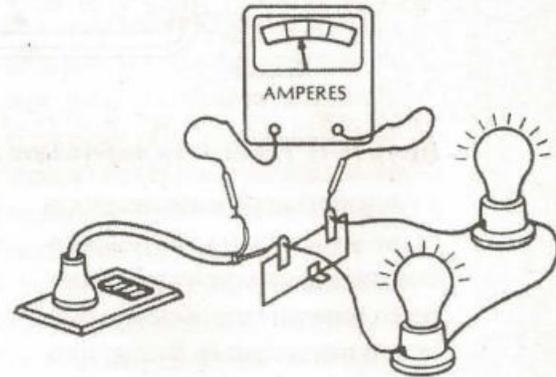
## Medidores de potencia.

### Vatímetros

En los circuitos eléctricos, la capacidad de la corriente eléctrica de realizar un trabajo se conoce como **potencia** (P) y se expresa en **watios** (W). La potencia consumida por una carga o suministrada por una fuente se puede medir indirectamente a partir de lecturas separadas de la corriente y el voltaje, o directamente utilizando un vatímetro. En la figura 18-49 se indican las partes y el principio de funcionamiento de un vatímetro.



(a) Medición de la corriente a través de un circuito



(b) Medición de la corriente consumida por una carga

Figura 18-48. Ejemplos típicos de medición de corriente

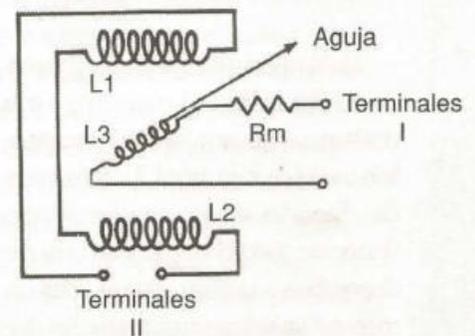


Figura 18-49. Partes y principio de funcionamiento de un vatímetro

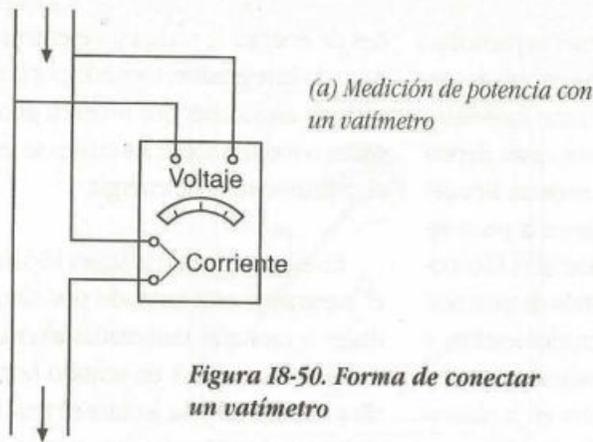
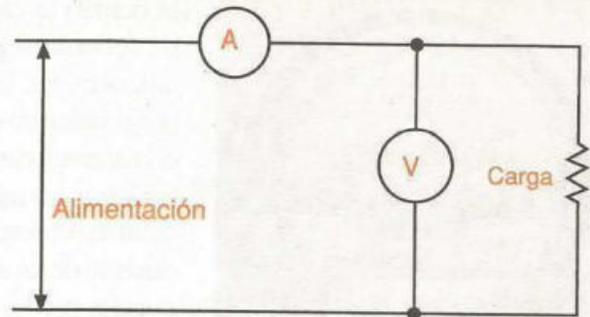


Figura 18-50. Forma de conectar un vatímetro



Los vatímetros hacen uso de bobinas fijas para medir corriente y de bobinas variables para medir voltaje. De esta forma, la deflexión de la aguja es proporcional a la potencia. Con un vatímetro se puede medir directamente tanto potencia DC como potencia AC. En el caso de la figura 18-49-b, las bobinas de corriente son L1 y L2, y están conectadas en serie con la carga, mientras que la bobina de voltaje es L3 y está conectada en paralelo con la carga. De esta forma, la corriente que circula por las bobinas fijas es proporcional a  $I$ , mientras que la corriente que circula por la bobina móvil es proporcional  $V$ .

Como resultado de lo anterior, la deflexión de la aguja es proporcional al producto  $VI$ , que es la potencia. Además, el producto  $VI$  en cada instante es el que produce la deflexión. Por ejemplo, si el valor de  $V$  es grande cuando el de  $I$  es pequeño, la deflexión de la aguja será mínima. Por consiguiente, la deflexión de la aguja es proporcional a la potencia real en vatios, sin importar el valor del factor de potencia del circuito.

### Como usar el vatímetro

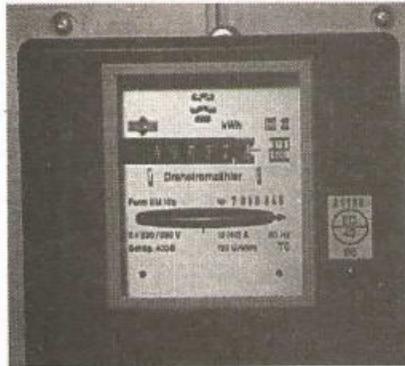
Un vatímetro es esencialmente la combinación de dos instrumentos: un amperímetro y un voltímetro. En la figura 18-50 se ilustran las formas de me-

Artefacto	Consumo (W)
Afeitadoras	8-12
Sistemas de aire acondicionado	800-6000
Cafeteras	500-1200
Calentadores de agua	800-5000
Cautines eléctricos	15-150
Compactadores de basura	1000-1500
Computadores personales	200-600
Congeladores estándares	600-900
Congeladores no-frost	800-1200
Estufas	4000 - 14000
Equipos de sonido	30-100
Grabadoras de video	40-70
Hornos eléctricos	1500 - 5000
Horno de microondas	1000 -1500
Lámparas fluorescentes	15-60 por tubo
Lámparas incandescentes	10 en adelante por bulbo
Lavadora de platos	1000-1500
Lavadoras de ropa	300-800
Máquinas de coser	60-150
Motores grandes (más de 1/2HP)	950-1000 por HP
Motores medianos (1/2HP)	450-600
Motores pequeños (1/4HP)	300-400
Planchas de ropa	600-1200
Proyectores de cine	300-500
Refrigeradores normales	600-900
Refrigerador no-frost	900-1200
Reproductores de CDs	10-25
Secadores de cabello	250-1200
Secadoras de ropa	4000-6000
Sierras circulares	1000-1500
Taladros portátiles	300-500
Televisores a color	50-300
Tostadoras	500-1200
Ventiladores	50-200

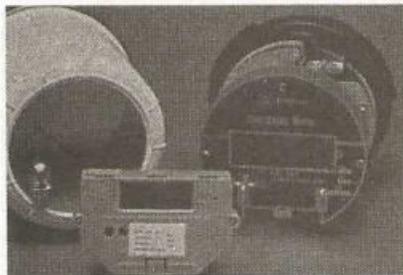
Figura 18-51. Consumo de potencia típico de aparatos eléctricos



(a) De dial tipo reddy



(b) De lectura directa



(c) Electrónico, polifásico

**Figura 18-52. Tipos de medidores de kilovatios-hora**

dir potencia en un circuito eléctrico directamente, utilizando un vatímetro (a), o indirectamente, utilizando un voltímetro y un amperímetro (b). En ambos casos, los terminales de medición de corriente (I) se conectan en serie con la carga o la línea y los de medición de voltaje (V) en paralelo con las mismas.

Para finalizar, en la tabla de la figura 18-51 se relaciona el consumo en vatios de varios aparatos eléctricos típicos. Este dato, que varía dependiendo del

fabricante y las características particulares de diseño, se puede corroborar con una vatímetro. Las lecturas facilitadas por el vatímetro en estos casos deben encontrarse todas dentro de un 10% del valor nominal reseñado en la placa indicadora del electrodoméstico. El conocimiento de los requisitos de potencia exigidos por los electrodomésticos y demás cargas de las instalaciones eléctricas es un aspecto clave en la planeación y cálculo de las mismas.

### Medidores de energía. Contadores de kWh

La potencia eléctrica consumida durante un determinado período se conoce como energía eléctrica y se expresa generalmente en kilovatios-hora (kWh). Para medir y registrar el consumo de energía eléctrica de una instalación se utiliza un instrumento llamado **contador de energía** o **medidor de kilovatios-hora**, el cual es generalmente instalado y atendido por la empresa local de energía eléctrica. El cobro de la energía consumida se hace sobre la base de la diferencia entre cada dos períodos de lectura y las tarifas vigentes. Por ejemplo, si la lectura actual es 2850 kWh y la lectura anterior fue 2340 kWh, entonces el consumo durante ese período es de **510 kWh** ( $=2850-2340$ ). Si la tarifa vigente del kilovatio-hora es de 10¢, el costo del consumo sería simplemente de \$51.

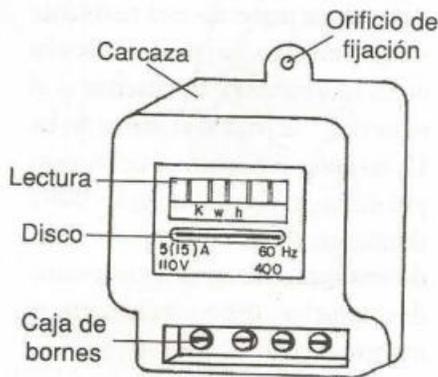
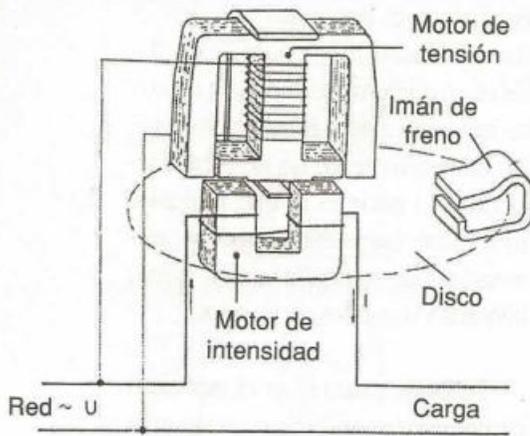
En la figura 18-52 se muestran algunos ejemplos de medidores de energía comúnmente empleados en las instalaciones eléctricas. Todos ellos utilizan un motor eléctrico al cual está acoplado un disco y cuya velocidad de rotación es proporcional a la tensión del sistema al que se conecta y a la intensidad de la corriente consumida por las cargas de la instalación. La traducción de las vueltas del disco a unida-

des de energía la realiza un elemento llamado **integrador**, formado por una serie de engranajes que mueven unos diales o rodillos sobre los cuales se lee el consumo total de energía.

En el contador de la figura 18-52-a, el integrador está formado por cinco diales o carátulas numeradas alternativamente del 0 al 9 en sentido horario y anti-horario. La lectura se realiza de izquierda a derecha, interpretando la posición de la aguja en cada dial. En el contador de la figura 18-52-b, el integrador está formado por seis rodillos numerados del 0 al 9, de los cuales los cinco primeros (de izquierda a derecha) representan cifras enteras de kWh y el sexto décimas de kWh. La lectura, en este caso, es directa. En el contador de la figura 18-52-c, el integrador es electrónico y la lectura se realiza directamente en una pantalla digital.

En la figura 18-53 se muestran la estructura externa y el principio de funcionamiento de un contador de energía típico. Consta básicamente de un mecanismo motor, un mecanismo integrador, una placa de bornes, una caja de protección y una placa de características. El mecanismo motor, a su vez, está formado por un motor de tensión, un motor de intensidad, un disco, unos cojinetes y un imán de freno.

El motor de tensión, como su nombre lo indica, detecta el voltaje aplicado al medidor. Está formado por un núcleo de chapas de hierro sobre el que se bobina un gran número de espiras aisladas, de hilo de cobre, con diámetros que oscilan entre 0.08 mm y 0.15 mm. El motor de intensidad, por su parte, detecta la corriente consumida por los receptores o cargas de la instalación. Está formado por un núcleo de chapas de hierro, en forma de



**Figura 18-53. Partes de un contador de energía**

U, en el que se enrolla una pequeña bobina de cobre aislado y cuya sección es proporcional a la intensidad nominal del contador.

El disco constituye el elemento móvil del sistema motor del contador. Está hecho de material metálico no magnético y de buena conductividad eléctrica, generalmente de aluminio, con un diámetro entre 80 y 100 mm y espesor de 1.2 mm. Va provisto de un eje perpendicular al plano de su superficie, en cuyos extremos se alojan los cojinetes superior e inferior. En la parte superior del eje se monta un tornillo sinfín, el cual transmite el movimiento al integrador. A su vez, el borde del disco va provisto de 400 ranuras para el ajuste estroboscópico que se produce en el giro del mismo.

Los cojinetes superior e inferior permiten que el giro del disco se realice con el menor rozamiento posible y con su eje completamente vertical. El cojinete superior está formado por una aguja de acero inoxidable fijada al tornillo soporte, la cual se inserta en el interior del tornillo sinfín, haciendo de guía. La regulación de la altura del cojinete se realiza por medio del tornillo de soporte, que se fija con una tuerca al bastidor.

El cojinete inferior, de forma piramidal, está formado por una bola de acero que gira libremente entre un zafiro engarzado en un soporte de material plástico, protegido todo por un manguito cilíndrico. En la parte inferior va provisto de un muelle de presión con la tapa de cierre, la cual se ajusta mediante una reducción practicada en el manguito cilíndrico; de este modo el muelle queda convenientemente tensado.

El imán de freno se compone de dos placas de alnico (aleación de aluminio, níquel y cobalto) que forman un imán permanente entre cuyos polos gira el disco. Como el disco es de material conductor, éste corta las líneas de fuerza del campo magnético y, simultáneamente, produce corrientes que se oponen al giro del mismo. Para modificar la velocidad de giro del disco basta con variar la posición del imán respecto al mismo, ya que el par o torque de frenado es proporcional a la velocidad del disco y al campo magnético.

El integrador, como se mencionó anteriormente, es el elemento encargado de traducir las vueltas del disco a unidades de energía. En el caso del contador de la figura 18-53 lo forman dos tambores o rodillos

plásticos, de 18.5 mm de diámetro, alojados en ejes móviles de acero inoxidable de 0.6 mm de diámetro. El funcionamiento del integrador comienza en el tornillo sinfín. Una vuelta completa de este último corresponde a una vuelta completa del disco y hace avanzar un diente la rueda que se engrana con el.

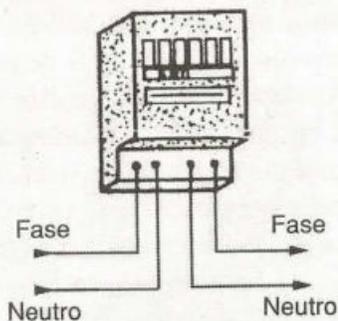
El número de vueltas o revoluciones que realiza el disco de un contador hasta que se ha consumido un kilovatio-hora se denomina **constante del integrador**. Una cifra habitual es, por ejemplo, 120 u/kWh. Este dato viene grabado en la placa de características del equipo. Para medir la potencia consumida se cuentan las revoluciones del contador durante un minuto y se efectúa el siguiente cálculo:

$$\text{Potencia (P)} = (\text{RPM/K}) \times 60 = (\text{Número de revoluciones por minuto} / \text{Constante del contador}) \times 60$$

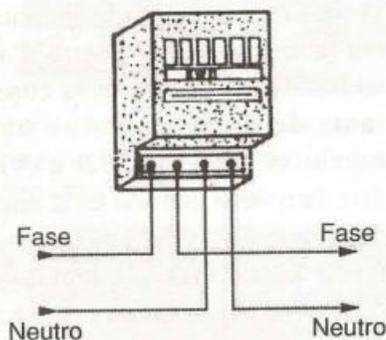
Por ejemplo, si para una carga dada se cuentan dos vueltas en un minuto y la constante del contador es 120 u/kWh, la potencia consumida por la misma es simplemente

$$P = (2/120) \times 60 = 1.0 \text{ kW}$$

Naturalmente, antes de medir la potencia con el contador hay que desconectar los demás consumidores unidos a él. Además de la constante del integrador, la placa de características de un contador incluye otros datos como la marca del fabricante, el tipo, el número de fases y de conductores del circuito al que se puede conectar, el año de fabricación, la corriente, el voltaje y la frecuencia nominales, la clase de protección, etc.



(a) Método 1 (Puente común lateral)



(b) Método 2 (Puente común lateral)

Figura 18-54. Forma de conectar un medidor de energía

### Características de los contadores

Los contadores utilizados para registrar el consumo de energía eléctrica tienen que cumplir condiciones muy estrictas referentes a construcción, precisión, estabilidad mecánica, facilidad de ajuste y rapidez de montaje; todas ellas reguladas por los reglamentos eléctricos locales. Al mismo tiempo deben poseer, entre otras, las siguientes propiedades:

- ✓ Dimensiones según la norma americana DIN 43857
- ✓ Envoltorio de material aislante
- ✓ Alta seguridad de contacto
- ✓ Rozamiento despreciable
- ✓ Elevada rigidez eléctrica
- ✓ Intensidad constante del campo del imán de frenado
- ✓ Facilidad de ajuste
- ✓ Insensibilidad al transporte

- ✓ Alta estabilidad mecánica
- ✓ Sistema de medida exento de tensiones mecánicas
- ✓ Alta resistencia a los cortocircuitos
- ✓ Reducido calentamiento propio
- ✓ Alta capacidad de sobrecarga térmica
- ✓ Espacio disponible, por sí se precisa totalizador de doble tarifa

### Cómo utilizar los contadores de energía

En la figura 18-54 se indican dos formas comunes de conectar un contador de energía eléctrica monofásico sencillo para registrar el consumo en kWh de un abonado. En ambos casos, el conductor de fase que viene de la acometida se conecta al primer borne de la izquierda del contador y el neutro al borne o puente común. Los conductores de fase y neutro que van al panel de servicio se derivan de los bornes restantes. Esta conexión la realiza generalmente la compañía local de electricidad. Note que en (a), el puente común está entre los dos bornes centrales y en (b) entre los dos últimos bornes de la derecha.

Algunos medidores de kilovatios-hora son más difíciles de leer que otros. Los de dial tipo ciclómetro despliegan directamente la lectura en una carátula numérica. En un medidor *reddy* los diales están numerados, alternativamente, en sentido horario y en sentido anti-horario. Con el fin de determinar qué tanta potencia ha sido consumida durante un período dado de tiempo, digamos un mes, los diales deben ser leídos al comienzo y al final de ese intervalo de tiempo. La lectura obtenida al comienzo se resta de la final para obtener los kilovatios-horas utilizados durante ese lapso.

En la figura 18-55 se muestran varios ejemplos de lectura de kilovatios hora

en contadores tipo *reddy*. Aunque el dato resultante de la lectura de los diales es un número ordinario con dígitos de izquierda a derecha, es mejor leerlos individualmente de derecha a izquierda. La razón es simple: cualquier trío de diales adyacentes puede ser asemejado a las manecillas de las horas, minutos y segundos de un reloj.

En otras palabras, si el minuterero parece estar apuntando directamente a un número, la única forma de determinar si esa manecilla está realmente sobre el número, ha pasado sobre él o no lo ha alcanzado, es observar si el segundero ha pasado la marca de las 12. Lo mismo se aplica con el horario y el minuterero de reloj y con los diales de un contador *reddy*. Asimismo, cuando una manecilla se encuentre entre dos números, debe considerarse el número menor.

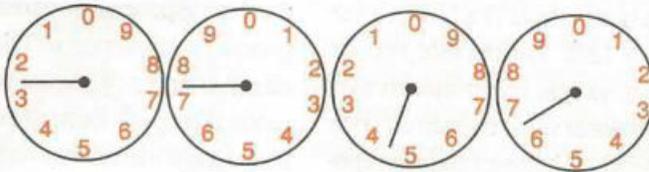
Para leer el medidor de la figura 18-55-a, empiece con la carátula de la derecha. En este caso, el puntero se encuentra entre 6 y 7. Por tanto se lee como 6. En la segunda carátula de la derecha, el puntero está entre 4 y 5. Por tanto, se lee como 4. En la tercera carátula, el puntero está entre 9 y 0 (10). Por tanto se lee como 9. En la cuarta carátula, el puntero está sobre 4, pero como la en la tercera carátula la manecilla no ha pasado de 0, debe leerse como 3. Como resultado de estas indicaciones, la lectura indicada por el medidor es 3946 kWh.

En el medidor de la figura 18-55-b, la manecilla de la primera carátula de la derecha está entre 6 y 7 (lectura=6), la de la segunda entre 4 y 5 (lectura=4), la de la tercera entre 7 y 8 (lectura=7) y la de la cuarta entre 2 y 3 (lectura=2). Por tanto, la lectura total indicada por el medidor es 2746 kWh.

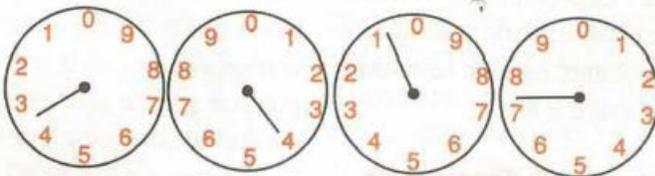
Esta misma lectura se habría podido obtener fácilmente leyendo los diales de izquierda a derecha, pero no es el caso general.



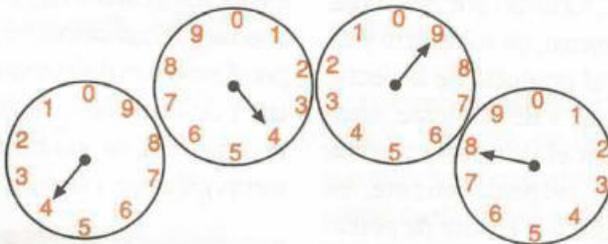
(a) 3496 kWh



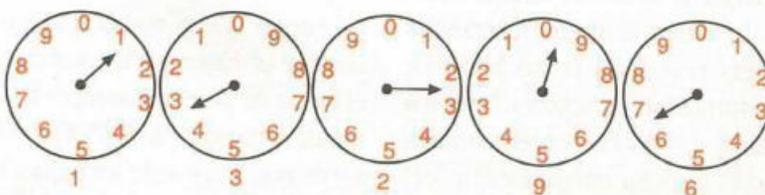
(b) 2746 kWh



(c) 3407 kWh



(d) 4387 kWh



(e) 13296 kWh

En el medidor de la figura 18-55-c, la manecilla de la primera carátula de la derecha está entre 7 y 8 (lectura=7), la de la segunda entre 0 y 1 (lectura=0), la de la tercera sobre 4 (lectura=4) y la de la cuarta entre 3 y 4 (lectura=3). Por tanto, la lectura final es **3407 kWh**. Note que, en el caso de la tercera carátula, la lectura del dial es 4 porque el puntero de la misma está sobre 4 y el de la carátula anterior acaba de pasar justamente por cero.

En el medidor de la figura 18-55-d, la manecilla de la primera carátula de la derecha ha pasado por 7 y está llegando a 8 (lectura=7), la de la segunda ha pasado por 8 y está llegando a 9 (lectura=8), la de la tercera ha pasado por 3 y está llegando a 4 (lectura=3) y la de la cuarta acaba de pasar justamente por 4 (lectura=4). Por tanto, la lectura total es **4387 kWh**.

En el medidor de la figura 18-55-e, la manecilla de la primera carátula de la derecha está entre 6 y 7 (lectura=6), la de la segunda entre 9 y 0 (lectura=9), la de la tercera entre 2 y 3 (lectura=2), la de la cuarta entre 3 y 4 (lectura=3) y la de la quinta entre 1 y 2 (lectura=1). Por tanto, la lectura total es **13296 kWh**.

En muchos sistemas, donde se consume gran potencia, el medidor tiene un factor de multiplicador marcado en la carátula tal como "x10" o "x100". En estos casos, la lectura obtenida de los diales del contador debe ser multiplicada por el multiplicador especificado para determinar la cantidad real de kilovatios hora consumidos.

Figura 18-55. Ejemplos de lectura

## Pruebas y mediciones eléctricas básicas

### Como determinar los costos de operación de equipos eléctricos

Conociendo el consumo en vatios de un aparato y el costo del kilovatio-hora de electricidad, se puede calcular cuánto cuesta operar cada hora dicho aparato. Dos métodos pueden ser utilizados para determinar el costo por hora de operar una carga específica: el método convencional y el método abreviado. Para ilustrar ambos métodos, consideremos una plancha de 1,000 W y una rata eléctrica de 8 centavos de dólar por kilovatio.

**Método convencional.** Divida la potencia en vatios del artefacto entre 1,000 para convertirla en kilovatios y multiplique el resultado por el costo de un kilovatio-hora para saber lo que cuesta operar el artefacto durante una hora. En nuestro caso:

$$\begin{aligned} 1000\text{W}/1000 &= 1\text{kW} \\ 1\text{kW} \times 8\text{¢}/\text{kW} &= 8\text{¢} = \$0.08 \end{aligned}$$

**Método abreviado.** Multiplique la potencia de la carga en vatios por el costo del kilovatio hora y mueva el punto decimal del resultado tres lugares a la izquierda para conocer el costo de operar el artefacto durante una hora. En nuestro caso:

$$\begin{aligned} 1000\text{W} \times 8\text{¢}/\text{kW} &= 8000\text{W¢}/\text{kW} = \\ 8.000\text{¢} &= \$0.08 \end{aligned}$$

Similarmente, el costo por hora de una lámpara de 40W a una tarifa de 6¢/kW es  $40 \times 6 / 1000 = 0.24\text{¢} = \$0.0024$ , y el de un horno de 5000W a una tarifa de 5¢/kW es  $5000 \times 5 / 1000 = 25\text{¢}$ . Asimismo, para determinar el número de horas que cualquier carga puede ser operada para consumir exactamente 1kWh, simplemente divida 1000 por el número de vatios estampados en la carga. Esto mostrará que una carga de 1000W pue-

de ser operada durante una hora, una de 50W durante 20 horas, una de 2000W durante 1/2 hora, etc. Conviene saber esto porque la compañía suministradora de electricidad puede enviarle un recibo por una cantidad superior a la que usted ha estado utilizando.

Hablando de costos, recuerde que hay bombillos eléctricos manufacturados para operar de 125V a 130V, en vez de 110V a 120V. Prefiera este tipo de bombillos, ya que duran mucho más que los estándar y sólo cuestan un poco más. Además, la luz que producen apenas es perceptiblemente menor. Esta es una buena manera de ahorrar energía, especialmente si existen muchos focos en la casa y estos permanecen muchas horas encendidos debido a que algunos de sus habitantes estudian hasta tarde u olvidan apagar la luz.

### Medidores de FP. Concepto de factor de potencia

Un aspecto muy importante relacionado con los circuitos de corriente alterna es el de la potencia. En un circuito DC formado por una carga, un amperímetro, un voltímetro y un vatímetro, el producto de las lecturas de voltaje y de corriente suministradas por el voltímetro y el amperímetro, respectivamente, es siempre igual a la lectura de potencia suministrada por el vatímetro. Lo mismo sucede en un circuito AC si la carga es puramente resistiva. Sin embargo, la situación cambia cuando el circuito contiene reactancias (cargas reactivas) como bobinas, transformadores, motores, balastos de lámparas fluorescentes, condensadores, etc. En estos casos, la lectura del vatímetro es siempre menor que el producto de los voltios por los amperios debido a que la corriente y el voltaje no están en fase.

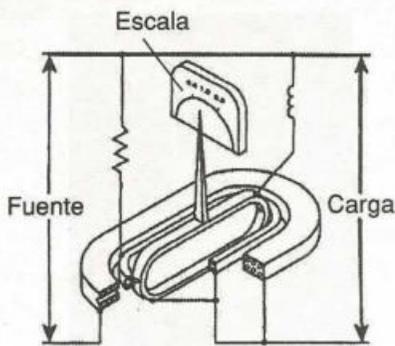
Prácticamente todos los circuitos AC tienen alguna reactancia, pero en instalaciones residenciales y rurales ésta es tan baja que puede ser ignorada (como lo hemos hecho hasta ahora). No obstante, en instalaciones comerciales e industriales, las reactancias involucradas son relativamente altas y, por lo mismo, deben ser tenidas en cuenta. En estos casos, el producto del voltaje por la corriente recibe el nombre de **potencia aparente** y se expresa en voltio-amperios (VA). La potencia real, en vatios (W), se obtiene multiplicando la potencia aparente por un parámetro propio del circuito o la carga denominado **factor de potencia** (FP) o  $\cos \phi$  (léase "coseno de  $\phi$ ").

En otras palabras, el factor de potencia de un circuito o una carga de corriente alterna es la relación de la potencia real a la potencia aparente y depende de la diferencia de fase entre la corriente y el voltaje. El factor de potencia de un circuito puede obtenerse tomando simultáneamente lecturas de corriente, voltaje y potencia con un amperímetro, un voltímetro y un vatímetro, respectivamente, y dividiendo la lectura del vatímetro (potencia real) por el producto de las lecturas de voltaje y de corriente (potencia aparente) obtenidas, en su orden, del voltímetro y el amperímetro. Esto es:

#### FACTOR DE POTENCIA

$$PF = \frac{P_{\text{real}} (\text{W})}{P_{\text{aparente}} (\text{VA})}$$

Puesto que la potencia aparente siempre es mayor que la potencia real, el factor de potencia siempre es menor de 1, digamos 0.75 (75%). Un factor de potencia puede ser **bajo** si está entre 0.7 y 0.6 (70% al 60%) o menos, normal o **promedio** cuando está entre 0.9 y 0.8 (80% al 90%) y **alto** cuando está por encima del 90%.



**Figura 18-56. Estructura interna de un medidor de factor de potencia**

Si las mediciones muestran que la potencia aparente es igual a la potencia real, se dice que la carga tiene un factor de potencia de 1.0 (100%). Las cargas de este tipo incluyen lámparas incandescentes, electrodomésticos basados en resistencias calefactoras (estufas, planchas, cafeteras, etc.) y, en general, cualquier equipo eléctrico que no incluya devanados o bobinas de alambre. En el caso de motores, el factor de potencia mejora (se acerca al 100%) a medida que aumenta la potencia. Un motor de 1/4-hp, por ejemplo, puede tener un PF del 50%, mientras que en uno de 25 hp puede llegar a ser superior al 90%.

### Cosenofímetros o medidores de factor de potencia

Como se deduce de la explicación anterior, usted puede medir el factor de potencia de un circuito utilizando un voltímetro, un amperímetro y un vatímetro. Como ejemplo, asuma que se tiene un motor monofásico conectado a un circuito de 120V que consume una corriente de 5A, como lo indica el amperímetro, y una potencia de 360W, indicada por el vatímetro. En este caso, el factor de potencia es simplemente

$$PF = 360 / (5 \times 120) = 0.60 \text{ (60\%)}$$

Una forma más rápida y efectiva de medir el factor de potencia es uti-

lizando un instrumento llamado **cosenofímetro**, el cual indica directamente, en una sola operación, el valor de este parámetro. En la figura 18-56 se ilustra como ejemplo el principio de funcionamiento de un cosenofímetro monofásico. En este caso, cuando el desfase entre la corriente y el voltaje es de  $0^\circ$ , correspondiente a un factor de potencia de 1.0 o 100%, no hay torque sobre la bobina móvil y el puntero descansa en el centro de la escala. Dependiendo de si la corriente está adelantada o atrasada con respecto al voltaje cuando el factor de potencia es menor de la unidad, el puntero se desplaza hacia la izquierda o hacia la derecha de la escala, indicando directamente el valor del factor de potencia.

También se dispone de medidores de factor de potencia trifásicos, muy comunes en instalaciones industriales. Puesto que la mayoría de establecimientos industriales son penalizados económicamente si el factor de potencia cae por debajo del 90%, las industrias tratan de mantener un alto factor de potencia todo el tiempo. Un cosenofímetro indicará continuamente el factor de potencia de modo que esa corrección pueda hacerse de inmediato, si es necesario.

Las compañías de electricidad que suministran potencia eléctrica a abonados industriales instalan usualmente dos medidores, uno para medir kilovatios hora **activos** y otro para medir kilovatios hora **reactivos**. Ambos equipos se proporcionan con unos accesorios de temporización de 15 minutos. Estos aditamentos registran la demanda en kilovatios (kW) y kilovoltioamperios reactivos (kVAr) de cada medidor si se sostiene por un período de más de 15 minutos en cual-

quier momento. Si el medidor de factor de potencia en el tablero de conmutación industrial muestra que el factor de potencia está por debajo de la marca del 90%, se puede hacer un intento para corregirlo de una vez para impedir la penalización. Otras razones para tratar de mantener un factor de potencia cercano a la unidad son:

- La reducción de la corriente reactiva proporciona más capacidad de corriente útil en las acometidas, los alimentadores y los sub-alimentadores.
- Un alto factor de potencia proporciona mejor regulación de voltaje y estabilidad.

### Otros instrumentos de prueba y medida

Hasta el momento hemos aprendido a conocer como funcionan, se utilizan e, incluso, se construyen algunos de los principales instrumentos de prueba y medida utilizados en el trabajo práctico con instalaciones eléctricas. Entre los equipos estudiados figuran los siguientes:

- Probadores de continuidad
- Lámparas de prueba
- Probadores de voltaje
- Comprobadores de tomacorrientes
- Probadores y medidores de resistencia de aislamiento (meggers)
- Multímetros analógicos y digitales
- Pinzas voltioamperimétricas
- Medidores de resistencia (óhmetros)
- Medidores de voltaje (voltímetros)
- Medidores de corriente (amperímetros)
- Medidores de potencia (vatímetros)
- Medidores de energía (contadores de kWh)
- Medidores de factor de potencia (cosenofímetros)

## Pruebas y mediciones eléctricas básicas



(a) Con indicación visual



(b) Con indicación audible y visual

**Figura 18-57. Detectores de voltaje inductivos**



**Figura 18-58. Detector de tuberías metálicas y alambres vivos**

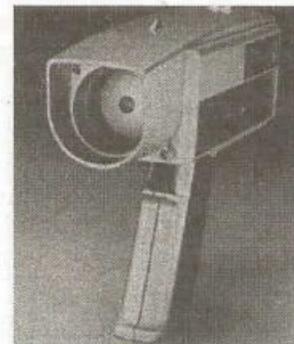
Estos equipos constituyen el arsenal básico requerido para solucionar la mayor parte de los problemas que se presentan durante la prueba, reparación, diagnóstico y alineamiento de sistemas eléctricos de todo tipo, incluyendo instalaciones eléctricas, electrodomésticos, motores, transformadores, generadores, etc. Otros equipos empleados son:

- Detectores de voltaje inductivos o de no contacto
- Detectores de tuberías metálicas
- Detectores de alambres vivos
- Termómetros infrarrojos o de no contacto
- Localizadores de cables y alambres
- Medidores de luz
- Simuladores de cargas
- Puntas de prueba magnéticas
- Detectores de fugas
- Medidores de secuencia de fases

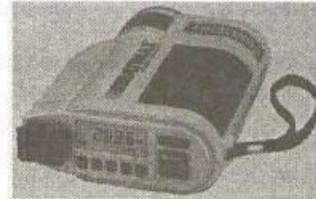
Los **detectores de voltaje inductivos**, como su nombre lo indica, se utilizan para detectar la presencia de voltaje AC en interruptores, tomacorrientes y líneas eléctricas aisladas por inducción, es decir, sin contacto físico del instrumento con el sistema bajo prueba. Usted simplemente coloca el instrumento en las vecindades del elemento bajo prueba y el mismo captará por inducción la presencia de voltaje en esa área. La señalización la realiza generalmente un indicador audible (zumbador, parlante) o visual (lámpara, LED). En la figura 18-57 se muestran dos ejemplos de detectores de voltaje de este tipo.

El detector de voltaje de la figura 18-57-a puede detectar sin contacto voltajes desde 100 hasta 500 VAC y el de la figura 18-57-b voltajes desde 100 hasta 500 VAC. En el primer caso, la presencia de voltaje la indica un diodo emisor de luz (LED), mientras que en el segundo existe la posibilidad de elegir entre indicación visual (LED) o sonora (zumbador). Ambos equipos operan con baterías incorporadas.

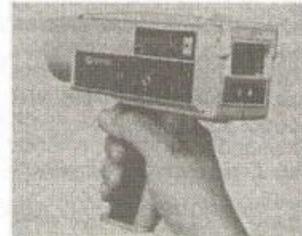
Los **detectores de tuberías metálicas**, como el mostrado en la figura 18-58, pueden localizar, sin contac-



(a)



(b)



(c)

**Figura 18-59. Termómetros de no contacto (infrarrojos)**

to físico, objetos metálicos y conductores vivos que corren detrás de paredes y paneles de concreto, yeso, mampostería, madera y otros materiales secos no conductores de la electricidad. La señalización de la presencia de estos objetos la realizan indicadores visuales y/o audibles incorporados en el instrumento.

Con un detector como el anterior se puede conocer el recorrido exacto que lleva una instalación eléctrica dentro de los muros de una vivienda y prevenir accidentes eléctricos originados cuando se realizan perforaciones o regatas “a ciegas”, desconociendo que justamente por el punto elegido pasa una instalación eléctrica. En ocasiones, este tipo de imprudencias pueden cau-

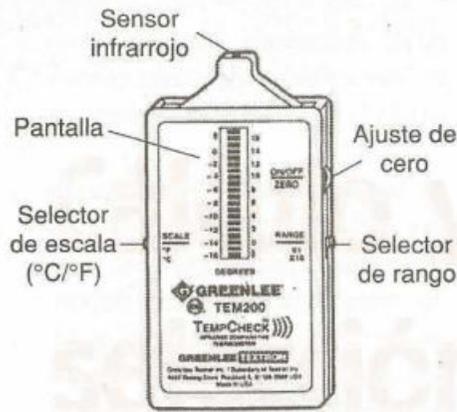


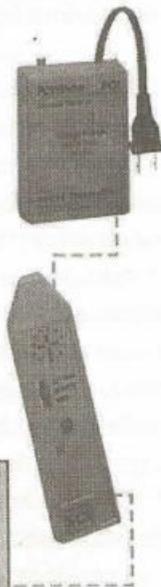
Figura 18-60. Partes de un termómetro infrarrojo



(a)



(b)



(c)



Figura 18-61. Localizadores de cables y alambres

sar cortocircuitos, incendios y/o lesiones personales serias.

Los **termómetros infrarrojos** o **de no contacto** se utilizan para medir el calor generado en paneles eléctricos con el fin de determinar si la temperatura interna está dentro de las especificaciones preestablecidas. Estos instrumentos se utilizan principalmente para detectar breakers, interruptores y transformadores calientes. También pueden ser empleados para probar y localizar fallas en los rodamientos de motores, fugas de vapor, componentes electrónicos defectuosos, fugas de calor y de frío, aislamiento defectuoso de paredes y techos, temperaturas anormales, y otras aplicaciones.

Los termómetros infrarrojos vienen en una gran variedad de presentaciones y se especifican para varios rangos de temperatura. En la figura 18-59 se muestran algunos ejemplos. El termómetro de la figura 18-59-a se opera con una sola mano y tiene un rango de medición desde  $-50^{\circ}\text{F}$  hasta  $2500^{\circ}\text{F}$ . El termómetro de escritorio de la figura 18-59-b se utiliza para medir temperaturas de superficies y tiene dos rangos:  $-50^{\circ}\text{F}$  a  $1830^{\circ}\text{F}$ , y  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $1000^{\circ}\text{C}$ . El termómetro de la figura 18-59-c tiene un rango similar al primero y puede medir la temperatura de superficies calientes hasta de 30 cm de diámetro desde una distancia de 5 metros.

En la figura 18-60 se muestran las partes externas típicas de un termómetro infrarrojo. Consta básicamente de una pantalla de lectura, un selector de escala, un selector de rango, un ajuste de cero y un sensor infrarrojo. Una vez ajustada la unidad a una temperatura de referencia, el sensor infrarrojo detecta instantáneamente la temperatura de la superficie elegida, sin necesidad de un

contacto, y transfiere esa información a un circuito de procesamiento electrónico encargado de presentar la lectura final al usuario.

Los **localizadores de alambres y cables**, como su nombre lo indica, se utilizan para localizar conductores encerrados u ocultos dentro de paredes o que discurren por debajo del suelo (subterráneos). Algunos pueden determinar también posibles fallas de tierra, probar la condición de interruptores diferenciales (GFCIs), indicar cortocircuitos, circuitos abiertos y errores de alambrado, identificar individualmente muchos alambres y otras condiciones. En la figura 18-61 se muestran algunos ejemplos de localizadores de cables de uso común en sistemas eléctricos.

El sistema de la figura 18-61-a, por ejemplo, localiza, traza y determina la profundidad de cables y tuberías subterráneas largas. Puede trazar audiblemente el recorrido de conductores eléctricos, localizar líneas de potencia de 50 o 60Hz y rastrear líneas telefónicas, de CATV (televisión por cable) y otros servicios de telecomunicaciones.

El sistema de la figura 18-61-b, por su parte, es una unidad portátil operada por baterías que traza audiblemente el trayecto de alambres subterráneos o escondidos detrás de muros. Puede identificar el breaker asociado a una salida específica, identificar fases y localizar tomacorrientes ocultos. Además trabaja sobre circuitos energizados o desenergizados.

Finalmente, el sistema de la figura 18-61-c, conocido popularmente como *Pathfinder*<sup>™</sup>, traza y localiza *breakers*, neutros y tierras, circuitos muertos,

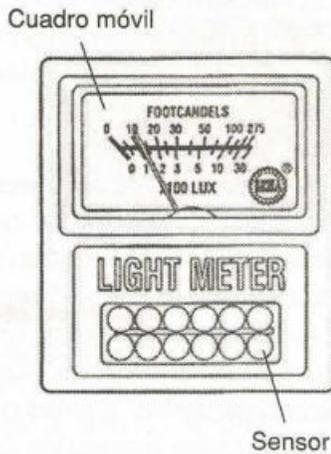


Figura 18-62. Medidor de luz

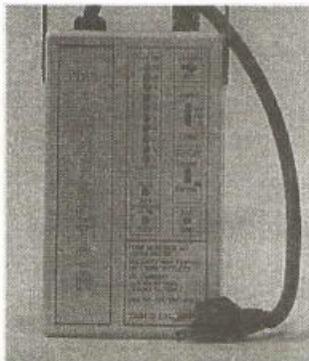


Figura 18-63. Simulador de cargas



Figura 18-64. Punta de prueba magnética



Figura 18-65. Detector de fugas

cortos a tierra, conduit metálico y cable Romex, cables coaxiales de computador, alambres subterráneos, etc. Consta de un módulo transmisor que se enchufa a la salida de interés y un módulo receptor separado que realiza la señalización.

Los **medidores de luz**, también llamados **fotómetros**, se utilizan principalmente en iluminación para realizar pruebas y mediciones de la eficiencia lumínica de lámparas y luminarias. En la figura 18-62 se muestra el aspecto externo típico de un medidor portátil de este tipo. Consta básicamente de un sensor o arreglo de fotoceldas y un instrumento de bobina móvil, y es capaz de leer intensidades de luz desde 1 hasta 500 ft-cd (pies-candela) o más.

Para utilizar un instrumento como el anterior, retire primero la cubierta. Sostenga el medidor en una posición tal que el sensor quede de cara a la fuente de luz y al nivel del plano de trabajo donde se requiere medir la iluminación y evitando que la sombra de su cuerpo incida sobre el sensor durante la prueba. La lectura se toma directamente de la escala del medidor. Realice pruebas en varios puntos del recinto o área sometida a estudio para obtener el nivel promedio de iluminación del mismo.

Los **simuladores de cargas**, como el mostrado en la figura 18-63, son equipos que se conectan a tomacorrientes monofásicos con o sin tierra y simulan las cargas máximas que los mismos deben ser capaces de alimentar. En otras palabras, un simulador de cargas conectado a un tomacorriente de 10, 15 o 20 A extraerá efectivamente esa corriente de dicha salida e indicará la caída de voltaje que se presenta en la línea como consecuen-

cia de tal demanda. Además prueban el funcionamiento de tomacorrientes GFCI y la polaridad del alambrado.

Las **puntas de prueba magnéticas**, como la mostrada en la figura 18-64, se utilizan para probar relés, bobinas, transformadores y otros dispositivos electromagnéticos, tanto de corriente alterna (AC) como de corriente continua (DC). Simplemente se coloca la punta magnética en las vecindades del elemento a probar y ésta detectará el campo magnético generado por el mismo, indicando mediante un LED o un zumbador si el dispositivo está energizado o no.

Los **detectores de fugas**, como el mostrado en la figura 18-65, detectan concentraciones de gas tan bajas como 1 ppm (partes por millón), previniendo explosiones originadas por chispas o arcos eléctricos en instalaciones industriales. Poseen un medidor análogo o digital que muestra los resultados de la medición incluso en ambientes ruidosos, proporcionando una indicación del tamaño de la fuga.

Finalmente, los **indicadores de secuencia** de fases son instrumentos que se utilizan en conjunción con cualquier multímetro, análogo o digital, con capacidad para medir voltajes AC. La mayoría pueden ser utilizados en circuitos trifásicos que trabajan con voltajes de línea hasta de 550 VAC, previendo obviamente que el voltímetro empleado con el indicador tenga un rango suficiente para medir este voltaje. Constan de dos cables de salida, generalmente negros, que se conectan a la entrada del voltímetro y tres cables de entrada, uno rojo, uno amarillo y uno negro, que se conectan al circuito trifásico bajo prueba. 🚫

## 8

## Capítulo

# Cálculo y selección de conductores eléctricos

*En el diseño de instalaciones eléctricas, una de las tareas más importantes, repetitivas y decisivas es el cálculo y la selección de los conductores que suministrarán energía eléctrica a las cargas conectadas a la misma. De la precisión con la que se realicen el cálculo y la selección de los conductores depende, en buena medida, la seguridad y el buen funcionamiento de la instalación, así como el costo de la inversión inicial y de los gastos de operación y mantenimiento.*

*En este capítulo se analizan a grandes rasgos los principales criterios que deben tenerse en cuenta al calcular y seleccionar conductores para instalaciones eléctricas de baja tensión. Se tratan aspectos como la determinación de la ampacidad, el cálculo de las caídas de voltaje, etc. Al final se incluyen varios ejemplos prácticos que aclaran el uso de las tablas, fórmulas y demás ayudas de diseño proporcionadas.*

## Generalidades

Los conductores, como sabemos, se utilizan para conducir potencia eléctrica (voltaje y corriente) desde los puntos de generación hasta los puntos de utilización. En las instalaciones eléctricas se utilizan normalmente como conductores alambres de cobre o aluminio. La selección de estos materiales se debe principalmente a su gran conductividad eléctrica y a su bajo costo. Otras formas de conductores empleados con cierta frecuencia en las instalaciones eléctricas son los cables, los cordones, las barras colectoras y los electroductos. En este capítulo nos referiremos exclusivamente a los alambres de cobre.

En los capítulos previos de este curso hemos visto que todo conductor tiene una resistencia eléctrica finita (distinta de  $0\Omega$ ). Esta resistencia limita la cantidad de corriente que puede transportar el conductor y causa una caída de voltaje. Para cualquier instalación, usted debe seleccionar los tamaños o calibres de los conductores de modo que limiten las caídas de voltaje a valores razonables y cumplan con los requisitos necesarios para lograr un sistema confiable y económico.

- Generalidades
- Definición de calibres
- Criterios de selección y cálculo
- Cálculo de conductores por caídas de voltaje
- Cálculo de tuberías y ductos
- Cálculo de alimentadores
- Ejemplos de cálculo

Al fluir a través de un conductor, la corriente eléctrica causa calentamiento por efecto Joule. Este calentamiento o disipación de potencia es proporcional al cuadrado de la corriente. Puesto que este calentamiento se transfiere al aislante que recubre el conductor, hay un límite al grado de calor que cada tipo de aislamiento puede soportar en forma segura. Este límite lo fija principalmente la **ampacidad**, es decir la máxima cantidad de corriente que un conductor dado puede transportar en forma segura, sin sobrecalentarse ni causar una excesiva caída de voltaje.

La ampacidad depende principalmente del diámetro y el material del conductor, el tipo de aislamiento, la longitud del circuito, el número de conductores por conduit y la tempe-

## Cálculo y selección de conductores eléctricos

Cal AWG o KCM	Selección del cobre		Diam. del conduc mm
	KCM	mm <sup>2</sup>	
14	4.107	2.08	3.43
12	6.530	3.31	3.91
10	10.38	5.26	4.52
8	16.51	8.37	6.10
6	26.50	13.30	7.82
4	41.74	21.15	9.04
2	66.37	33.63	10.57
1/0	105.5	53.48	13.44
2/0	133.1	67.43	14.61
3/0	167.8	85.05	15.90
4/0	211.6	107.2	17.37
250	250	126.7	19.38
300	300	152.2	20.78
350	350	177.6	22.07
400	400	202.6	23.27
500	500	253.1	25.43
600	600	303.7	28.22
750	750	379.3	30.89
1000	1000	506.7	34.80

Figura I9-1. Dimensiones de conductores eléctricos desnudos

ratura ambiente. Los códigos eléctricos siempre especifican la amperidad para alambres de diferentes tamaños, con distintos tipos de aislamiento y bajo variadas condiciones de trabajo.

### Definición de los calibres de los conductores

Como vimos en el capítulo 5 de este curso, los alambres se designan generalmente por su calibre AWG (*American Wire Gauge*), un número que especifica el diámetro del conductor desnudo y, por tanto, su área transversal. Con el fin de discutir inteligentemente los diferentes tamaños de alambres utilizados en las instalaciones eléctricas, es conveniente comprender el esquema utilizado para numerar estos tamaños.

En el sistema AWG, los diámetros de los conductores se designan en milésimas de pulgadas o **mils** y las

áreas transversales en **circular mils** o **mils cuadrados**. Un circular mil (abreviadamente c.m. o cmil) equivale al área de un círculo de un mil de diámetro, es decir  $7.854 \times 10^{-7} \text{ in}^2$  ( $5.067 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$ ), y un mil cuadrado ( $\text{mil}^2$ ) a 1.2732 cmil. Recuerde que el área de un círculo está dada por la fórmula

$$A = \pi r^2 = (\pi/4)d^2$$

siendo  $\pi = 3.1416$  una constante matemática,  $r$  el radio y  $d$  el diámetro. Así, un alambre de 1 mil (0.001") de diámetro tiene un área transversal de 1 cmil ( $7.854 \times 10^{-7} \text{ in}^2$ ), uno de 3 mil un área transversal de 9 cmil ( $7.068744 \times 10^{-6} \text{ in}^2$ ), uno de 10 mil un área transversal de 100 cmil ( $7.85416 \times 10^{-5} \text{ in}^2$ ), y así sucesivamente. En general, el área en circular mils siempre es igual al diámetro (en mils) elevado al cuadrado y el área en mils cuadrados a 3.1416 veces el radio en mils al cuadrado. Esto es:

$$\begin{aligned} \text{Área (cmil)} &= (\text{Diámetro (mil)})^2 \\ \text{Área (mil}^2) &= 3.1416 (\text{Radio (mil)})^2 \end{aligned}$$

La tabla de la figura I9-1 relaciona los diámetros y las secciones transversales de algunos calibres de alambres comúnmente utilizados en las instalaciones eléctricas. Esta tabla es válida principalmente para conductores con aislamiento TW y TWH. En la última columna aparece el diámetro exterior de este tipo de conductores de tal forma que puede utilizarse para otro tipo de aislamientos que no sobrepasen el diámetro marcado. Conociendo la sección transversal puede deducirse el diámetro del conductor desnudo.

El alambre N<sup>o</sup> 14, comúnmente utilizado para instalaciones domésticas ordinarias, tiene un conductor de cobre de 0.064 in (64 mils) de diámetro. Alambres más pequeños que el N<sup>o</sup> 14

son los números 16, 18, 20, y así sucesivamente. El alambre N<sup>o</sup> 40, por ejemplo, tiene un diámetro de aproximadamente 0.003" (3 mils), tan delgado como un cabello humano, pero no es el tamaño más pequeño que existe. Tamaños más grandes que el número 14 son los números 12, 10, 8, etc. En general, entre más grande sea el número AWG, más pequeño es el diámetro del alambre, y viceversa.

Procediendo de esta forma, se llega hasta el calibre número 0 o 1/0. Los siguientes tamaños son los números 00 (2/0), 000 (3/0) y, finalmente, 0000 (4/0). Este último tiene casi 1/2" de diámetro. Los alambres más grandes que el 4/0 no se designan por un tamaño numérico sino simplemente por su sección transversal en circular mils, comenzando con el de 250,000 cmil (250KCM) hasta el tamaño más grande reconocido por las normas actuales que es el de 2,000,000 cmil (2000 KCM).

Los alambres de calibres 18 y 16 se utilizan extensivamente para cordones flexibles, sistemas de señalización y otras aplicaciones similares que involucran corrientes relativamente pequeñas. Los calibres 14 hasta el 4/0 se utilizan en instalaciones residenciales ordinarias y, naturalmente, en aplicaciones industriales donde se emplean tamaños aun más grandes. El calibre N<sup>o</sup> 14 es el tamaño más pequeño admitido por los códigos eléctricos para instalaciones domiciliarias.

En la mayoría de aplicaciones eléctricas se utilizan comúnmente alambres de número par (18, 16, 14, 12, 10, 8, etc.). Los alambres de número impar (15, 13, 11, 9, etc.), con excepción de los calibres 3 y 1, rara vez se utilizan en instalaciones eléctricas, aun-

que su empleo es muy común en los devanados de motores, transformadores y otros dispositivos electromagnéticos. En estas aplicaciones se utilizan, inclusive, tamaños de alambre fraccionales, como el 15.1/2, de diámetro intermedio entre el N<sup>o</sup> 15 y el N<sup>o</sup> 16.

Una forma de comparar los tamaños de los alambres es recordar que cualquier alambre que es 3 tamaños más grande que otro tendrá una sección transversal exactamente el doble de la otra. Por ejemplo, un alambre N<sup>o</sup> 11 tiene un área exactamente el doble de la un alambre N<sup>o</sup> 14, un alambre N<sup>o</sup> 3 un área exactamente el doble de la de un alambre N<sup>o</sup> 6, etc. Asimismo, cualquier alambre que sea 6 tamaños más grande que otro tiene exactamente 2 veces el diámetro y 4 veces el área del otro. Por ejemplo, un alambre N<sup>o</sup> 6 tiene exactamente dos veces el diámetro y cuatro veces el área de un alambre N<sup>o</sup> 12.

Las consideraciones anteriores se refieren exclusivamente a conductores sólidos. Para aplicaciones que requieren una considerable flexibilidad, se utilizan conductores trenzados, formados por varias fibras de alambre fino retorcidos juntos. El número asignado a tales conductores está determinado por la suma de las áreas transversales de todos los alambres individuales. Por esta razón, el diámetro externo de un alambre trenzado siempre es más grande que el de un alambre sólido del mismo calibre.

### Criterios para el cálculo y la selección de conductores.

En la definición de la sección transversal y demás características de los conductores de una instalación deben tenerse en cuenta varios criterios, siendo los más importantes la capaci-

Designación	Temperatura máxima	Tipo de material
RH	75°C	Hule resistente al calor
RHH	90°C	Hule resistente al calor
RHW	75°C	Hule resistente al calor y a la humedad
RUH	75°C	Hule látex, resistente al calor
RUW	60°C	Hule látex, resistente a la humedad
T	60°C	Termoplástico, retardador de la flama
TW	60°C	Termoplástico, resistente a la humedad, retardador de la flama
THHN	90°C	Termoplástico, resistente al calor, retardador de la flama
THW	75°C, 90°C	Termoplástico, resistente al calor y a la humedad, retardador de la flama
THWN	75°C	Termoplástico, resistente al calor y a la humedad, retardador de la flama
XHHW	75°C, 90°C	Polietileno vulcanizado, resistente a la humedad y al calor
MTW	60°C, 90°C	Termoplástico, resistente a la humedad, al calor y al aceite
TA	90°	Termoplástico y asbesto
TBS	90°C	Termoplástico, de malla exterior fibrosa
SIS	90°C	Hule sintético resistente al calor
MI	85°C, 250°C	Aislamiento mineral
UF	60°C, 75°C	Subterráneo, para alimentadores y circuitos derivados
USE	75°C	Subterráneo, para acometidas
SA	90°C, 125°C	Silicón y asbesto
FEP	90°C	Etileno Propileno Fluorinado
FEPB	200°C	Etileno Propileno Fluorinado
V	85°C	Cambray barnizado
AVA	110°C	Cambray barnizado y asbesto
AVL	110°C	Cambray barnizado y asbesto impregnados
AVB	90°C	Cambray barnizado y asbesto impregnados
A	200°C	Asbesto
AA	200°C	Asbesto
AI	125°C	Asbesto impregnado
AIA	125°C	Asbesto impregnado
P	85°C	Papel

Figura 19-2. Temperaturas máximas de aislamientos

Temperatura ambiente (°C)	Temperatura máxima permisible en el aislamiento						
	60°C	75°C	85°C	90°C	110°C	125°C	200°C
31-40	0.82	0.88	0.90	0.91	0.94	0.95	-
41-50	0.71	0.82	0.85	0.87	0.90	0.92	-
46-50	0.58	0.75	0.80	0.82	0.87	0.89	-
51-55	0.41	0.67	0.74	0.76	0.83	0.86	-
56-60	-	0.58	0.67	0.71	0.79	0.83	0.91
61-70	-	0.35	0.52	0.58	0.71	0.76	0.87
71-80	-	-	0.30	0.41	0.61	0.68	0.84
81-90	-	-	-	-	0.50	0.61	0.80
91-100	-	-	-	-	-	0.51	0.77
101-120	-	-	-	-	-	-	0.69
121-140	-	-	-	-	-	-	0.59

Figura 19-3. Factores de corrección por temperatura ambiente

dad de conducción de corriente (ampacidad), el tipo de aislamiento y la máxima caída (drop) de voltaje permitida por las normas. Otros criterios menos importantes son la capacidad para soportar corrientes de cortocircuito, las pérdidas por efecto Joule, la fuerza de tracción o tiro en el proceso de cableado, etc.

### Capacidad de conducción de corriente (ampacidad)

Los conductores eléctricos están forrados por material aislante, que por lo general contiene sustancias orgánicas. Estos forros están clasificados de acuerdo con la temperatura de operación permisible, de tal forma que una misma sección de cobre puede tener diferente capacidad de conducción de corriente, dependiendo del tipo de aislamiento y el método de instalación que se seleccione.

El aislamiento de un conductor puede deteriorarse por calentamiento excesivo de varias formas, dependiendo del tipo de aislamiento y el grado de sobrecalentamiento. Algunos aislamientos se derrieten, otros se endurecen, algunos arden. En cualquiera de estos even-

tos, el aislamiento pierde su utilidad si se sobrecalienta, conduciendo a roturas e incendios.

La ampacidad especificada para cualquier tipo y tamaño particular de alambre es la corriente que el mismo puede transportar en forma continua sin incrementar la temperatura de su aislamiento más allá del punto de peligro. El aislamiento tipo TW (T= termoplástico, W= resistente a la humedad), por ejemplo, soporta una temperatura máxima de 60° y es el que tiene la más baja ampacidad de todos (ver página 56). Los asbestos, por su parte, pueden soportar temperaturas mucho más altas, pero por razones ambientales y de salud su uso como aislante eléctrico esta prácticamente proscrito.

Por fortuna, existen materiales sintéticos y plásticos que son apropiados para altas temperaturas, y los alambres que los utilizan tienen una ampacidad mucho más alta que los de tipo TW. Las ampacidades asignadas a estos alambres les permite transportar corrientes muchos más altas sin dañar el aislamiento.

La ampacidad nominal de cada tipo y tamaño de alambre está basada en

una temperatura ambiente de 30°C (86°C), la temperatura normal en un área donde hay corrientes fluyendo a través de los alambres. Cuando fluye corriente, se genera calor y la temperatura se incrementa más allá de la temperatura ambiente normal. La tabla de la figura 19-2 relaciona las temperaturas máximas permisibles para algunos tipos comunes de aislamientos. Esta temperatura se alcanzará cuando el alambre esté trabajando a su ampacidad nominal en un recinto donde la temperatura sea 30°C.

Repetimos: Si un alambre, debido al tipo de aislamiento utilizado, tiene un *rating* de temperatura de, digamos, 60°C o 140°F, que es el más bajo asignado a cualquier tipo de alambre, no significa que el alambre puede ser utilizado donde la temperatura ambiente es 60°C o 140°C, sino que la temperatura del alambre por si mismo no puede exceder de este valor. El alambre alcanzará esta temperatura cuando transporte su ampacidad nominal en un recinto donde la temperatura ambiente sea de 30°C, es decir 86°F.

Si la temperatura ambiente es mayor de 30°C, y el alambre está trabajando a su ampacidad nominal, su temperatura real excederá su *rating* de temperatura de 60°C, creando una situación de riesgo. En estos casos, debe recalcularse la ampacidad aplicando los factores de corrección suministrados en la tabla de la figura 19-3.

En otras palabras, si la temperatura ambiente es 50°C (122°F), que es 20°C (36°F) más alta que la temperatura ambiente básica asumida en las tablas de los códigos eléctricos, y se esta utilizando alambre de 60°C, usted debe limitar la corriente de car-

Tipo de aislamiento	THWN, RUW, T, TW, TWD, MTW		RH, RHW, THW, THWN, DF, XHHW, RUH		PILC, V, MI		TBS, AVB, SIS, THHW, TA, SA, FEP, THW, RHH, EP, MTV, XHHW*		AVA, AVL		AI, SA, AIA		A, AA, FEPB	
	60°C		75°C		85°C		90°C		110°C		125°C		200°C	
Temp. máxima														
Calibre AWG/MCM	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire
14	15	20	15	20	25	30	25	30	30	40	30	40	30	45
12	20	25	20	25	30	40	30	40	35	50	40	50	40	55
10	30	40	30	40	40	55	40	55	45	65	50	70	55	75
8	40	55	45	65	50	70	50	70	60	85	65	90	70	100
6	55	80	65	95	70	100	70	100	80	120	85	125	95	135
4	70	105	85	125	90	135	90	135	105	160	115	170	120	180
3	80	120	100	145	105	155	105	155	120	180	130	195	145	210
2	95	140	115	170	120	180	120	180	135	210	145	225	165	240
1	110	165	130	195	140	210	140	210	160	245	170	265	190	280
0	125	195	150	230	155	245	155	245	190	285	200	305	225	325
00	145	225	175	265	185	285	185	285	215	330	230	355	250	370
000	165	260	200	310	210	330	210	330	245	385	265	410	285	430
0000	195	300	230	360	235	385	235	385	275	445	310	475	340	510
250	215	340	255	405	270	425	270	425	315	495	335	530	-	-
300	240	375	285	445	300	480	300	480	345	555	380	590	-	-
350	260	420	310	505	325	530	325	530	390	610	420	655	-	-
400	280	455	335	545	360	575	360	575	420	665	450	710	-	-
500	320	515	380	620	405	660	405	660	470	765	500	815	-	-
600	355	575	420	690	455	740	455	740	525	855	545	910	-	-
700	385	630	460	755	490	815	490	815	560	940	600	1005	-	-
750	400	655	475	785	500	845	500	845	580	980	620	1045	-	-
800	410	680	490	815	515	880	515	880	600	1020	640	1085	-	-
900	435	730	52	870	555	940	555	940	-	-	-	-	-	-
100	455	780	545	935	585	100	585	100	680	1165	730	1240	-	-

Figura 19-4. Capacidad de corriente de conductores de cobre aislado (en amperios, A)

ga al 58% del valor nominal de ampacidad. Por ejemplo, un alambre N°12 tipo TW en conduit tiene una ampacidad de 25; si usted lo instala en un ambiente de 50°C o 122°F, su máxima ampacidad se reduce a 14.5A (el 58% de 25 es 14.5). Si usted usa alambre N°12 tipo RH o THW (los cuales tienen un *rating* de temperatura de 75°C), usted debe trabajarlo al 75% de su ampacidad nominal, es decir a: 18.75A (el 75% de 25 es 18.75).

Los alambres instalados en conduit, o en la forma de cable, o enterrados directamente en la tierra no pueden radiar el calor desarrollado por la corriente fluyendo a través de ellos tan

fácil o rápidamente como cuando están instalados como conductores simples al aire libre. Por tanto, cuando se instalan al aire libre, cualquier tipo y tamaño de alambre tiene una ampacidad más alta que cuando se instala en otros medios.

Para finalizar, en la tabla de la figura 19-4 se relaciona la capacidad de corriente de conductores aislados, según el tipo de material del forro y dependiendo de si el conductor está instalado en tubería o al aire. Los valores relacionados en la columna "en tubo" son aplicables cuando se tienen, como máximo, 3 conductores alojados en una canalización o en un

cable multiconductor. Para un número mayor de conductores deben aplicarse los factores de corrección por agrupamiento especificados en la tabla de la figura 19-5.

Cuando se instalen conductores de sistemas diferentes dentro de una canalización, los factores de corrección por agrupamiento anteriores solamente pueden aplicarse al número de conductores para fuerza y alumbrado. Cuando en un grupo de conductores se tengan aislamientos para temperaturas máximas diferentes, la temperatura límite del grupo debe determinarse por la menor de ellas.

Número de conductores			% del valor indicado en la tabla ###
4	a	6	80
7	a	24	70
25	a	42	60
más	a	42	50

Figura 19-5. Factores de corrección por agrupamiento

### Caídas de voltaje

Se llama **caída de voltaje** ( $\Delta V$ ) a la diferencia que existe entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación ( $V_A$ ) y el obtenido en cualquier otro punto de la misma ( $V_T$ ), cuando está circulando la corriente nominal. En otras palabras:

$$\Delta V = V_A - V_T$$

Generalmente, la caída de voltaje se expresa como un porcentaje del voltaje nominal ( $V_{nom}$ ). Es decir:

$$\Delta V(\%) = (\Delta V/V_{nom}) \times 100$$

Por ejemplo, si el voltaje aplicado al extremo alimentador de una carga es 120V y el recibido efectivamente por la misma es 115V, la caída de voltaje en los conductores es simplemente:

$$\Delta V = 120V - 115V = 5V$$

$$\Delta V(\%) = (5V/120V) \times 100 = 4.17\%$$

La caída de voltaje máxima permitida por las normas eléctricas es del orden del 3%, tanto para circuitos alimentadores como para circuitos derivados. En conjunto, la caída total de voltaje de ambos circuitos no debe sobrepasar del 5%. Aunque es imposible prevenir del todo las caídas de voltaje en los conductores, en la práctica casi siempre es posible mantenerla por debajo de estos niveles máximos. Más adelante veremos las formas de lograrlo.

Cualquier caída de voltaje que se presente en una instalación es simplemente energía eléctrica que se desperdicia. Más aún, todos los equipos eléctricos operan más eficientemente a su voltaje nominal. Si un motor eléctrico, por ejemplo, se opera a un voltaje que está un 5% por debajo de su voltaje nominal, su potencia de salida se reduce casi en un 10% y si se opera a un voltaje 10% por debajo del normal, la misma se reduce en un 19%.

**Otro ejemplo.** Si una lámpara incandescente se opera a un voltaje que está un 5% por debajo de su voltaje nominal, la cantidad de luz suministrada por la misma cae en un 16%. Si el voltaje está 10% por debajo del nominal, su salida de luz cae en un 30%. Por otra parte, las lámparas fluorescentes simplemente no trabajan si el voltaje está considerablemente por debajo de su voltaje nominal. En todos estos casos, la variable de salida (potencia, luz, etc.) experimenta una reducción mucho más considerable que la reducción en el voltaje. Resulta por tanto lógico pensar que la caída de voltaje debe ser limitada a un valor tan pequeño como sea práctico.

En instalaciones residenciales ordinarias, los circuitos derivados están generalmente conectados a un panel de servicio que contiene los dispositivos de protección de sobrecorriente (fusibles o breakers). Por tanto, no existen cables alimentadores, o éstos son muy cortos. Otros tipos de instalaciones, como las utilizadas

en fábricas, granjas y edificios, sí utilizan alimentadores y estos son usualmente muy largos. En éstos casos, las caídas de voltaje en los alimentadores y los circuitos derivados no deberá exceder del 2% y del 3%, respectivamente.

Naturalmente, son deseables caídas de voltaje más bajas. Una figura comúnmente aceptada es una caída del 2% desde el comienzo del alambrado del circuito derivado hasta la caja de salida más alejada, con una caída adicional del 1% al 2% en los alimentadores, dependiendo de su longitud.

Lo anterior significa que en un circuito de 120V, la caída de voltaje desde el panel de servicio hasta la salida más distante no debe exceder de 2.4V. En un circuito de 220V, por su parte, no debe exceder de 4.4V. En una instalación residencial cuyos circuitos derivados están realizados con alambre N<sup>o</sup> 14, la caída de voltaje usualmente no excede del 2%. Sin embargo, la gente consume cada día más potencia en el hogar. Esto hace que los circuitos trabajen cargados casi hasta el límite. Por tal motivo, y para evitar caídas de voltaje excesivas, la tendencia actual de los diseñadores de instalaciones eléctricas domiciliarias es utilizar alambre N<sup>o</sup> 12 en lugar de N<sup>o</sup> 14 para los circuitos derivados.

En general, en todas las instalaciones eléctricas, los conductores se deben dimensionar de manera que la caída de voltaje no exceda del 3%, ya sea que se alimenten cargas de alumbrado, fuerza, calefacción, aire acondicionado o cualquier combinación de las mismas. Los calibres de los alambres apropiados para satisfacer una figura de caída de voltaje

Amperios	Voltios amperios* a 120V	Nº 14	Nº 12	Nº 10	Nº 8	Nº 6	Nº 4	Nº 2	Nº 1/0	Nº 2/0
5	600	90	142	226	360	573	911	-	-	-
10	1200	45	71	113	180	286	455	704	-	-
15	1800	30	47	75	120	191	304	483	768	965
20	2400	#22	36	57	90	143	228	362	576	726
25	3000	#18	#28	45	72	115	182	290	461	581
30	3600	#15	#23	38	60	95	152	241	384	494
40	4800	-	§18	#32	45	72	114	174	288	363
50	6000	-	-	#27	#36	57	91	145	230	290
60	7200	-	-	§22	#30	#48	76	121	192	242
70	8400	-	-	-	#26	#40	65	104	165	207
80	9600	-	-	-	-	§36	#57	90	144	181
90	10800	-	-	-	-	§32	#51	80	128	161
100	12000	-	-	-	-	§29	§46	#72	115	145

(a) 120V

Amperios	Voltios amperios* a 240V	Nº 14	Nº 12	Nº 10	Nº 8	Nº 6	Nº 4	Nº 2	Nº 1/0	Nº 2/0
5	1200	179	285	453	720	-	-	-	-	-
10	2400	90	142	226	360	573	911	-	-	-
15	3600	60	95	151	240	351	607	965	-	-
20	4800	#45	71	113	180	264	455	724	-	-
25	6000	#36	#57	91	144	211	363	579	922	-
30	7200	§30	#50	75	120	176	304	483	768	968
40	9600	-	§41	#56	90	132	228	362	576	726
50	12000	-	-	#45	#72	105	182	290	461	581
60	14400	-	-	-	#60	#88	152	241	384	484
70	16800	-	-	-	#50	#76	130	207	329	415
80	19200	-	-	-	-	#66	#114	181	288	363
90	21600	-	-	-	-	#59	#101	161	256	323
100	24000	-	-	-	-	#53	#91	145	230	290
125	30000	-	-	-	-	-	#73	#116	#184	232
150	36000	-	-	-	-	-	-	#97	#154	#194
175	42000	-	-	-	-	-	-	#83	#132	#166
200	48000	-	-	-	-	-	-	-	§115	§145

(b) 240V

**Notas:**

\* La figura en esta columna es la potencia en voltio-amperios (VA) del circuito. Si el factor de potencia es del 100%, como es el caso de lámparas incandescentes y artefactos de calentamiento, la potencia en voltio-amperios es igual a la potencia en vatios (W)  
 # Para estas distancias, el aislamiento tipo TW no debe ser utilizado debido a que no tiene suficiente ampacidad. Para todas las distancias con este símbolo (#), seleccione un alambre con suficiente ampacidad (dependiendo de si está canalizado en conduit o cable, o está al aire libre)  
 § Permitido únicamente en instalaciones ordinarias no canalizadas, es decir con conductores al aire libre.

**Figura 19-6. Longitudes máximas de alambre requeridas para producir una caída de voltaje del 2% en circuitos monofásicos de 120V y 240V**

determinada se pueden calcular mediante fórmulas, como veremos en una sección posterior, o utilizando tablas especializadas. Las tablas de la figura 19-6, por ejemplo, especifican las longitudes máximas de alambre de diferentes calibres requeridas para producir una caída de voltaje del 2% en circuitos monofásicos de 120V (a) o de 240V (b).

Las dos tablas anteriores se aplican únicamente a alambres de cobre con aislamiento tipo TW. Bajo cada tamaño se indica la distancia en pies (1ft=0.3048m) que el alambre transportará la corriente especificada en la columna de la izquierda. Si, bajo determinadas circunstancias, se permiten otras caídas de voltaje distintas del 2%, las tablas pueden ser fácilmente con-

vertidas a los nuevos valores siguiendo estas reglas:

✓ Para una caída de voltaje del 1%, disminuya todas las distancias en un 50% (al 50%).

✓ Para una caída de voltaje del 2.5%, incremente todas las distancias en un 25% (al 125%)

✓ Para una caída de voltaje del 3%, incremente todas las distancias en un 50% (al 150%)

✓ Para una caída de voltaje del 4%, incremente todas las distancias en un 100% (al 200%)

✓ Para una caída de voltaje del 5%, incremente todas las distancias en un 150% (al 250%)

Suponga que usted utiliza un tamaño de alambre dado para un circuito más largo o más corto que la distancia indicada para una caída del 2% para ese tamaño de alambre. Es muy fácil determinar la nueva caída. Por ejemplo, la tabla de la figura 19-6-a muestra que utilizando alambre N<sup>o</sup>8 con una carga de 20A, la caída de voltaje será del 2% en un circuito de 90 ft (27.4 m). Para un circuito de 120 ft (36.6 m) de largo, la nueva caída será simplemente 120/90 = 1.33 veces mayor que la original, es decir 2x1.33 = 2.66%.

Por el contrario, si se utiliza un tamaño de alambre dado para una carga más pequeña que la indicada en la tabla, la caída de voltaje será correspondientemente más pequeña. Nuevamente, un alambre N<sup>o</sup>8 transportará 20 A en un trayecto de 90 ft con una caída de voltaje del 2% a 120V. Si en lugar de 20A el alambre lleva únicamente 17A, la caída será 20/17=1.18 veces menor que la original, es decir 2/1.18 = 1.7%.

Las caídas de voltaje representan también un costo económico. Asuma, por

## Cálculo y selección de conductores eléctricos

ejemplo, que usted desea operar un motor que consume 20A a 120V y el mismo está localizado al final de un circuito de 100 ft (30.48 m). De acuerdo a la tabla de la figura I9-6-a, a 120V una carga de 20A alimentada por alambre N<sup>o</sup> 8 corresponde a una caída de voltaje del 2.0% si el circuito es de 90 ft de largo. Por tanto, a 100 ft, la caída será del 2.2%.

Suponga ahora que el circuito se utiliza diariamente durante 3 horas, es decir cerca de 1,000 horas al año. En esas 1000 horas, el circuito consumirá cerca de 2400 kWh. Considerando que el costo del kilovatio-hora es de 7.5 centavos de dólar (7.5¢), el costo anual del servicio será del orden de 180.00 dólares, de los cuales usted paga \$3.96 (el 2.2% de \$180.00) por la potencia que se pierde en los alambres.

Si para reducir su inversión inicial usted decide utilizar alambre N<sup>o</sup> 12 (que es más barato) en lugar de alambre N<sup>o</sup> 8, la nueva caída de voltaje será ahora del 6.1%. Por tanto, de los \$180.00 que cuesta su servicio, usted tendrá que pagar ahora \$10,98 (\$7.02 más que antes) por energía que no utiliza y se pierde en los conductores debido a la alta caída de voltaje. Lo peor de todo es que el motor trabajará menos eficientemente y entregará menos potencia ahora que antes. Este es un ejemplo del tipo de consideraciones que deben tenerse en cuenta cuando se dimensionan los conductores de una instalación eléctrica.

### Pérdidas por efecto Joule

El paso de una corriente eléctrica por un conductor produce calor que se disipa por la superficie externa. Este fenómeno se denomina efecto Joule y puede describirse matemáticamente mediante la siguiente expresión:

$$W = P \times t = I^2 \times R \times t$$

siendo W la cantidad de energía disipada en forma de calor, t el tiempo, I la corriente y R la resistencia. Puesto que la resistencia de un conductor es inversamente proporcional al área o sección transversal del conductor, las pérdidas por *efecto Joule* pueden reducirse aumentando el calibre, aunque esto represente una inversión inicial más alta. Para utilizar este criterio resulta necesario estimar el costo de la energía perdida a lo largo del tiempo y compararlo con el costo adicional por el aumento del calibre.

### Fuerza de tracción

La fuerza de tracción o tiro es la tensión mecánica que se ejerce sobre un conductor durante el proceso de cableado o tendido. Más que un criterio para calcular el calibre, se trata de un elemento que se debe considerar al momento de decidir las distancias entre cajas, el número de codos cambios de dirección, los recorridos verticales y, en general, cualquier obstáculo que provoque una tensión mecánica en el conductor en el momento de su instalación.

La fuerza máxima de tiro que puede aplicarse antes de ocasionar elongamientos o roturas en los cables depende del tipo de conductor utilizado. Si un conductor se somete durante el proceso de cableado a una fuerza de tiro descontrolada, puede cambiar su temple y aumentar su resistencia eléctrica. Si esta fuerza es muy grande, se puede provocar incluso la ruptura del cable. Asimismo, al cablear varios conductores juntos, es muy importante que tengan la misma longitud para evitar que los que queden más cortos se sometan a esfuerzos mayores.

## Cálculo de conductores por caídas de voltaje (I)

La caída real de voltaje en un conductor se puede evaluar mediante la Ley de Ohm, es decir

$$\Delta V = I \times R$$

siendo  $\Delta V$  (V) la caída de voltaje, I (A) la corriente y R ( $\Omega$ ) la resistencia del conductor. Esta última se puede expresar en términos de las características del conductor como

$$R = \frac{\rho L}{S}$$

siendo  $\rho$  ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) la resistividad del material, L la longitud del conductor (m) y S el área de la sección transversal. Para el cobre,

$$\rho = 0.01724 \Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$$

Por tanto, la caída de voltaje de un conductor de cobre se puede expresar en una forma más compacta así:

$$\Delta V(\text{V}) = \frac{0.01724 \times L(\text{m}) \times I(\text{A})}{S(\text{mm}^2)}$$

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V(\text{V})}{V_{\text{nom}}(\text{V})} \times 100$$

A partir de esta fórmula se pueden establecer para cada voltaje el porcentaje de caída de voltaje establecido y verificar para una corriente y longitud dada la sección correspondiente. Asimismo, de las tablas que relacionan al calibre del conductor con la sección se puede encontrar el calibre correspondiente. En otras palabras:

$$S(\text{mm}^2) = \frac{0.01724 \times L(\text{m}) \times I(\text{A})}{\Delta V(\text{V})}$$

$$S(\text{mm}^2) = \frac{0.01724 \times 100 \times L(\text{m}) \times I(\text{A})}{\Delta V(\%) \times V_{\text{nom}}(\text{V})}$$

Como ejemplo, asumamos un circuito derivado de 120V formado por una lámpara de faro de 500W que opera a una distancia de 500 pies (152.4 m) del *breaker*. Esta conexión requiere 1000 pies (304.8m) de alambre y exige una corriente máxima de  $500/120=4.2A$ . De acuerdo a la fórmula anterior, la mínima sección de conductor necesaria para conseguir una caída de voltaje del 3% (3.6V), por ejemplo, sería:

$$S \text{ (mm}^2\text{)} = \frac{0.01724 \times L(\text{m}) \times I(\text{A})}{\Delta V(\text{V})}$$

$$S = \frac{0.01724 \times 304.8 \times 4.2}{3.6} = 6.13 \text{ mm}^2$$

Como puede deducirse de la tabla de la figura I9-1, no existe un tamaño estándar de alambre que tenga exactamente esta sección (6.13 mm<sup>2</sup>), intermedia entre el calibre N<sup>o</sup> 10 (5.26 mm<sup>2</sup>) y el calibre N<sup>o</sup> 8 (8.37 mm<sup>2</sup>). Si la lámpara se utiliza con mucha frecuencia, puede emplearse alambre N<sup>o</sup> 8, el cual proporciona una caída de voltaje del 2.20% (2.6V). Si la lámpara se utiliza relativamente poco, puede utilizarse alambre N<sup>o</sup> 10, el cual proporciona una caída de voltaje del 3.50% (4.2V). Para casos de emergencia puede utilizarse alambre N<sup>o</sup> 12 ( $\Delta V=5.55\%$ ).

### Cálculo de conductores por caídas de voltaje (II)

Un método más práctico y común que el anterior para calcular las caídas de voltaje en los conductores eléctricos es utilizar la fórmula

$$S(\text{cmil}) = \frac{22 \times L(\text{pies}) \times I(\text{A})}{\Delta V(\text{V})}$$

siendo S (cmil) el área del conductor en circular mils (1 cmil =  $5.067 \times 10^{-4}$  mm<sup>2</sup>), L la longitud del mismo en pies (1 ft = 0.3048 m), I(A) la corriente en amperios y  $\Delta V(\text{V})$  la caída de voltaje en voltios. Esta fórmula está basada en

el hecho que un tramo de alambre de cobre de 1 pie (0.3048 m) de longitud y 1 mil (0.001" o 0.0254 mm) de diámetro tiene una resistencia de 10.8  $\Omega$ . El factor 22 incluye la resistencia total de los alambres que conectan la fuente con la carga (21.6  $\Omega$ ) y la resistencia de las uniones (0.4 $\Omega$ ). Para alambres de aluminio, el factor 22 debe ser sustituido por el factor 36.

Continuando el ejemplo anterior (una lámpara de 500W que se opera a una distancia de 500 pies del *breaker* o fusible de un circuito derivado de 120V, exigiendo una corriente de 4.2A), la sección transversal requerida para limitar la caída de voltaje al 2% (2.4V) sería, en este caso:

$$S(\text{cmil}) = \frac{22 \times L(\text{pies}) \times I(\text{A})}{\Delta V(\text{V})}$$

$$S(\text{cmil}) = \frac{22 \times 500 \times 4.2}{2.4} = 19,250 \text{ cmil}$$

En otras palabras, para limitar la caída de voltaje total en los conductores que alimentan la lámpara a exactamente 2.4V (2%), el área de la sección transversal de los conductores debería ser de 19,250 cmil (19.25 kCM o 9.75 mm<sup>2</sup>). Como se deriva de la tabla de la figura I9-1, no existe un alambre comercial que tenga exactamente esta sección, intermedia entre los calibres N<sup>o</sup> 8 (16.51 KCM) y N<sup>o</sup> 6 (26.50 KCM). Por tanto, puede utilizarse alambre N<sup>o</sup> 6 ( $\Delta V = 1.74V$ ) si la lámpara se emplea con mucha frecuencia o alambre N<sup>o</sup> 8 ( $\Delta V = 2.80V$ ) si su uso no es tan frecuente.

Si, en lugar de determinar el tamaño del alambre que producirá una caída de voltaje específica, se desea determinar la caída real de voltaje provocada por un alambre de un tamaño dado, la fórmula proporcionada al comienzo se convierte en:

$$\Delta V(\text{V}) = \frac{22 \times L(\text{pies}) \times I(\text{A})}{S(\text{cmil})}$$

Siendo  $\Delta V(\text{V})$  la caída de voltaje total en los conductores (en voltios), L la longitud de la conexión (en pies), I la corriente a través de la carga (en amperios) y S el área de la sección transversal de los conductores (en circular mils). Para determinar la distancia que un tamaño dado de alambre, transportará una determinada corriente con una caída de voltaje específica, la fórmula anterior adopta la siguiente forma:

$$L(\text{pies}) = \frac{\Delta V(\text{V}) \times S(\text{cmil})}{22 \times I(\text{A})}$$

Esta es la fórmula utilizada para compilar las tablas de la figura I9-6. Si se aumenta o disminuye el voltaje de trabajo, la distancia requerida para producir la misma caída porcentual de voltaje (2%), bajo las mismas condiciones de corriente y utilizando el mismo tamaño de alambre, aumenta o disminuye en la misma proporción.

Por ejemplo, la tabla de la figura I9-6-b muestra que, en un circuito de 240V, el alambre N<sup>o</sup> 8 produce una caída de voltaje del 2% (4.8V) con una carga de 20A en un circuito de 180 pies (54.86 m). Si el circuito se alimenta a 220V, la longitud del circuito debe reducirse a 165 pies (50 m), es decir a un 91.67% de la especificada en la tabla (220V es el 91.67% de 240V), para limitar la caída de voltaje en los conductores a exactamente el 2% (4.8V) del voltaje de línea.

Como complemento a la figura I9-6, las tablas de la figura I9-7 especifican las longitudes máximas de circuitos realizados con alambres de diferentes calibres requeridas para limitar la caída total de voltaje al 2% en circuitos

## Cálculo y selección de conductores eléctricos

Amperios	Voltios amperios* a 115 voltios	Nº 14	Nº 12	Nº 10	Nº 8	Nº 6	Nº 4	Nº 2	Nº 1/0	Nº 2/0
5	575	86	136	217	345	549	873	-	-	-
10	1150	43	68	108	172	274	436	675	-	-
15	1725	29	45	72	115	183	291	463	736	925
20	2300	#21	34	55	86	137	218	347	552	696
25	2875	#17	#27	43	69	110	174	278	442	557
30	3450	#14	#22	36	57	91	146	231	368	473
40	4600	-	§17	31	43	69	109	167	276	348
50	5750	-	-	26	#34	55	87	139	220	278
60	6900	-	-	21	#29	#46	73	116	184	232
70	8050	-	-	-	#25	#38	62	10	158	198
80	9200	-	-	-	-	§34	#55	86	138	173
90	10350	-	-	-	-	§31	#49	77	123	154
100	11500	-	-	-	-	§28	§44	#69	110	139

(a) 115V

Amperios	Voltios amperios* a 220 voltios	Nº 14	Nº 12	Nº 10	Nº 8	Nº 6	Nº 4	Nº 2	Nº 1/0	Nº 2/0
5	1100	164	261	415	660	-	-	-	-	-
10	2200	83	130	207	330	525	835	-	-	-
15	3300	55	87	138	220	322	556	885	-	-
20	4400	#41	65	104	165	242	417	664	-	-
25	5500	#33	#52	83	132	193	334	531	845	-
30	6600	§28	#46	69	110	161	279	443	704	887
40	8800	-	§38	#51	83	121	209	332	528	666
50	11000	-	-	#41	66	96	167	266	423	533
60	13200	-	-	-	55	#81	139	221	352	444
70	15400	-	-	-	46	#70	119	190	302	380
80	17600	-	-	-	-	#61	#105	166	264	333
90	19800	-	-	-	-	#46	#93	148	235	296
100	22000	-	-	-	-	#49	#83	133	211	266
125	27500	-	-	-	-	-	#67	#106	#169	213
150	33000	-	-	-	-	-	-	#89	#141	#178
175	38500	-	-	-	-	-	-	#76	#121	#152
200	44000	-	-	-	-	-	-	-	§105	§133

(b) 220V

### Notas:

\* La figura en esta columna es la potencia en voltio-amperios (VA) del circuito. Si el factor de potencia es del 100%, como es el caso de lámparas incandescentes y artefactos de calefacción, la potencia en voltio-amperios es igual a la potencia en voltios (W).

# Para estas distancias, el aislamiento tipo TW no debe ser utilizado debido a que no tiene suficiente ampacidad. Para todas las distancias con este símbolo (#), seleccione un alambre con suficiente ampacidad (dependiendo de si está canalizado en conduit o cable, o está al aire libre).

§ Permitido únicamente en instalaciones ordinarias no canalizadas, es decir, con conductores al aire libre.

### Figura 19-7. Longitudes máximas de alambre requeridas para producir una caída de voltaje del 2% en circuitos monofásicos de 115V y 220V

monofásicos de 115V (a) y 220V (b), tensiones de uso común en Colombia y Argentina, respectivamente. Consultando estas tablas (o las de la figura 19-6) usted puede determinar si un tamaño dado de alambre utilizado en un circuito de una longitud específica causará o no una caída de voltaje aceptable. Recuerde, sin embargo, que la ampacidad del alambre

no debe ser menor que la permitida por los códigos eléctricos locales para la corriente involucrada.

Tenga en cuenta que la caída de voltaje para una distancia y una corriente dadas depende exclusivamente del área de la sección transversal de los conductores, mientras que la ampacidad de los mismos depende del

tipo de aislamiento y otros factores. Utilizar un alambre que tiene una ampacidad más alta que otro del mismo tamaño no reduce de ninguna manera la caída de voltaje.

En general, debe emplearse siempre un tamaño y tipo de alambre que tenga un *rating* de ampacidad por lo menos igual al número de amperios a transportar. Para trayectos cortos, las tablas de caídas de voltaje pueden mostrar un tamaño de alambre más pequeño que el permitido para la corriente involucrada. En estos casos, seleccione un alambre de ampacidad suficiente guiándose por la tabla de la figura 19-4 (página 189). Tenga en cuenta que, para un mismo tipo de aislamiento, la ampacidad es mayor cuando el conductor trabaja al aire libre que cuando está canalizado.

En alambres aéreos, como los utilizados en exteriores, debe considerarse un factor adicional: la tensión mecánica. Los alambres deben ser lo suficientemente gruesos para soportar no solamente su propio peso sino también el esfuerzo impuesto por el viento, la lluvia, el hielo y otras condiciones meteorológicas. En las regiones septentrionales, por ejemplo, es muy común observar gruesas capas de hielo alrededor de alambres exteriores después de una tormenta de nieve severa.

En estos casos, los códigos eléctricos modernos recomiendan utilizar, como mínimo, alambre N<sup>o</sup> 10 para tramos hasta de 15m (50 pies) y alambre N<sup>o</sup> 8 para tramos más largos. Si la distancia es superior a 30 m (100 pies), es mejor utilizar un poste extra para reducir la tensión mecánica.

Cuando se instalan líneas aéreas en áreas septentrionales, deben tam-

## Cálculo de tuberías y ductos Concepto de factor de relleno

Desde el punto de vista de la ventilación, sería deseable que todos los conductores de una instalación eléctrica estuvieran colocados de tal forma que el aire circulara libremente por su superficie. Sin embargo, por razones de conveniencia y protección, normalmente van alojados en algún tipo de ducto plástico o metálico (ver capítulo 5). Para la especificación del diámetro de estas tuberías debe observarse cierta relación entre la suma total de las secciones transversales de los conductores (incluyendo su aislamiento) y el área transversal del interior del tubo. Esta relación se conoce como **factor de relleno** (figura I9-9) y puede expresarse así:

$$Fr = \frac{Sc}{St}$$

$$Fr (\%) = \frac{Sc}{St} \times 100$$

Siendo Fr el factor de relleno, Sc el área total de los conductores y St el área requerida del tubo conduit. Los máximos factores de relleno aceptado por las normas eléctricas son **55%** para ductos con un solo conductor, **30%** para ductos con dos conductores y **40%** para ductos con tres o más conductores. Estos valores se aplican a conductores alojados en conduit rígido metálico, conduit rígido no metálico (PVC), tubería eléctrica metálica (EMT), conduit metálico flexible y conduit metálico flexible resistente a líquidos, tanto en trabajos de alambrado nuevos como en realambrado de conduits existentes.

Note que el factor de relleno máximo admitido para dos conductores (30%) es menor que el admitido para tres conductores o más (40%). Esto se debe a que, en el primer caso, la ma-

Tamaño AWG y MCM	Para cables encauchetados de envoltura no metálica al aire libre o en conduit no metálico		Para cables encauchetados de envoltura metálica o cables en ductos metálicos	
	Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
0	1.001	1.0001	1.02	1.00
00	1.001	1.001	1.03	1.00
000	1.002	1.001	1.04	1.01
0000	1.004	1.002	1.05	1.01
250	1.005	1.002	1.06	1.02
300	1.006	1.003	1.07	1.02
350	1.009	1.004	1.08	1.03
400	1.011	1.005	1.10	1.04
500	1.018	1.007	1.13	1.06

Figura I9-8. Factores multiplicativos para convertir resistencia DC en resistencia AC (60 Hz)

bién tenerse en cuenta la expansión y contracción que experimentan las mismas con los cambios de temperatura. Un tramo de alambre de cobre de 30.48 m (100 pies) será casi 5 cm (2") más corto cuando está a 1°C (30°F) bajo cero que en un día caliente cuando la temperatura es de 37°C (100°F). Por tanto, si la instalación de los conductores se realiza en un día frío de invierno, los mismos deben ser mantenidos tan tirantes como sea posible. Asimismo, si los conductores se instalan en un día caliente, debe permitirse una comba suficiente en el tramo de modo que cuando los mismos se contraigan en el invierno no se produzca ningún daño.

### Resistencia AC y DC de alambres de cobre y aluminio

En un circuito DC, la corriente fluye uniformemente a través de toda la sección transversal de un alambre. En un circuito AC, por su parte, la corriente no fluye uniformemente por todo el diámetro del conductor sino que lo hace mayoritariamente en la capa exterior del mismo. Este fenómeno se conoce como **efecto piel** y significa, en la práctica, que la resistencia de un alambre muy largo es más alta cuando se utiliza en un circuito AC que cuando se utiliza en un circuito DC. Esto es particular-

mente notable en conductores más gruesos que el N° 4/0.

Debido a lo anterior, en circuitos AC que involucran alambres muy gruesos, superiores al N° 1/0, no deben utilizarse directamente los valores de resistencia DC derivados de la fórmula  $R = \rho L/S$  sino los obtenidos al multiplicar estos valores por un factor de conversión. La tabla de la figura I9-8 relaciona los factores multiplicativos apropiados que deben ser utilizados en estos casos para convertir resistencia DC en resistencia AC. Se consideran alambres de cobre y de aluminio, así como los casos en los cuales los conductores están al aire libre o canalizados en conduit.

Por ejemplo, un tramo de alambre de cobre de 250KCM o MCM (miles de circular mils) con una resistencia DC de  $0.005\Omega$  trabajando al aire libre o en conduit de PVC, tendría a 60 Hz una resistencia AC de  $0.005\Omega \times 1.005 = 5.025 \times 10^{-3}\Omega$  (5.025 mΩ). El mismo alambre trabajando en un ducto metálico tendría una resistencia de  $0.005 \times 1.06 = 5.3 \times 10^{-3}\Omega$  (5.3 mΩ). Si la corriente transportada por el conductor es, digamos, 100A, la caída de voltaje en el primer caso sería de  $5.025 \times 10^{-3} \times 100 = 0.5025$  V, y en el segundo de  $5.3 \times 10^{-3} \times 100 = 0.53$  V.

## Cálculo y selección de conductores eléctricos

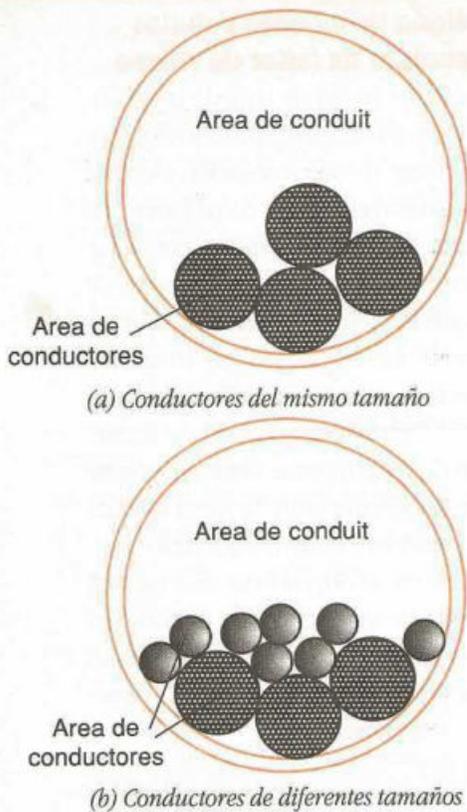


Figura 19-9. Concepto de factor de relleno

nera de tener cierta holgura para el cableado es que el diámetro interior del tubo sea un poco más amplio que la suma de los diámetros de los dos conductores. Por esta misma razón debe analizarse la conveniencia de invertir en ductos más amplios para facilitar el proceso de instalación.

La tabla de la figura 19-10 relaciona el número máximo de conductores de diferentes calibres y con distintos tipos de aislamiento que pueden alojarse en tubos conduit de varios tamaños comerciales. Esta tabla está basada en factores de relleno de 40% para 3 conductores o más, 30% para 2 conductores y 55% en el caso de un solo conductor. El número incluye **todos** los alambres alojados en la canalización, sea que estos lleven o no corriente, o estén aislados o desnudos. Debe tenerse en cuenta que para más de 3 conductores en un tubo, la cantidad de corrien-

te permisible en los mismos se ve reducida de acuerdo con los factores de corrección de la tabla de la figura 19-5 (ver página 190).

Como ejemplo, suponga que se desea determinar el máximo número de conductores N°12 tipo RHW (aislamiento de hule resistente al calor y la humedad, ver tabla de la figura 19-2) que caben en un tubo conduit de 1/2" (13 mm) de diámetro. De la tabla de la figura 19-10 se buscan en las columnas "Tipo de conductor" y "Calibre de conductor" el RHW N°12 y se cruza este dato con el correspondiente a 1/2" en la columna "Diámetro de la tubería", encontrándose que el número máximo de conductores es 6.

Otro ejemplo. Suponga ahora que se desea determinar el mínimo tamaño de conduit requerido para alojar 6 conductores N°10 tipo THHN (aislamiento termoplástico resistente al calor y retardador de la llama). En este caso, se localiza en la tabla de la figura 19-10, en las columnas correspondientes a "Tipo de conductor" y "Calibre del conductor", el THHN N°10 y se busca horizontalmente el número de conductores deseado (6), encontrándose que corresponde a un tubo de 1/2" de diámetro. Por tanto, 6 alambres N°10 THHN (o THWN, FEP, etc.) pueden ser acomodados en un conduit de 1/2" o más grande.

Si se instalan dos o más tamaños diferentes de alambre en el mismo conduit, el tamaño de conduit requerido se obtiene indirectamente de la tabla de la figura 19-10 computando inicialmente el área ocupada por todos los conductores, incluyendo el aislamiento. La tabla de la figura 19-11 relaciona el área de la sección transversal

total de varios tipos de conductores comunes, incluyendo el aislamiento.

Por ejemplo, suponga que se desea determinar el tamaño mínimo de conduit requerido para canalizar 6 conductores N°10 tipo THHN, 3 N°4 tipo RHH y 2 N°12 tipo TW (figura 19-9-b). De acuerdo a las tabla de las figura 19-1 e 19-10, las áreas de las secciones transversales de los alambres involucrados son:

<b>N° 10 THHN:</b>	0.0184 in <sup>2</sup> (Desnudo: 5.26 mm <sup>2</sup> )
<b>N° 4 RHHN:</b>	0.1087 in <sup>2</sup> (Desnudo: 21.15 mm <sup>2</sup> )
<b>N° 12 TW:</b>	0.0172 in <sup>2</sup> (Desnudo: 3.31 mm <sup>2</sup> )

Por tanto, el área ocupada por estos conductores es:

<b>Los 6 alambres N° 10:</b>	6 x 0.0184 = 0.1104 in <sup>2</sup> (aislados)	6 x 5.26 = 31.56 mm <sup>2</sup> (desnudos)
<b>Los 3 alambres N° 4:</b>	3 x 0.1087 = 0.3261 in <sup>2</sup> (aislados)	3 x 21.15 = 63.45 mm <sup>2</sup> (desnudos)
<b>Los 2 alambres N° 12:</b>	2 x 0.0172 = 0.0344 in <sup>2</sup> (aislados)	2 x 3.31 = 6.62 mm <sup>2</sup> (desnudos)

### Área total de los conductores

Aislados = 0.4709 in <sup>2</sup> = 303.82 mm <sup>2</sup>
Desnudos = 101.63 mm <sup>2</sup> = 0.1575 in <sup>2</sup>

Note que el área total ocupada por los conductores aislados (0.4709 in<sup>2</sup>) es casi tres veces el área ocupada por esos mismos conductores sin el aislamiento (0.1575 in<sup>2</sup>). Los cálculos deben realizarse incluyendo el aislamiento. Puesto que para 3 o más conductores se permite un factor de relleno del 40% (0.40), el área mínima de la sección transversal del conduit requerido es:

Diámetro de la tubería (pulgadas)		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5	6
Tipo de conductor	Calibre conductor AWG - KCM	13 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm	51 mm	63 mm	76 mm	89 mm	102 mm	114 mm	127 mm	152 mm
TW, T; RUH, RUW, XHHW (14 hasta 8)	14	9	15	25	44	60	99	142	-	-	-	-	-	-
	12	7	12	19	35	47	78	111	171	-	-	-	-	-
	10	5	9	15	26	36	60	85	131	176	-	-	-	-
	8	2	4	7	12	17	28	40	62	84	108	-	-	-
RHW y RHH (Sin cubierta exterior)	14	6	10	16	29	40	65	93	143	192	-	-	-	-
	12	4	8	13	24	32	53	76	117	157	-	-	-	-
	10	4	6	11	19	26	43	61	95	127	163	-	-	-
	8	1	3	5	10	13	22	32	49	66	85	133	-	-
TW, T, THW, RUH (6 a 2), RUW (6 a 2), FEPB (6 a 2), RHW y RHH (Sin cubierta exterior)	6	1	2	4	7	10	16	23	36	48	62	78	97	141
	4	1	1	3	5	7	12	17	27	36	47	58	73	106
	3	1	1	2	4	6	10	15	23	31	40	50	63	91
	2	1	1	2	4	5	9	13	20	27	34	43	54	78
	1	-	1	1	3	4	6	9	14	19	25	31	39	57
	0	-	1	1	2	3	5	8	12	16	21	27	33	49
	00	-	1	1	1	3	5	7	10	14	18	23	29	41
	000	-	1	1	1	2	4	6	9	12	15	19	24	35
	0000	-	-	1	1	1	3	5	7	10	13	16	20	29
	250	-	-	1	1	1	2	4	6	8	10	13	16	23
	300	-	-	1	1	1	2	3	5	7	9	11	14	20
	350	-	-	-	1	1	1	3	4	6	8	10	12	18
400	-	-	-	1	1	1	2	4	5	7	9	11	16	
500	-	-	-	1	1	1	1	3	4	6	7	9	14	
600	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	6	7	11	
700	-	-	-	-	1	1	1	2	3	4	5	7	10	
750	-	-	-	-	1	1	1	2	3	4	5	6	9	
THWN, THHN, FEP (14 a 2), FEPB (14 a 8), PFA (14 a 4/0), PFAH (14 a 4/0), Z (14 a 4/0)	14	13	24	39	69	94	154	-	-	-	-	-	-	-
	12	10	18	29	51	70	114	164	-	-	-	-	-	-
	10	6	11	18	32	44	73	104	160	-	-	-	-	-
	8	3	5	9	16	22	36	51	79	106	136	-	-	-
	6	1	4	6	11	15	26	37	57	76	98	125	154	-
	4	1	2	4	7	9	16	22	35	47	60	75	94	137
	3	1	1	3	6	8	13	19	29	39	51	64	80	116
	2	1	1	3	5	7	11	16	25	33	43	54	67	97
	1	-	1	1	3	5	8	12	18	25	32	40	50	72
	0	-	1	1	3	4	7	10	15	21	27	33	42	61
	00	-	1	1	2	3	6	8	13	17	22	18	35	51
	000	-	1	1	1	3	5	7	11	14	18	23	29	42
0000	-	1	1	1	2	4	6	9	12	15	19	24	35	
250	-	-	1	1	1	3	4	7	10	12	16	20	28	
300	-	-	1	1	1	3	4	6	8	11	13	17	24	
350	-	-	1	1	1	2	3	5	7	9	12	15	21	
400	-	-	-	1	1	1	3	5	6	8	10	13	19	
500	-	-	-	1	1	1	2	4	5	7	9	11	16	
600	-	-	-	1	1	1	3	4	5	7	9	11	13	
700	-	-	-	-	1	1	3	4	5	6	8	11	13	
750	-	-	-	-	1	1	2	3	4	6	7	11	13	
XHHW	6	1	3	5	9	13	21	30	47	63	81	102	128	185
	600	-	-	-	1	1	1	1	3	4	5	7	9	13
	700	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	6	7	11
	750	-	-	-	-	1	1	1	2	3	4	6	7	10
RHW	14	3	6	10	18	25	41	58	90	121	155	-	-	-
	12	3	5	9	15	21	35	50	77	103	132	-	-	-
	10	2	4	7	13	18	29	41	64	86	110	138	-	-
	8	1	2	4	7	9	16	22	35	47	60	75	94	137
RHH (Con cubierta exterior)	6	1	1	2	5	6	11	15	24	32	41	51	64	93
	4	1	1	1	3	5	8	12	18	24	31	39	50	72
	3	1	1	1	3	4	7	10	16	22	28	35	44	63
	2	-	1	1	3	4	6	9	14	19	24	31	38	56
	1	-	1	1	1	3	5	7	11	14	18	23	29	42
	0	-	1	1	1	2	4	6	9	12	16	20	25	37
	00	-	-	1	1	1	3	5	8	11	14	18	22	32
	000	-	-	1	1	1	2	4	7	9	12	15	19	28
	0000	-	-	1	1	1	2	4	6	8	10	13	16	24
	250	-	-	-	1	1	1	3	5	6	8	11	13	19
	300	-	-	-	1	1	1	3	4	5	7	9	11	17
	350	-	-	-	1	1	1	2	4	5	6	8	10	15
400	-	-	-	1	1	1	1	3	4	6	7	9	14	
500	-	-	-	1	1	1	1	3	4	5	6	8	11	
600	-	-	-	-	1	1	1	2	3	4	5	6	9	
700	-	-	-	-	1	1	1	1	3	3	4	6	8	
750	-	-	-	-	-	1	1	1	3	3	4	5	8	

Figura 19-10. Número máximo de conductores en medidas comerciales de tubería conduit

**Cálculo y selección de conductores eléctricos**

		Tipos RFH-2, RH, RHH, *** RHW, *** SF-2		Tipos TF, T, THW, † TW, RUH, RUW**		Tipos TFN THHN, THWN		Tipos **** FEP, FEPB, FEPW TFE, PF, PFA PFAH, PGF, PFT Z, ZF, ZFF			Tipos XHHW, ZW††	
TAMAÑO AWG MCM	Diámetro Aprox. Pulgadas	Area Aprox. In <sup>2</sup>	Diámetro Aprox. Pulgadas	Area Aprox. In <sup>2</sup>	Diámetro Aprox. Pulgadas	Area Aprox. In <sup>2</sup>	Diámetro Aprox. Pulgadas	Area Aprox. In <sup>2</sup>	Diámetro Aprox. Pulgadas	Area Aprox. In <sup>2</sup>	Diámetro Aprox. Pulgadas	Area Aprox. In <sup>2</sup>
18	.146	.0167	.106	.0088	.089	.0062	.081	.0052	...	...	...	...
16	.158	.0196	.118	.0109	.100	.0079	.092	.0066	...	...	...	...
14	.171	.0230	.131	.0135	.105	.0087	.105	.105	.0087	.0087	...	...
14	.204*	.0327*	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14	...	...	.162 †	.0206 †	...	...	...	...	...	...	.129	.0131
12	.188	.0278	.148	.0172	.122	.0117	.121	.121	.0115	.0115	...	...
12	.221*	.0384*	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
12	...	...	.179 †	.0252 †	...	...	...	...	...	...	.146	.0167
10	.242	.0460	.168	.0222	.153	.0184	.142	.142	.0158	.0158	...	...
10	...	...	.199 †	.0311 †	...	...	...	...	...	...	.166	.0216
8	.328	.0845	.245	.0471	.218	.0373	.206	.186	.0333	.0272	...	...
8	...	...	.276 †	.0598 †	...	...	...	...	...	...	.241	.0456
6	.397	.1238	.323	.0819	.257	.0519	.244	.302	.0468	.0716	.282	.0625
4	.452	.1605	.372	.1087	.328	.0845	.292	.350	.0760	.0962	.328	.0845
3	.481	.1817	.401	.1263	.356	.0995	.320	.378	.0804	.1122	.356	.0995
2	.513	.2067	.433	.1473	.388	.1182	.352	.410	.0973	.1320	.388	.1182
1	.588	.2715	.508	.2027	.450	.1590	.420	...	.1385	...	.450	.1590
0	.629	.3107	.549	.2367	.491	.1893	.462	...	.1676	...	.491	.1893
00	.675	.3578	.595	.2781	.537	.2265	.498	...	.1948	...	.537	.2265
000	.727	.4151	.647	.3288	.588	.2715	.560	...	.2463	...	.588	.2715
0000	.785	.4840	.705	.3904	.646	.3278	.618	...	.3000	...	.646	.3278
250	.868	.5917	.788	.4877	.716	.4026	...	...	...	...	.716	.4026
300	.933	.6837	.843	.5581	.771	.4669	...	...	...	...	.771	.4669
350	.985	.7620	.895	.6291	.822	.5307	...	...	...	...	.822	.5307
400	1.032	.8365	.942	.6969	.869	.5931	...	...	...	...	.869	.5931
500	1.119	.9834	1.092	.8316	.955	.7163	...	...	...	...	.955	.7163
600	1.233	1.1940	1.143	1.0261	1.058	.8791	...	...	...	...	1.073	.9043
700	1.304	1.3355	1.214	1.1575	1.129	1.0011	...	...	...	...	1.145	1.0297
750	1.339	1.4082	1.249	1.2252	1.163	1.0623	...	...	...	...	1.180	1.0936
800	1.372	1.4784	1.282	1.2908	1.196	1.1234	...	...	...	...	1.210	1.1499
900	1.435	1.6173	1.345	1.4208	1.259	1.2449	...	...	...	...	1.270	1.2668
1000	1.494	1.7530	1.404	1.5482	1.317	1.3623	...	...	...	...	1.330	1.3893
1250	1.676	2.2062	1.577	1.9532	...	...	...	...	...	...	1.500	1.7671
1500	1.801	2.5475	1.702	2.2751	...	...	...	...	...	...	1.620	2.0612
1750	1.916	2.8832	1.817	2.5930	...	...	...	...	...	...	1.740	2.3779
2000	2.021	3.2079	1.922	2.9013	...	...	...	...	...	...	1.840	2.6590

\* Estas dimensiones corresponden a los tipos RHH y RHW

\*\*, †† Calibres No.14 hasta No.2.

\*\*\* Las dimensiones de los tipos RHH y RHW sin cubierta exterior son las mismas del tipo THW desde el No.18 hasta el No.10 (alambres sólidos) y del No.8 en adelante (alambres trenzados)

† Estas dimensiones corresponden al tipo THW en tamaños desde el No.14 hasta el No.8. El tipo THW No.6 y más gruesos tienen las mismas dimensiones del tipo T.

**Figura 19-11. Areas de la sección transversal de conductores aislados**

$$\text{Area tubo} = \frac{\text{Area conductores}}{\text{Factor de relleno}}$$

$$A_T = \frac{0.4709}{0.40} = 1.17725 \text{ in}^2$$

De acuerdo a la fórmula para determinar el área de un círculo ( $A = \pi d^2/4$ ), el diámetro de tubo asociado al valor anterior es, simplemente,

$$D_T = 2 \times \sqrt{\frac{A_T}{\pi}}$$

$$D_T = 2 \times \sqrt{\frac{1.17725}{3.1416}} = 1.2243''$$

El tamaño comercial de conduit más próximo a este valor es 1.2500" (1.1/4"), el cual tiene un área disponible de 1.2272 in<sup>2</sup> y produce un factor de relleno del 38.37%, más que adecuado para cualquier aplicación. Note que si el cálculo se realiza con las secciones de los conductores desnudos, el área mínima del tubo para un factor de relleno del 40% sería de 0.1575/0.40 = 0.39375 in<sup>2</sup>, correspondiente a un diámetro de 0.708". El tamaño comercial de conduit más próximo a este valor es 0.75" (3/4"), el cual tiene un área disponible de 0.4418" y produce un factor de relleno del 35.65%.

Como sabemos, dos de los tipos de aislamientos más utilizados en conductores para instalaciones residenciales son el TW y el TWH. La tabla de la figura 19-12 proporciona la sección total, en mm<sup>2</sup>, de uno hasta 10 conductores de este tipo. Esta información también puede ser utilizada para conductores con otros tipos de aislamiento cuyo diámetro total no sobrepase el diámetro indicado en la primera columna. Un conductor RHH sin cubierta exterior, por ejemplo, tie-

ne la misma sección transversal de un conductor TW o THW.

Por ejemplo, 6 conductores THW N<sup>o</sup> 10 ocupan un área total de 96.28 mm<sup>2</sup> (0.149234"). El área mínima de conduit requerido para su canalización, con un factor de relleno del 40%, es simplemente 0.149234/0.40 = 0.3731", correspondiente a un diámetro de 0.69". El tamaño comercial de conduit más próximo a este valor es 0.75" (3/4"), el cual tiene un área interior de 0.4418" y proporciona un factor de relleno del 33.8%.

Como otra ayuda para el cálculo de canalizaciones, la tabla de la figura 19-13 presenta los valores correspondientes al 100%, 40%, 30% y 20% del área interior de tubos conduit comerciales desde 1/2" hasta 4". En la tabla de la figura 19-14 se presentan los mismos porcentajes para ductos cuadrados típicos.

Suponiendo que los conductores son compatibles para alojarse en la misma canalización y que no hay más

de diez del mismo calibre, el uso de las tres últimas tablas para el cálculo de canalizaciones puede resumirse así:

(a) Utilizando la tabla de la figura 19-12 se obtienen las secciones de los conductores de cada calibre y se hace la sumatoria total de secciones.

(b) El resultado anterior se compara con los valores de la columna del factor de relleno deseado de la tabla de la figura 19-13 o 19-14, según sea el caso. La tubería o ducto que debe especificarse será la que tiene la sección inmediatamente superior a la obtenida en el primer paso.

Suponga, por ejemplo, que se desea determinar el tamaño mínimo de conduit requerido para alambrear 2 conductores N<sup>o</sup> 8 THW y 4 conductores N<sup>o</sup> 10 THW. De acuerdo a la tabla de la figura 19-12, todos estos conductores ocupan un área total de 58.5 + 64.2 = 122.70 mm<sup>2</sup> (0.1902 in<sup>2</sup>). Esta área (122.70 mm<sup>2</sup>) debe corresponder, como máximo, al 40% del área transversal del conduit. De acuerdo a la ta-

Cal. AWG ó MCM	Suma de las secciones para cada cantidad de conductores									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	9.2	18.5	27.7	37.0	46.2	55.44	64.68	73.9	83.2	92.4
12	12.0	24.0	36.0	48.0	60.0	72.04	84.05	96.1	108.1	120.1
10	16.1	32.1	48.1	64.2	80.2	96.28	112.32	128.4	144.4	160.5
8	29.2	58.5	87.7	116.9	146.1	175.3	204.6	233.8	263.0	292.2
6	48.0	96.1	144.1	192.1	240.1	288.2	336.2	384.2	432.3	480.3
4	64.2	128.4	192.6	256.7	321.9	385.1	449.3	513.5	577.7	641.8
2	87.8	175.5	263.3	351.0	438.7	526.5	614.2	702.0	789.7	877.5
1/0	142	284	425.6	567.5	709.3	851.2	993.1	1135	1277	1419
2/0	168	335	502.9	670.6	838.2	1005.9	1173.5	1341	1509	1676
3/0	199	397	595.7	794.2	992.8	1191.3	1389.9	1589	1787	1986
4/0	237	474	710.9	947.9	1185	1421.8	1658.8	1896	2133	2370
250	295	590	885	1180	1475	1769.9	2064.9	2360	2655	2950
300	339	678	1017	1357	1696	2034.8	2374.0	2713	3052	3391
350	383	765	1148	1530	1913	2295.3	2677.9	3060	3443	3826
400	425	851	1276	1701	2127	2551.8	2977.0	3402	3828	4253
500	508	1016	1524	2032	2540	3047.4	3555.3	4063	4571	5079
600	626	1251	1876	2502	3127	3752.8	4378.3	5004	5629	6255
750	749	1499	2248	2998	3747	4496.5	5245.9	5995	6745	7494
1000	951	1902	2853	3805	4756	5706.9	6658.0	7609	8560	9512

Figura 19-12. Sección transversal de conductores TW y TWH en mm<sup>2</sup>

## Cálculo y selección de conductores eléctricos

Tuberías conduit					
Diámetro		Área en mm <sup>2</sup>			
Pulgadas	mm	100%	40%	30%	20%
1/2	13	192	78	58.5	39
3/4	19	340	136	102.5	68
1	25	555	222	166.5	111
1.1/4	32	975	390	292.5	195
1.1/2	38	1325	530	397.5	265
2	51	2175	870	652.0	425
2.1/2	64	3100	1240	930.0	620
3	75	4767	1907	1430.0	953
3.1/2	88	6375	2550	1912.5	1275
4	102	8250	3300	2475.0	1650

Figura 19.13. Sección transversal de tuberías conduit típicas en mm<sup>2</sup>

Nombre comercial	Dimensiones en mm	Área en mm <sup>2</sup>			
		100%	40%	30%	20%
6.5 x 6.5	65 x 65	4225	1690	1267.5	845
10 x 10	100 x 100	10000	4000	3000.0	2000
15 x 15	150 x 150	22500	9000	6750.0	4500

Figura 19.14. Sección transversal de ductos cuadrados

Dimensiones (pulgadas)	Capacidad mínima (in <sup>3</sup> )	Número máximo de conductores						
		Nº 18	Nº 16	Nº 14	Nº 12	Nº 10	Nº 8	Nº 6
<b>Redondas u octogonales</b>								
4 x 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	12.5	8	7	6	5	5	4	2
4 x 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	15.5	10	8	7	6	6	5	3
4 x 2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	21.5	14	12	10	9	8	7	4
<b>Cuadradas</b>								
4 x 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	18.0	12	10	9	8	7	6	3
4 x 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	21.0	14	12	10	9	8	7	4
4 x 2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	30.3	20	17	15	13	12	10	6
4 <sup>11</sup> / <sub>16</sub> x 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	25.5	17	14	12	11	10	8	5
4 <sup>11</sup> / <sub>16</sub> x 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	29.5	19	16	14	13	11	9	5
4 <sup>11</sup> / <sub>16</sub> x 2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	42.0	28	24	21	18	16	14	8
<b>Rectangulares o de dispositivos</b>								
3 x 2 x 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	7.5	5	4	3	3	3	2	1
3 x 2 x 2	10.0	6	5	5	4	4	3	2
3 x 2 x 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	10.5	7	6	5	4	4	3	2
3 x 2 x 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	12.5	8	7	6	5	5	4	2
3 x 2 x 2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	14.0	9	8	7	6	5	4	2
3 x 2 x 3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	18.0	12	10	9	8	7	6	3
4 x 2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> x 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	10.3	6	5	5	4	4	3	2
4 x 2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> x 1 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>	13.0	8	7	6	5	5	4	2
4 x 2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> x 2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	14.5	9	8	7	6	5	4	2

Figura 19.15. Número máximo de alambres que pueden acomodarse en cajas de conexión comerciales

bla de la figura I9-13, columna "40%", el conduit que más se acerca a este requisito es el de 3/4" (19 mm) de diámetro, el cual tiene un área de 136 mm<sup>2</sup> (0.2108 in<sup>2</sup>) para un factor de relleno del 40%. Este es el tamaño de tubo que debe utilizarse para canalizar los conductores mencionados.

### Dimensionamiento de cajas

Las cajas, utilizadas para alojar componentes o servir de puntos de unión (ver capítulo 5) deberán ser de tamaño suficiente para proporcionar espacio libre para todos los conductores contenidos en la misma. Los códigos eléctricos limitan el número máximo de alambres que pueden entrar a una caja (de salida, unión, condulets, etc.) dependiendo de la capacidad o volumen de esta última, así como del tamaño de los alambres. Además de ser inseguro y causar posibles daños al aislamiento, saturar una caja de alambres dificulta la instalación de dispositivos en la misma. Se pueden desarrollar cortos y tierras como resultado de forzar un interruptor o un tomacorriente en una caja ya repleta de alambres.

La tabla de la figura I9-15 especifica el número máximo de conductores que pueden acomodarse en cajas redondas, octogonales, cuadradas y rectangulares de tamaños típicos. Estos valores se aplican asumiendo que la caja no contiene en su interior conductores de tierra ni dispositivos o accesorios de montaje tales como soportes de lámparas, mordazas de cable, casquillos, interruptores, tomacorrientes, etc. Los cálculos se basan en el tamaño del conductor más grande que entra a la caja. En la práctica, el número real de conductores (alambres) se determina aplicando las siguientes reglas:

Tamaño del conductor	Espacio libre dentro de la caja para cada conductor
No.14 .....	2. pulgadas cúbicas
No.12 .....	2.25 pulgadas cúbicas
No.10 .....	2.5 pulgadas cúbicas
No.8 .....	3. pulgadas cúbicas
No.6 .....	5. pulgadas cúbicas

Figura I9-16. Volumen requerido por conductor

1. No se cuentan conductores de tierra y alambres de conexión de portalámparas de diámetro más pequeño que el N<sup>o</sup> 14. Estos últimos no deben ser más de 4. Tampoco se cuentan los alambres originados dentro de la caja y que no salen de la misma (pig tails).
2. Cada casquillo y soporte de un portalámpara, así como cualquier número de mordazas de cable, se cuenta como un solo conductor. Por tanto, reduzca en 1 el número de

conductores indicados en la tabla por cada uno de estos grupos de accesorios. No se tienen en cuenta los conectores externos a la caja.

3. Cada interruptor, tomacorriente o dispositivo similar, o cualquier combinación de ellos montada en un mismo soporte, se cuenta como dos conductores. Por tanto, reduzca en 2 el número de conductores indicado en la tabla por cada uno de estos dispositivos. No se tienen en cuenta portalámparas porque estos no ocupan espacio interior de la caja.
4. Todos los conductores de tierra que entran a una caja se cuentan como un solo conductor, independientemente del número de tales alambres. Por tanto, reduzca en 1 el número de conductores indicado en la tabla si uno o más conductores de tierra entran a la caja. Realice una deducción adicional si hay un conductor de tierra separado en la caja para efectos de eliminación de interferencia electromagnética.
5. Cada conductor que corre a través de una caja sin interrupción, así como cada conductor que se origina fuera de la caja y termina dentro de la misma, se cuenta como un solo alambre.

La tabla de la figura I9-15 permite determinar el tamaño de caja requerido cuando todos los conductores son del mismo tamaño. Si la caja contiene

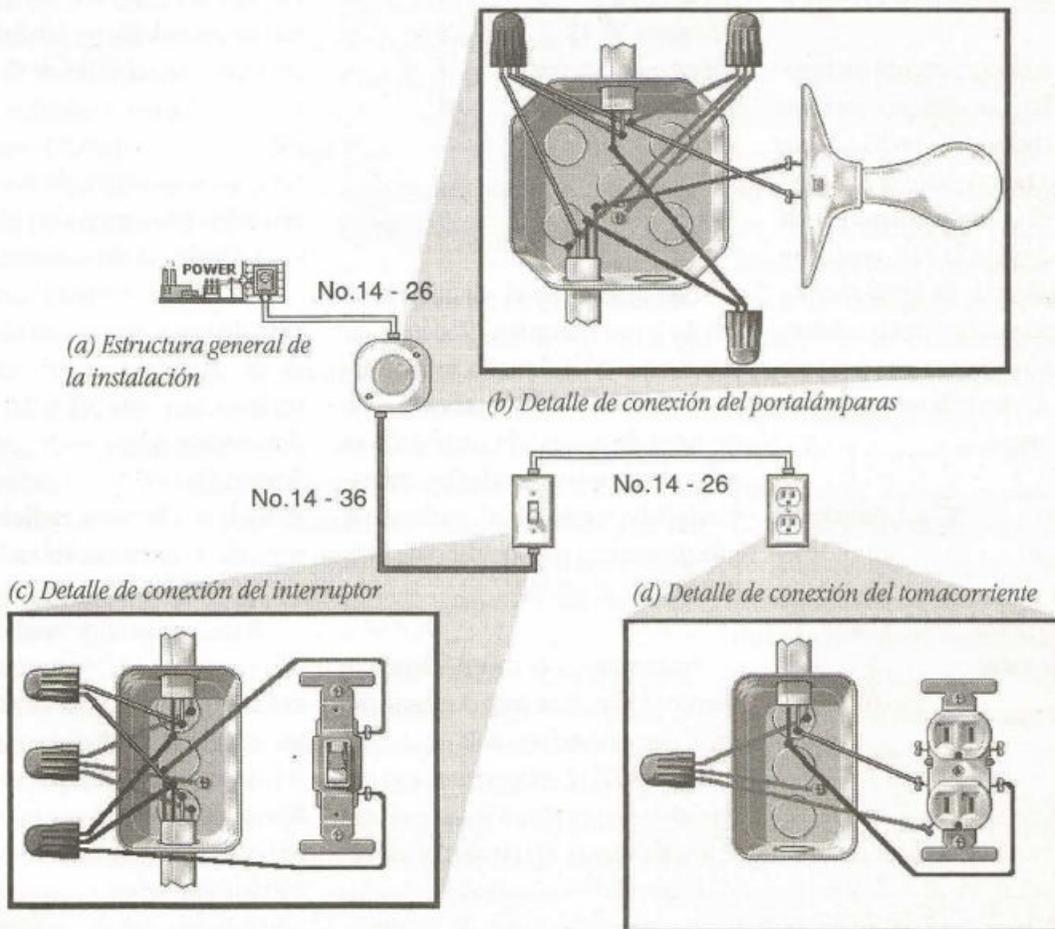


Figura I9-17. Ejemplo de cálculo de cajas de conexión

## Cálculo y selección de conductores eléctricos

diferentes tamaños de alambres, debe aplicarse la tabla de la figura I9-16, la cual lista el volumen requerido para cada conductor. De todas formas, no deberán excederse el máximo número y tamaño de conductores listados en la tabla de la figura I9-15.

Para ilustrar el uso de las tablas anteriores, consideremos inicialmente la instalación mostrada en la figura I9-17-a. En este circuito, el interruptor controla el encendido y apagado de la lámpara, mientras que el tomacorriente permanece siempre energizado. Los detalles de las conexiones en el interior de las cajas se muestran en las figuras I9-17-b, c y d. Se asume que toda la instalación se realiza con cable encauchado N<sup>o</sup> 14 de envoltura no metálica (NM o Romex). No se utiliza conduit.

A la caja del portalámpara (octogonal o redonda), por ejemplo, entra un cable encauchado N<sup>o</sup> 14-2G (2 conductores con tierra) y sale un cable N<sup>o</sup> 14-3G (3 conductores con tierra). Cada cable se asegura a la caja mediante mordazas. Aplicando las reglas anteriores, el número de alambres o conductores simples asociado a esta caja para efectos de cálculo de la misma se evaluaría como sigue:

Dispositivo	N <sup>o</sup> de alambres
Portalámpara	0
Alambres N <sup>o</sup> 12	5
Alambres de tierra	1
Mordazas de cable	1
Pigtails	0
Total	7

Para determinar, a partir de la tabla de la figura I9-15, el volumen mínimo de la caja a utilizar, buscamos "7" debajo de la columna correspon-

diente "N<sup>o</sup> 14" y en la sección correspondiente a cajas redondas u octogonales. Horizontalmente se encuentra que la capacidad mínima de la caja debe ser de **15.5 in<sup>3</sup>** (pulgadas cúbicas), pudiéndose utilizar una caja octogonal de **4" x 1 1/2"**.

A la caja del interruptor (rectangular o de dispositivos), por su parte, entra un cable encauchado N<sup>o</sup> 14-3G (3 conductores con tierra) y sale un cable N<sup>o</sup> 14-2G (2 conductores con tierra). Nuevamente, cada cable se asegura a la caja mediante mordazas. El cálculo del número de conductores asociados a la caja, y por tanto del volumen de la misma, se realizaría como sigue:

Dispositivo	N <sup>o</sup> de alambres
Interruptor	2
Alambres N <sup>o</sup> 12	5
Alambres de tierra	1
Mordazas de cable	1
Pigtails	0
Total	9

Para determinar el volumen mínimo de la caja buscamos "9" debajo de la columna "N<sup>o</sup> 14" y en la sección correspondiente a cajas rectangulares o de dispositivos. Horizontalmente se encuentra que la capacidad mínima de la caja debe ser de **18 in<sup>3</sup>**, pudiéndose utilizar una caja rectangular o de utilidad de **3" x 2" x 3 1/2"**

Finalmente, a la caja del tomacorriente (rectangular o de dispositivos) entra únicamente un cable encauchado N<sup>o</sup> 14-2G (2 conductores con tierra), el cual se asegura a la caja mediante una mordaza. El cálculo del número de conductores asociados a la caja, y por tanto del volumen de la misma, se haría así:

Dispositivo	N <sup>o</sup> de alambres
Tomacorriente	2
Alambres N <sup>o</sup> 12	2
Alambres de tierra	1
Mordazas de cable	1
Pigtails	0
Total	6

Para determinar el volumen mínimo de la caja buscamos "6" debajo de la columna "N<sup>o</sup> 14" y en la sección correspondiente a cajas rectangulares o de dispositivos. Horizontalmente se encuentra que la capacidad mínima de la caja debe ser de **12.5 in<sup>3</sup>**, pudiéndose utilizar una caja rectangular o de utilidad de **3" x 2" x 2 1/2"**.

## Cálculo de alimentadores

Un **alimentador**, como sabemos (ver capítulo 4) es un cable que proporcionan potencia desde un panel de servicio principal a un subpanel de distribución que sirve dos o más circuitos derivados (figura I9-18-a). El panel de servicio contiene los dispositivos de desconexión generales de la instalación y el subpanel o subpaneles los dispositivos de protección de sobrecorriente (*breakers*) de cada circuito derivado. Los dispositivos de sobrecorriente pueden estar concentrados en un punto (I9-18-b) o distribuidos en varios puntos a lo largo de la edificación (figura I9-18-c). En el primer caso se habla de **circuitos radiales** y en el segundo de **circuitos en anillo**.

El primer paso al determinar el tamaño requerido de los conductores alimentadores es establecer la carga real. Los alimentadores y sub-alimentadores deben dimensionarse para proporcionar suficiente potencia a los circuitos que ellos alimentan. En otras palabras, al voltaje de trabajo dado, deben ser capaces de transportar la cantidad de corriente exigida por la carga, así como cualquier corrien-

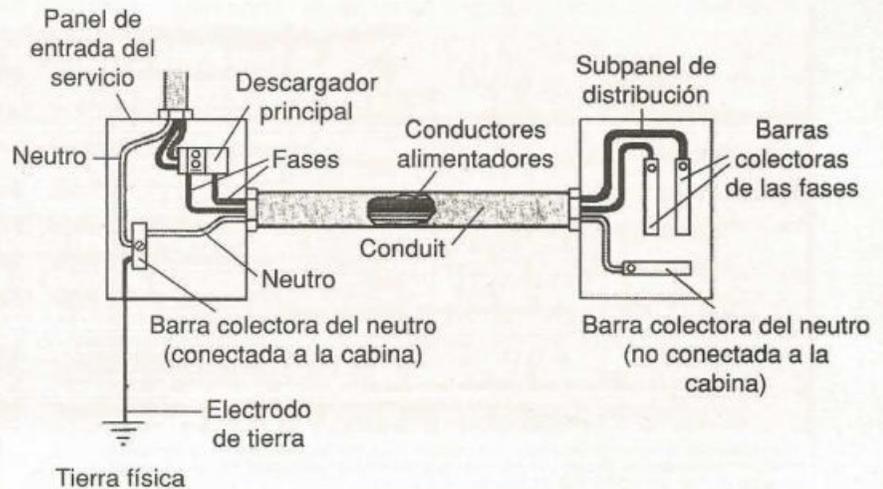
te que pueda ser requerida en el futuro. En ningún caso, la carga computada de un alimentador deberá ser menor que la suma de las cargas de los circuitos derivados asociados al mismo.

Para determinar la máxima demanda de carga de un alimentador deben conocerse no solamente las cargas conectadas al mismo sino también el **factor de demanda** de cada una. La **carga conectada** es la suma de las potencias nominales de los aparatos y máquinas que consumen energía eléctrica y que están conectados a un circuito. El **factor de demanda**, por su parte, es la relación de la máxima cantidad de carga que estará consumiendo efectivamente el circuito en un momento dado a la carga total conectada al mismo. Por tanto:

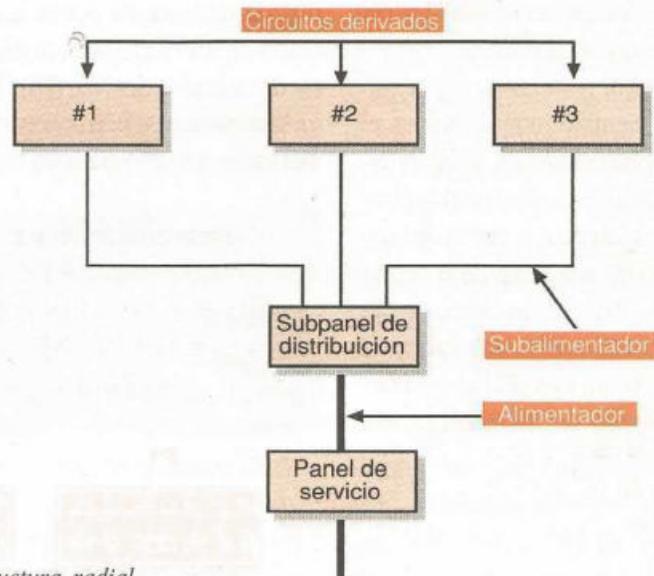
$$\text{Carga máxima demandada} = \text{Carga conectada} \times \text{factor de demanda}$$

Por ejemplo, si un circuito tiene una carga conectada de 500VA y el factor de demanda del mismo es del 80% (0.80), la carga máxima demandada por el mismo en un momento dado es de  $500 \times 0.80 = 400\text{VA}$ . Esto implica, naturalmente, que en ningún momento todas las cargas conectadas estarán demandando su potencia nominal al mismo tiempo.

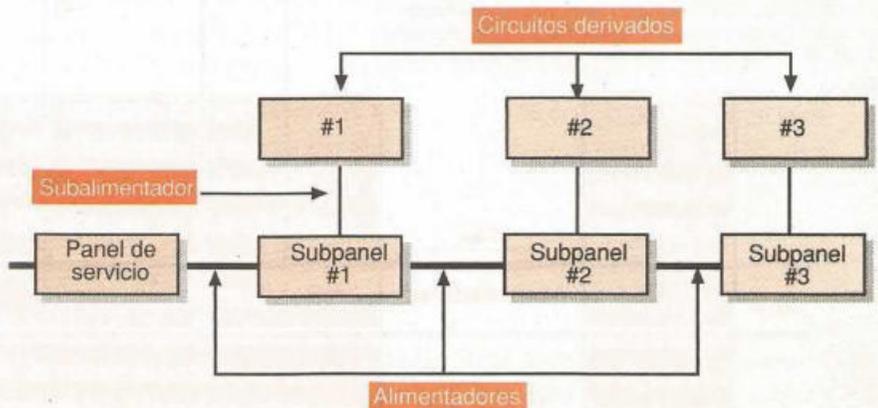
Los factores de demanda se deducen estadísticamente a partir de la experiencia con varios tipos de concentraciones de carga y varias configuraciones de alimentadores y sub-alimentadores que alimentan dichas cargas. La tabla de la figura 19-19, por ejemplo, relaciona los factores de demanda típicos de los alimentadores en sistemas de iluminación de casas de habitación, hospitales, hoteles y otras ocupaciones similares. Para cargas en tomacorrientes, se considera un factor de demanda del



(a) Estructura típica de un centro de distribución con subpanel



(b) Estructura radial



(b) Estructura en anillo

Figura 19-18. Concepto de circuito alimentador

## Cálculo y selección de conductores eléctricos

Tipo de ocupación	Porción de la carga de iluminación para la cual se aplica el factor de demanda (VA)	Factor de demanda (%)
Casas de habitación	Primeros 3,000 o menos	100
	Desde 3,001 hasta 120,000	35
	Resto por encima de 120,000	25
Hospitales*	Primeros 50,000 o menos	40
	Resto por encima de 50,000	20
Hoteles, moteles y apartamentos de habitación*	Primeros 20,000 o menos	50
	Desde 20,001 hasta 100,000	40
	Resto por encima de 100,000	30
Bodegas de almacenamiento	Primeros 12,500 o menos	100
	Resto por encima de 12,500	50
Todos los demás	El total de Voltio-Amperios	100

\*Los factores de demanda de esta tabla no se aplican a la carga computada de los alimentadores para áreas en hospitales, hoteles y moteles donde el alumbrado completo se usa todo el tiempo, como en salas de operación, salones de baile o comedores.

Figura 19-19. Factores de demanda para cargas de alumbrado

100% hasta los primeros 10kVA y del 50% para la potencia restante.

Como ejemplo, consideremos el sistema representado en la figura 19-20. En este caso, el alimentador principal debe alimentar, a través de subalimentadores, una carga de potencia de 30 KVA (P1) con un factor de demanda del 80% (F1), una carga de alumbrado de 10 kVA (P2) con un factor de demanda del 100% (F2) y una

carga combinada de potencia y alumbrado de 50kVA (P3) que tiene un factor de demanda del 70% (F3). Por tanto, la máxima potencia solicitada al alimentador, en un momento dado, es

$$\begin{aligned}
 &\text{Demanda máxima} \\
 &= F1P1 + F2P2 + F3P3 \\
 &= 0.80 \times 30 + 1.00 \times 10 + 0.70 \times 50 \\
 &= 24 + 10 + 35 \\
 &= 69 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

Conociendo la demanda máxima de potencia y el voltaje de operación del alimentador puede entonces determinarse la corriente máxima (carga en amperios) que debe entregar el mismo. En nuestro caso, asumimos que se utiliza un alimentador monofásico de 2 hilos (fase y neutro) de 220V. Por tanto:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{máx}} &= P_{\text{máx}}/V_{\text{nom}} \\
 &= 69 \times 10^3 / 220 = 314 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Con este dato pueden determinarse las características de los conductores alimentadores. Como dispositivo de protección de sobrecorriente del alimentador puede utilizarse un breaker de 300A. Asumiendo que en los conductores alimentadores se admite una caída de voltaje máxima del 2% (4.4V) y la distancia entre el panel de servicio y el subpanel de distribución es de 30 m (96 pies), la mínima sección transversal de los conductores alimentadores debe ser

$$\begin{aligned}
 S(\text{cmil}) &= 22 \times L(\text{ft}) \times I(\text{A}) / \Delta V(\text{V}) \\
 &= 22 \times 96 \times 314 / 4.4 \\
 &= 150,720 \text{ cmil} = 150.72 \text{ KCM}
 \end{aligned}$$

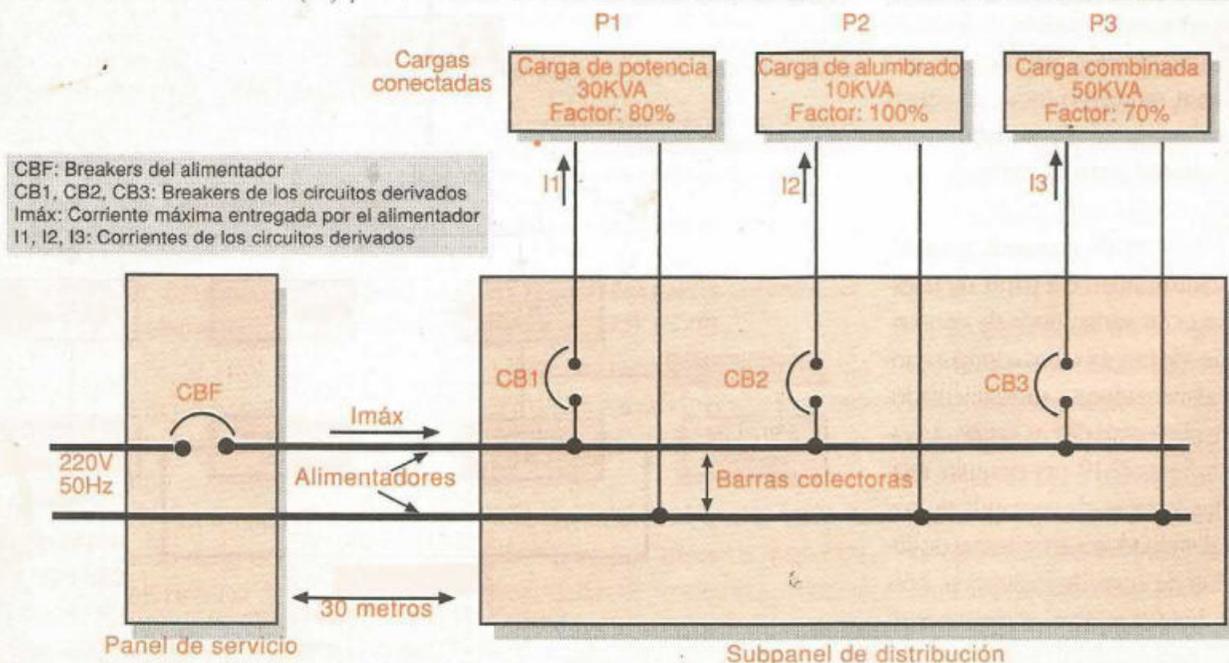


Figura 19-20. Ejemplo de cálculo de un circuito alimentador

De acuerdo a la tabla de la figura I9-1, el calibre de alambre más próximo a este valor es el N° 3/0, el cual tiene una sección de 167.8 KCM (miles de circular mils) y proporciona una caída de voltaje del 1.8% (3.95V). Estos conductores deben tener una ampacidad suficiente para atender la máxima demanda de carga esperada (314A). Como opciones, según la tabla I9-4, puede utilizarse, por ejemplo, alambre N° 3/0 con aislamiento termoplástico THHN (resistente al calor y retardador de la flama), el cual tiene una ampacidad nominal de 330A y una temperatura máxima de 90°C. Se asume que los alimentadores no van canalizados en conduit sino que trabajan al aire libre.

Cuando un alimentador excita cargas continuas, o cualquier combinación de cargas continuas y no continuas, tanto el *rating* de amperios del dispositivo de sobrecorriente como la ampacidad de los conductores alimentadores no deberán ser menores que la carga no continua más **125%** de la carga continua. Por **carga continua** se entiende aquella que exige, en forma continua, la máxima corriente durante tres o más horas, como es usual en almacenes, oficinas, fábricas, hospitales y locaciones similares.

En otras palabras, la carga continua de cualquier dispositivo de sobrecorriente de un circuito alimentador o derivado no debe exceder del **80%** de su *rating* nominal. Lo anterior significa, por ejemplo, que la corriente a través de un *breaker* de 200A asociado a un circuito alimentador o derivado que alimenta una carga continua no debe exceder de  $0.80 \times 200 = 160A$ . Otros detalles relacionados con el diseño de circuitos alimentadores serán discutidos en un capítulo posterior de este curso.

## Ejemplos de cálculo

A continuación se proponen varios ejemplos de cálculo y diseño que ilustran la aplicación de las tablas, conceptos, formulas, etc. expuesta(o)s en este capítulo y complementan los ejemplos presentados durante el desarrollo de los diferentes temas tratados. Finalizaremos explicando paso a paso el proceso completo de instalaciones eléctricas sencillas y de circuitos derivados para motores eléctricos.

### Ejemplo 8-1

Determinar cuál es el número máximo de conductores N° AWG12 tipos (a) RHW y (b) TW que caben en un tubo conduit de 13 mm (1/2") de diámetro.

#### Solución

(a) De la tabla de la figura I9-10 (página 197) se encuentra en la columna correspondiente a tipo de conductor el RHW y se cruza el N° 12 (calibre) con el diámetro de tubería de 13 mm (1/2"), encontrándose en el punto de cruce el número 4. Por tanto, en una tubería de 1/2" se pueden acomodar hasta 4 conductores AWG12 tipo RHW, RHH o THW con un factor de relleno del 40%.

(b) De la tabla de la figura I9-10 (página 197) se encuentra en la columna correspondiente a tipo de conductor el TW N° 12 y se cruza con el diámetro de tubería de 13 mm (1/2"), encontrándose en el punto de cruce el número 7. Por tanto, en una tubería de 1/2" se pueden acomodar hasta 7 conductores AWG12 tipo TW, T, RUH, RUW o XHHW con un factor de relleno del 40%.

### Ejemplo 8-2

Se desea alambrear 2 conductores N° 8 THHN y 4 N° 10 del mismo tipo de aislamiento. Calcular el tamaño mínimo de conduit.

#### Solución

Debido a que se tiene más de un tamaño o calibre de conductor, la sección del tubo conduit requerido no se puede obtener directamente de la tabla de la figura I9-10. Por tanto, se debe recurrir a las áreas de los conductores utilizando la tabla de la figura I9-11 (página 198). Para utilizar esta tabla, recuerde que el factor de conversión de pulgadas cuadradas a milímetros cuadrados es  $645.2$ , es decir  $1 \text{ in}^2 = 645.2 \text{ mm}^2$  y  $1 \text{ mm}^2 = 0.001550 \text{ in}^2$

De acuerdo a la tabla de la figura I9-11, el área de un conductor THHN N° 8 es  $0.0373 \text{ in}^2$  ( $24.066 \text{ mm}^2$ ). Por tanto, los dos conductores THHN N° 8 ocuparan un área total de

$$2 \times 0.0373 = 0.0746 \text{ in}^2 \\ = 48.132 \text{ mm}^2$$

De acuerdo a la misma tabla, el área de un conductor THHN N° 10 es  $0.0184 \text{ in}^2$  ( $11.872 \text{ mm}^2$ ). Por tanto, los cuatro conductores THHN N° 10 ocuparan un área total de

$$4 \times 0.0184 = 0.0736 \text{ in}^2 \\ = 47.487 \text{ mm}^2$$

Como resultado, el área total ocupada por los 6 conductores es

$$0.0746 + 0.0736 = 0.1482 \text{ in}^2 \\ = 95.619 \text{ mm}^2$$

Puesto que para 3 o más conductores se permite un factor de relleno del 40% (0.4), el área mínima requerida de conduit es, simplemente

$$\text{Área mínima de conduit} = \text{Área de los conductores} + \text{Factor de relleno} \\ = 0.1482 + 0.4 \\ = 0.3705 \text{ in}^2 \text{ (239.047 mm}^2\text{)}$$

Tamaño comercial	Diámetro interno (pulgadas)	Area - (pulgadas cuadradas)								
		Total 100%	Sin cubierta de plomo				Con cubierta de plomo			
			2 Cond. 31%	Más de 2 cond. 40%	1 cond. 53%	1 cond. 55%	2 cond. 30%	3 cond. 40%	4 cond. 38%	Más de 2 cond. 35%
1/2	.622	.30	.09	.12	.16	.17	.09	.12	.11	.11
3/4	.824	.53	.16	.21	.28	.29	.16	.21	.20	.19
1	1.049	.86	.27	.34	.46	.47	.26	.34	.33	.30
1 1/4	1.380	1.50	.47	.60	.80	.83	.45	.60	.57	.53
1 1/2	1.610	2.04	.63	.82	1.08	1.12	.61	.82	.78	.71
2	2.067	3.36	1.04	1.34	1.78	1.85	1.01	1.34	1.28	1.18
2 1/2	2.469	4.79	1.48	1.92	2.54	2.63	1.44	1.92	1.82	1.68
3	3.068	7.38	2.29	2.95	3.91	4.06	2.21	2.95	2.80	2.58
3 1/2	3.548	9.90	3.07	3.96	5.25	5.44	2.97	3.96	3.76	3.47
4	4.026	12.72	3.94	5.09	6.74	7.00	3.82	5.09	4.83	4.45
5	5.047	20.00	6.20	8.00	10.60	11.00	6.00	8.00	7.60	7.00
6	6.065	28.89	8.96	11.56	15.31	15.89	8.67	11.56	10.98	10.11

Figura 19-21. Sección transversal de tuberías conduit típicas en pulgadas cuadradas

El tamaño comercial de conduit asociado a este valor puede deducirse a partir de la tabla de la figura 19-13 (página 200). Recorriendo la columna correspondiente a un área del 100% se observa que no existe un tamaño de conduit de sección exactamente igual al valor calculado (239 mm<sup>2</sup>), intermedio entre el de una tubería de 1/2" (192 mm<sup>2</sup>) y el de una de 3/4" (340 mm<sup>2</sup>). En estos casos, debe utilizarse la tubería de mayor tamaño. Por tanto, para canalizar los conductores del ejemplo se requiere, como mínimo, una tubería de 3/4".

Se llega al mismo resultado anterior recorriendo la columna correspondiente a un área del 40% y comparando los valores encontrados con el área ocupada por los conductores (95.6 mm<sup>2</sup>). Este valor es intermedio entre 78 mm<sup>2</sup> (40% del área de una tubería conduit de 1/2") y 139 mm<sup>2</sup> (40% del área de una tubería conduit de 3/4"). Nuevamente, debe utilizarse una tubería de 3/4".

Como una ayuda para este tipo de cálculos, la tabla de la figura 19-21 relaciona la sección transversal de tuberías conduit en pulgadas cuadradas para

distintos factores de relleno según recomendaciones del Código Nacional Eléctrico (NEC) de los Estados Unidos. Esta tabla es una versión ampliada de la tabla de la figura 19-13 y sirve a los mismos propósitos. El siguiente ejemplo ilustra el uso de la misma.

### Ejemplo 8-3

Cual es el tamaño mínimo de conduit requerido para canalizar 6 conductores N<sup>o</sup> 10 tipo THHN, 3 conductores N<sup>o</sup> 4 tipo RHH (sin cubierta exterior de plomo) y 2 conductores N<sup>o</sup> 12.

### Solución

De acuerdo a la tabla de la figura 19-11, el área de un conductor N<sup>o</sup> 10 THHN es 0.0184 in<sup>2</sup>, la de un conductor N<sup>o</sup> 4 RHH es 0.1087 in<sup>2</sup> y la de un conductor N<sup>o</sup> 12 TW es 0.0172 in<sup>2</sup>. Por tanto, el área total ocupada por los conductores es

Area de los conductores =

$$(6 \times 0.0184) + (3 \times 0.1087) + (2 \times 0.0172) = 0.4709 \text{ in}^2 \text{ (303.82 mm}^2\text{)}$$

De acuerdo a la tabla de la figura 19-21, para tres o más conductores de uso interior (sin cubierta de plomo) se admite un factor de relleno del 40%. Recorriendo la quinta columna de esta tabla, se observa que no existe un tamaño comercial de conduit cuyo 40% de sección transversal corresponda exactamente a 0.4709 in<sup>2</sup>, intermedio entre 0.34 in<sup>2</sup> (para un conduit de 1") y 0.60 in<sup>2</sup> (para un conduit de 1 1/4"). Por tanto, para alojar los 11 conductores del ejemplo debe utilizarse necesariamente un conduit de 1 1/4".

La tabla de la figura 19-22 resume los factores de relleno recomendados

Número de conductores	1	2	3	4	Más de 4
Todos los tipos de conductores excepto los de cubierta de plomo	53	31	40	40	40
Conductores de cubierta de plomo	55	30	40	38	35

Figura 19-22. Factores de relleno recomendados para conductores con y sin cubierta de plomo

Tamaño AWG - MCM	Conductor Sencillo		Dos Conductores		Tres Conductores	
	Diámetro en pulgadas	Area In <sup>2</sup> .	Diámetro en pulgadas	Area In <sup>2</sup> .	Diámetro en pulgadas	Area In <sup>2</sup> .
14	.28	.062	.28 x .47	.115	.59	.273
12	.29	.066	.31 x .54	.146	.62	.301
8 sólido	.41	.132	.41 x .71	.255	.82	.528
8 trenzado	.43	.145	.43 x .75	.282	.86	.581
6	.49	.188	.48 x .86	.369	.97	.738
4	.55	.237	.54 x .96	.457	1.08	.916
2	.60	.283	.61 x 1.08	.578	1.21	1.146
1	.67	.352	.70 x 1.23	.756	1.38	1.49
0	.71	.396	.74 x 1.32	.859	1.47	1.70
00	.76	.454	.79 x 1.41	.980	1.57	1.94
000	.81	.515	.84 x 1.52	1.123	1.69	2.24
0000	.87	.593	.90 x 1.64	1.302	1.85	2.68
250	.98	.754	.....	.....	2.02	3.20
300	1.04	.85	.....	.....	2.15	3.62
350	1.10	.95	.....	.....	2.26	4.02
400	1.14	1.02	.....	.....	2.40	4.52
500	1.23	1.18	.....	.....	2.59	5.28

Figura I9-23. Dimensiones de conductores RL, RHL y RUL con cubierta de plomo

por el NEC para conductores con y sin cubierta de plomo. Como complemento, la tabla de la figura I9-23 compara las dimensiones de conductores con cubierta exterior de plomo (tipos RL, RHL y RUL). Estos alambres deben correr rectos. Los conductores del N° 14 al N° 10 son siempre sólidos, mientras que los del N° 8 pueden ser sólidos o trenzados. Los conductores del N° 6 en adelante son siempre trenzados.

### Ejemplo 8-4

Se tiene un alimentador trifásico con tres conductores N° 2/0 tipo RHW instalados en un tubo conduit de 63.5 mm (2½") de diámetro. Se desea calcular:

(a) El mínimo tamaño de tubo conduit permitido por las normas para alojar los tres conductores 2/0 RHW.

(b) El máximo tamaño de conductores RHW que podrían reemplazar a los ya existentes.

(c) El incremento en la capacidad de conducción de corriente que se

ganaría por el cambio en el calibre de los conductores.

### Solución

(a) De acuerdo a la tabla de la figura I9-11, para alojar 3 conductores N° 00 (2/0) tipo RHW se requiere, como mínimo, tubo conduit de **2" (51 mm)** de diámetro. Este dato se encuentra buscando en las columnas "tipo de conductor" y "calibre de conductor" la combinación RHW N° 00 y localizando horizontalmente el número de conductores (3). Dicho número se encuentra en la intersección de la fila RHW 00 con la columna "2" (diámetro de la tubería).

(b) De acuerdo a la misma tabla anterior, en un tubo de 2½" (63 mm) de diámetro se pueden instalar hasta 3 conductores **N° 300** (calibre KCM) tipo RHW. Este dato se encuentra en la intersección de la columna "2½" (diámetro de la tubería original) con la fila "RHW N° 300" (tipo y calibre del conductor).

(c) De acuerdo a la tabla de la figura I9-4 (página 189), la capacidad de conducción de corriente (ampacidad) de un conductor N° 2/0 tipo RHW canalizado es **175A**. Este dato se encuentra en la intersección de la columna "RHW-en tubo" (tipo de aislamiento) con la fila "AWG 00" (calibre del conductor). De acuerdo a la misma tabla, la capacidad de conducción de corriente de un conductor N° 300 tipo RHW canalizado es **285A**. Este dato se encuentra en la intersección de la columna "RHW-en tubo" con la fila "MCM 300".

Puesto que dentro de la tubería solo van tres conductores, no se necesita aplicar los factores de corrección por agrupamiento de la tabla de la figura I9-5 (página 190). Por tanto, el incremento en la carga al utilizar conductores N° KCM 300 en lugar de conductores N° AWG 00 es

$$285 - 175 = 110 \text{ A}$$

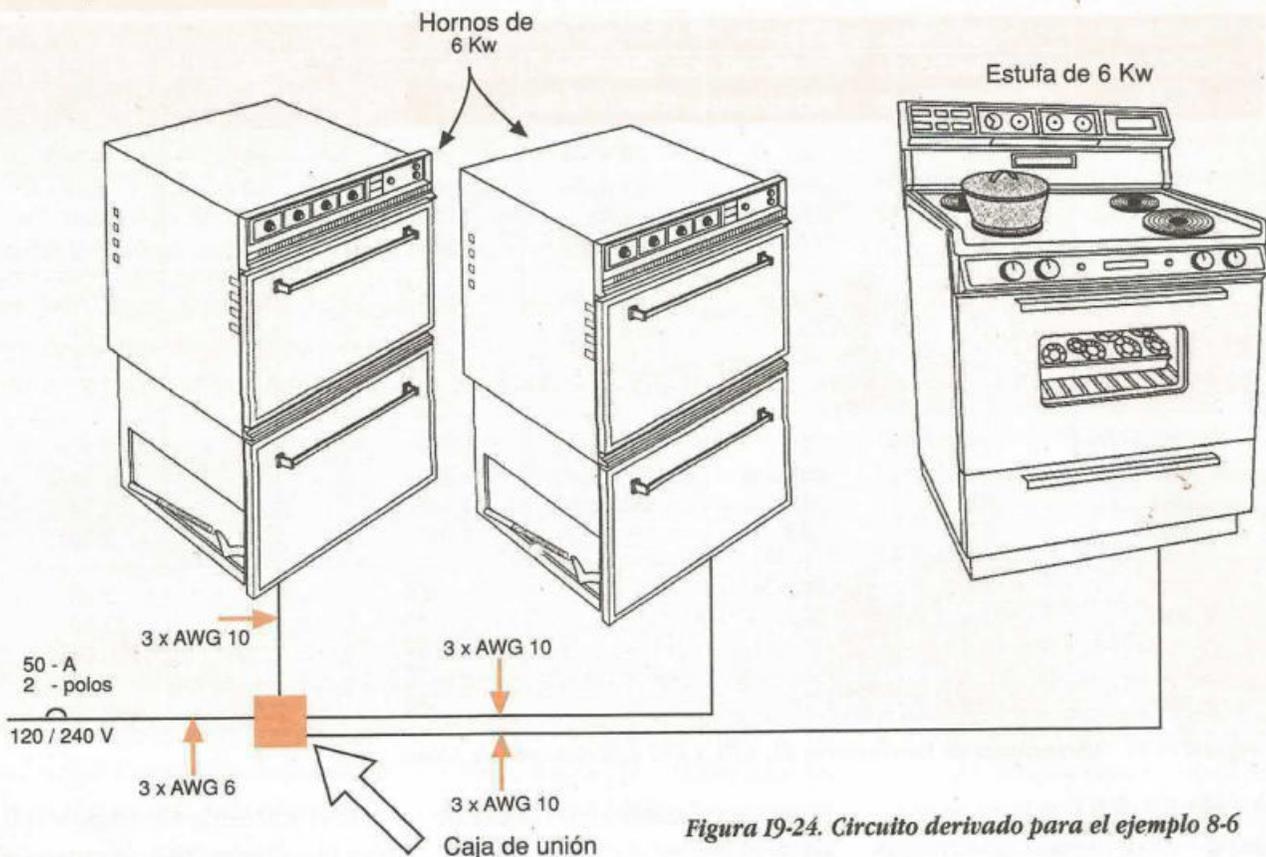


Figura I9-24. Circuito derivado para el ejemplo 8-6

Este valor corresponde a un incremento porcentual del **62.86%** ( $=100 \times 110/175$ ) con respecto a la capacidad de corriente original (175A).

**Ejemplo 8-5.** Cual es el número máximo de conductores N<sup>o</sup> 12 tipo THW con cubierta exterior que se puede instalar en un ducto cuadrado comercial de 65 mm de lado (6.5x6.5) considerando el factor de relleno usual del 20% para este tipo de canalizaciones?

**Solución**

De acuerdo a la tabla de la figura I9-14, el 20% del área de un ducto cuadrado de 65x65 mm<sup>2</sup> es **845 mm<sup>2</sup>**. Este dato se encuentra en la intersección de la columna "20%" (factor de relleno) con la fila "6.5x6.5" (nombre comercial del ducto). Asimismo, de acuerdo a la tabla de la figura 19-12, el área total de la sección transversal de un conductor N<sup>o</sup> 12 tipo THW es

**0.0252 in<sup>2</sup> (16.26 mm<sup>2</sup>)**. Este dato se encuentra en la intersección de la columna "THW-Area..." (tipo de conductor) con la fila "AWG12" (tamaño del conductor) y aplicando la cuarta nota al pie de la tabla.

Por tanto, el número máximo de conductores que pueden, teóricamente, acomodarse en el área disponible para los mismos en el ducto (845 mm<sup>2</sup>) es

$$N^{\circ} \text{ de conductores} = \frac{\text{Área disponible}}{\text{Área de cada conductor}}$$

$$= 845/12.26 = 68.92 \approx 69$$

En otras palabras, en un ducto cuadrado de 6.5 cm de lado se pueden instalar hasta **69** conductores N<sup>o</sup> 12 tipo THW con un factor de relleno del 20%. No obstante, las normas técnicas especifican como máximo **30** conductores por ducto. Esta es la cifra límite que debe utilizarse.

**Ejemplo 8-6.** A la caja de unión indicada en la figura I9-24 entran tres

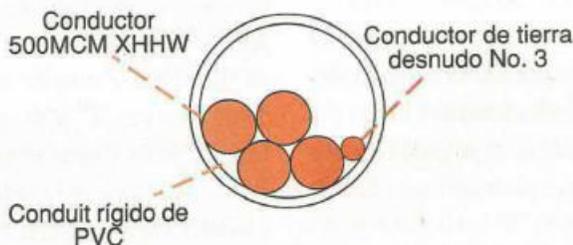


Figura I9-25. Disposición de conductores en la tubería para el ejemplo 8-7

conductores N<sup>o</sup> 6 procedentes de un panel de servicio de 120/240 V, 50 A y salen 9 conductores N<sup>o</sup> 10 distribuidos así: 3 para el primer horno (6 kW), 3 para el segundo (6 kW) y 3 para la estufa (6 kW). Dentro de la caja se realizan 3 *taps* o uniones separadas: una para la fase 1, una para la fase 2 y una para el neutro. Cada unidad está aterrizada al respectivo conductor N<sup>o</sup> 10 procedente del *tap* del neutro. Cada uno de los alambres N<sup>o</sup> 10 procedente de los *taps* de las fases tiene capacidad de corriente suficiente para proporcionar los 25A (=6000/240) que exige cada carga. Toda la instalación se realiza con cable encauchetado (NM o Romex) canalizado en conduit de tamaño apropiado. Se pide determinar el tamaño mínimo de la caja de unión requerida.

## Solución

De acuerdo a la tabla de la figura 19-16, deben proveerse **5 in<sup>3</sup>** del volumen de la caja para cada conductor N<sup>o</sup> 6 y **2.5 in<sup>3</sup>** para cada conductor N<sup>o</sup> 10. Por tanto, para los 12 conductores debe proveerse el siguiente espacio libre mínimo:

$$\begin{aligned} \text{Los 3 conductores N}^{\circ} 6 & \\ &= 3 \times 5 = 15 \text{ in}^3 \\ \text{Los 9 conductores N}^{\circ} 10 & \\ &= 9 \times 2.5 = 22.5 \text{ in}^3 \end{aligned}$$

Puesto que además de los conductores y los dispositivos de unión correspondientes la caja no contiene dispositivos, mordazas internas ni otros tipos de accesorios, el tamaño mínimo de la misma es simplemente:

$$\begin{aligned} \text{Tamaño mínimo} &= 15 + 22.5 \\ &= \mathbf{37.5 \text{ in}^3} \end{aligned}$$

De acuerdo a la tabla de la figura 19-15 (página 200), no existe un tamaño comercial de caja de unión

Capacidad del dispositivo de protección de sobrecorriente (Amperios)	Tamaño	
	Alambre de cobre N <sup>o</sup>	Alambre de aluminio N <sup>o</sup>
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250 MCM
1600	4/0	350 "
2000	250 MCM	400 "
2500	350 "	600 "
3000	400 "	600 "
4000	500 "	800 "
5000	700 "	1200 "
6000	800 "	1200 "

Figura 19-26. Mínimo tamaño de conductores de tierra

(cuadrada) que tenga exactamente esta capacidad, intermedia entre la de una caja de 4<sup>11/16</sup>"x1<sup>1/2</sup>" (29.5 in<sup>3</sup>) y la de una de 4<sup>11/16</sup>"x2<sup>1/8</sup>" (42.0 in<sup>3</sup>). En estos casos, debe utilizarse la de mayor volumen. Por tanto, el mínimo tamaño de la caja de unión requerida es 4<sup>11/16</sup>" x 2<sup>1/8</sup>".

**Ejemplo 8-7.** Un circuito alimentador de 400 A constituido por cuatro conductores de cobre N<sup>o</sup> MCM 500 con revestimiento tipo XHHW (polietileno vulcanizado resistente a la humedad y al calor, ver figura 19-2) debe canalizarse a través de tubo conduit no metálico rígido de PVC (figura 19-25). Se pide determinar los tamaños mínimos (a) del conductor de tierra y (b) del tubo conduit de PVC requeridos.

## Solución

(a) Recordemos que en sistemas de conduit rígido metálico, conduit metálico intermedio (IMC), tubería eléctrica metálica (EMT), conduit metálico flexible, cable blindado, etc., la envoltura metálica de la canalización sirve como conductor de tierra. Por tanto, no se requiere de un conductor de tierra separado para proteger la instalación. No obstante, en nuestro caso, por utilizarse tubería no metálica (PVC), éste sí debe ser incluido necesariamente dentro de la canalización y correr paralelo con los conductores principales. El tamaño del conductor de tierra requerido puede evaluarse a partir de la tabla de la figura 19-26 sobre la base de la capacidad o *rating* del dispositivo de sobrecorriente que protege los conductores dentro de la canalización.

Tamaño AWG/ MCM	Area (cmils)	Trenzado		Total	
		Cantidad	Diametro (in)	Diametro (in)	Area (in <sup>2</sup> )
18	1620	1	---	0.040	0.001
18	1620	7	0.015	0.046	0.002
16	2580	1	---	0.051	0.002
16	2580	7	0.019	0.058	0.003
14	4110	1	---	0.064	0.003
14	4110	7	0.024	0.073	0.004
12	6530	1	---	0.081	0.005
12	6530	7	0.030	0.092	0.006
10	10380	1	---	0.102	0.008
10	10380	7	0.038	0.116	0.011
8	16510	1	---	0.128	0.013
8	16510	7	0.049	0.146	0.017
6	26240	7	0.061	0.184	0.027
4	41740	7	0.077	0.232	0.042
3	52620	7	0.087	0.260	0.053
2	66360	7	0.097	0.292	0.067
1	83690	19	0.066	0.332	0.087
1/0	105600	19	0.074	0.373	0.109
2/0	133100	19	0.084	0.419	0.138
3/0	167800	19	0.094	0.470	0.173
4/0	211600	19	0.106	0.528	0.219
250	---	37	0.082	0.575	0.260
300	---	37	0.090	0.630	0.312
350	---	37	0.097	0.681	0.364
400	---	37	0.104	0.728	0.416
500	---	37	0.116	0.813	0.519
600	---	61	0.992	0.893	0.626
700	---	61	0.107	0.964	0.730
750	---	61	0.111	0.998	0.782
800	---	61	0.114	1.03	0.834
900	---	61	0.122	1.09	0.940
1000	---	61	0.128	1.15	1.04
1250	---	91	0.117	1.29	1.30
1500	---	91	0.128	1.41	1.57
1750	---	127	0.117	1.52	1.83
2000	---	127	0.126	1.63	2.09

Figura I9-27. Dimensiones de conductores eléctricos desnudos

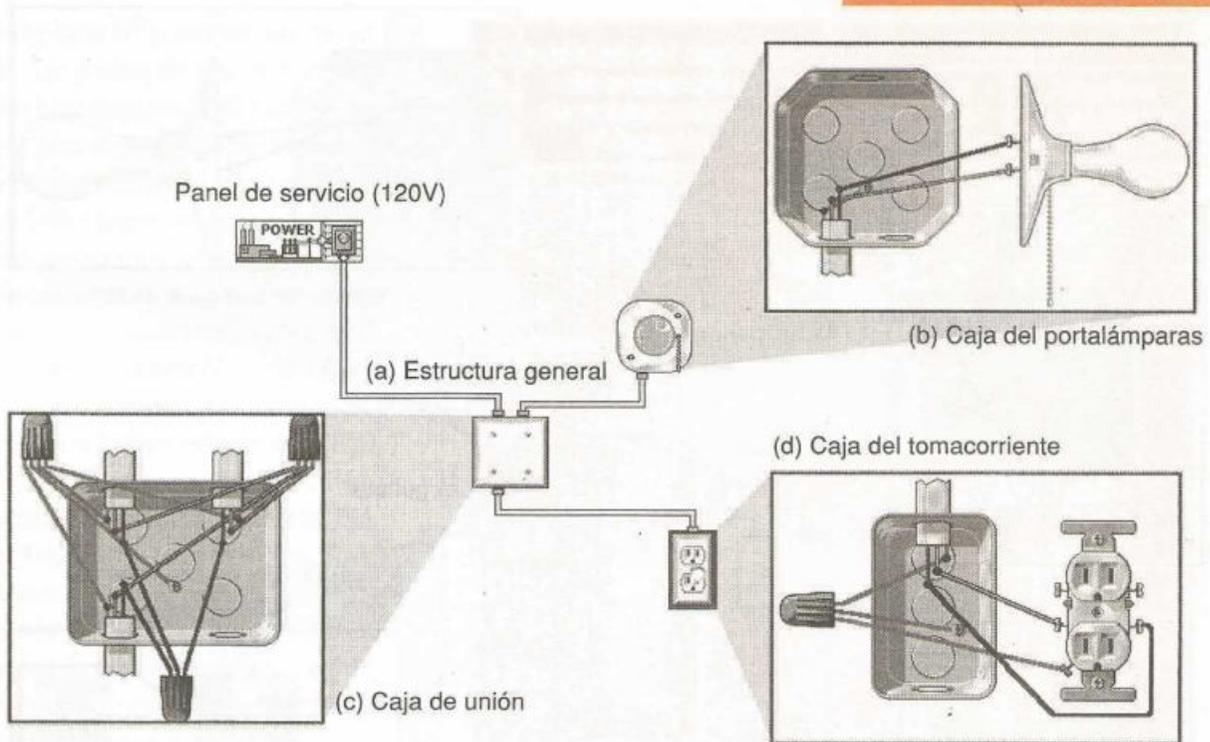
En nuestro caso, debe utilizarse como mínimo un conductor de cobre AWG N<sup>o</sup> 3, desnudo o aislado. Este dato se obtiene en la intersección de la fila "400A" (capacidad del *breaker* de protección del alimentador) con la columna "Alambre de cobre N<sup>o</sup>" (tamaño del conductor de tierra). Por tanto, además de los cuatro conductores MCM N<sup>o</sup> 500, el circuito alimentador debe incluir un alambre de tierra N<sup>o</sup> 3 dentro del conduit de PVC. De acuerdo a la misma tabla, también podría utilizarse como conductor de tierra un alambre N<sup>o</sup> 1 de aluminio o de aluminio con chaqueta de cobre. Asumiremos que se utiliza como conductor de tierra un alambre de cobre N<sup>o</sup> 3 desnudo.

(b) Para determinar el tamaño mínimo de conduit requerido recurrimos inicialmente a la tabla de la figura I9-11 (página 198). De acuerdo a la misma, un solo alambre MCM N<sup>o</sup> 500 tipo XHHW tiene una sección transversal de 0.7163 in<sup>2</sup> (462.157 mm<sup>2</sup>). Por tanto, el área total ocupada por los 4 conductores N<sup>o</sup> 500 MCM XHHW sera

$$4 \times 0.7163 = 2.8652 \text{ in}^2 \\ = 1848.63 \text{ mm}^2$$

El área del conductor de tierra podemos determinarla a partir de la tabla de la figura I9-27, que es un versión ampliada de la tabla de la figura I5-14 (ver página 55). De acuerdo a la misma, un conductor AWG N<sup>o</sup> 3 desnudo tiene una sección transversal de **52620 cmil** (0.053 in<sup>2</sup>=34.20 mm<sup>2</sup>). Por tanto, el área total ocupada por los conductores del alimentador, incluyendo el de tierra es

$$\text{Area conductores} = 2.8652 + 0.053 \\ = 2.9182 \text{ in}^2 = 1882.83 \text{ mm}^2$$



**Figura 19-28. Circuito derivado para el ejemplo 8-8**

Esta área ( $2.9182 \text{ in}^2$  o  $1882.83 \text{ mm}^2$ ) debe corresponder, como mínimo, al 40% del área de la sección transversal del conduit. De acuerdo a la tabla de la figura 19-13 (página 200), debe utilizarse conduit de 3". Este dato se encuentra buscando debajo de la columna "40%" (factor de relleno) el área "1907 mm<sup>2</sup>" (el valor más próximo al área calculada de  $1882.8 \text{ mm}^2$ ) y leyendo al frente, en la primera columna, el tamaño de conduit correspondiente (3").

Se llega al mismo resultado anterior utilizando la tabla de la figura 19-21. En este caso, buscamos debajo de la columna "40%" para más de dos conductores sin cubierta de plomo el área de  $2.95 \text{ in}^2$  (el valor más próximo al área calculada de  $2.92 \text{ in}^2$ ) y leemos en la primera columna el tamaño de conduit respectivo (3"). Note además que, de acuerdo a la tabla de la figura 19-10, los cuatro conductores MCM N°500 tipo XHHW solos, sin

el conductor de tierra desnudo N°3, requieren también un tamaño mínimo de conduit de 3".

Una comparación del costo de instalación de los cuatro conductores en una tubería de conduit rígido metálico de una determinada longitud contra el costo de instalación de los mismos conductores, más el conductor de tierra, en una tubería de conduit PVC rígido del mismo tamaño y la misma longitud, mostrará que resulta mucho más económico este último enfoque. Lo anterior se debe a que, al trabajar con conduit de PVC, los costos de los materiales y de la mano de obra son considerablemente más bajos que al hacerlo con conduit metálico, a pesar del costo extra que implican el conductor de tierra y la realización de las conexiones de tierra.

**Ejemplo 8-8.** En la figura 19-28-a se muestra la estructura general de

un circuito derivado monofásico de 120 V para un desván, constituido básicamente por una lámpara con interruptor de cadena y un tomacorriente dúplex siempre vivo. En las figuras 19-28-b, c y d se detallan las conexiones internas realizadas en cada una de las cajas del sistema. Se asume que toda la instalación está realizada en alambre N°12 y conduit de PVC. Determinar el tamaño mínimo requerido de las cajas (a) de unión, (b) del portalámparas y (c) del tomacorriente.

### Solución

(a) A la caja de unión (cuadrada), entran 3 conductores N°12 (incluyendo el de tierra) y salen 6 conductores del mismo tipo (3 hacia la lámpara y 3 hacia el tomacorriente). Puesto que la caja no contiene dispositivos ni mordazas en su interior, el cálculo del número de conductores asociados a la misma, y por tanto de su volumen, se realizaría como sigue:

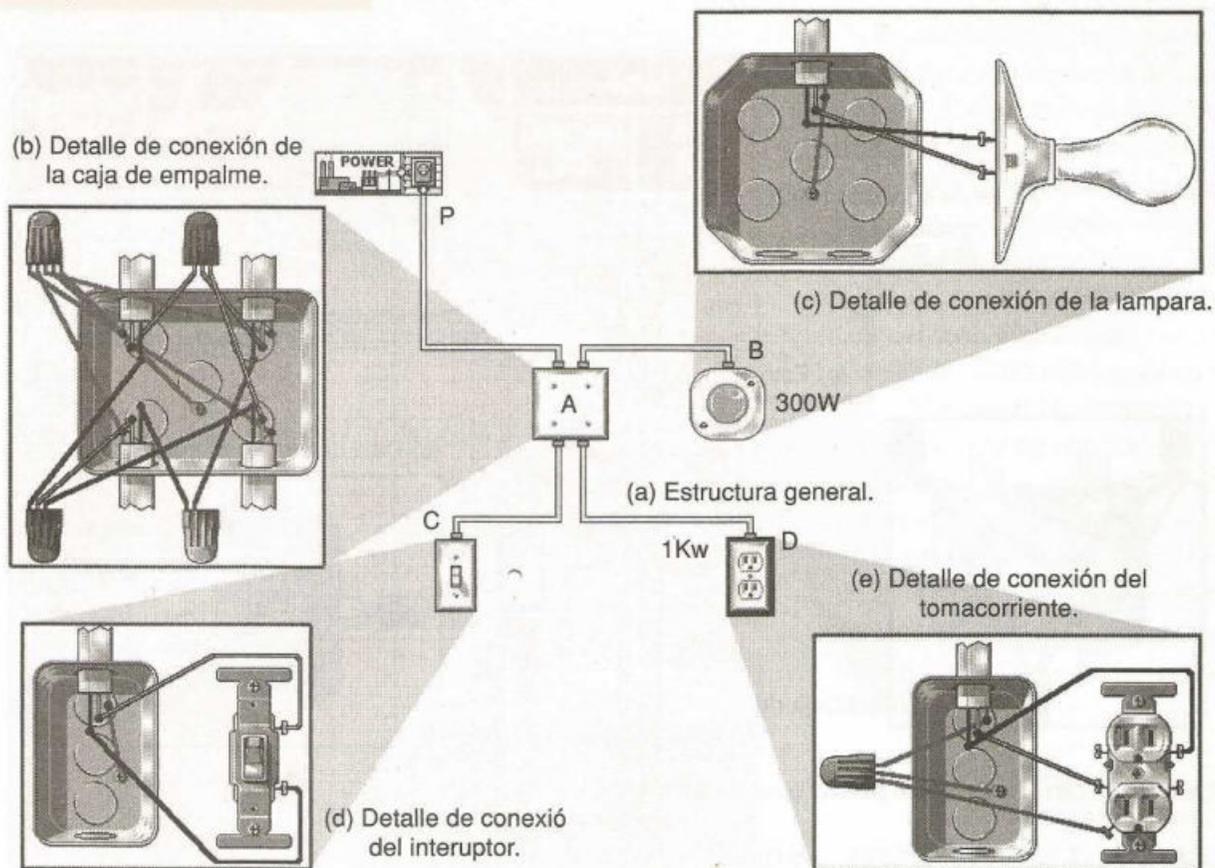


Figura I9-29. Circuito derivado para el ejemplo 8-9

Dispositivo	Nº de alambres
Alambres N <sup>o</sup> 12	6
Alambres de tierra	1
<b>Total</b>	<b>7</b>

Note que los tres alambres de tierra se contabilizan como uno solo y no se tienen en cuenta los *pigtails* realizados dentro de la caja. Para determinar el volumen mínimo de la caja recurrimos a la tabla de la figura I9-15. Simplemente buscamos debajo de la columna "N<sup>o</sup> 12" y en la sección correspondiente a cajas cuadradas la cifra "8" (el valor más próximo a 7, es decir al número de conductores calculado). Horizontalmente se encuentra que la capacidad mínima de la caja debe ser de **18 in<sup>3</sup>**, pudiéndose utilizar una caja cuadrada de **4 x 1 1/4"**.

(b) A la caja del portalámpara (octogonal o redonda) entran tres conductores N<sup>o</sup> 12 (incluyendo el de tierra). Aplicando las reglas de la página 201, el número de alambres o conductores simples asociado a esta caja para efectos de cálculo de la misma se evaluaría como sigue:

Dispositivo	Nº de alambres
Alambres N <sup>o</sup> 12	2
Alambres de tierra	1
<b>Total</b>	<b>3</b>

Note que no se asignan conductores al portalámpara porque se asume que el mismo no ocupa espacio interior de la caja. Para determinar, a partir de la tabla de la figura I9-15, el volumen mínimo de la caja a utilizar, buscamos debajo de la columna "N<sup>o</sup> 12", y en la sección corres-

pondiente a cajas redondas u octogonales, la cifra "5" (el valor más próximo al número de conductores calculado). Horizontalmente se encuentra que la capacidad mínima de la caja debe ser de **12.5 in<sup>3</sup>**, pudiéndose utilizar una caja octogonal de **4 x 1 1/4"**.

(c) A la caja del tomacorriente (rectangular o de dispositivos) entran únicamente 3 conductores N<sup>o</sup> 12 (incluyendo el de tierra). El cálculo del número de conductores asociados a la caja, y por tanto del volumen mismo de la misma, se haría así:

Dispositivo	Nº de alambres
Tomacorriente	2
Alambres N <sup>o</sup> 12	2
Alambres de tierra	1
<b>Total</b>	<b>5</b>

Note que el tomacorriente se cuenta como dos conductores. Para determinar el volumen mínimo de la caja a partir de la tabla de la figura I9-15, buscamos "5" debajo de la columna "N<sup>o</sup> 12" y en la sección correspondiente a cajas rectangulares o de dispositivos. Horizontalmente se encuentra que la capacidad mínima de la caja debe ser de **12.5 in<sup>3</sup>**, pudiéndose utilizar una caja rectangular o de utilidad de **3" x 2" x 2 1/2"**.

**Ejemplo 8-9.** En la figura I9-29 se muestran la estructura general y las conexiones internas de un circuito derivado monofásico de 120V para una habitación sencilla. La instalación, realizada en conduit de PVC, consta básicamente de un tomacorriente dúplex siempre vivo, una lámpara controlada por un interruptor y una caja de empalme.

Asuma que la lámpara y el tomacorriente representan, en su orden, cargas conectadas de 300W y 1,000W, con factores de demanda del 100%. El tramo de conduit que va desde el panel de servicio hasta la caja de unión (P-A) tiene una longitud total de 15 m, el que va desde la caja de unión hasta la caja del portalámpara (A-B) una longitud de 1.70 m, el que va desde la caja de unión hasta la caja del interruptor (A-C) una longitud de 1,20 m y el que va desde la caja de unión hasta la caja del tomacorriente (A-D) una longitud de 12.6 m. Se acepta como máximo una caída de voltaje del 2% (2.4V). Determinar y/o seleccionar:

(a) El calibre mínimo de los conductores de fase y neutro que deben utilizarse en cada tramo, así como el tipo de aislamiento de los mismos y la caída final de voltaje en cada tramo.

(b) La capacidad o *rating* del dispositivo de protección de sobrecorriente

(*breaker*) del circuito derivado

(c) El tamaño mínimo de los conductores de tierra.

(d) El diámetro mínimo de las canalizaciones.

(e) El tamaño mínimo de las cajas

(f) La lista mínima de los materiales requeridos para la realización de la instalación.

### Solución

(a) La mínima sección de conductor requerida para cada tramo de conexión puede determinarse a partir de la fórmula

$$S(\text{cmil}) = \frac{22 \times L (\text{ft}) \times I (\text{A})}{\Delta V (\text{V})}$$

siendo S (cmil) el área del conductor (1 cmil = 5.067x10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>), L (pies) la longitud en una sola vía (de ida o de vuelta) del tramo (1 pie = 0.3048 m), I(A) la corriente a través del mismo y ΔV (V) la caída de voltaje admisible. En nuestro caso, esta última debe ser, como máximo de **2.4V (2% de 120V)**

Para el tramo de conductor que va desde la caja de derivación hasta la caja del tomacorriente, L= 12.6 m (41.34 pies). La corriente máxima en esta parte del circuito es

$$I = \frac{P}{E} = \frac{1000}{120} = 8.33 \text{ A}$$

siendo P=1000W la potencia nominal de la carga instalada en el tomacorriente y E=120V la tensión nominal de alimentación del circuito. Por tanto, la sección mínima de los conductores para el tramo A-D es

$$S(\text{cmil}) = \frac{22 \times L (\text{ft}) \times I (\text{A})}{\Delta V (\text{V})}$$

$$= \frac{22 \times 41.34 \times 8.33}{2.4} = 3156.65 \text{ cmil}$$

De acuerdo a la tabla de la figura I9-27, no existe un calibre de alambre que tenga exactamente la sección calculada, intermedia entre la de un alambre N<sup>o</sup> 16 (2580 cmil) y la de un alambre N<sup>o</sup> 14 (4110 cmil). Por tanto, puede utilizarse en este tramo alambre N<sup>o</sup> 14. Este tamaño es, además, el más pequeño permitido por las normas para instalaciones eléctricas domiciliarias. La caída de voltaje correspondiente a este valor sería

$$\Delta V (\text{V}) = \frac{22 \times L (\text{ft}) \times I (\text{A})}{S(\text{cmil})}$$

$$= \frac{22 \times 41.34 \times 8.33}{4110} = 1.84 \text{ V (1.53\%)}$$

Para el tramo de conductor que va desde la caja de derivación hasta la caja del portalámpara, L= 1.70 m (5.58 pies). La corriente máxima en esta parte del circuito es

$$I = \frac{P}{E} = \frac{300}{120} = 2.5 \text{ A}$$

siendo P=300 W la potencia nominal de la carga instalada en el portalámpara y E=120V la tensión nominal de alimentación del circuito. Por tanto, la sección mínima de los conductores para el tramo A-B es

$$S(\text{cmil}) = \frac{22 \times L (\text{ft}) \times I (\text{A})}{\Delta V (\text{V})}$$

$$= \frac{22 \times 5.58 \times 2.5}{2.4} = 127.87 \text{ cmil}$$

Este valor tan pequeño de sección transversal, intermedio entre la de un alambre N<sup>o</sup> 29 (126.7 cmil) y la de un alambre N<sup>o</sup> 28 (159.8), no se utiliza en la práctica de las instalaciones eléctricas. Por tanto, debe recurrirse nuevamente a alambre N<sup>o</sup> 14, que es el mínimo tamaño permitido por las normas. La caída de voltaje en el tramo A-B sería entonces

## Cálculo y selección de conductores eléctricos

$$\Delta V(V) = \frac{22 \times L \text{ (ft)} \times I \text{ (A)}}{S(\text{cmil})}$$

$$\frac{22 \times 5.58 \times 2.5}{4110} = \mathbf{0.075V \text{ (0.06\%)}}$$

Para el tramo de conductor que va desde la caja de derivación hasta la caja del interruptor,  $L = 1.20 \text{ m}$  (3.94 pies) e  $I = 2.5 \text{ A}$  (la misma de la lámpara). Por tanto, la sección mínima de los conductores para el tramo A-C es

$$S(\text{cmil}) = \frac{22 \times L \text{ (ft)} \times I \text{ (A)}}{\Delta V(V)}$$

$$\frac{22 \times 3.94 \times 2.5}{2.4} = 90.29 \text{ cmil}$$

Nuevamente, por norma, debe utilizarse como mínimo alambre **N<sup>o</sup> 14**, el cual tiene una sección transversal de 4110 cmil. La caída de voltaje resultante en el tramo A-C sería entonces

$$\Delta V(V) = \frac{22 \times L \text{ (ft)} \times I \text{ (A)}}{S(\text{cmil})}$$

$$\frac{22 \times 3.94 \times 2.5}{4110} = \mathbf{0.053 \text{ V (0.04\%)}}$$

Por último, para el tramo de conductor que va desde el panel de servicio hasta la caja del interruptor,  $L = 15 \text{ m}$  (49.215 pies) e  $I = 8.33 + 2.5 = 10.83 \text{ A}$  (la suma de las corrientes nominales de la lámpara y la carga conectada al tomacorriente). Por tanto, la sección mínima de los conductores para el tramo alimentador P-A es

$$S(\text{cmil}) = \frac{22 \times L \text{ (ft)} \times I \text{ (A)}}{\Delta V(V)}$$

$$\frac{22 \times 49.215 \times 10.83}{2.4} = 4885.82 \text{ cmil}$$

Consultando la tabla de la figura I9-27 se observa que no existe un tamaño comercial de alambre con esta sección transversal, intermedia entre la de un conductor **N<sup>o</sup> 14** (4110 cmil) y la de un

conductor **N<sup>o</sup> 12** (6530). Por tanto, para el tramo P-A debe utilizarse alambre **N<sup>o</sup> 12**. La caída de voltaje resultante en este trayecto sería, entonces

$$\Delta V(V) = \frac{22 \times L \text{ (ft)} \times I \text{ (A)}}{S(\text{cmil})}$$

$$\frac{22 \times 49.215 \times 10.83}{6530} = \mathbf{1.80V \text{ (1.50\%)}}$$

Resumiendo, los tramos A-B, A-C y A-D deben realizarse con conductores **AWG N<sup>o</sup> 14** y el tramo P-A con conductores **AWG N<sup>o</sup> 12**. Puede utilizarse alambre de cobre con el popular aislamiento termoplástico **THW** (resistente al calor y a la humedad), el cual, canalizado en conduit, tiene una amperacidad de **15A** en el tamaño AWG14 y de **20A** en el tamaño AWG12 (ver tabla de la figura I9-4). Estas capacidades de conducción de corriente son más que suficientes para las necesidades de nuestro diseño.

(b) Para determinar la capacidad o *rating* del dispositivo de protección de sobrecorriente (*breaker*) del circuito derivado debe tenerse en cuenta que las cargas alimentadas por el mismo son continuas. De acuerdo a las normas, la carga total de cualquier dispositivo de sobrecorriente no debe exceder del **80%** de su capacidad nominal cuando, en operación normal, la carga opera en forma continua por tres horas o más. Esto es

$$\text{Carga total} = 0.80 \times \text{Capacidad del breaker}$$

Por tanto

$$\text{Capacidad del breaker} =$$

$$\frac{\text{Carga total}}{0.80} = 1.25 \times \text{Carga total}$$

En nuestro caso, la carga total del circuito derivado es de **10.83A**, es decir la suma de las corrientes máximas consumidas por la lámpara y la carga conectada al tomacorriente. Por tanto, la capacidad mínima del breaker debe ser de  $1.25 \times 10.83 = \mathbf{13.54 \text{ A}}$ , pudiéndose utilizar una unidad comercial de **15A**.

(c) El tamaño del conductor de tierra puede ser evaluado a partir de la tabla de la figura I9-26. De acuerdo a la misma, para un dispositivo de protección de sobrecorriente de **15A** debe utilizarse, como mínimo, alambre de cobre **N<sup>o</sup> 14**. Por uniformidad, utilizaremos alambre de tierra **THW N<sup>o</sup> 12** conjuntamente con los conductores que van desde el panel de servicio hasta la caja de unión y alambre **THW N<sup>o</sup> 14** en el resto del circuito.

(d) Para determinar el tamaño mínimo de las canalizaciones de cada tramo de conductores debe determinarse la suma total de las secciones transversales de los conductores que cada una debe alojar y aplicar en cada caso un factor de relleno del 40%. Para el tramo que va desde el panel de servicio hasta la caja de unión tenemos 3 conductores **THW N<sup>o</sup> 12**, los cuales, de acuerdo a la tabla de la figura I9-11, ocupan un área total de

$$3 \times 0.0252 = 0.0756 \text{ in}^2$$

Esta área debe corresponder, como mínimo, al 40% de la sección transversal del conduit. De acuerdo a la tabla de la figura I9-21, el tamaño comercial de conduit que más se aproxima a este valor es el de **1/2"**, el cual ofrece un área de **0.12 in<sup>2</sup>** para un factor de relleno del 40%.

Para cada uno de los demás tramos tenemos 3 conductores THW N<sup>o</sup> 14, los cuales, de acuerdo a la tabla de la figura I9-11, ocupan un área total de

$$3 \times 0.0206 = 0.0618 \text{ in}^2$$

Nuevamente, debido a que esta área es menor que el 40% de la sección transversal del mínimo tamaño de conduit admitido por las normas (1/2"), estas canalizaciones deben realizarse con conduit de 1/2". En resumen, toda la instalación debe realizarse, como mínimo, con conduit de PVC de 1/2".

(e) Para evaluar el tamaño de las cajas debemos tener en cuenta el número de alambres, dispositivos y accesorios que cada una debe alojar. La caja de unión, por ejemplo, recibe del exterior 3 alambres N<sup>o</sup> 12 (incluyendo uno de tierra) y 9 alambres N<sup>o</sup> 14 (incluyendo 3 de tierra). Los 4 conductores de tierra se cuentan como un solo conductor N<sup>o</sup> 12. Además, la caja no contiene dispositivos ni accesorios internos de montaje. Por tanto, para efectos de cálculo, esta caja contiene 3 conductores N<sup>o</sup> 12 y 6 conductores N<sup>o</sup> 14.

De acuerdo a la tabla de la figura I9-15, debe reservarse dentro de la caja un espacio libre de 2 in<sup>3</sup> para cada conductor N<sup>o</sup> 14 y de 2.25 in<sup>3</sup> para cada conductor N<sup>o</sup> 12. Por lo mismo, para los 9 conductores debe proveerse un espacio mínimo de

$$(3 \times 2.25) + (6 \times 2) = 6.75 + 12 = 18.75 \text{ in}^3$$

Esta última (18.75 in<sup>3</sup>) debe ser el tamaño mínimo de la caja de unión. De acuerdo a la tabla de la figura I9-15, la caja cuadrada que más se aproxima a este valor es la de 4 x 1 1/2", la cual tiene un volumen de 21 in<sup>3</sup> y puede

alojar hasta 10 conductores N<sup>o</sup> 14 o 9 conductores N<sup>o</sup> 12.

Las cajas del interruptor y del tomacorriente reciben cada una tres alambres N<sup>o</sup> 14 (incluyendo uno de tierra). En cada caso, el dispositivo se cuenta como dos alambres N<sup>o</sup> 14. Por tanto, para efectos de cálculo, cada una de estas cajas contiene 5 alambres N<sup>o</sup> 14. De acuerdo a la tabla de la figura I9-15, tanto para el interruptor como para el tomacorriente puede utilizarse una caja rectangular o de utilidad de 3"x2"x2", la cual tiene un volumen de 12 in<sup>3</sup>.

La caja del portalámpara recibe tres alambres N<sup>o</sup> 14 (incluyendo uno de tierra). Puesto que el portalámpara no cuenta, para efectos de cálculo la caja contiene únicamente 3 alambres N<sup>o</sup> 14. De acuerdo a la tabla de la figura I9-15, debe utilizarse una caja octogonal de 4"x1 1/4", la cual provee un volumen de 12.5 in<sup>3</sup> y admite hasta 6 conductores N<sup>o</sup> 14.

(f) Resumiendo, nuestra instalación requiere, como mínimo los siguientes materiales:

- 30.5 metros de conduit de PVC de 1/2
- 15 metros de alambre THW N<sup>o</sup> 12 blanco
- 15 metros de alambre THW N<sup>o</sup> 12 negro
- 15 metros de alambre THW N<sup>o</sup> 12 verde
- 15.5 metros de alambre THW N<sup>o</sup> 14 blanco
- 15.5 metros de alambre THW N<sup>o</sup> 14 negro
- 15,5 metros de alambre THW N<sup>o</sup> 14 verde
- 1 caja cuadrada de 4 x 1 1/2" (metálica)
- 2 cajas rectangulares de 3" x 2" x 2" (metálicas)
- 1 caja octogonal de 4" x 1 1/4" (metálica)
- 1 breaker monopolar de 15A/120V
- 1 tomacorriente dúplex de 15A/120V
- 1 interruptor de 5A/120V
- 1 portalámpara de 5A/120V
- 8 conectores para conduit de 1/2"
- Abrazaderas, codos, pegante de PVC, etc.

### Ejemplo 8-10

Se desea alimentar un motor monofásico de 2 HP a 115V en un lugar en donde la temperatura ambiente es de 35°C. La distancia entre el punto de alimentación y el motor es de 30 metros (figura I9-30). La instalación debe realizarse en tubo de PVC con alambre de cobre dotado de revestimiento

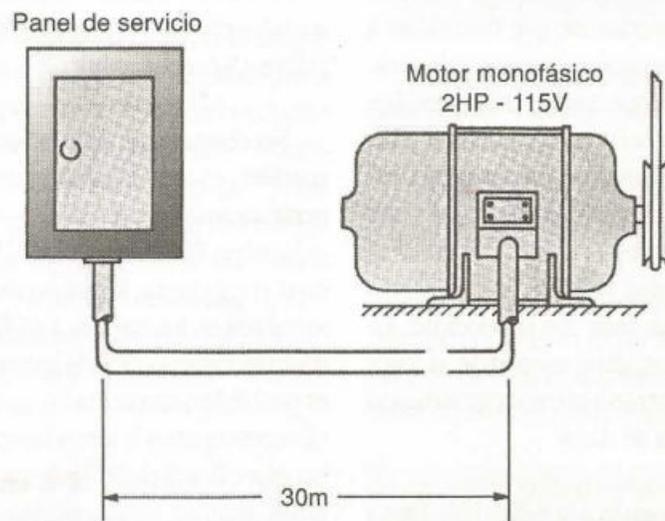


Figura I9-30. Circuito derivado para el ejemplo 8-10

## Cálculo y selección de conductores eléctricos

HP	115V	230V
1/6	4.4	2.2
1/4	5.8	2.9
1/3	7.2	3.6
1/2	9.8	4.9
3/4	13.8	6.9
1	16	8
1 1/2	20	10
2	24	12
3	34	17
5	56	28
7 1/2	80	40
10	100	50

**Figura 19.31. Corriente a plena carga, en amperios, de motores monofásicos de corriente alterna**

termoplástico tipo THWN (resistente al calor y a la humedad) de 60°C. La máxima caída de voltaje permitida es del 3% (3.45V). Calcular (a) el calibre de los conductores de alimentación; (b) la capacidad del breaker de protección; (c) el calibre del conductor de tierra; (d) el tamaño del tubo conduit.

### Solución

(a) Inicialmente debe determinarse la corriente demandada por el motor. Para este cálculo se utiliza inicialmente la tabla de la figura 19.31, la cual relaciona los valores de corrientes a plena carga para motores de corriente alterna monofásicos que funcionan a velocidades normales y con características de torque también normales. Los motores diseñados para trabajar a bajas velocidades o con torques altos pueden demandar corrientes a plena carga mayores. Asimismo, en motores de velocidad variable, la corriente a plena carga varía con la velocidad. En estos casos, debe emplearse el valor de la corriente a plena carga indicado en la placa de datos.

De acuerdo a la tabla de la figura 19-31, la corriente a plena carga demandada por un motor monofásico de 115V/2HP es **24A**. Esta es la corriente

consumida normalmente por el motor trabajando a la potencia y al voltaje nominales. No obstante, durante el período de arranque, la corriente consumida por el mismo puede llegar a ser varias veces superior a este valor, dependiendo del tipo de carga que el motor debe impulsar.

Para tener en cuenta el efecto de la corriente de arranque, las normas exigen calcular la ampacidad de los conductores de alimentación sobre la base de un **125%** de la corriente a plena carga. Por tanto, el valor de corriente nominal que debe utilizarse en nuestro caso es

$$I = 1.25 \times 24 = 30 \text{ A}$$

Si los conductores que alimentan el motor trabajaran a una temperatura ambiente de 30°C, el calibre de los mismos podría deducirse directamente a partir de la tabla de la figura 19-4 (ver página 189). En este caso, debería utilizarse alambre **THWN N°10**, el cual tiene una ampacidad de 30A cuando está canalizado en conduit. Este dato se encuentra buscando "30" en columna "THWN-60°C-en tubo" y leyendo horizontalmente, en la primera columna, el calibre AWG del alambre (10).

No obstante, en nuestro caso, los conductores deben trabajar a una temperatura ambiente de 35°C. Si se utiliza alambre THWN de 60°C N°10 bajo estas condiciones, la temperatura desarrollada en los mismos a 35°C cuando transportan los 30A de la carga (que es también su ampacidad nominal) fácilmente superara la temperatura máxima especificada de 60°C. Por la misma razón anterior, la ampacidad de los conductores debe recalcularse para incluir el efecto de aumento de la temperatura ambiente.

De acuerdo a la tabla de la figura 19-3 (página 188), el factor de corrección por temperatura ambiente para un conductor con aislamiento de 60°C que trabaja a 35°C es 0.82. Este dato se encuentra en la intersección de la columna "Temperatura máxima-60°C" con la fila correspondiente a la temperaturas ambiente entre 31 y 40°C. Por tanto, el valor de corriente que debe utilizarse para la determinación del calibre de los conductores es

$$I = \frac{30}{0.82} = 36.58 \text{ A}$$

De acuerdo a la tabla de la figura 19-4, debe utilizarse alambre **THWN N°8**, el cual tiene una ampacidad nominal de 40A. Este dato se encuentra buscando en la columna "THWN-60°C-en tubo" la ampacidad más próxima al valor calculado de 36.58A (40A) y leyendo en la primera columna el calibre AWG correspondiente (8).

De acuerdo a la tabla de la figura 19-27 (ver página 210), un conductor **N°8** (sólido o trenzado) tiene una sección transversal de **16510** circular mils. Por tanto, la caída de voltaje asociada a una longitud de 30 metros (98.43 pies) y una corriente a plena carga de 30A (incluyendo el efecto de la corriente de arranque) es

$$\Delta V(V) = \frac{22 \times L \text{ (ft)} \times I \text{ (A)}}{S(\text{cmil})}$$

$$\frac{22 \times 98.43 \times 30}{16510} = 3.93 \text{ V}$$

El valor calculado (3.93V) es superior a la máxima caída de voltaje admisible (3.45V). Por tanto, debe recalcularse la sección transversal del alambre para limitar la caída de tensión a este último valor. En nuestro caso, la mínima sección requerida es

$$S(\text{cmil}) = \frac{22 \times L \text{ (ft)} \times I \text{ (A)}}{\Delta V(V)}$$

$$\frac{22 \times 98.43 \times 30}{3.45} = 18830 \text{ cmil}$$

Esta sección, de acuerdo a la tabla de la figura I9-27, es intermedia entre la de un conductor N<sup>o</sup> 8 (16510 cmil) y la de un conductor N<sup>o</sup> 6 (26240 cmil). Por tanto, en definitiva, debe usarse alambre **THWN N<sup>o</sup> 6**, el cual, según la tabla de la figura I9-4, tiene una ampacidad nominal de 55A, más que suficiente para las necesidades de nuestra instalación. La caída de voltaje introducida en el circuito con el uso de este conductor sería, entonces

$$\begin{aligned}\Delta V(V) &= \frac{22 \times L \text{ (ft)} \times I(A)}{S(\text{cmil})} \\ &= \frac{22 \times 98.43 \times 30}{26240} \\ &= 2.476 \text{ V (2.15\%)}\end{aligned}$$

Este valor, correspondiente al 2.15% del voltaje de línea (115V), está muy por debajo del máximo especificado para el problema (3%) y muy cerca del generalmente aceptado por las normas (2%).

(b) Para determinar el tamaño del conductor de tierra debe conocerse previamente el *rating* o capacidad del dispositivo de protección de sobrecorriente del circuito. En nuestro caso, para una demanda máxima de corriente de 30A, debe utilizarse un breaker de **40A** (el valor comercial más cercano a 30A). Recuerde que, en general, la máxima corriente demandada por la carga (30A) no debe ser superior al 80% de la capacidad del dispositivo de protección de sobrecorriente (32A).

(c) De acuerdo a la tabla de la figura I9-26, para un breaker de 40 A debe utilizarse como conductor de tierra alambre de cobre N<sup>o</sup> 10, aislado o desnudo. Para nuestro ejemplo, asumiremos que se utiliza alambre THWN N<sup>o</sup> 10. Por tanto,

la canalización incluye dos conductores THWN N<sup>o</sup> 6 y un conductor THWN N<sup>o</sup> 10.

(d) Para determinar el tamaño mínimo del tubo conduit debemos determinar primero el área total ocupada por los conductores. De acuerdo a la tabla de la figura I9-11, un conductor THWN N<sup>o</sup> 6 tiene una sección aproximada de 0.0519 in<sup>2</sup> y uno THWN N<sup>o</sup> 10 una sección de 0.0184 in<sup>2</sup>. Por tanto, el área total ocupada por los tres conductores es

$$\begin{aligned}\text{Area total} &= 2 \times 0.0519 + 0.0184 \\ &= 0.1222 \text{ in}^2\end{aligned}$$

El área calculada (0.12 in<sup>2</sup>) debe corresponder, como mínimo, al 40% de la sección transversal del tubo. De acuerdo a la tabla de la figura I9-21 debe utilizarse tubo conduit de **1/2"**. Este valor se encuentra buscando "0.12" debajo de la columna "Area-sin cubierta de plomo-40%" y leyendo el tamaño de conduit correspondiente en la primera columna (1/2").

**Ejemplo 9-11.** En la instalación eléctrica para un motor trifásico de inducción de 230V/3HP (figura I9-32) se utilizan conductores THW. (a) Calcular el calibre mínimo requerido de los conductores de alimentación si se trabaja a la tensión y potencia nominales. (b) Calcular el calibre mínimo requerido de los conductores alimentadores si al motor anterior se le agrega un motor trifásico de 230V/2HP. En ambos casos se permite una caída de voltaje máxima del 2% (4.6 V). El factor de demanda es del 100%. La distancia entre el punto de alimentación y el motor (o los motores) es de 10 metros.

## Solución

(a) Inicialmente debe determinarse la corriente demandada por el motor. Para este cálculo se parte de la tabla de la figura I9-33, la cual relaciona los valores de corriente a plena carga para motores trifásicos, tanto de inducción (asíncronos) como sincrónicos. Se asume que los motores corren a la velocidad nominal y tienen características de par o torque normales. De acuerdo a esta tabla, la corriente a plena carga por fase asociada a un motor trifásico de inducción de 230V/3HP es **9.6A**.

De acuerdo a las normas, el calibre de los conductores de alimentación debe estimarse sobre una base del 125% de la corriente a plena carga. Por tanto, el valor de corriente que debe utilizarse en nuestros cálculos es

$$I = 1.25 \times 9.6 = 12 \text{ A}$$

Según la tabla de la figura I9-4, para manejar esta corriente, en cada fase debe utilizarse, como mínimo, alambre **THW N<sup>o</sup> 14**, el cual tiene una ampacidad nominal de **15 A** cuando está canalizado en tubo. Sin embargo, por razones de seguridad, el mínimo calibre permitido en estos casos es el N<sup>o</sup> 12. Por tanto, para la conexión del motor deben utilizarse conductores **THW N<sup>o</sup> 12**. Como dispositivos de protección de sobrecorriente pueden utilizarse breakers de 15 A en cada fase.

De acuerdo a la tabla de la figura I9-27, un conductor N<sup>o</sup> 12 tiene un área transversal de 6530 mils. Por tanto, la caída de voltaje asociada a una longitud de 10 metros (32.8 pies) y una corriente a plena carga de 12 A es

$$\begin{aligned}\Delta V(V) &= \frac{22 \times 32.80 \times 12}{6530} \\ &= 1.32 \text{ V}\end{aligned}$$

## Cálculo y selección de conductores eléctricos

HP	Motor de inducción (Amperios)					Motor sincrónico (Amperios)			
	115V	230V	460V	575V	2300V	230V	460V	575V	2300V
1/2	4		1	8					
3/4	5.6	2.8	1.4	1.1					
1	7.2	3.6	1.8	1.4					
1 1/2	10.4	5.2	2.6	2.1					
2	13.6	6.8	3.4	2.7					
3		9.6	4.8	3.9					
5		15.2	7.6	6.1					
7 1/2		22	11	9					
10		28	14	11					
15		42	21	17					
20		54	27	22					
25		68	34	27		53	26	21	
30		80	40	32		63	32	26	
40		104	52	41		83	41	33	
50		130	65	52		104	52	42	
60		154	77	62	16	123	61	49	12
75		192	96	77	20	155	78	62	15
100		248	124	99	26	202	101	81	20
125		312	156	125	31	253	126	101	25
150		360	180	144	37	302	151	121	30
200		480	240	192	49	400	201	161	40

Figura 19-33. Corriente a plena carga, en amperios, de motores trifásicos sincrónicos y asíncrónicos

Este valor, correspondiente a una caída de voltaje del 0.57%, esta muy por debajo del valor máximo permisible de 4.6 V (2%). Por tanto, el alambre THW N<sup>o</sup> 12 es perfectamente adecuado para esta aplicación.

**Nota:** En un sistema trifásico de 4 hilos como el anterior, las corrientes en los alambres de fase son alternas y tienen un desplazamiento de fase de 120° C entre sí. Además, todas las fases están igualmente cargadas, es decir llevan la misma corriente hacia el neutro. Como resultado, la corriente neta que circula por el neutro es 0 A. Se dice, entonces, que se trata de un sistema *balanceado*. Los sistemas trifásicos se estudian en detalle en un capítulo posterior de este curso.

(b) Cuando se alimenta más de un motor, la capacidad de corriente de los conductores de alimentación para efectos de cálculo de la sección transversal es la suma de

1.25 veces la corriente a plena carga del motor mayor más la suma de las corrientes a plena carga del resto de motores. Esto es:

$$I_T = 1.25 \times I_M + \sum I_m$$

siendo  $I_T$  la corriente a plena carga total (A),  $I_M$  la corriente a plena carga del motor mayor (A) y  $\sum I_m$  la suma de las corrientes a plena carga de los otros motores (A). En nuestro caso, tenemos únicamente dos motores, uno de 3 HP y otro de 2 HP. De acuerdo a

la tabla de la figura 19-33, la corriente a plena carga del motor mayor (230V/3HP) es **9.6 A** y la corriente a plena carga del motor menor (230V/2HP) es **6.8 A**. Por tanto, la corriente a plena carga total que debe utilizarse como base para el cálculo de los conductores alimentadores es

$$\begin{aligned} I_T &= 1.25 \times 9.6 + 6.8 \\ &= 12 + 6.8 \\ &= \mathbf{18.8 \text{ A}} \end{aligned}$$

De acuerdo a la tabla de la figura 19-4, debe utilizarse alambre THW N<sup>o</sup> 12, el cual tiene una ampacidad nominal de **20A** cuando está canalizado en conduit. Tanto en este caso como en el anterior la canalización lleva cuatro conductores (tres fases y un neutro) pero, por tratarse de un sistema balanceado, sólo tres de ellos (los de fase) llevan corriente. Por esta razón no se necesita aplicar el factor de corrección por agrupamiento de la tabla de la figura 19-5. La caída de voltaje asociada a cada conductor de fase en este caso sería

$$\begin{aligned} \Delta V(V) &= \frac{22 \times 32.80 \times 18.8}{6530} \\ &= \mathbf{2.08 \text{ V}} \end{aligned}$$

Nuevamente, este valor esta muy por debajo de la máxima caída de voltaje permitida en los alimentadores. Por tanto, el alambre THW N<sup>o</sup> 12 es perfecto para esta aplicación. ☺

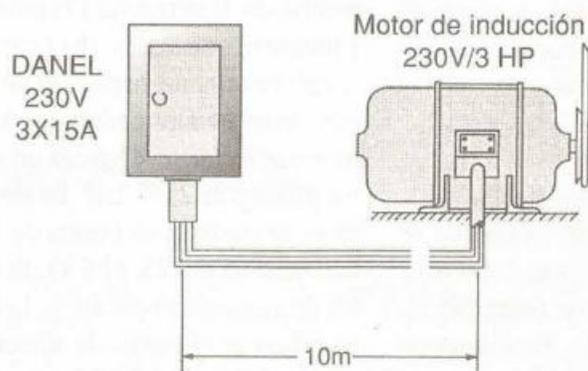


Figura 19-32. Circuito para el ejemplo 9-11

# Planeación de instalaciones eléctricas

*Para el electricista práctico, la realización de una instalación eléctrica es una labor hasta cierto punto rutinaria en cuanto a los elementos que se deben tener en cuenta y las actividades a realizar. No obstante, para el electricista principiante o experimentado, la consideración de los aspectos básicos involucrados en la planeación de las instalaciones eléctricas es un aspecto de vital importancia para el cálculo de las mismas y de sus posibles ampliaciones.*

*En este capítulo revisaremos algunos aspectos básicos que deben tenerse en cuenta en la planeación de instalaciones eléctricas residenciales, haciendo especial énfasis en la elaboración e interpretación de planos eléctricos. También se discuten otros factores a considerar como la determinación de los requisitos de carga, la evaluación del costo de los materiales y la realización de trámites legales.*

## Aspectos generales

Cualquier proyecto de diseño de una instalación eléctrica, ya sea de tipo residencial, comercial o industrial, debe partir de la base de una cuidadosa planeación. El diseñador debe principalmente (a) asegurar la conformidad de la instalación con los códigos, normas y estándares aplicables; (b) estudiar y establecer las necesidades eléctricas de la edificación; (c) determinar las características del suministro de energía para el sistema completo, y (d) escalar los detalles de toda la instalación para cumplir las limitaciones del presupuesto destinado para la misma.

El diseño propiamente dicho de una instalación eléctrica busca determinar la disposición de conductores y equipos que transfieren la energía eléctrica desde la fuente de potencia hasta las cargas de la manera más segura y eficiente posible. Esta tarea se puede resumir en los siguientes tres pasos básicos, relacionados entre sí y aplicables al diseño de cualquier sistema eléctrico en general:

1. Seleccionar los conceptos y configuraciones básicas de alambrado que

- Aspectos generales
- Planos eléctricos
- Requisitos de carga
- Costo de materiales
- Trámites legales

suministrarán potencia eléctrica de las características requeridas a cada punto de utilización.

2. Implementar los conceptos de circuitería eléctrica con conductores y dispositivos reales, seleccionando tipos, tamaños, modelos, características, apariencia, capacidades y otras especificaciones de los elementos requeridos.

3. Responder por la instalación del sistema eléctrico completo, como se determinó en los primeros dos pasos, dentro de las dimensiones físicas y la composición estructural de la edificación, mostrando tan claramente como sea posible las localizaciones y detalles del montaje de los equipos, los trayectos de las canalizaciones, las conexiones a las líneas principales de suministro de potencia, y otros elementos que requieran atención especial.

## Planeación de instalaciones eléctricas

Los pasos anteriores se expresan mediante planos eléctricos de muy variada índole en los cuales se especifica, por medio de símbolos convencionales, la localización de los principales elementos de la instalación, se proporcionan las indicaciones necesarias para el alambrado y la conexión de cada uno de los elementos de la misma y se especifican detalles como la forma de ejecutar las conexiones en las cajas; el número, calibre y tipo de conductores en cada tramo; etc.

Además de una cuidadosa planeación, el éxito del diseño de una instalación eléctrica depende ante todo del enfoque correcto. Una instalación eléctrica debe proporcionar luz y potencia sin riesgo para la vida y la propiedad de las personas, tener suficiente capacidad extra para acomodar crecimientos previsibles de la carga y ser lo suficientemente flexible para adaptarse a modificaciones y revisiones futuras. Teniendo en cuenta estos factores y la relación que los mismos guardan con los aspectos puramente técnico del diseño del sistema, se garantiza que el enfoque sea el correcto.

De otro lado, debido a que el diseño eléctrico es un proceso dinámico, producto de muchos años de tecnología acumulada, el diseñador de instalaciones eléctricas debe estar al día con las nuevas técnicas y tendencias y aplicarlas a su trabajo corriente. En otras palabras, deber ser tan dinámico como la ciencia y el arte que practica. No obstante, no debe ignorar las técnicas tradicionales todavía aceptadas y las razones por las cuales las mismas han sobrevivido el paso de los años.

Resumiendo, el diseñador de una instalación eléctrica, además de las habilidades y conocimientos propia(o)s de

su profesión, debe comprender claramente la relación que existe entre los aspectos puramente técnicos del sistema y factores como la seguridad, la capacidad, la flexibilidad, la accesibilidad, la confiabilidad, la eficiencia y la economía del mismo. Basado en la comprensión de estos factores, el enfoque correcto del diseño esta prácticamente garantizado. A continuación realizaremos una breve descripción de cada uno de estos items.

**Seguridad.** La seguridad es un aspecto básico en el diseño de cualquier instalación eléctrica. Una instalación segura es aquella que no representa riesgos para los usuarios ni para los equipos que alimenta o que están cerca. Los códigos eléctricos establecen requisitos, recomendaciones y sugerencias que tienen por objetivo minimizar efectivamente incendios y otros accidentes de origen eléctrico, y constituyen un marco de trabajo mínimo para el diseñador eléctrico. Aunque estas regulaciones conducen a instalaciones esencialmente libres de riesgos, no garantizan que éstas sean necesariamente eficientes, convenientes o adecuadas para un buen servicio o la expansión futura del sistema.

Naturalmente, la seguridad no se incorpora automáticamente como una característica de un sistema por la sola adherencia a códigos. La seguridad debe ser implementada físicamente dentro del sistema. En estos casos juegan un papel determinante la habilidad y la experiencia. El diseñador, por ejemplo, debe conocer las características físicas, incluyendo las ventajas y limitaciones de aplicación, de los muchos materiales que él utiliza para encerrar, soportar, aislar y, en general, proteger equipos eléctricos.

También debe prever medios para proteger a las personas que trabajan cerca de la instalación, incluyendo, por ejemplo, la conexión a tierra de todas las partes accesibles; la inclusión de mecanismos que impidan que la puerta de un tablero pueda abrirse mientras éste se encuentre energizado; la colocación de tarimas aislantes en los lugares donde se operen interruptores; la instalación de letreros, vallas y otros elementos que impidan el paso; etc.

Además, los diseñadores de instalaciones eléctricas deben estar familiarizados con las regulaciones de las compañías de seguros y todos los códigos locales que afectan las instalaciones particulares debido a que estas normas son reconocidas como herramientas legales para juzgar la seguridad de una instalación y reconocer indemnizaciones, culpabilidades, etc. Lo anterior es particularmente importante cuando se presentan accidentes de origen eléctrico (incendios, electrocuciones, quemaduras, etc.) en edificaciones aseguradas.

**Eficiencia.** El diseño de una instalación debe hacerse cuidadosamente para evitar consumos innecesarios, ya sea por pérdidas en los elementos que la constituyen o por la imposibilidad para desconectar equipos o secciones de alumbrado mientras éstos no se estén utilizando.

**Economía.** En cualquier proyecto eléctrico tienen que considerarse las implicaciones económicas. Esto quiere decir que el diseñador, frente a cualquier proyecto de instalación eléctrica, debe pensar en su realización con la menor inversión posible. Por ejemplo, en instalaciones grandes, las horas/hombre dedicadas al proyecto son parte importan-

te del costo, por lo que tampoco es recomendable dedicar demasiado tiempo a resolver problemas sencillos.

**Capacidad.** En general, una instalación eléctrica deberá tener suficiente capacidad para servir las cargas para las cuales está diseñado, así como capacidad de repuesto para satisfacer el crecimiento anticipado de la carga del sistema. Esto significa que los conductores y las canalizaciones deberán ser dimensionado(a)s liberalmente para las cargas computadas y que los dispositivos de protección de sobrecorriente deberán tener la capacidad necesaria para soportar la carga ampliada.

La previsión del crecimiento de la carga es probablemente la consideración más ignorada en el diseño de las instalaciones eléctricas actuales, aunque los códigos hacen algunas recomendaciones al respecto. En la mayoría de los casos, los sistemas eléctricos están saturados o próximos a saturarse, con la capacidad de las tuberías copada y los conductores dentro de las mismas cargados al máximo o sobrecargados. Todo esto, además de representar un riesgo latente, impide que se pueda llevar a cabo la modernización del sistema eléctrico existente por física ausencia de espacio para que corran los nuevos circuitos.

Por tanto, una instalación se debe planear cuidadosamente para tener en cuenta los incrementos futuros en la utilización eléctrica de la misma. Dependiendo de las condiciones particulares de la instalaciones, las acometidas, los tableros de distribución, los transformadores, los circuitos alimentadores, los circuitos derivados, etc., deberán ser dimensionados para manejar un considerable aumento de la carga. Asimismo, los conductores de-

berán seleccionarse sobre la base de capacidad de corriente, caída de voltaje y requisitos futuros estimados. Las canalizaciones (conduits, ductos, etc.) deberán dimensionarse para permitir incrementos futuros en la ocupación de los mismos. Todos estos factores contribuyen también a prolongar la vida útil de la instalación.

**Flexibilidad.** Se entiende por instalación flexible aquella que puede adaptarse a pequeños cambios. Dependiendo del tipo de edificación (industrial, comercial, residencial o institucional), la instalación eléctrica de la misma deberá ser lo suficientemente flexible para acomodarse sin problemas a ligeros cambios en la ubicación de motores, máquinas y otros dispositivos de utilización. Los alimentadores, paneles de distribución y circuitos derivados deberán ser adecuados para adaptarse a un amplio rango de patrones de utilización, permitiendo el uso eficiente de la capacidad de potencia para las actividades que se realizan en las distintas áreas de la edificación.

**Accesibilidad.** Cualquier instalación eléctrica deberá tolerar una alta rata de accesibilidad. En su forma final, el diseño del sistema deberá tener las provisiones necesarias para permitir el acceso fácil a los equipos para mantenimiento y reparación, así como para cualquier extensión, modificación o alteración posible del mismo. El conjunto de conductores, canalizaciones y equipos de protección deberán permitir el uso completo de su capacidad de manejo de potencia sin riesgos. También forma parte del concepto de accesibilidad el que se cuente con toda la documentación necesaria para entender el diseño de la instalación (planos, especificaciones, diagramas, etc.).

**Confiabilidad.** El consumo de energía eléctrica ha adquirido tal importancia en la sociedad moderna, que una interrupción del servicio puede llegar a causar trastornos importantes y pérdidas económicas cuantiosas. Dependiendo de la naturaleza de las actividades dentro de una edificación, la continuidad del suministro eléctrico y la confiabilidad total del sistema eléctrico por sí mismo puede ser una consideración de más o menos importancia.

En los sitios donde las compañías de electricidad tienen un buen registro de continuidad en el suministro, y la falta temporal del servicio eléctrico no representa un riesgo para la vida o la propiedad, las provisiones especiales para una fuente de emergencia separada no son usualmente necesarias. Sin embargo, en muchas plantas industriales, hospitales y edificios con equipos operados por energía eléctrica que son esenciales para mantener la vida, la producción o la seguridad, deben proveerse como apoyo plantas de emergencia para garantizar la absoluta confiabilidad del suministro.

Como parte de la confiabilidad de una instalación eléctrica, la compañía suministradora de energía eléctrica debe garantizar un servicio que, además de continuidad, cumpla con otros requisitos mínimos, de tal forma que los usuarios puedan tener la certeza de que sus equipos no sufrirán daños y funcionarán correctamente. Por ejemplo, la mayoría de artefactos eléctricos están diseñados para operar a un voltaje específico y su funcionamiento será satisfactorio siempre que el voltaje aplicado no varíe más allá de ciertos límites. En estos casos la compañía suministradora debe proveer sistemas de regulación automática de voltaje que mantengan un suministro estable,

## Planeación de instalaciones eléctricas

tanto en horas pico (cuando la demanda es máxima), como cuando la carga conectada es mínima.

**Legalidad.** El diseño de una instalación eléctrica debe hacerse dentro de un marco legal. Un buen proyecto de instalación eléctrica debe ser una respuesta adecuada, desde el punto de vista técnico y económico, que respeta los requerimientos de las normas y códigos aplicables. En Colombia, por ejemplo, las normas eléctricas del ICONTEC (*Instituto Colombiano de Normas Técnicas*) constituyen el marco legal para el proyecto y construcción de instalaciones, mientras que en Estados Unidos es el NEC (*National Electrical Code: Código Nacional Eléctrico*).

**Medio ambiente.** El medio ambiente donde se encuentra una instalación tiene una influencia importante en la vida útil de la misma. Las condiciones de humedad, salinidad y contaminación deben ser consideradas en todo proyecto eléctrico. En general, una instalación eléctrica bien diseñada, construida y mantenida, puede durar tanto como el inmueble donde presta el servicio, digamos 45 años. No obstante, siempre debe realizarse una revisión periódica y renovarse aquellos elementos que se consideren inseguros. Por otra parte, se recomienda que cuando una vivienda, industria o comercio cambie de giro, se revise y modifique la instalación, o se sustituya totalmente de acuerdo con las necesidades específicas.

### Planos eléctricos

Como se mencionó anteriormente, el diseño de una instalación eléctrica de cualquier tipo se expresa en la forma de planos eléctricos. Todas las fases de un diseño, incluyendo el diseño de subsistemas dentro del sistema prin-

cipal, deberán reducirse a un juego de planos, por lo general manejables en forma de copias heliográficas azules (*blueprints*), que contienen diagramas de alambrado multifilares o unifilares, diagramas de canalizaciones, dibujos isométricos, dibujos de detalles, descripciones técnicas de equipos y, en general, toda la documentación necesaria para transmitir una visión de conjunto clara del sistema al instalador y/o proyectista encargado de crear el sistema eléctrico final.

Por tanto, el primer paso en la realización de una instalación eléctrica para un trabajo específico, ya sea una reparación, una ampliación o un alambrado completo, debe ser la obtención del plano eléctrico de la misma o su elaboración. En particular, los electricistas realizan el alambrado de las edificaciones siguiendo los llamados **planos eléctricos de planta**. Los aspectos generales relacionados con este tipo de diagramas se analizaron en el capítulo 4 de este curso.

En casas de habitación individuales, y en los departamentos de edificios multifamiliares, debe disponerse siempre del conjunto de planos arquitectónicos de construcción, incluyendo naturalmente el correspondiente a la instalación eléctrica. En este último se muestran simbólicamente los elementos de la instalación, su localización física dentro de la misma y las relaciones entre ellos. También pueden incluir especificaciones escritas acerca del tamaño del panel de servicio, el número de circuitos alimentadores y/o derivados, el tipo de materiales utilizados y otros datos.

En trabajos relativamente pequeños, el electricista puede elaborar un plano preliminar y de común acuerdo

con el propietario determinar las particularidades de la instalación, indicándolas en el plano. Este plano lo puede elaborar la persona encargada de hacer la instalación eléctrica y sólo obtener la aprobación del propietario de la casa-habitación. Usted puede también descifrar fácilmente como está estructurada eléctricamente una vivienda siguiendo la metodología recomendada en la sección "Cómo identificar circuitos derivados" del capítulo 4 de este curso (ver página 40 y siguientes).

Al realizar los planos eléctricos de una instalación, recuerde que la misma debe cumplir los requerimientos mínimos de seguridad exigidos por los códigos locales y/o nacionales. El propietario promedio de viviendas sabe muy poco acerca de estos asuntos, así que sus sugerencias e ideas podrían resultar en una instalación inadecuada e, incluso, insegura. En estos casos, imponga sus propios criterios y explique a sus clientes las ventajas para ellos de tener una instalación adecuada.

Para efectuar una instalación en sí a partir de los planos eléctricos de una edificación es necesario que los mismos tengan cierta presentación e información para obtener la aprobación correspondiente de las entidades oficiales respectivas, incluyendo la compañía local de electricidad, los bomberos, etc. Además, debe procurarse que dichos planos contengan toda la información y dimensiones necesarias para poder llevar el proyecto hasta su última etapa. Como se mencionó anteriormente, de estos planos se hacen reproducciones o copias heliográficas azules llamadas *blueprints*.

Puesto que no sería de ninguna manera práctico utilizar un dibujo pictórico de un interruptor, un tomaco-

<p>Techo</p> <p>○</p> <p>○ R</p> <p>○ X</p> <p>○ RX</p> <p>○ B</p> <p>○ J</p> <p>○ L</p> <p>○</p> <p>○ R</p> <p>○</p> <p>○ R</p> <p>— — — — </p> <p>Aterrizado</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○*</p> <p>○*</p> <p>○ R</p> <p>○ DW</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p>	<p>Pared</p> <p>○</p> <p>○ R</p> <p>○ X</p> <p>○ RX</p> <p>○ B</p> <p>○ J</p> <p>○ L</p> <p>○</p> <p>○ R</p> <p>○</p> <p>○ R</p> <p>— — — — </p> <p>No aterrizado</p> <p>○ UNG</p> <p>○ UNG</p> <p>○ UNG</p> <p>○ UNG</p> <p>○ UNG</p> <p>○ UNG</p> <p>○*</p> <p>○*</p> <p>○ UNG R</p> <p>○ UNG DW</p> <p>○ UNG</p> <p>○ UNG</p> <p>○ UNG</p> <p>○ UNG</p>	<p>Aditamento superficial o colgante para lámparas incandescentes, de vapor de mercurio o similares.</p> <p>Aditamento para lámpara empotrada</p> <p>Luz de salida superficial o colgante</p> <p>Luz de salida empotrada</p> <p>Salida no utilizada</p> <p>Caja de unión</p> <p>Salida controlada por interruptor de bajo voltaje (Relé).</p> <p>Aditamento superficial o colgante para lámparas fluorescentes.</p> <p>Aditamento superficial o colgante para lámparas fluorescentes empotradas.</p> <p>Aditamento superficial o colgante en fila continua, para lámparas fluorescentes.</p> <p>Aditamento superficial o colgante en fila continua para lámparas fluorescentes empotradas.</p> <p>Banda desnuda de soporte para lámparas fluorescentes</p> <p>Salida para tomacorriente sencillo</p> <p>Salida para tomacorrientes dúplex</p> <p>Salida para tomacorrientes triplex</p> <p>Salida para tomacorrientes cuádruplex</p> <p>Salida para tomacorrientes dúplex de tomas divididos</p> <p>Salida para tomacorrientes triplex de tomas divididos</p> <p>Tomacorriente de propósito especial, sencillo</p> <p>Tomacorriente de propósito especial, doble</p> <p>Salida para horno</p> <p>Conexión para propósitos especiales. Utilice letras subíndices para indicar función (LV= lavaplatos, SR= secador de ropa, etc).</p> <p>Tomacorriente de salida múltiple. (Prolongue las flechas al límite de la instalación. Utilice el símbolo adecuado para indicar el tipo de salida. También indique el espaciamiento de las salidas.)</p> <p>Tomacorriente para reloj colgante</p> <p>Tomacorriente para ventilador colgante</p>
---	--	--

Figura I10-1. Símbolos gráficos ANSI utilizados en los planos arquitectónicos para designar salidas eléctricas

riente u otro dispositivo en cada punto donde ha de estar instalado, en la elaboración de los dibujos o planos para una instalación eléctrica se deben usar símbolos convencionales para representar cada uno de los elementos que la constituyen. Estos símbolos, en la mayoría de los casos, han sido normalizados para facilitar que todos aquellos dedicados a las instalaciones eléctricas los entiendan.

En las figuras I10-1 e I10-2 se muestran los principales símbolos gráficos utilizados en dibujos arquitectónicos para representar instalaciones eléctricas. Estos símbolos han sido estandarizados por el ANSI (*American National Standards Institute: Instituto Nacional de Estándares de los Estados Unidos*) y adoptados por los países que siguen las normas americanas, incluyendo Colombia. Usted los verá frecuentemente en los diagramas de alambrado de instalaciones eléctricas. Por esta razón es conveniente que los estudie y los comprenda para así estar en capacidad de interpretar y realizar planos eléctricos.

Note que algunos símbolos se suplementan mediante letras adicionales cerca de los mismos para definir de una manera más completa la salida a que se refieren. Por ejemplo, **WP** significa a prueba de intemperie (*weatherproof*), **RT** resistente a la lluvia (*raintight*), **DT** resistente al polvo (*dusttight*), **EP** a prueba de explosiones (*explosionproof*), **PS** interruptor de cadena (*pull switch*), **G** aterrizado (*grounded*), **UNG** no aterrizado (*ungrounded*), **R** empotrada (*recessed*), **DW** lavadora de platos (*dishwasher*), etc. En las figuras I10-3 e I10-4 se muestra dos ejemplos de los planos eléctricos de una misma vivienda realizados utilizando la simbología anterior.

## Planeación de instalaciones eléctricas

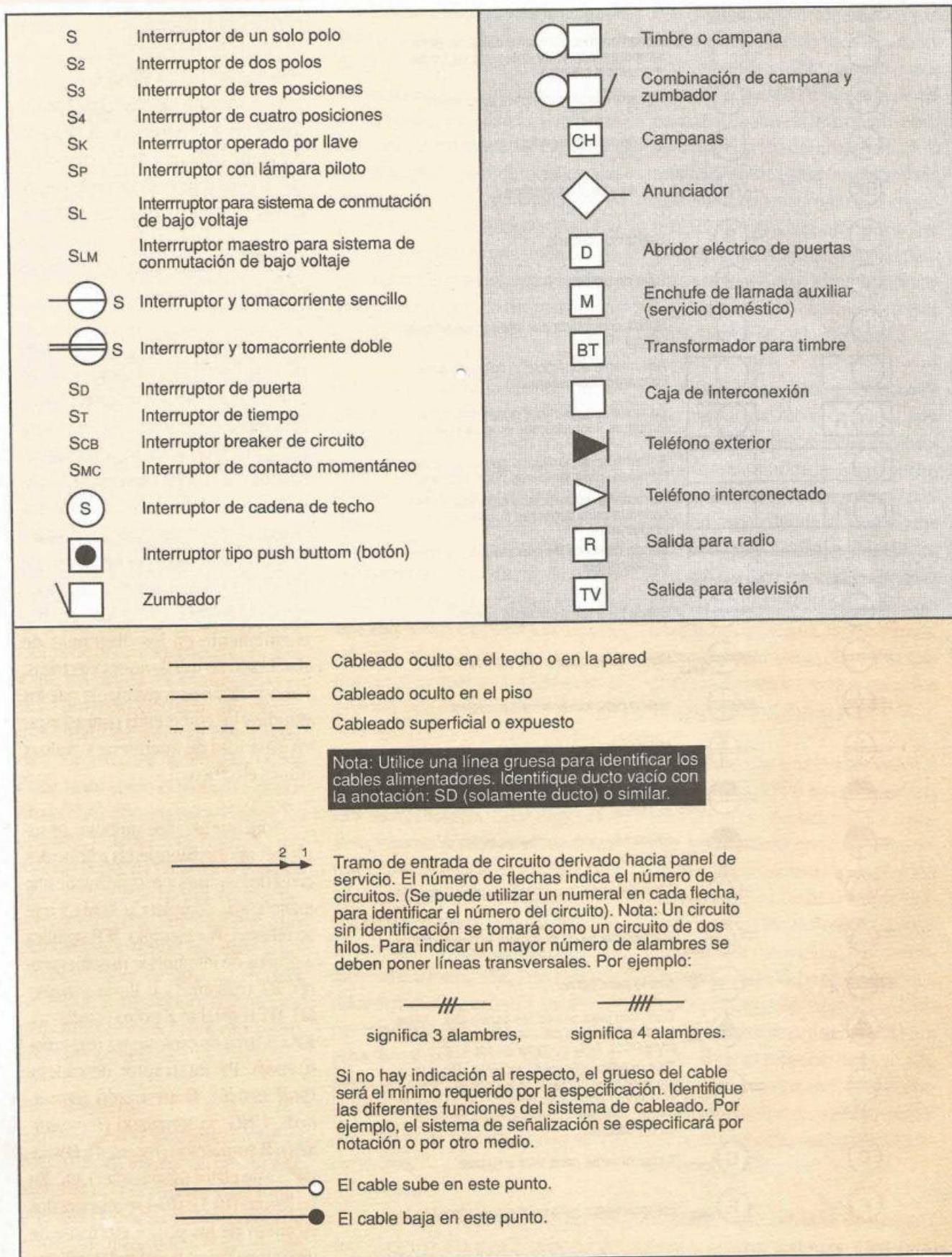


Figura I10-2. Otros símbolos ANSI para instalaciones eléctricas

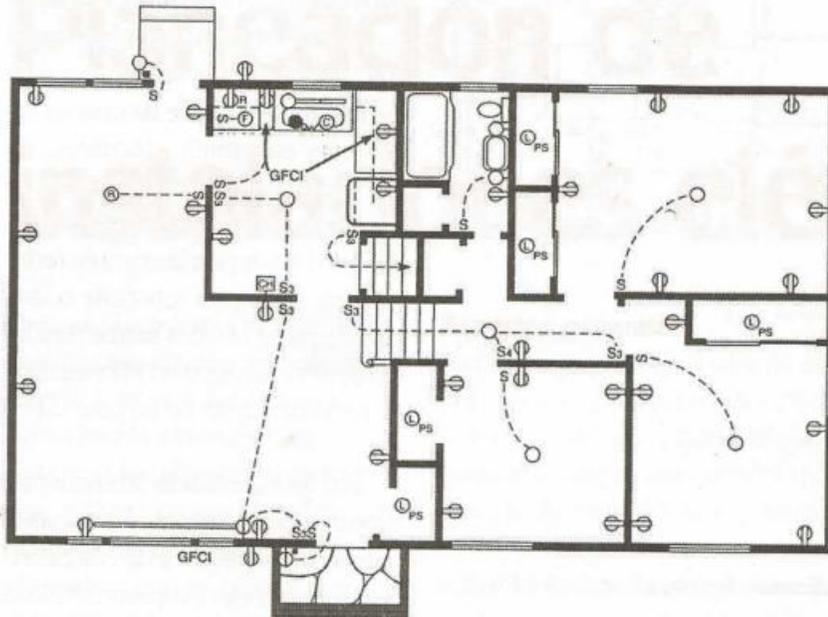
A primera vista, estos planos pueden parecer muy complicados, pero con la práctica y el tiempo se verá que son muy fáciles de entender. Note en las figuras I10-3 e I10-4 que no se indica como están conectadas físicamente entre sí las salidas, sino que se muestran líneas punteadas desde los inte-

ruptores hasta la salida o salidas particulares que ellos controlan. Practique con este tipo de diagramas hasta que los símbolos sean tan claros como lo sería una imagen de los mismos.

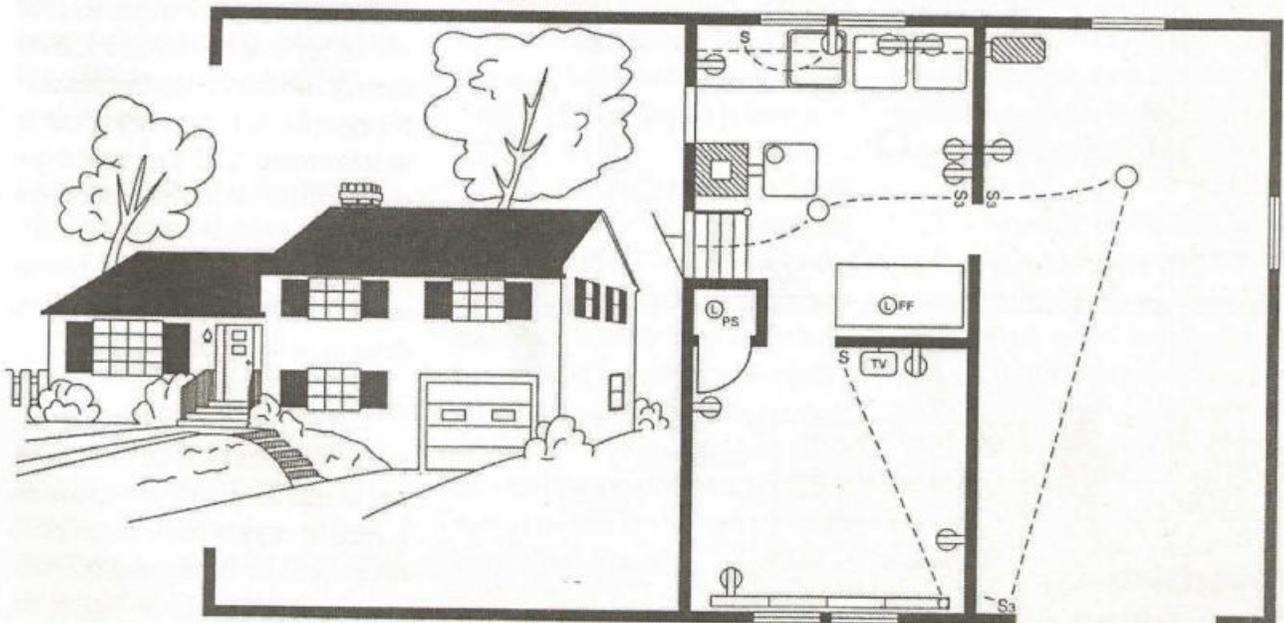
Algunos planos, como el mostrado en la figura I10-5 son algo más explícitos,

indicando los circuitos que componen la instalación y el orden en que están alambradas las distintas salidas de cada uno. En última instancia, el propósito de un plano de alambrado es agrupar los dispositivos eléctricos individuales que componen una instalación en circuitos derivados. Como parte de esta labor es necesario determinar cuál es la mejor trayectoria a fin de reducir en lo posible la cantidad de alambre empleado y evitar problemas futuros.

Aunque la habilidad para leer, interpretar y realizar correctamente los planos de las instalaciones eléctricas se adquiere a través del tiempo, una buena forma de empezar es tratar por separado cada una de las áreas que componen una casa habitación típica, es decir las habitaciones, la sala, el comedor, la cocina, etc., tratando siempre de generalizar el procedimiento. Aprendiendo a interpretar los planos de una casa habitación resulta muy fácil comprender la instalación eléctrica de otros tipos de locales.



**Figura I10-3. Diagrama de alambrado de una casa de nivel dividido (primero y segundo niveles)**



**Figura I10-4. Diagrama de alambrado de una casa de nivel dividido (sótano)**

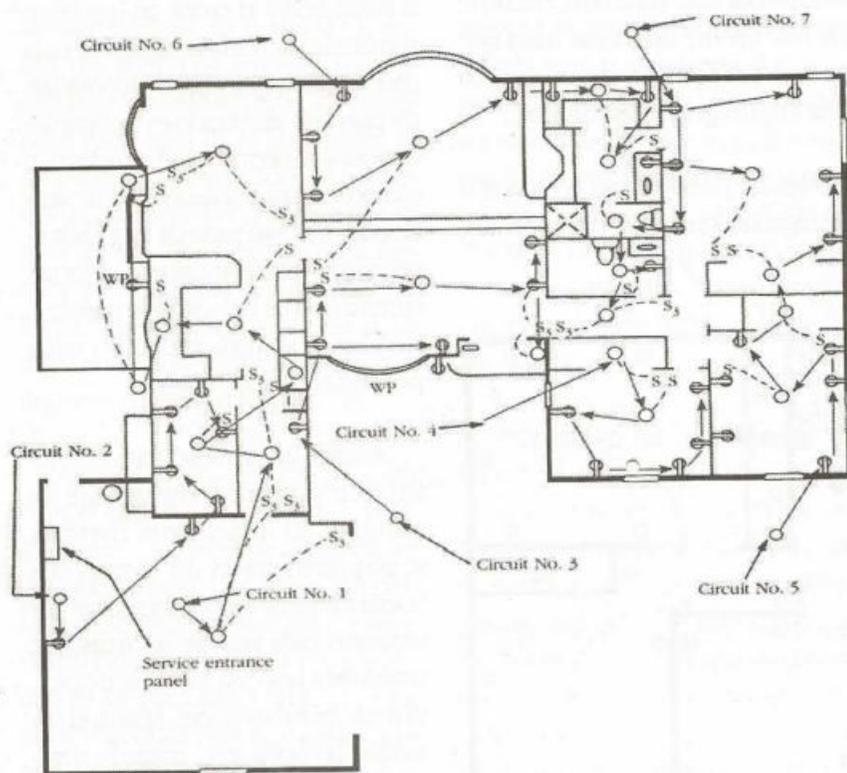


Figura I10-5. Diagrama de alambrado indicando los circuitos derivados de propósito general de una vivienda

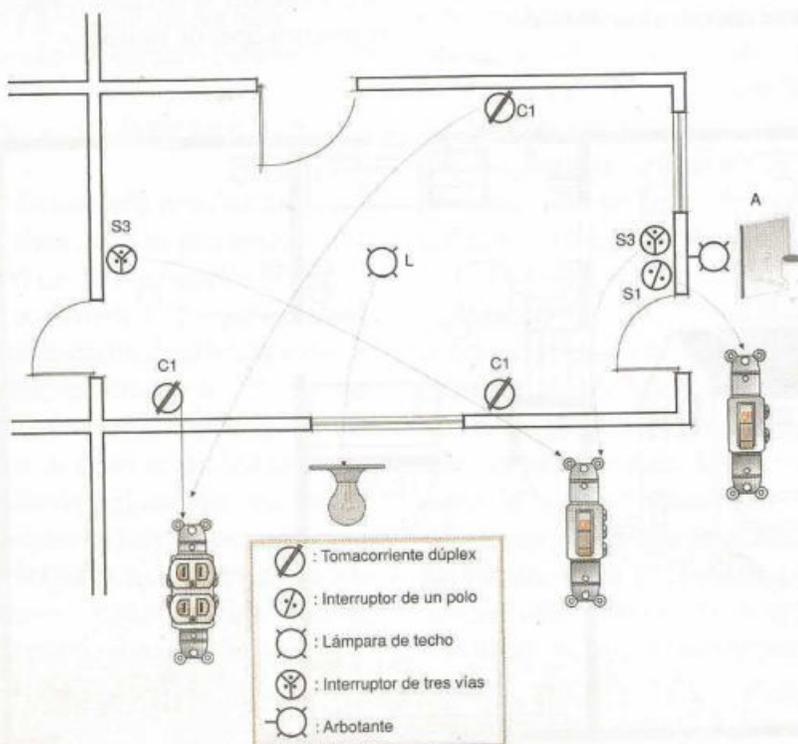


Figura I10-6. Planta simplificada de un cuarto mostrando la ubicación de los elementos

En la figura I10-6, por ejemplo, se presenta el plano simplificado de planta de un cuarto indicando los elementos eléctricos que deben ir instalados en el mismo. También se indica la correspondencia entre cada símbolo gráfico y el correspondiente dibujo del elemento real, aunque obviamente estos últimos no se incluyen en los planos finales. Se comienza obteniendo un plano de planta y se continúa definiendo la ubicación de las cajas de los distintos elementos eléctricos. En nuestro caso, la instalación consta de tres salidas para tomacorrientes dúplex (C1), una salida para lámpara de techo (L), una salida para arbotante o lámpara de pared (A), dos salidas para interruptores de tres vías (S3) y una salida para interruptor de un polo (S1).

Una vez especificadas las salidas para lámparas, tomacorrientes, interruptores y otros propósitos, se dibuja entonces el plano de alambrado propiamente dicho, definiendo las posibles trayectorias de las canalizaciones. En la figura I10-7 se muestra el mismo diagrama de planta de la figura I10-6, esta vez con las trayectorias de las canalizaciones definidas. Sobre las mismas se puede también indicar el número de circuitos y el alambre utilizado. Por ejemplo, "C-1" para indicar que es un solo circuito, "2-12" para indicar que el cable o tramo de conduit contiene dos conductores calibre AWG12, etc. Esta notación no está estandarizada, pero su uso es muy generalizado en los planos de instalaciones eléctricas.

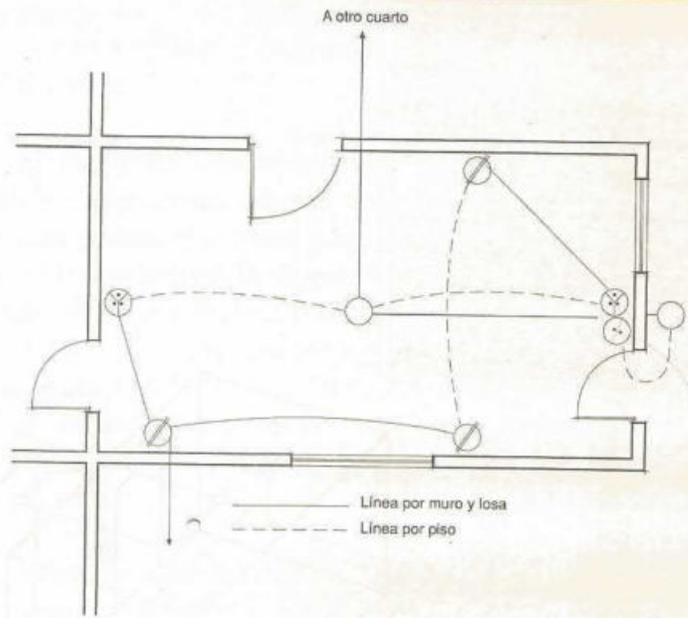
En las figuras I10-8 a I10-15 se presentan otros ejemplos. En estos diagramas se trata de mostrar principalmente la relación entre la planta de un plano eléctrico para las distintas áreas que constituyen una casa habitación y su realización física por medio de dibujos isométricos que dan una idea de la localización

de las salidas para cada elemento (alumbrado, tomacorrientes, interruptores, electrodomésticos, etc.) y facilitan el cálculo de la cantidad de alambre y conduit requeridos. Note que sólo se muestran las cajas de salida de cada uno de los elementos. Los detalles de las conexiones entre los distintos elementos se presentarán posteriormente.

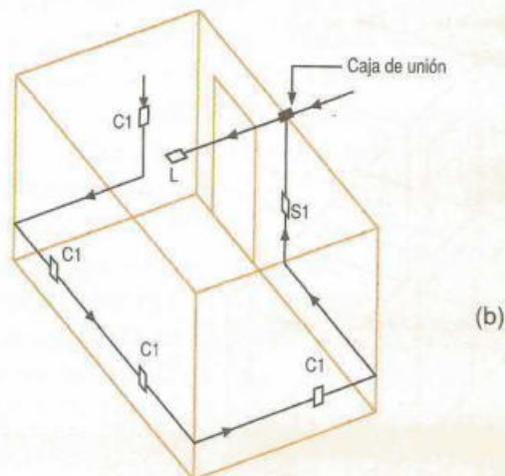
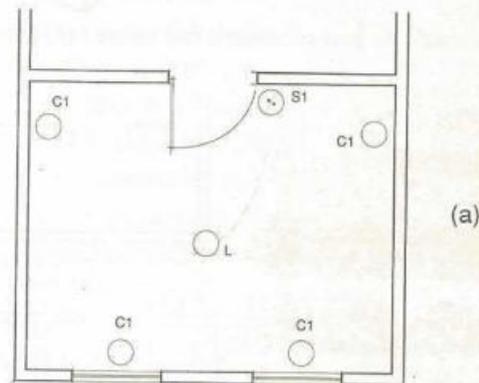
El diagrama de alambrado de la figura I10-8 corresponde a una recámara sin closet. La instalación consta de cuatro salidas para tomacorrientes dúplex (C1), una salida para lámpara de techo (L) y una salida para interruptor de un polo (S1). Este último controla el encendido y apagado de la lámpara. Los tomacorrientes están siempre activos. Note en (b) la presencia de una caja de unión, que no aparece explícita en (a), para recibir la tensión de alimentación del circuito o suministrar alimentación al siguiente circuito

El diagrama de alambrado de la figura I10-9 corresponde al de una recámara con closet. La instalación consta de cuatro salidas para tomacorrientes dúplex (C1), dos salidas para lámparas de techo (L) y dos salidas para interruptores de un polo (S1). Uno de los interruptores controla la lámpara de techo localizada en el centro de la habitación y el otro la lámpara ubicada en el centro del closet. Note nuevamente la presencia de una caja de unión para recibir la tensión de alimentación del circuito o suministrar alimentación al siguiente circuito.

El diagrama de alambrado de la figura I10-10 corresponde al de un pasillo con un punto de luz simple conmutable. La instalación consta de una salida para tomacorriente dúplex (C1), una salida para lámpara de techo (L) y dos salidas para interruptores de tres vías (S3). Estos últi-



**Figura I10-7. Planta simplificada de un cuarto mostrando las trayectorias de las canalizaciones.**



**Figura I10-8. Alambrado de una recámara sin closet (a) Plano de planta; (b) Plano isométrico**

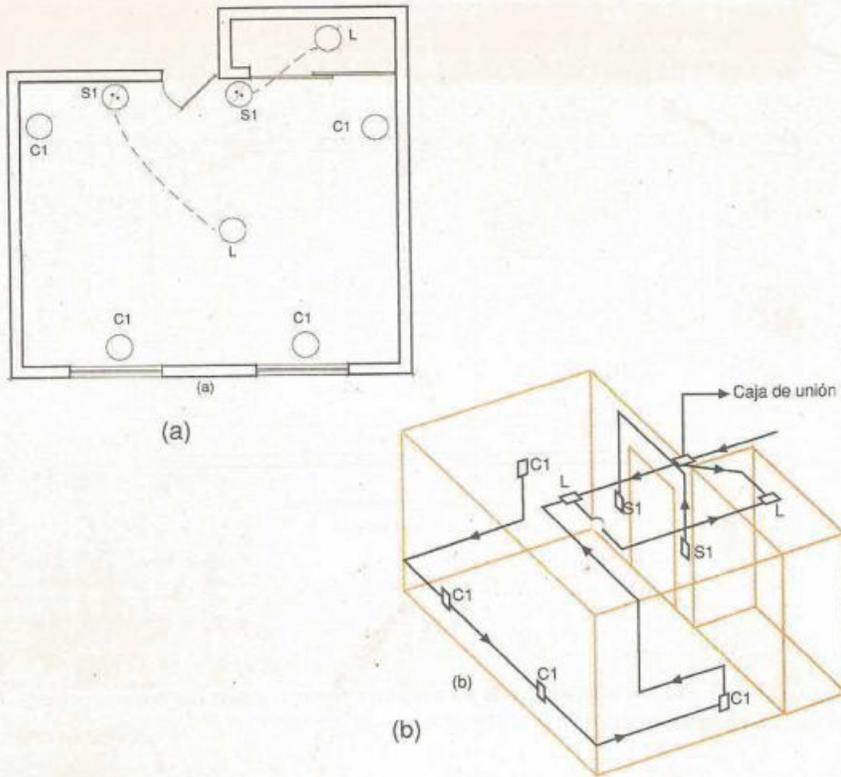


Figura I10-9. Alambrado de una recámara con closet (a) Plano de planta; (b) Plano isométrico

mos controlan el encendido y apagado de la lámpara desde cada extremo del pasillo. El tomacorriente está siempre vivo. En este caso, la alimentación puede entrar por la caja de la lámpara o por la del tomacorriente.

El diagrama de alambrado de la figura I10-11 corresponde al de un cuarto de baño. La instalación consta de dos salidas para tomacorriente (C1), una salida para lámpara de techo (L), dos salidas para lámparas de pared que iluminan el espejo (L) y una salida para dos interruptores de un polo (S1). Uno de los interruptores controla el encendido y apagado de las lámparas de pared, mientras que el otro controla la lámpara de techo. Los tomacorrientes están siempre vivos. En este caso, la alimentación entra por la caja del tomacorriente de la derecha.

**Nota:** Como veremos en un capítulo posterior, el baño es la habitación más peligrosa de una vivienda desde el punto de vista eléctrico porque en la misma deben convivir el agua y la electricidad. Por esta razón, antes de proyectar la distribución de los distintos elementos que forman parte de la instalación eléctrica de un baño, deben tenerse en cuenta ciertas prescripciones de seguridad, incluyendo la definición de las llamadas *zonas de prohibición* y de *protección*. En la primera no se permite ningún tipo de instalación eléctrica, excepto la ducha si físicamente es imposible situarla fuera de la misma. En la zona de protección, que rodea la zona de prohibición, solamente se autorizan determinadas instalaciones, por ejemplo armarios con doble iluminación incorporada. Están prohibidos los tomacorrientes, los interruptores y las cajas de unión. Estos componentes deben instalarse fuera de la zona de protección.

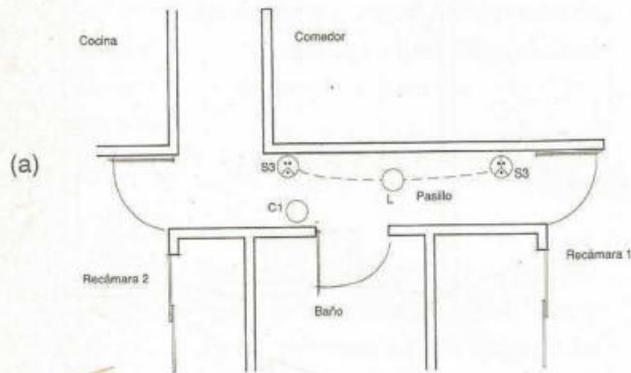


Figura I10-10. Alambrado de un pasillo con lámpara controlada desde dos posiciones (a) Plano de planta; (b) Plano isométrico

Tu futuro es la

# ELECTRONICA

Curso básico de electrónica aplicada

Sin matemáticas en su casa y en menos de un año!



**P**ara usted que quiere aprender electrónica, sin conocimientos previos ni matemáticas, este curso teórico práctico con un contenido muy didáctico y sencillas explicaciones, le brinda un rápido aprendizaje en forma fácil y agradable.

Practicando, y en su casa, usted se inicia en esta maravillosa ciencia en menos de un año.

Sus principales temas son:

- Componentes, diagramas y circuitos electrónicos
- Mediciones eléctricas y manejo del multímetro
- Fabricación de proyectos electrónicos
- Principios fundamentales de CC y CA

- Fuentes de poder
- Estudio del transistor
- Amplificadores de audio
- Osciladores
- Circuitos integrados
- Introducción a la electrónica digital

Usted recibe 4 libros de lecciones, 4 manuales de experimentos y todos los componentes para realizarlos.

**¡Al terminar el curso y completar sus prácticas, usted recibirá un certificado de estudios!**



**LLENE SU CUPON DE PEDIDO Y ENVIÉLO HOY MISMO**

Oficina principal: Calle 22 N° 8-22 Piso 2, A. A. 194 Tels. 352394 - 352194 - 356135 - 332206  
352575 - 352191 - 252653 Fax (963) 342615 Pereira • Oficina en Bogotá: Cra. 13 N° 38-43  
PRIMER PISO • A.A. 50777 Tels. 2873086 - 2873420 Fax (91) 2877318 Santafé de Bogotá D.C. Colombia

# APRENDA ELECTRONICA EN SU CASA



Sin matemáticas ni conocimientos previos

## FACILMENTE

Usted recibe todo este equipo, herramientas y materiales para prácticas!



Al finalizar el curso, este certificado de estudio



## En cómodas cuotas mensuales

### CURSO PRACTICO DE ELECTRONICA BASICA

Sin matemáticas y en menos de un año  
Usted recibe 28 cuadernillos (3 volúmenes), componentes para experimentos, herramientas para sus prácticas. Kits completos para armar, 2 videos y un ENTRENADOR BASICO



### CURSO BASICO DE MICROPROCESADORES

Conozca los principios básicos del control de procesos!  
El paquete completo incluye 12 cuadernillos (1 volumen), un entrenador con microprocesador, 3 kits para experimentos, una fuente regulada y 2 videos

### CURSO PRACTICO DE RADIO AM-FM

El mundo de las comunicaciones a su alcance  
El paquete completo incluye 28 cuadernillos (2 volúmenes), material para prácticas, un Kit completo de radio AM, un video y un ENTRENADOR BASICO



### CURSO INTEGRAL DE ELECTRONICA

Incluye 1 entrenador básico, 1 Entrenador digital, 1 kit de radio, 1 entrenador con microprocesador, caudín, pinzas, multímetro, 7 videos y los cuadernillos y kits correspondientes a cada curso

### CURSO PRACTICO DE ELECTRONICA DIGITAL Y CIRCUITOS INTEGRADOS

Conozca la moderna tecnología digital!  
El paquete completo incluye 28 cuadernillos (4 volúmenes), componentes para prácticas, 6 módulos de experimentos, 2 videos y un completo ENTRENADOR DIGITAL



Oficina principal: Calle 22 N° 8-22 Piso 2, A. A. 194 Tels. 352394 352194 - 356135 - 332206 352575 - 352191 - 252653 Fax (963) 342615 e-mail: ecekit@itecs5-telecom-co.net Pereira  
Oficina en Bogotá: Cra. 13 N° 38-43 PRIMER PISO • A.A. 50777 Tels. 2873086 - 2873420 Fax (91) 2877318 Santafé de Bogotá D.C. Colombia