

**FLUKE®**

# Principios de puesta a tierra

Creado en cooperación  
con Fluke Corporation



**Glen A. Mazur**

**FLUKE®**

Creado en cooperación  
con Fluke Corporation

# Resistencia de tierra física



AMERICAN TECHNICAL PUBLISHERS  
ORLAND PARK, ILLINOIS 60467-5756

**Glen A. Mazur**

*Resistencia de la tierra física* contiene procedimientos de uso común en la industria y el sector. Los procedimientos específicos varían con cada tarea y deben estar a cargo de personal calificado. Para mantener la máxima seguridad, consulte siempre las recomendaciones del fabricante, la normativa sobre seguros, los procedimientos específicos de la planta y del sitio de trabajo, las regulaciones federales, estatales o locales, y las de cualquier autoridad competente. El material aquí contenido tiene el objeto de servir como recurso educativo al usuario. Ni American Technical Publishers, Inc. ni Fluke Corporation asumen responsabilidad legal alguna por ninguna reclamación, pérdida o daños y perjuicios, entre otros, daños a la propiedad o lesiones personales, en los que se pueda incurrir al hacer uso de esta información.

American Technical Publishers, Inc., Personal de ediciones y producción

Editor en Jefe:

Jonathan F. Gosse

Vicepresidente—Producción:

Peter A. Zurlis

Encargado de Arte:

Jennifer M. Hines

Encargado de Medios Digitales:

Carl R. Hansen

Editor Técnico:

James T. Gresens

Revisor:

Talia J. Lambarki

Diseño de Portada:

Jennifer M. Hines

Ilustraciones/Diseño:

Thomas E. Zabinski

National Electrical Code y NEC son marcas comerciales registradas de  
National Fire Protection Association, Inc.

© 2014 por American Technical Publishers, Inc. y Fluke Corporation.  
Reservados todos los derechos

1 2 3 4 5 6 7 8 9 – 14 – 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Impreso en los Estados Unidos

ISBN 978-0-8269-1436-1



Este libro está impreso en papel reciclado.



## Capítulo 1

### **Métodos y requisitos de conexión a tierra** 1

Conexión a tierra • Sistemas de conexión a tierra • Categorías de conexión a tierra  
• Valores de resistencia de tierra • Métodos de conexión a tierra

## Capítulo 2

### **Pruebas de equipo y sistemas de conexión a tierra** 9

Cuándo realizar las pruebas • Pruebas de conexión a tierra • Resistividad del terreno  
• Medidas de resistencia de tierra con cuatro terminales • Métodos de prueba de  
sistemas de conexión a tierra • Principios de las medidas de resistencia de tierra  
• Pruebas de resistencia de tierra de tres polos • Procedimiento de medición de  
resistencia de tierra contres polos • Pruebas de resistencia de tierra de la caída de  
potencial con tres y cuatro polos • Prueba de resistencia de conexión a tierra selec-  
tiva • Prueba de resistencia de conexión a tierra sin jabalinas • Procedimiento de la  
prueba de resistencia de tierra sin jabalinas • Comprobadores con inicio a distancia

## Capítulo 3

### **Problemas y soluciones de las conexiones a tierra** 29

Solución de problemas • Problemas de resistencia del suelo • Problemas de insta-  
lación del electrodo de conexión a tierra • Instalación del sistema del electrodo de  
tierra • Uso de múltiples electrodos de tierra • Problemas de operación • Problemas  
del bucle de tierra • Corriente de fallo de tierra del circuito

## Capítulo 4

### **Solución de problemas del sistema y mantenimiento preventivo** 41

Conexiones flojas • Conexiones de tierra inadecuadas • Conexiones múltiples de  
neutro a tierra • Corriente de tierra alta—Ruptura del aislamiento • Medición de la  
corriente del sistema de conexión a tierra

### **Apéndice** 51

### **Glosario** 53

### **Índice** 55



# Métodos y requisitos de conexión a tierra

Los sistemas de conexión a tierra se instalan para proteger al personal, al equipo y a los edificios de fallas de conexión a tierra no deseadas y peligrosas. Las categorías de conexión a tierra incluyen la puesta a tierra e interconexión eléctrica de equipos para protección del personal (protección contra fallas), electrodo de tierra, protección contra rayos y sistemas de referencia de señales. Los sistemas de conexión a tierra se prueban para asegurarse de que hayan valores adecuados de resistencia de tierra presentes en el sistema. Se utilizan diversos métodos para proporcionar conexión a tierra y estos se basan en los requisitos del National Electrical Code® (NEC®).

## CONEXIÓN A TIERRA

La *conexión a tierra* es una conexión conductora de baja resistencia entre circuitos eléctricos, equipos y tierra. Un sistema eléctrico necesita cableado y conexiones a tierra adecuados para la operación correcta y segura del equipo. Un cableado adecuado requiere que el sistema, todas las cargas y los componentes del circuito estén debidamente conectados a tierra de acuerdo con las normas de la industria, el IEEE y otras organizaciones, estándares, guías y recomendaciones reconocidas. Además de cualquier requisito del fabricante del equipo original (original equipment manufacturer, OEM) para la operación adecuada y segura. Las organizaciones de normas y códigos eléctricos comunes incluyen a las siguientes:

- National Electrical Code (NEC®)
- Occupational Safety Health Administration (OSHA)
- National Fire Protection Association (NFPA)
- International Electrotechnical Commission (IEC)
- Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)

Un sistema de conexión a tierra no solo debe instalarse correctamente, sino también debe estar diseñado para estar en servicio a lo largo de la vida esperada del sistema eléctrico y seguir operando correctamente incluso después de soportar fallas de altas corrientes. Para asegurarse de que un sistema de conexión a tierra esté bien instalado, en buen funcionamiento y funcione durante años, deben realizarse varias pruebas antes, durante y después de la instalación del sistema. Las pruebas de un sistema de conexión a tierra pueden incluir tomar las siguientes medidas de resistencia, corriente y tensión:

- tensión del sistema
- tensión de electricidad estática
- corriente del sistema
- corriente de fuga
- resistencia del sistema de conexión a tierra
- resistividad del suelo
- pH del suelo

### SUGERENCIA TÉCNICA

*Los sistemas eléctricos deben conectarse a un electrodo de tierra.*



Las medidas de resistividad del suelo se toman para medir la resistividad del terreno, lo que determinará la mejor ubicación para colocar el electrodo de tierra, la rejilla o el sistema de conexión a tierra. El valor de resistividad del suelo debe determinarse antes de instalar el sistema de conexión a tierra. La resistencia a tierra del sistema de conexión a tierra se toma después de instalar dicho sistema para asegurarse de que el sistema no supere la resistencia máxima necesaria establecida por el NEC® y otras regulaciones y recomendaciones de conexión a tierra. Las mediciones del pH del suelo se toman, a veces, para determinar qué metal (cobre, acero inoxidable o acero galvanizado) es el mejor material para usar en una ubicación específica.

Es importante hacer pruebas del sistema de conexión a tierra durante la instalación inicial, pero es igual de importante hacerlo como parte de un programa de mantenimiento preventivo de rutina. Esto es porque un sistema de conexión a tierra puede dañarse a lo largo del tiempo debido a situaciones tales como un suelo corrosivo, conexiones eléctricas flojas y componentes dañados. Las pruebas deben llevarse a cabo a intervalos programados regulares ya que las condiciones ambientales pueden cambiar. Por ejemplo, al secarse el suelo cambia el contenido de humedad y eso puede provocar cambios en el sistema de conexión a tierra. Las pruebas de un sistema de conexión a tierra se llevan a cabo durante y después de la instalación del sistema con



**Figura 1-1.** Las pruebas de los sistemas de conexión a tierra se llevan a cabo durante y después de la instalación del sistema con comprobadores de tierra (resistencia) y pinzas amperimétricas de la conexión a tierra.

comprobadores de tierra (resistencia) y pinzas amperimétricas de la conexión a tierra. **Consulte la figura 1-1.**

## SISTEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA

La función de un sistema de conexión a tierra es proporcionar una ruta segura para que fluya la corriente de fallo. La *corriente de fallo* es cualquier corriente que recorre un camino distinto al camino de funcionamiento normal para el cual fue diseñado el sistema. Tener una conexión a tierra adecuada para las herramientas eléctricas, las máquinas, el equipo y los sistemas de distribución es un factor importante en la prevención de situaciones peligrosas y para permitir que el equipo eléctrico y electrónico funcione correctamente.

Un sistema de conexión a tierra general abarca varios sistemas o subsistemas con diferentes funciones, tal como el sistema de electrodo de tierra. El sistema de electrodo de tierra ofrece la referencia cero para el sistema eléctrico, el sistema de protección contra rayos, el sistema de interconexión eléctrica de equipos para la seguridad del personal y el sistema de protección de señales. Todos están interconectados con conductores y conectores para formar un plano equipotencial.

Los conductores incluyen cables, conexiones (terminales), empalmes, electrodo de tierra (electrodo de tierra, rejilla o sistema) y el suelo. La conexión del sistema eléctrico a tierra se logra conectando el circuito de tierra a un electrodo metálico subterráneo, el marco metálico de una construcción, un electrodo envuelto en hormigón, un anillo de tierra u otro método de conexión a tierra aprobado. **Consulte la Figura 1-2.**

## Subsistemas de conexión a tierra

Cada uno de los sistemas de conexión a tierra mencionados anteriormente está especializado para un propósito diferente, y cuando se combinan, las categorías que se obtienen ofrecen un sistema de conexión a tierra seguro y eficaz para las personas y para el equipo. **Consulte la figura 1-3.**

### Conexión a tierra de equipo electrónico.

El equipo electrónico se conecta a tierra con el fin de ofrecer una buena tierra para los sistemas electrónicos, lograr una mejor comunicación, con menos ruido, con equipos de control de procesos y otros sistemas.

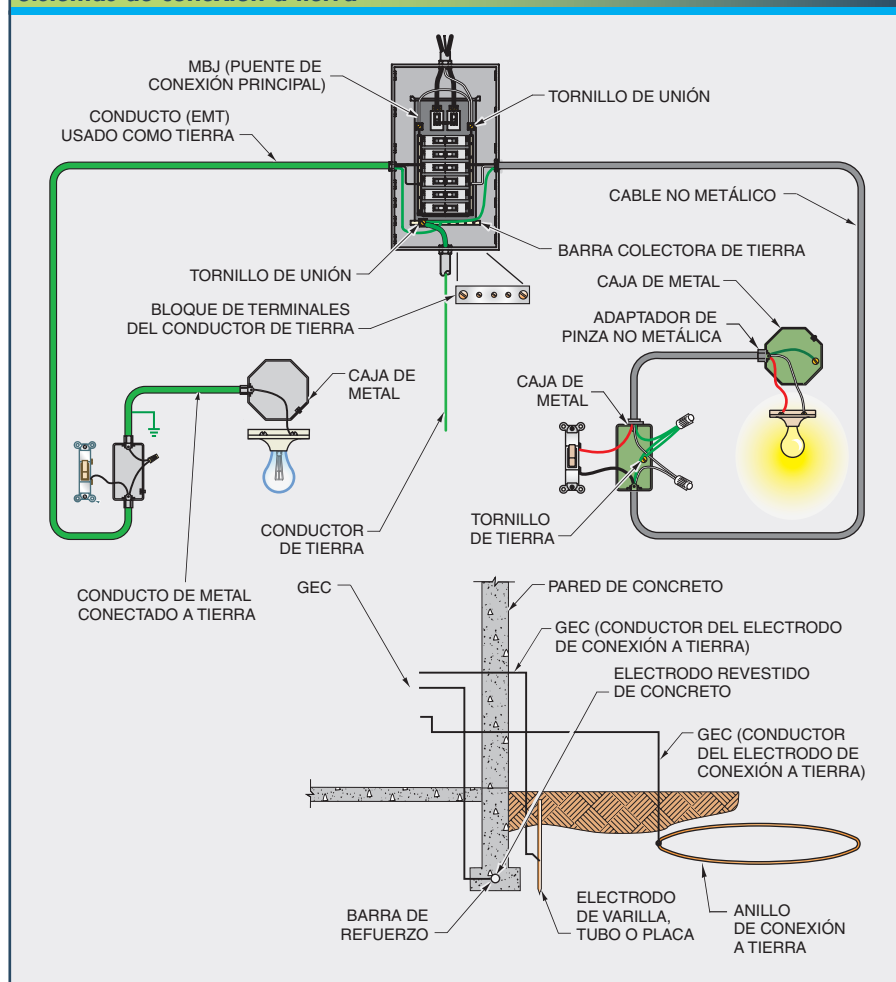
Una buena conexión a tierra reduce las cargas de electricidad estática, lo que permite mantener la integridad de la señal para equipos sensibles de video, de sonido, datos, médicos y de seguridad; controladores lógicos programables (programmable logic controller, PLC); controles numéricos computarizados (computer numerical controls, CNC); variadores de frecuencia



Los sistemas de conexión a tierra de los edificios a veces pueden identificarse por la presencia de cable de cobre desnudo trenzado conectado a varillas de tierra.



### Sistemas de conexión a tierra



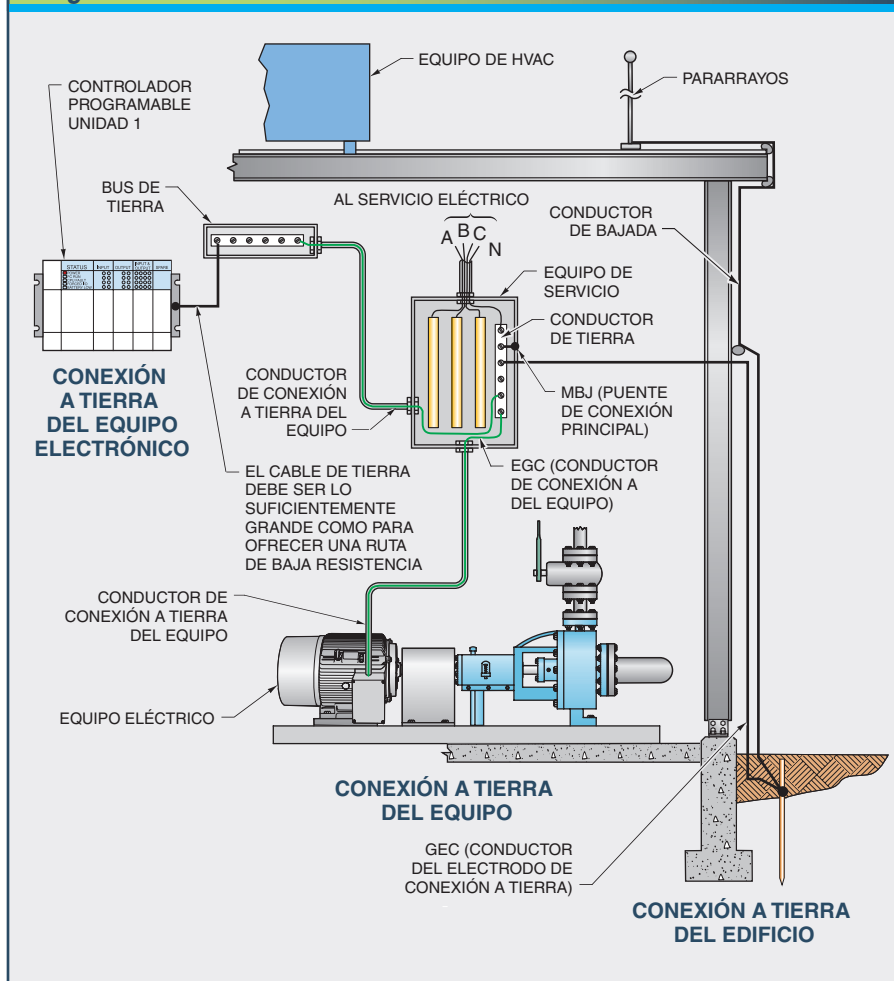
**Figura 1-2.** La conexión del sistema eléctrico a tierra se logra conectando el circuito de tierra a un electrodo metálico subterráneo, el bastidor metálico de un edificio, un electrodo envuelto en hormigón, un anillo de tierra u otro método de conexión a tierra aprobado.

(variable-frequency drives, VFD). Es difícil mantener la consistencia de la señal en los equipos electrónicos en los cuales hay muchas señales transmitiendo datos a 5 V o menos.

**Interconexión a tierra del equipo eléctrico.** El equipo eléctrico se interconecta

a tierra para reducir la probabilidad de un choque eléctrico, conectando a tierra todo el metal expuesto que no conduzca corriente. El motivo principal para interconectar eléctricamente el equipo a tierra es evitar que suceda un choque eléctrico cuando una persona entre en contacto con el equipo

### Categorías de conexión a tierra



**Figura 1-3.** Las tres categorías de conexión a tierra son tierra electrónica, conexión a tierra del equipo y conexión a tierra del edificio.

eléctrico o con algún metal expuesto.

Las partes de metal que no conducen corriente y que están conectadas a un sistema de conexión a tierra incluyen todas las cajas de metal, conductos para cables metálicos, cajas de protección, partes de equipo de metal y cualquier metal con el

que una persona pudiera hacer contacto que está en un circuito eléctrico. Puede existir una corriente de fallo debido a errores en el aislamiento o debido a un cable conductor de corriente que hace contacto directo con una parte metálica en un sistema que no es conductora de corriente.

En un sistema bien conectado a tierra, el flujo de la corriente de fallo debe disparar el dispositivo de protección contra corriente (fusible o disyuntor). Cuando un fusible se abre o un disyuntor se dispara, el circuito se abre y no hay flujo de corriente. La conexión a tierra del equipo también ayuda a evitar choques eléctricos de electricidad estática y la acumulación de estática en el equipo. Cuando se deja que se acumule, la electricidad estática también puede causar incendios y explosiones.

**Sistemas de electrodo de tierra.** Un *sistema de electrodo de tierra* es la conexión de un sistema eléctrico a una tierra física mediante electrodos de tierra, tal como el marco metálico del edificio, electrodos embutidos en el hormigón, un anillo de tierra u otro método de conexión a tierra aprobado. La conexión a tierra de una construcción asegura que haya una ruta de tierra de baja impedancia (baja resistencia) de la corriente de fallo (corto a tierra o rayos) a la tierra física. Una *tierra de baja impedancia* es una ruta a tierra que contiene muy poca resistencia al flujo de la corriente de fallo hacia tierra.



Los sistemas de electrodo de tierra deben probarse en forma rutinaria con medidores de resistencia de puesta a tierra para verificar que la resistencia es lo suficientemente baja como para proporcionar protección adecuada al equipo y al personal.

El sistema de conexión a tierra general también incluye un sistema de protección contra rayos para proteger la construcción, la columna de enfriamiento o la estructura externa contra los rayos, al proporcionar una ruta a tierra para la corriente de estos. Un sistema de protección contra rayos también debe tener baja resistencia debido a los requisitos de la alta corriente que crean los rayos. Un fallo de cualquier parte de un sistema de conexión a tierra cuando conduce la descarga de un rayo aumenta la probabilidad de que el arco eléctrico provoque un incendio y daño al edificio.

### Valores de resistencia de tierra

Hay diferentes valores que se dan para la resistencia máxima de un sistema de conexión a tierra dependiendo de los motivos para la puesta a tierra. Por ejemplo, la industria electrónica tiene requisitos de resistencia de tierra más bajos que el NEC®, para la protección de equipo electrónico sensible. El objetivo principal de la conexión a tierra y la interconexión de equipos a tierra es eliminar la corriente de fallo lo más rápido posible. El NEC® establece que si el electrodo de tierra es una placa, tubo o varilla individual, este debe tener una resistencia a tierra de 25  $\Omega$  o menos.

La conexión a tierra de equipo electrónico sensible está diseñada principalmente, en efecto, con reducción del ruido electrónico usando una tierra para eliminar el ruido y cualquier otra interferencia inducida o señales no deseadas. La corriente no deseada que se elimina a tierra a través de los sistemas de conexión a tierra electrónicos generalmente se mide en miliamperios y continúa fluyendo siempre que el equipo electrónico esté conectado. Los OEM de sistemas y equipo electrónico generalmente especifican los sistemas de conexión a tierra con una resistencia de 5  $\Omega$ , 3  $\Omega$ , o 1  $\Omega$  o menos.

Un sistema de conexión a tierra que funciona correctamente debe satisfacer los requisitos y las necesidades del equipo eléctrico, de construcción y electrónico. Todos los requisitos de conexión a tierra se pueden satisfacer si se instala un sistema de conexión a tierra con la resistencia más baja posible y un sistema de larga vida útil. Los siguientes son valores de máxima resistencia, o impedancia, que debe respetarse a menos que las agencias aprobadas indiquen algo distinto:

- La resistencia a tierra para la industria electrónica y de telecomunicaciones suele ser  $5\ \Omega$  o menos.
- Los electrodos de tierra de placa, tubo o varilla individual deben tener una resistencia a tierra de  $25\ \Omega$  o menos (según los requisitos de NEC®).
- Para los sistemas de conexión a tierra de protección contra rayos, la industria generalmente exige  $6\ \Omega$  o menos, y, en áreas de alta incidencia de rayos  $1\ \Omega$  o menos.

Los instrumentos de prueba se usan para probar las instalaciones de los sistemas de conexión a tierra nuevos y para pruebas de mantenimiento de rutina. Las pruebas continuas como parte de un programa de mantenimiento preventivo aseguran que un sistema de conexión a tierra funcione de forma correcta y segura.

### Métodos de conexión a tierra

Un *conductor de electrodo de tierra* (*grounding electrode conductor, GEC*) es un conductor que conecta las partes puestas a tierra de un sistema de distribución de alimentación eléctrica (conductores de conexión a tierra del equipo, conductores de tierra y todas las partes de metal) a un sistema de conexión a tierra aprobado. Un *conductor de tierra* es un conductor que tiene una conexión a tierra intencional.

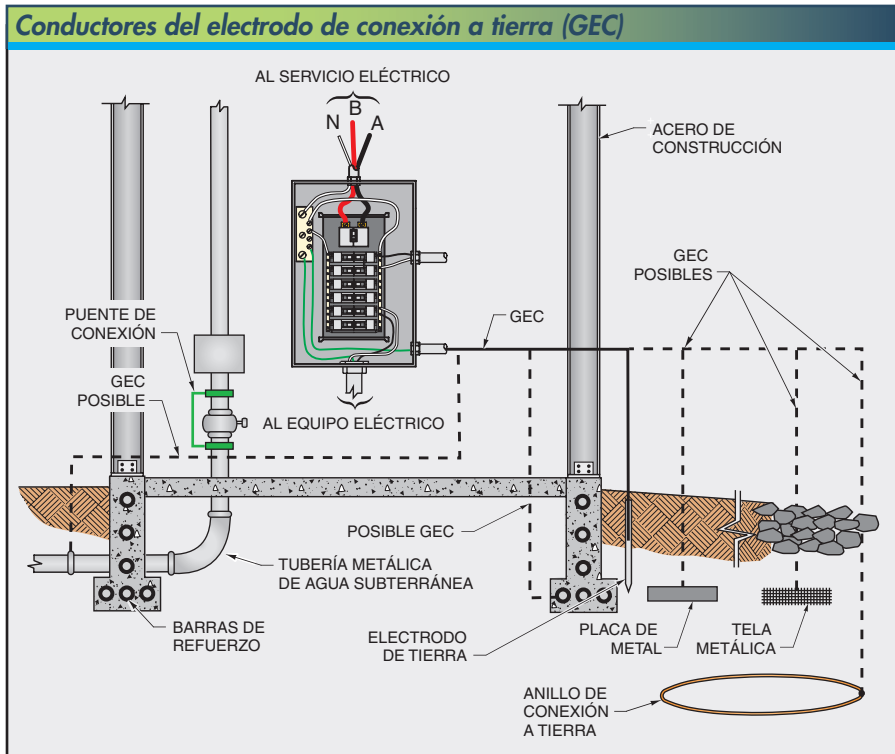
Un conductor de tierra suele ser el conductor neutro.

El GEC es el sistema de conexión a tierra que proporciona la conexión física directa a la tierra. Un electrodo de tierra consiste generalmente en uno o más electrodos enterrados en el suelo, el electrodo de tierra también puede ser el marco de metal de un edificio si está bien conectado a tierra, las barras de refuerzo en los cimientos de hormigón, un anillo de tierra, placa de metal, rejilla de alambre normalmente instalado en áreas rocosas, o tubería de agua metálica subterránea siempre que el electrodo de tierra cumpla con la baja resistencia y todos los requisitos del código. **Consulte la Figura 1-4.**

### SUGERENCIA TÉCNICA

*Debe hacerse mantenimiento periódico al sistema de conexión a tierra general para verificar que los conductores de tierra del equipo y el conductor del electrodo de conexión a tierra sean del tamaño adecuado de acuerdo con el NEC®. El sistema de conexión a tierra debe tener una tierra adecuada para que el fallo de tierra fluya por el conductor de tierra del equipo a la fuente de alimentación para facilitar el funcionamiento de los interruptores automáticos.*

Cada método de conexión a tierra tiene sus propios límites y requisitos. Por lo tanto, al seleccionar, instalar y probar un electrodo de tierra, deben verificarse e implementarse todos los códigos y estándares, dado que no todos los métodos están aprobados y funcionan bien en diferentes ubicaciones. Por ejemplo, una tubería de agua metálica debe tener por lo menos 3 m de longitud de tubería en contacto directo con la tierra e incluso cuando lo tiene, debe instalarse una segunda varilla de tierra separada para satisfacer algunos de los requisitos.



**Figura 1-4.** El electrodo de tierra es el sistema de conexión a tierra que proporciona la conexión física directa a la tierra y proporciona la referencia cero al sistema eléctrico.

Una vez se selecciona y aprueba un método, la mejor práctica es seguir los requisitos del NEC®, probar el sistema y registrar todos los valores medidos durante la instalación, durante las puestas en marcha y como parte de un programa de mantenimiento de rutina. Debido a que el NEC®

no recomienda un sistema en particular sino que cubre los requisitos una vez se selecciona un método, siempre es mejor consultar con la autoridad local que tiene jurisdicción y los inspectores estatales para conocer los requisitos y las prácticas del área específica.

## Pruebas de equipo y sistemas con conexión a tierra

La conexión a tierra del equipo y los sistemas protegen a las personas, al equipo y a los sistemas operativos de los rayos y del peligro de la corriente de fallo dentro de un sistema eléctrico. Hacer una conexión a tierra es colocar una conexión intencional a la tierra (resistencia) para que la tierra sea una parte conductiva del sistema eléctrico total. Para que un conductor sea efectivo para corrientes de fallo o rayos, el sistema de conexión a tierra debe tener una baja resistencia. El único método para adquirir el conocimiento y la documentación del sistema de conexión a tierra y la resistencia de tierra es usar instrumentos de prueba para tomar mediciones.

### CUÁNDO REALIZAR LAS PRUEBAS

Las pruebas de tierra deben llevarse a cabo durante la instalación inicial para verificar que se cumplan los requisitos mínimos de resistencia. Las pruebas de tierra deben realizarse en forma rutinaria para asegurarse de que el sistema esté funcionando correctamente. Los sistemas de conexión a tierra más antiguos que podrían haber cumplido con los requisitos de resistencia al momento de la instalación, podrían no satisfacer los requisitos de resistencia de los edificios con equipo electrónico moderno y sensible. De igual manera, en las áreas con nuevas construcciones, las condiciones del suelo pueden cambiar debido al descenso del nivel freático y al secado del suelo alrededor del sistema de conexión a tierra instalado en una construcción, a medida que más terreno se cubre con pavimento y otras construcciones. Las pruebas de los sistemas de tierra deben realizarse de la siguiente forma:

- Después de terminar cualquier modificación al edificio o cualquier construcción externa que pueda haber comprometido el sistema de conexión a tierra
- Una vez se determina un sitio de cons-

trucción, debe hacerse una prueba de resistividad del suelo a fin de determinar la mejor ubicación y tipo de sistema de conexión a tierra a instalar

- Después de que se instala el sistema de conexión a tierra y antes de aplicar corriente, debe verificarse y documentarse que el sistema de conexión a tierra cumpla con los requisitos mínimos de resistencia
- Después de que la construcción ha finalizado y el edificio está en funcionamiento, debe verificarse que no se hayan hecho cambios o daños durante la construcción
- Una vez al año, como parte de un programa de mantenimiento predictivo/preventivo, el sistema de conexión a tierra debe probarse para asegurar la protección continua al personal y el equipo contra choques eléctricos e incendio

### SUGERENCIA TÉCNICA

*El NEC® permite hacer una conexión de conductor del electrodo de conexión a tierra en puntos accesibles en tres ubicaciones: en el extremo de carga del servicio de recogida, en cajas de protección de medidores accesibles y en medios de desconexión de servicios.*



## PRUEBAS DE CONEXIÓN A TIERRA

Existen varios tipos de pruebas que se pueden realizar para obtener el valor de la resistencia a tierra. Los métodos de prueba más comunes son los métodos Wenner y Schlumberger. Con estos métodos, se mide la resistencia de tierra, y se aplica una fórmula para determinar el valor de resistividad, en Ohmios-metros ( $\Omega\text{m}$ ), que se lleva a cabo para determinar la condición del terreno en el cual deben instalarse los electrodos de tierra y el mejor método de conexión a tierra a usar. Esto se hace en sitios de construcciones nuevas y en otras estructuras que pueden conducir corriente de rayos o corriente de fallo de sistemas eléctricos, como torres de teléfonos celulares y subestaciones de distribución de energía eléctrica, como parte del diseño inicial y las especificaciones. La prueba de resistencia a tierra es la prueba efectiva de los componentes del sistema de conexión a tierra (varilla, placa, anillo, etc.) para verificar y documentar que el método de conexión a tierra seleccionado y la instalación cumplen con todos los requisitos de resistencia mínima, en ohmios ( $\Omega$ ), de acuerdo con lo requerido por las normas de la industria y el código. **Consulte la figura 2-1.**

## RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La determinación de la ubicación, el tipo y el tamaño de un sistema de conexión a tierra no suele tomarse en consideración a la hora de determinar la ubicación y el tamaño de un edificio o estructura (torres de señal de telefonía celular, etc.). Sin embargo, una vez se determinan la ubicación, el tipo y el tamaño de la instalación

o estructura, todos los requisitos eléctricos se determinan como parte del diseño. El tipo y tamaño del sistema de conexión a tierra pasan a formar parte de las consideraciones y especificaciones.

Las medidas de resistividad del suelo ofrecen información importante acerca de las propiedades eléctricas (resistencia baja a alta) del suelo en diferentes ubicaciones del sitio y a diferentes profundidades. Debido a que el sistema de conexión a tierra forma parte del sistema eléctrico total y se utiliza para proporcionar un sistema más seguro, es necesario conocer las propiedades del terreno que se convierten en propiedades del componente que conduce la corriente. Sin embargo, a diferencia de los conductores metálicos de baja resistencia, el suelo tiene una resistencia mucho más alta, por lo que es necesario que se tomen las medidas para asegurarse de que se instale el sistema de conexión a tierra con la resistencia más baja.

La única forma de conocer las propiedades del suelo es tomando medidas. Si no se toman, solo se pueden adivinar los requisitos de tipo, tamaño e instalación del sistema de conexión a tierra a instalar. Es más caro componer un sistema mal instalado que instalarlo correctamente la primera vez. La información incorrecta sobre el sistema de conexión a tierra puede causar lo siguiente:

- sobredimensionamiento del sistema con la esperanza de que después de que el sistema de conexión a tierra se instale, el valor medido cumpla con los requisitos de resistencia mínima (*Nota:* sobredimensionar hasta cierto grado es útil, pero hacerlo de más solo aumenta los costos debido a que se utilizan materiales y tiempo adicionales).
- subdimensionamiento el tamaño del sistema, lo cual es costoso y consume mucho tiempo porque puede hacer que se tomen caminos rápidos para satisfacer

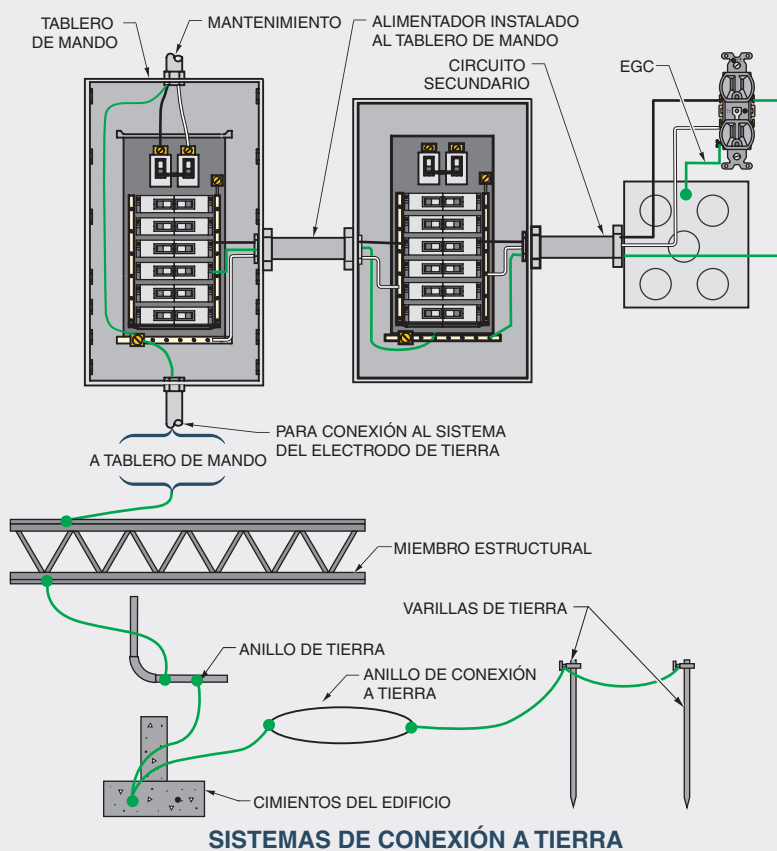
los requisitos mínimos lo cual podría llevar a una situación peligrosa en algún punto

- confiar en falsas suposiciones o prácticas obsoletas, tales como asumir que la resistencia del suelo aumenta con la

profundidad y que el suelo en un terreno dado es básicamente el mismo, por lo que la colocación de los electrodos siempre puede hacerse en el punto más conveniente

La resistencia del terreno (suelo) siem-

### Pruebas de conexión a tierra



### SISTEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA

#### Prueba de resistividad del terreno

Pruebas para:

- La resistividad del suelo
- La mejor ubicación para instalar el sistema de conexión a tierra

#### Prueba del sistema de conexión a tierra

Pruebas para:

- La calidad de los componentes del sistema
- La verificación de los requisitos mínimos del sistema

**Figura 2-1.** La prueba de resistividad se realiza para el diseño o la ampliación de un sistema de conexión a tierra. La prueba de resistencia a tierra se hace para verificar el cumplimiento con las normas del sector y el código.

pre varía con el tipo de suelo, el contenido de humedad, la temperatura y otros factores. En términos generales, la arena y la grava son malos conductores y la arcilla es un conductor mucho más eficiente. Aunque la humedad alta del suelo reduce la resistencia, pues mejora la conductividad, la resistencia aumenta cuando el suelo se congela. **Consulte la figura 2-2.** Entender el tipo de suelo y la resistencia del mismo también ayuda a seleccionar el material de los electrodos de tierra. En general, mientras más baja es la resistividad del suelo, más alta es su tendencia a la corrosión. Los electrodos hechos de acero inoxidable o cobre (enchapado o sólido) son los que menos sufren daños por corrosión, y los electrodos galvanizados son los que más

daño sufren con el tiempo.

**Medidas de resistencia de tierra con cuatro terminales**

Se realiza una prueba de resistividad del suelo para determinar el mejor tipo (electrodo, rejilla, lazo o placa) de sistema de conexión a tierra a usar. Para medir la resistividad del suelo se necesita un instrumento como un medidor de resistencia de tierra de cuatro terminales. El sistema del instrumento de prueba incluye cuatro sondas de metal que se insertan en el suelo, conductores de conexión lo suficientemente largos para conectar las sondas de retorno en el medidor, una cinta métrica, una calculadora, papel y lápices.

| Resistividad del terreno                                          |                     |               |         |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------|---------|
| Material                                                          | Resistividad (Ω/cm) |               |         |
|                                                                   | Prom.               | Mín.          | Máy.    |
| Rellenos. ceniza, salmuera, escoria, desperdicios, marisma salada | 2370                | 590           | 7000    |
| Arcilla, esquisto, barro pegajoso, marga                          | 4060                | 340           | 16.300  |
| Suelo con arena agregada                                          | 15.800              | 1020          | 135.800 |
| Grava, arena, piedras con arcilla o marga                         | 94.000              | 59.000        | 456.000 |
| Temperatura*                                                      |                     | Resistividad* |         |
| °C                                                                | °F                  | (Ω/cm)        |         |
| 20                                                                | 68                  | 7200          |         |
| 10                                                                | 50                  | 9900          |         |
| 0                                                                 | 32 (agua)           | 13.800        |         |
| 0                                                                 | 32 (hielo)          | 30.000        |         |
| -5                                                                | 23                  | 79.000        |         |
| -15                                                               | 14                  | 330.000       |         |

\* basado en 15,2 % de humedad (marga arenosa)

**Figura 2-2.** La resistividad del suelo varía con el tipo de suelo, el contenido de humedad, la temperatura y otros factores.

Procedimientos de medición del medidor de resistencia de tierra con cuatro terminales

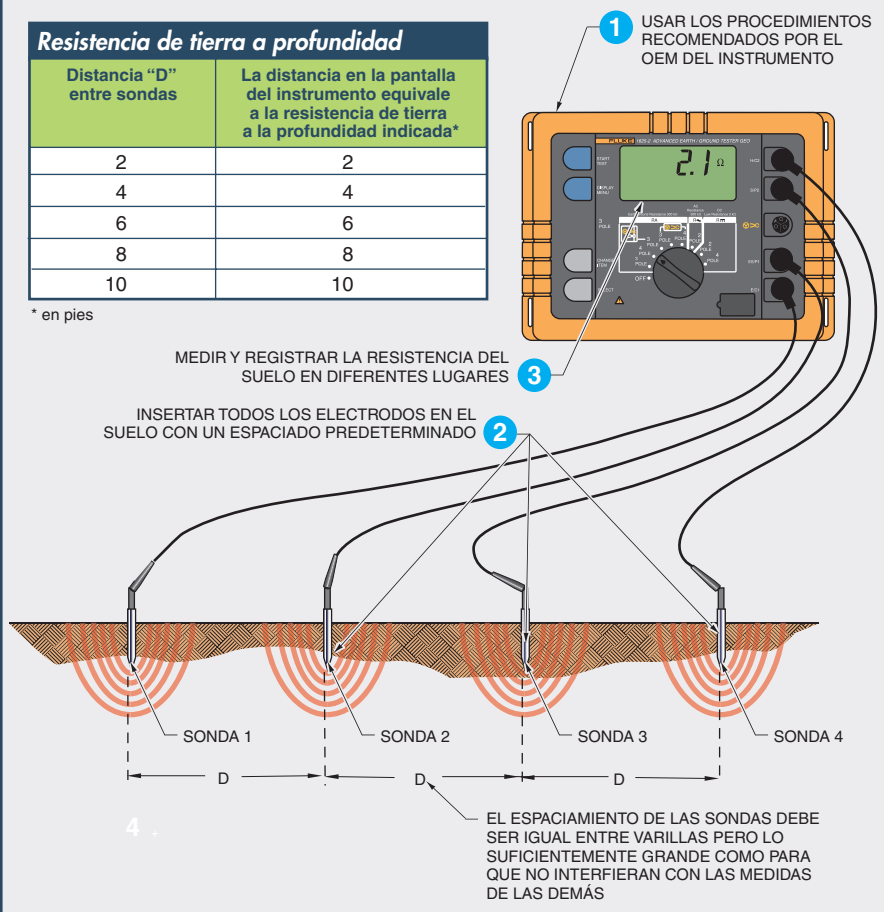
**Resistencia de tierra a profundidad**

| Distancia "D" entre sondas | La distancia en la pantalla del instrumento equivale a la resistencia de tierra a la profundidad indicada* |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                          | 2                                                                                                          |
| 4                          | 4                                                                                                          |
| 6                          | 6                                                                                                          |
| 8                          | 8                                                                                                          |
| 10                         | 10                                                                                                         |

\* en pies

MEDIR Y REGISTRAR LA RESISTENCIA DEL SUELO EN DIFERENTES LUGARES

INSERTAR TODOS LOS ELECTRODOS EN EL SUELO CON UN ESPACIADO PREDETERMINADO



**Figura 2-3.** Cuando se mide la resistencia de tierra, un comprobador de resistencia de tierra de cuatro terminales no usa el electrodo de tierra como una de las sondas. El comprobador se usa para medir la resistencia del suelo únicamente, no la resistencia del suelo y el electrodo de tierra.

El mejor tipo de cinta métrica para usar es el de carrete abierto, que permite que la tierra se caiga de la cinta al repliegarse. Consulte la figura 2-3.

Al medir la resistividad del suelo, o la tierra, con un medidor de resistencia de tierra de cuatro terminales, debe seguirse el siguiente procedimiento:

1. Use el procedimiento de medición

recomendado por el OEM del instrumento para medir la resistencia de tierra.

2. Empuje o inserte las cuatro sondas (varillas 1–4) en la tierra a la profundidad y el espaciado recomendados por el OEM. El espaciado determina la profundidad de las mediciones de resistencia. Por ejemplo, cuando la

distancia entre las sondas es 1,8 m, la medida de resistencia que aparece en el medidor es la resistencia de la tierra a una profundidad de 1,8 m.

3. Mida y anote la medida de resistencia de la tierra a varias distancias diferentes (1,2 m, 1,8 m y 2,4 m de separación). Cualquier cambio en las medidas de resistencia indica que las condiciones del suelo están cambiando a lo largo de la superficie o de la distancia medida.

La mayoría de los medidores de resistencia de tierra muestran las lecturas en ohmios ( $\Omega$ ). Para convertir las lecturas de ohmios a ohmios-metro ( $\Omega\text{m}$ ), aplique la siguiente fórmula:

$$P = 2\pi \times A \times R$$

donde

$P$  = resistividad del suelo (en  $\Omega\text{m}$ )

$$2\pi = 2 \times 3,14 = 6,28$$

$A$  = distancia entre sondas (en m)

$R$  = resistencia medida en metros (en  $\Omega$ )

*Nota:* Para convertir pies a metros, multiplique los pies por 0,3048. Para

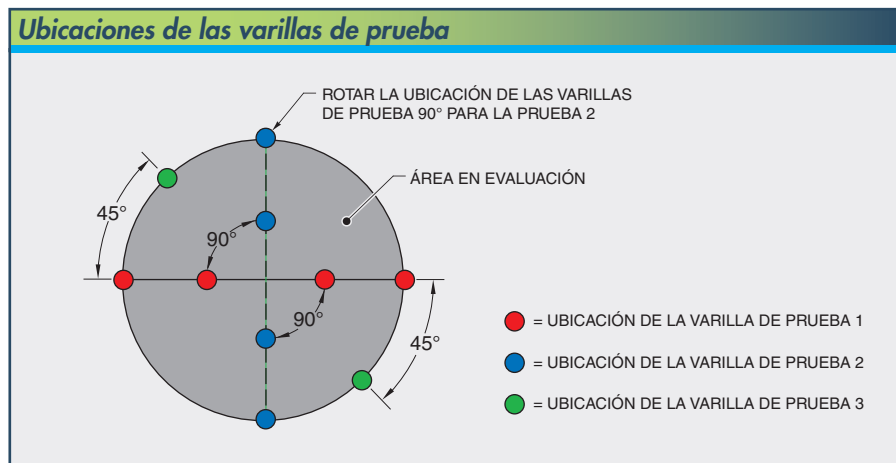
convertir metros a pies, divida los metros entre 0,3048.

Las varillas pueden rotarse  $90^\circ$  para obtener una indicación más precisa del estado de todo el suelo. Si los resultados de la prueba varían mucho, se pueden tomar mediciones adicionales a  $45^\circ$  para obtener una imagen más clara de las condiciones del suelo. Consulte la Figura 2-4.

## MÉTODOS DE PRUEBA DE SISTEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA

Existen cuatro métodos para medir la resistencia de un sistema de conexión a tierra. Cada método tiene ventajas y desventajas. Entender cada tipo de medición le permite a una persona calificada seleccionar el mejor método para una aplicación de conexión a tierra dada. Los cuatro métodos para medir la resistencia de un sistema de conexión a tierra son los siguientes:

- Tres polos (62 % y caída de potencial)



**Figura 2-4.** Las varillas de prueba deben girarse  $90^\circ$  para el segundo conjunto de lecturas y pueden rotarse a  $45^\circ$  para obtener un tercer grupo de lecturas según sea necesario.

- Cuatro polos (62 % y caída de potencial)
- Selectivo
- Sin jabalinas (con pinzas)

Cada método para medir la resistencia de un sistema de electrodo de tierra instalado aplica la ley de Ohm. Es decir, para cada método, se usa una corriente y una tensión conocidas o medidas para calcular la ruta de conexión a tierra de la resistencia ( $R = E/I$ ) a la tierra. La corriente y la tensión se aplican y se miden de diferente forma con cada método. Con los métodos de tres polos, cuatro polos y selectivo, las jabalinas se insertan en el suelo para pasar corriente a través de la tierra desde el electrodo de tierra a prueba mientras se toman medidas de tensión entre las jabalinas internas. En el método sin jabalinas, se usa una pinza para inducir una tensión conocida, y una segunda pinza se usa para medir la corriente que fluye por el sistema de conexión a tierra.

Cuando se usan los métodos de tres polos o cuatro polos, el sistema de conexión a tierra que está a prueba se puede desconectar de la fuente de alimentación antes de hacer cualquier medición. Esto no es ningún problema cuando se prueban sistemas de conexión a tierra que ya se instalaron, pero que no están conectados a la fuente de alimentación (o la fuente de alimentación todavía no está encendida). Los métodos de tres polos y de cuatro polos son ampliamente aceptados y han sido los métodos tradicionales de pruebas de sistemas de conexión a tierra después de la instalación inicial de los mismos.

Si se aplica energía al sistema, esta debe retirarse antes de usar los métodos de tres o cuatro polos. Esto requiere conocer en detalle los efectos que tendrá la desconexión del sistema de conexión a tierra cuando se prueba un sistema que ya cuenta con alimentación. También es obligatorio usar equipo de protección personal (EPP), tra-

bajar con un compañero experto en el tema y una autorización por adelantado.

Los métodos selectivo y sin jabalina son tipos más nuevos que no requieren que se suspenda la alimentación al sistema antes de tomar las mediciones. El método selectivo suele incluir un comprobador de puesta a tierra, que cuenta con funciones de prueba de tres polos y cuatro polos. Este paquete combinado permite probar sistemas antes de aplicar alimentación a los mismos (usualmente en instalaciones nuevas) y después de aplicar alimentación al sistema (método selectivo). El método de prueba sin jabalinas es el método más fácil de usar porque involucra una unidad independiente, como un amperímetro con pinzas estándar, que incluye un transmisor de tensión y un medidor de corriente.

#### SUGERENCIA TÉCNICA

*Mientras más rutas de tierra se usen en una prueba sin jabalinas, más precisa es la lectura comparada con la resistencia de tierra real.*

Es importante entender las ventajas, limitaciones y requisitos de medición del método sin jabalinas antes de intentar usarlo. Por ejemplo, el método sin jabalinas debe usarse en sistemas que incluyen varias tierras y no puede usarse para probar tierras aisladas que no tienen una ruta (lazo) para que fluya la corriente aplicada de los medidores. Sin embargo, el método sin jabalinas funciona bien cuando se prueban tierras que tienen varias rutas de conexión a tierra que no pueden tener tierras desconectadas, tales como subestaciones de distribución de energía eléctrica y torres de señal de telefonía celular.

Deben tomarse mediciones de tierra precisas para asegurarse de que un sistema eléctrico sea seguro para las personas y el equipo. Debido a que no hay un sistema que



funcione bien para todas las aplicaciones, es mejor conocer cada uno de los cuatro métodos de medición y sus usos, ventajas y desventajas a fin de obtener la lectura de resistencia de tierra más precisa.

### **Principios de las medidas de resistencia de tierra**

La *ley de Ohm* es una fórmula matemática que indica que la corriente en un circuito eléctrico es directamente proporcional a la



*Las medidas de resistencia de tierra pueden tomarse en tubos de agua metálicos según sea necesario.*

tensión e inversamente proporcional a la resistencia. La ley de Ohm se usa para determinar la relación entre tensión, corriente y resistencia en un circuito eléctrico. Aunque pueden usarse multímetros digitales estándar con alimentación eléctrica, no son necesarios cuando se usa un medidor de tierra porque este incluye alimentación eléctrica incorporada, voltímetro, amperímetro y circuitos eléctricos para tomar las medidas y calcular la resistencia.

Se aplica tensión de una fuente de alimentación entre las varillas externas (varilla 1 y varilla 3). Se conecta un amperímetro al

circuito para medir la toma de corriente desde la fuente de alimentación. El consumo de corriente de la fuente de alimentación es inversamente proporcional a la resistencia del circuito creado (resistencia de tierra). Mientras más baja es la resistencia medida, más alta es la capacidad de conducción de corriente de fallo del circuito. De igual forma, mientras más alta es la resistencia medida, más baja es la capacidad de conducción de corriente de fallo del circuito.

**Consulte la Figura 2-5.**

Un voltímetro conectado entre la varilla 1 y la varilla 2 mide la diferencia de potencial de tensión de la tierra entre los dos puntos. La varilla 2 se puede mover en línea recta entre la varilla 1 y la varilla 3. A medida que la varilla 2 se acerca a la varilla 3, el voltímetro lee una tensión más alta. Cuando la varilla 2 se acerca a la varilla 1, el voltímetro indica una tensión más baja.

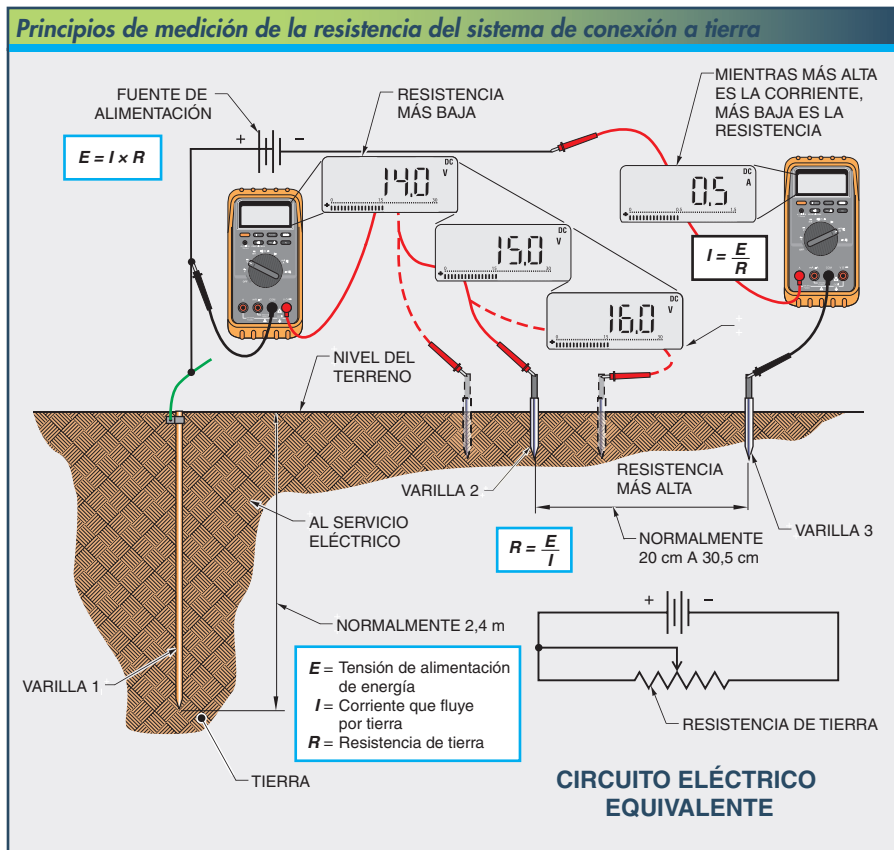
La ley de Ohm se puede usar para calcular la resistencia de cada punto de medición. Los cálculos los realiza automáticamente un medidor de resistencia de tierra, el cual muestra el cálculo de la resistencia como una medida.

En la mayoría de medidas, se alcanzan áreas en las que la tasa de aumento en la resistencia de la tierra es baja y donde la resistencia permanece relativamente constante para una distancia establecida. Al área de medida en la que la resistencia permanece relativamente constante puede llamársela área estable. **Consulte la Figura 2-6.**

Estudios realizados en pruebas de campo indican que el valor aceptable de la resistencia del sistema de conexión a tierra

### **SUGERENCIA TÉCNICA**

*Los conductores del electrodo de conexión a tierra deben tener el tamaño adecuado de acuerdo con el NEC® Tabla 250.66.*



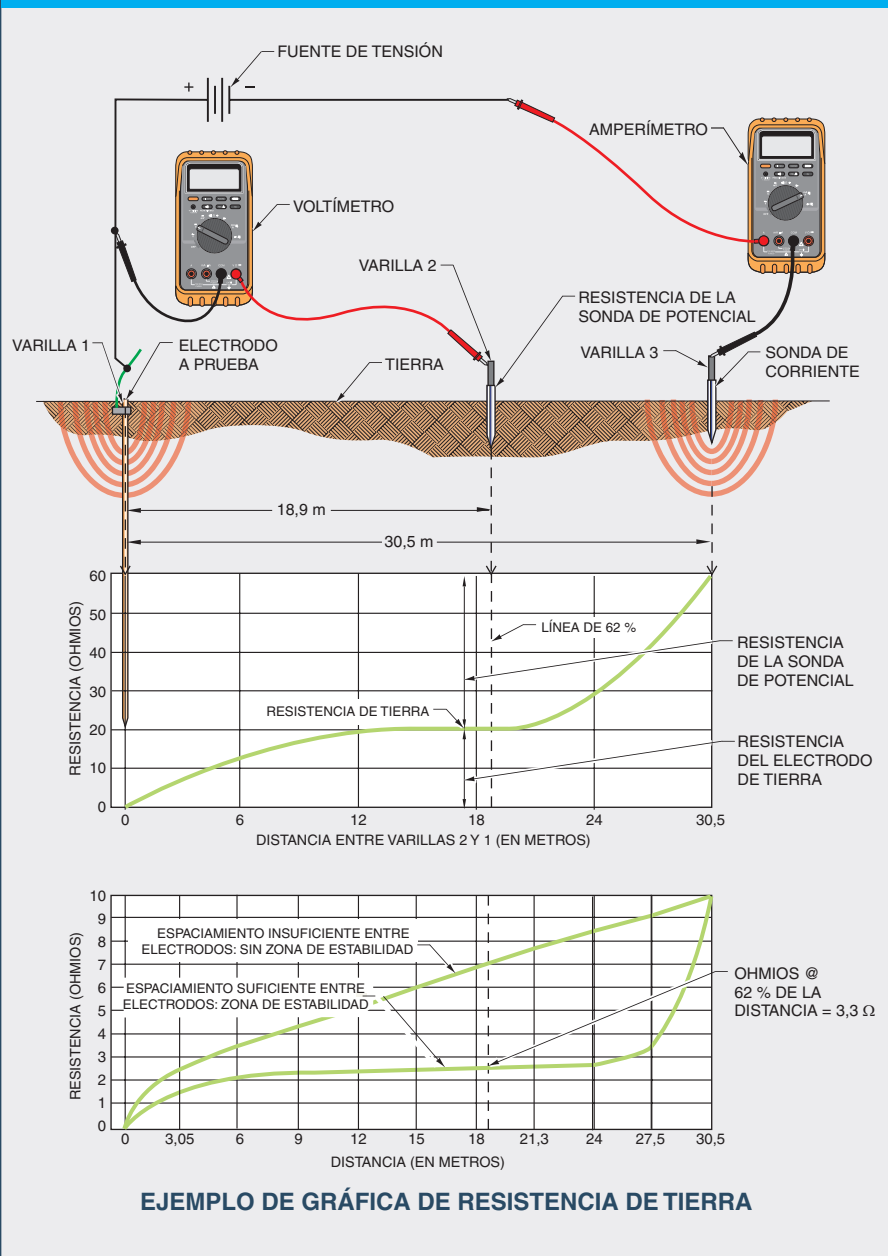
**Figura 2-5.** Las medidas de resistencia se toman para verificar que la resistencia a tierra de un sistema de conexión a tierra esté dentro de los valores de resistencia máxima establecidos por el NEC® y pueden verificarse por medio de aplicar la ley de Ohm.

es típicamente cuando la varilla 2 se coloca a aproximadamente 62 % de la distancia de la varilla 1 (electrodo de tierra) a la varilla 3). Cuando la varilla 1 y las varillas 2 y 3 no se separan lo suficiente, la resistencia medida seguirá aumentando a medida que la varilla 2 se acerca a la varilla 3. No habrá una nivelación (estabilidad) de las medidas de resistencia. Esto indica que es necesario aumentar la distancia entre la varilla 1 y la varilla 3 y deben hacerse nuevas mediciones para obtener una medida de resistencia de tierra más precisa.

### Prueba de resistencia de tierra con tres polos

Un medidor de resistencia de tierra incluye una fuente de alimentación eléctrica, un voltímetro, un amperímetro, una pantalla para la lectura directa de la resistencia y todos los componentes necesarios para medir la resistencia de tierra o el valor de la resistencia a tierra de un sistema de conexión a tierra. Un medidor de resistencia de tierra de tres polos es un medidor común que se usa para probar sistemas de conexión a tierra. Este método es bastante confiable, preciso

## Resistencia de tierra - Electrodo y suelo



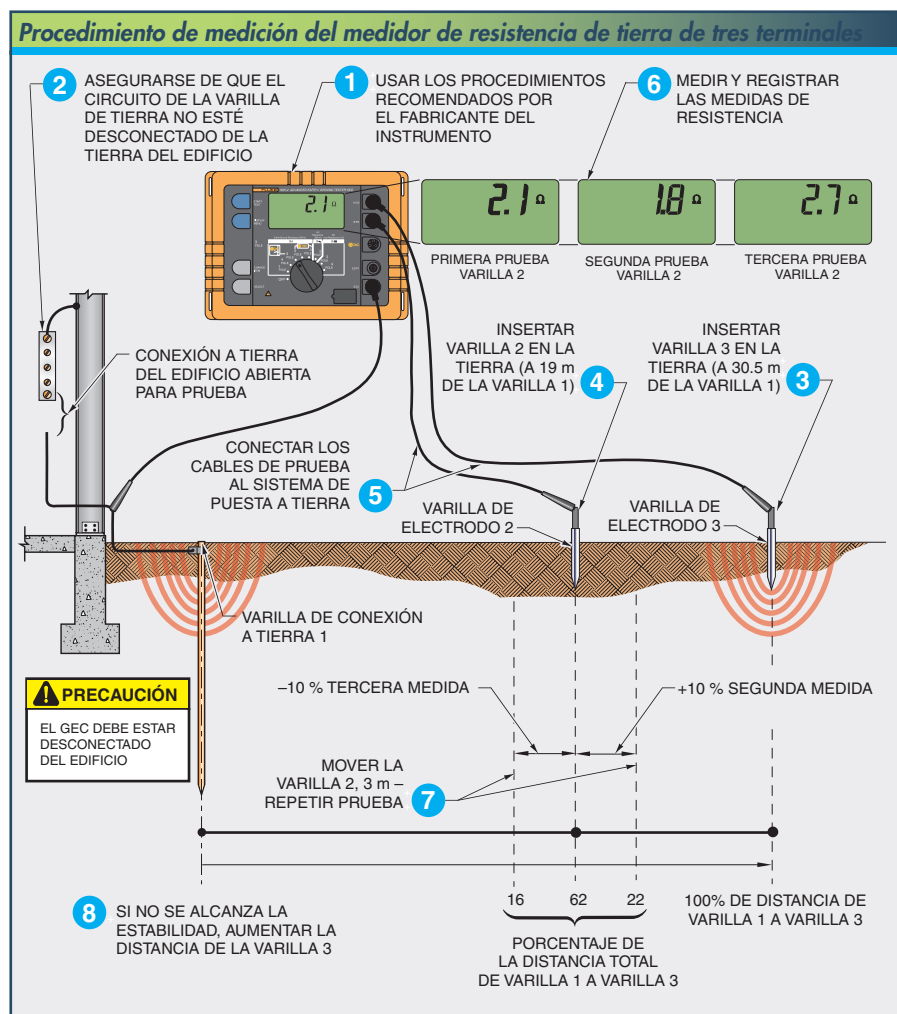
**Figura 2-6.** Al área de resistencia medida que permanece relativamente constante puede llamársela área estable.

y se puede usar en un sistema de conexión a tierra de cualquier tamaño. **Consulte la Figura 2-7.**

No existe una distancia establecida entre la colocación de la varilla 1 y la varilla 3: la distancia óptima teórica será infinita. En general, cuando se prueba un solo electrodo con el método de medida de tierra de

tres polos, la varilla 3 se coloca a 30,5 m (18.9 m de la varilla 1) y la varilla 2 se inserta en el terreno a una distancia de 9,4 m de la varilla 1 ( $0,62 \times 15,2 \text{ m} = 9,4 \text{ m}$ ) para lograr el punto recomendado de 62%.

Un espaciamiento de 30,5 m entre la varilla 1 y la varilla 3 suele ser adecuado para



**Figura 2-7.** Antes de tomar cualquier medida de resistencia de electrodos y tierra, los electricistas deben asegurarse de que el electrodo de tierra no esté conectado al equipo de servicio.

las medidas de resistencia de la mayoría de los sistemas de conexión a tierra salvo por los tipos más grandes de sistemas de conexión a tierra.

Para una rejilla de electrodos grandes que consta de varios electrodos o placas que están conectados, la distancia entre la varilla 1 y la varilla 3 debe aumentarse a 61 m o más. La varilla 2 se coloca al 62 % de la distancia elegida.

### **Procedimiento de medición de resistencia de tierra con tres polos**

Antes de tomar cualquier medida de resistencia a tierra, debe consultarse el manual operación del OEM del instrumento de prueba para conocer las precauciones, limitaciones y procedimientos recomendados para las mediciones. Debe usarse el equipo de protección personal (EPP) obligatorio y deben seguirse todas las reglas de seguridad de acuerdo con lo que exige el sitio de construcción/prueba. Para tomar medidas de resistencia de tierra de tres polos, aplique el siguiente procedimiento:

1. Consulte el manual del OEM del instrumento de prueba para conocer los procedimientos de medir la resistencia de tierra.
2. Si resulta práctico, verifique que el sistema y el electrodo de tierra no estén conectados al terreno de la construcción. **PRECAUCIÓN:** si no está seguro del estado de la conexión, suspenda el procedimiento hasta que una persona calificada pueda verificar que el sistema de conexión a tierra está desconectado.
3. Inserte la varilla 3 en la tierra a una distancia de aproximadamente 30,5 m del electrodo de tierra o del sistema de conexión a tierra a prueba (varilla 1).
4. Inserte la varilla 2 en la tierra a

aproximadamente 18,9 m (62 %) de la varilla 1.

5. Conecte los cables de prueba del comprobador de resistencia de tierra a las varillas 1, 2 y 3 de acuerdo con lo indicado por el OEM del instrumento de prueba.
6. Mida y anote cada medida de resistencia de tierra siguiendo los procedimientos de medición del OEM del instrumento de prueba.
7. Mueva la varilla 2 a una distancia de 3 m a ambos lados del punto de 18,9 m (16 m y 22 m de la varilla 1) y tome medidas en cada ubicación. Cuando las tres lecturas estén cercanas, eso significa que ya se determinó el área estable y la lectura a 18,9 m es la lectura de la resistencia del sistema de conexión a tierra.
8. Cuando no se logra determinar el área estable de la resistencia de tierra porque la varilla 3 está demasiado cerca de la varilla 1, aumente la distancia entre la varilla 1 y la varilla 3 y vuelva a hacer la prueba de resistencia de tierra.

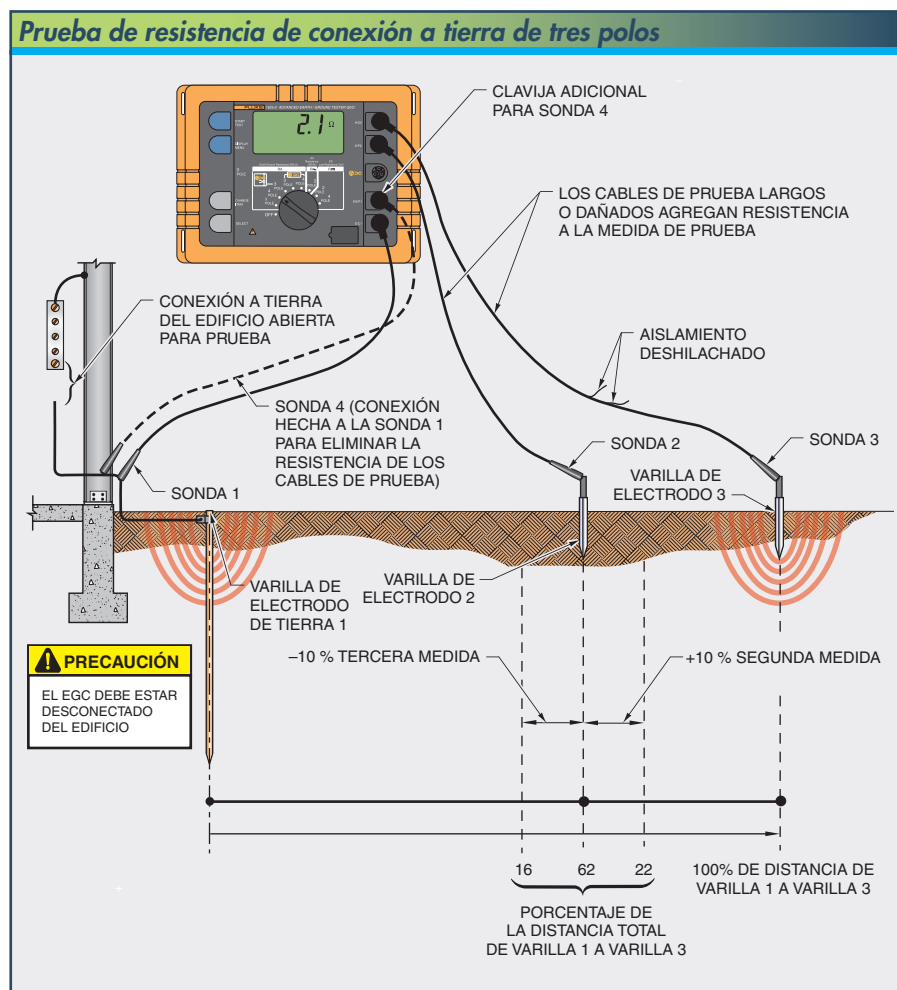
### **Prueba de resistencia de tierra de la caída de potencial con tres y cuatro polos**

Las mediciones de la prueba de cuatro polos son adecuadas, para la mayoría de aplicaciones, para medir la resistencia de un sistema de conexión a tierra a fin de satisfacer el requisito de resistencia mínima que exigen los códigos (generalmente  $25 \Omega$  para electrodos de varilla, tubería y placa) siempre que las conexiones y los cables del instrumento de prueba sean aceptables. Aunque  $25 \Omega$  puede ser un valor mínimo especificado para un electrodo de varilla, tubería o placa, un buen sistema de conexión a tierra debería tener una resistencia de  $5 \Omega$  o menos. Además, algunas aplicaciones,

como con el equipo de telecomunicaciones, requieren que el sistema de conexión a tierra cumpla con una especificación mínima de  $5 \Omega$  o menos. **Consulte la Figura 2-8.**

Cuando debe hacerse una medida de resistencia de tierra baja, la resistencia del

cable de prueba debe eliminarse porque se suma a la medida de resistencia y aumenta el valor medido. Un medidor de resistencia de tierra de cuatro polos incluye una clavija adicional a la cual se conecta otro cable de prueba desde el instrumento hacia el



**Figura 2-8.** Un medidor de resistencia de tierra de tres polos incluye una clavija adicional a la cual se conecta otro cable de prueba desde el medidor hacia el electrodo de tierra a prueba para eliminar la resistencia de los cables de prueba de la medida de resistencia en pantalla.

electrodo de tierra a prueba para eliminar la resistencia de los cables de prueba de la medida de resistencia en pantalla.

### **Prueba de resistencia de conexión a tierra selectiva**

El método de prueba de resistencia de tierra selectiva puede realizarse sin retirar el electrodo de conexión a tierra del sistema de conexión a tierra eléctrico de la construcción. Este método se usa para medir electrodos de tierra individuales o de diferentes tipos tales como varillas de tierra, placas, rejillas y tela metálica. Este método se usa con sistemas de conexión a tierra que

de prueba a través del electrodo de tierra a prueba. Una vez que el transformador está conectado, se usa el mismo procedimiento de medición que se usa en el método de tres polos.

Para determinar la resistencia de la torre a tierra, cada punto de tierra debe medirse individualmente, y se aplican las leyes de resistencia conectada en paralelo. **Consulte la Figura 2-9.** Por ejemplo, si las resistencias medidas de los cuatro puntos de prueba (torre tramo tierra) son aproximadamente 45  $\Omega$ , 36  $\Omega$ , 30  $\Omega$  y 90  $\Omega$ , la resistencia efectiva del sistema de conexión a tierra total es 10,6  $\Omega$ .



*Los medidores de resistencia de tierra de cuatro polos funcionan mejor para medidas de resistencia baja porque tienen una clavija adicional que ayuda a eliminar la resistencia de los cables de prueba en la medida de resistencia que aparece en la pantalla.*

tienen tierras paralelas, como subestaciones de distribución de energía eléctrica, torres de transmisión y distribución y otras aplicaciones comerciales e industriales.

El método selectivo es similar al método de tres polos que usa tres sondas, pero también usa un transformador de corriente tipo pinza que elimina los efectos de tierras conectadas en paralelo en la medida. Por lo tanto, mide solo el electrodo a prueba. El transformador de corriente se coloca alrededor del conductor de tierra para medir el flujo de corriente a tierra desde las sondas

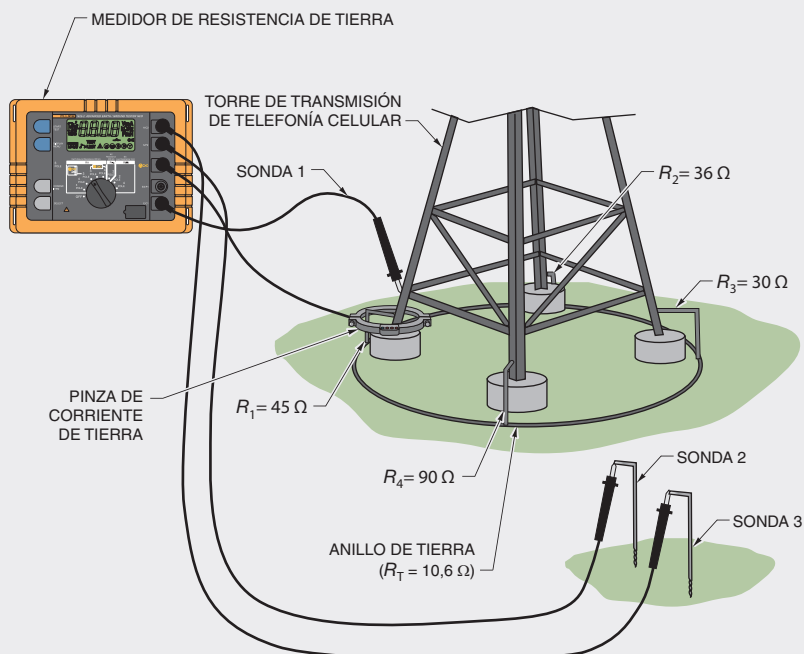
### **Prueba de resistencia de conexión a tierra sin jabalinas**

El método de prueba sin jabalinas, al igual que el método selectivo, puede llevarse a cabo sin retirar la tierra de la fuente de alimentación eléctrica. Para este método se necesitan dos pinzas: una para transmitir una tensión conocida y la otra para medir la corriente cuando se usa un comprobador de conexión a tierra que también incluye el medidor de resistencia de tierra de tres o cuatro polos. También hay disponibles unidades de prueba que incluyen ambos transformadores en una unidad inclusiva. La unidad inclusiva no se puede usar para medir la resistencia de tierra ni para hacer la prueba de tierra de tres o cuatro polos. Sin embargo, la unidad inclusiva se puede usar como una pinza amperimétrica para medir la corriente, similar a un amperímetro de pinza estándar, o la medida de cualquier corriente de fuga que fluya en el sistema de conexión a tierra. **Consulte la Figura 2-10.**

El método de prueba sin jabalinas es el único método de prueba de tierra que no requiere el uso de jabalinas o sondas de prueba. Por lo tanto, se puede usar en



### Prueba de resistencia de conexión a tierra selectiva



#### Resistencia conectada en paralelo

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{45} + \frac{1}{36} + \frac{1}{30} + \frac{1}{90}}$$

$$R_T = \frac{1}{0,022 + 0,028 + 0,033 + 0,011}$$

$$R_T = \frac{1}{0,094}$$

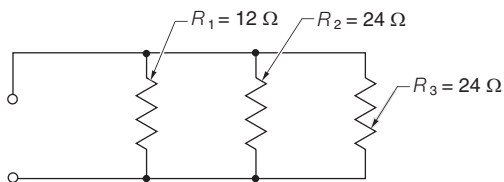
$$R_T = 10,6 \Omega$$

**Figura 2-9.** Para determinar la resistencia de la torre a tierra, cada punto de tierra debe medirse individualmente y deben aplicarse las leyes de resistencias conectadas en paralelo.

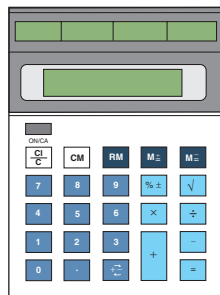
### Cómo calcular la resistencia total con una calculadora

La resistencia total de un circuito en paralelo que tiene tres o más resistencias se determina por medio de aplicar la siguiente fórmula:

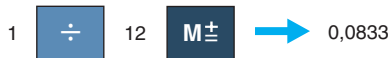
$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$



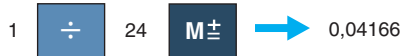
PASO 1:



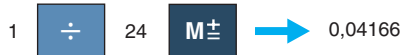
PASO 2:



PASO 3:



PASO 4:



PASO 5:



### CALCULADORA

Se puede usar una calculadora para aplicar fácilmente esta fórmula para determinar la resistencia total de un circuito en paralelo que tiene tres o más resistencias. Vea la calculadora. La resistencia total en un circuito en paralelo que contiene tres resistencias se determina con una calculadora aplicando el siguiente procedimiento:

1. Borre la pantalla de la calculadora para que lea "0". Asegúrese de que no lea "OM".
2. Presione las teclas **1**, **÷**, valor  $R_1$  y **M+** para ingresar el primer valor de la resistencia en la memoria.
3. Presione las teclas **1**, **÷**, valor  $R_2$  y **M+** para ingresar el valor de la segunda resistencia en la memoria.
4. Presione las teclas **1**, **÷**, valor  $R_3$  y **M+** para ingresar el valor de la tercera resistencia en la memoria.
5. Presione las teclas **1**, **÷**, **MR** (o **RM**), y **=**. La calculadora muestra la resistencia total de las tres resistencias conectadas en paralelo.

lugares donde es difícil o imposible usar una pica, tales como interiores de edificios o áreas sin exposición de tierra (suelo) o sin pavimentar accesible. Al tomar la medición, es importante conocer el tipo de sistema del electrodo de tierra (varilla, edificio, anillo, tubería de agua, etc.) que es parte del sistema de conexión a tierra total de la construcción, porque el método sin jabalina mide el sistema de conexión a tierra completo que incluye todas las tierras, el terreno, la unión del sistema de tierra y las conexiones.

### **Procedimiento de la prueba de resistencia de tierra sin jabalinas**

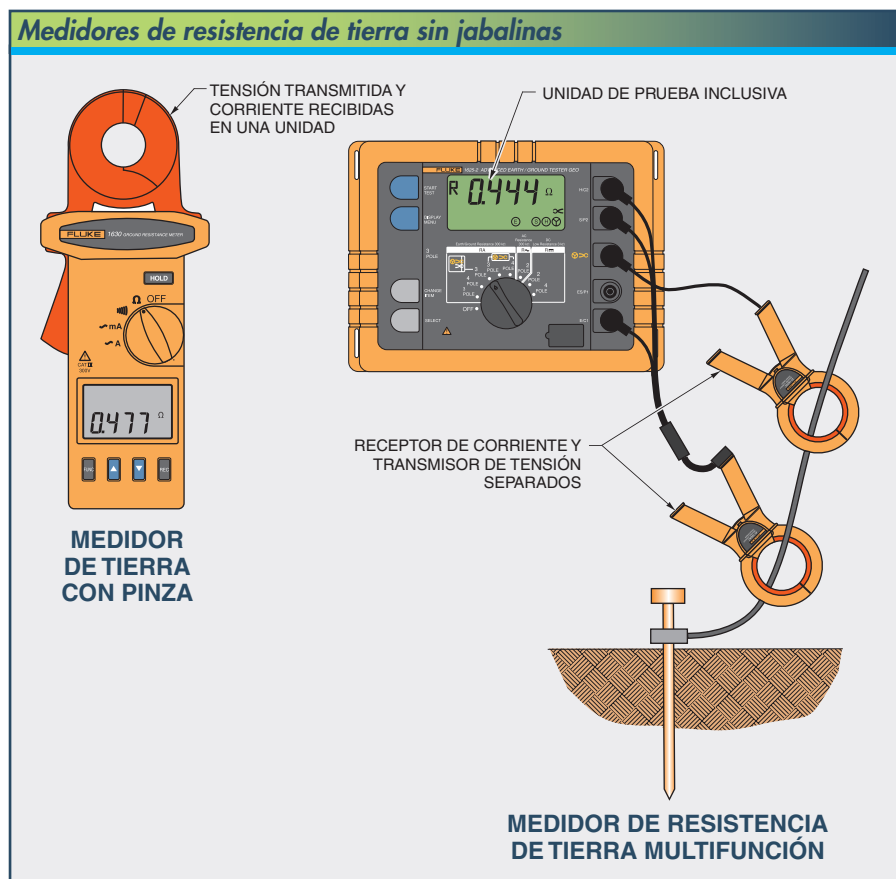
Antes de tomar una medida de resistencia, lo mejor es tomar primero una medida de corriente de fuga de tierra. La *corriente de fuga* es una corriente que no es funcional, incluida corriente en las cajas de protección y conductores de tierra. La corriente de fuga puede fluir a través de conductores y el aislamiento. Para la protección del personal, hay un límite entre 4 mA y 6 mA. Las medidas de corriente de fuga se pueden tomar cuando se usa un medidor de pruebas de tierra que incluye una función específica de medida de corriente de fuga o con una pinza amperimétrica por separado. Cuando se mide cualquier corriente de fuga, el problema debe ubicarse y corregirse.

El uso de un comprobador de conexión a tierra sin jabalinas requiere un conocimiento total de cómo y dónde tomar las medidas y el significado de las medidas. Los manuales de operación del OEM del instrumento de prueba siempre deben consultarse para conocer detalles del modelo de instrumento a usar. El sitio web del OEM también suele ofrecer información adicional, tal como la aplicación del instrumento de prueba.

Para tomar medidas de resistencia de

tierra en un sistema de conexión a tierra con varios electrodos de tierra paralelos como transformadores, tierras de distribución de energía eléctrica, tierras de torres de transmisión y sistemas de conexión a tierra de comunicaciones, aplique los siguientes procedimientos:

1. Determine las mejores posiciones para tomar las medidas de resistencia de tierra. **Consulte la Figura 2-11.**
2. Tome la medida de corriente en todos los componentes del sistema de conexión a tierra, incluida la medida de corriente de fuga con un medidor de conexión a tierra o una pinza amperimétrica por separado. Las corrientes de más de 1 A indican que hay un problema que debe abordarse de inmediato. Además, los OEM de los comprobadores de resistencia de tierra especifican la corriente máxima permitida en la que un medidor puede tomar una medida precisa (por lo general, aproximadamente 5A). **PRECAUCIÓN:** Deben tomarse en cuenta todas las medidas de corriente. Incluso las corrientes de fuga de unos pocos miliamperios pueden provocar un choque eléctrico.
3. Configure el comprobador para medir la resistencia del conductor del electrodo de conexión a tierra, coloque las mandíbulas de la pinza amperimétrica alrededor del punto de tierra a prueba, y anote la medida.
4. Tome medidas adicionales en cada punto de tierra según sea necesario. Por ejemplo, hay tres electrodos de tierra, tome una medida en cada uno en el punto de unión común. Las medidas serán diferentes porque el comprobador mide la resistencia de conexión a tierra en ese punto en relación con todas las tierras. La tierra total en el punto de amarre común representa la



**Figura 2-10.** Las pruebas de resistencia de la conexión a tierra sin jabalinas pueden realizarse sin remover la tierra de la alimentación eléctrica.

### SUGERENCIA TÉCNICA

*Las áreas del terreno que tienen una mayor resistencia pueden tratarse con sustancias químicas especiales para reducir la resistencia.*

conexión a tierra total. Es menor que las medidas de resistencia de tierra individuales porque todos los sistemas de conexión a tierra están conectados en paralelo. En cualquier circuito en paralelo, la resistencia total es siempre

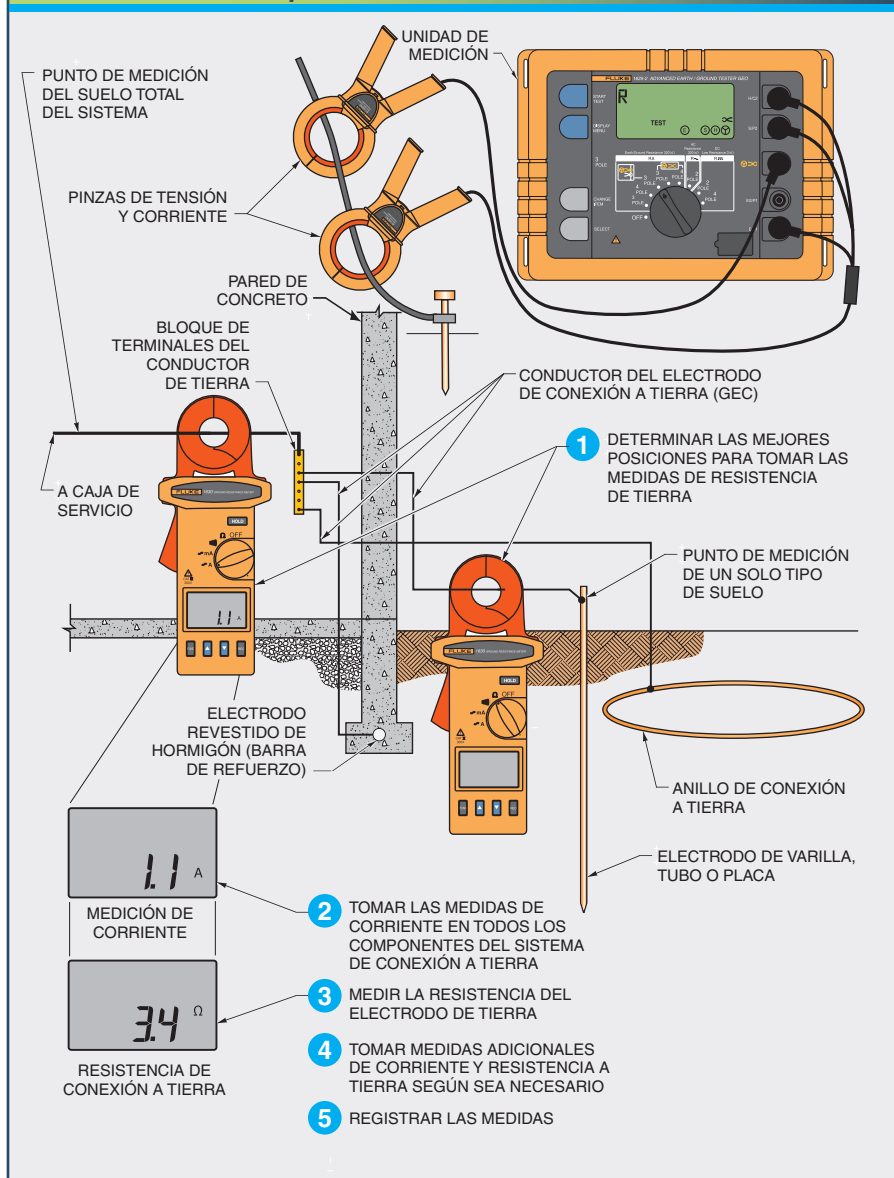
más baja que cualquier resistencia individual.

5. Anote las medidas y los lugares donde las tomó.

Otras consideraciones para usar un comprobador de resistencia de tierra incluyen las siguientes:

- Un comprobador de resistencia de tierra usa baterías que deben estar en buen funcionamiento. Si el símbolo de batería baja (LO-BAT) aparece en el comprobador, hay que reemplazar las baterías

### Procedimiento de medición del medidor de resistencia de tierra sin jabalinas



**Figura 2-11.** Las medidas de resistencia de tierra se toman en conductores, electrodos de tierra y conexiones que incluyen múltiples tierras, tales como acometidas de servicio, transformadores, tierras de distribución de energía eléctrica, tierras de torres de transmisión y sistemas de conexión a tierra de comunicaciones.

de inmediato. Debido a que las pruebas de resistencia a tierra con frecuencia se hacen en ubicaciones remotas y al aire libre, se recomienda llevar un juego de baterías adicional.

- Para una medición adecuada, use solo los electrodos de varillas de tierra que proporciona el OEM del instrumento de prueba debido a que distintos tipos de material (cobre, acero inoxidable, aluminio y acero) y el tamaño de la varilla pueden afectar las medidas de la resistencia total.
- Los electrodos de varilla de tierra deben insertarse en la tierra. Nunca deben martillarse en el suelo porque pueden doblarse o dañarse. Además, deben lavarse bien después de cada uso porque cualquier cantidad de tierra seca que tengan de un uso anterior puede afectar las mediciones.
- Los electrodos de varilla de tierra y los

comprobadores de resistencia de tierra se conectan con cables que proporciona el OEM del instrumento de prueba. Es importante mantener los cables en buen funcionamiento. Cualquier daño que reduzca el tamaño del conductor, como filamentos de un alambre roto, aumenta la resistencia del cable y afecta de la medición. Los cables siempre deben reemplazarse con cables de reemplazo del tipo y tamaño especificado por el OEM.

- Los accesorios para los comprobadores de resistencia de tierra incluyen estuches protectores rígidos para almacenamiento y transporte. Usar los estuches cuando las unidades no están en uso ayuda a mantenerlas secas, limpias y en buen funcionamiento. Aunque los estuches protectores ayudan a prevenir el daño al equipo de prueba, debe tenerse sumo cuidado para mantener los medidores y accesorios en un lugar seguro.

## Problemas y soluciones de conexión a tierra

Una conexión a tierra adecuada ayuda a prevenir los choques eléctricos, los incendios, los daños al equipo y los problemas de calidad eléctrica que pueden hacer que los sistemas, los circuitos y el equipo funcionen de forma indebida. Para evitar estos problemas, los sistemas de conexión a tierra y los problemas relacionados deben entenderse, identificarse, probarse, corregirse y volverse a probar después de cualquier corrección o modificación. Incluso los sistemas de conexión a tierra bien diseñados e instalados deben probarse periódicamente para asegurarse de que sigan funcionando de forma segura y eficiente. Realizar las pruebas requiere conocimiento sobre qué buscar, confianza de que el comprobador y la prueba son los mejores para la aplicación, el uso adecuado del comprobador para el instrumento de prueba usado y, más importante, la comprensión de las medidas de prueba.

### SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Para asegurarse de que un sistema de conexión a tierra esté bien instalado y funcione de acuerdo con el diseño para que cumpla con las normas de la industria y el código, así como con las especificaciones del cliente y del fabricante del equipo original (OEM), deben usarse instrumentos de prueba. También deben usarse instrumentos de prueba para determinar la causa de los problemas. La *solución de problemas* es el diagnóstico sistemático de un sistema para ubicar cualquier falla o problema. Una persona capacitada en solución de problemas sigue un plan lógico para encontrar el problema rápida y eficientemente. Cuando el problema se encuentra y corrige, el sistema debe volver a probarse para asegurarse de que de hecho sí se corrigió. El mantenimiento preventivo de rutina y las pruebas periódicas se realizan para evitar problemas futuros. Solucionar los problemas de los sistemas de conexión a tierra y fallas de tierra requiere que se conozcan ciertos criterios.

- Trabajar con o cerca de cualquier sistema eléctrico requiere comprender los riesgos asociados, cómo usar, ponerse

y mantener el equipo de protección personal (EPP) necesario, y todas las reglas y procedimientos de seguridad para la ubicación y aplicación dada.

- Conocimiento técnico y aplicación: debe entenderse la terminología de conexión a tierra, los componentes eléctricos, los requisitos de la instalación y los procedimientos de los instrumentos de prueba antes de tomar cualquier medida. Sin embargo, tener el conocimiento técnico de cómo hacer algo no significa que uno entienda qué resultados esperar y qué significan los resultados no esperados. Además de las prácticas de seguridad, se debe entender la aplicación de cada instrumento de prueba y su uso adecuado antes de tomar cualquier medida. Se necesita conocer y entender dónde realizar pruebas y tomar medidas, cómo seleccionar las medidas e interpretar las medidas para el análisis adecuado del sistema y en la determinación de cualquier problema. Si no se tiene clara la diferencia entre los valores medidos y los valores especificados, no se puede dejar en claro si el sistema está funcionando bien. Además, no puede



identificarse el tipo de problema y no puede tomarse la medida correctiva apropiada.

- **Soluciones:** una vez se identifica el problema que causó la falla, determinar la solución correcta garantiza que el problema pueda corregirse. El sistema debe volver a probarse para verificar que se haya aplicado la solución correcta.
- **Verificación y documentación:** para saber si un sistema está funcionando bien o que ya se corrigió el problema y, para verificar que se cumplan todos los requisitos, deben usarse instrumentos de prueba. Las comparaciones entre la información registrada de los valores medidos y los valores requeridos o recomendados sirven como documentación del funcionamiento del sistema.
- **Mantenimiento:** debido a que los sistemas de conexión a tierra están diseñados para evitar choques eléctricos, incendios y problemas o daño del equipo, es necesario volver a hacer pruebas al sistema a intervalos regulares. Esto incluye cualquier ocasión en la que se hace un cambio al sistema, cuando se agrega equipo nuevo o cuando se observa un problema tal como componentes dañados. Por lo general, los sistemas de conexión a tierra deben inspeccionarse anualmente para verificar y documentar el funcionamiento de los mismos.

## PROBLEMAS DE RESISTENCIA DEL SUELO

Las pruebas de resistividad del suelo se hacen para determinar la ubicación, el tipo y el tamaño del sistema de conexión a tierra. En la mayoría de áreas, la tierra tiene valores

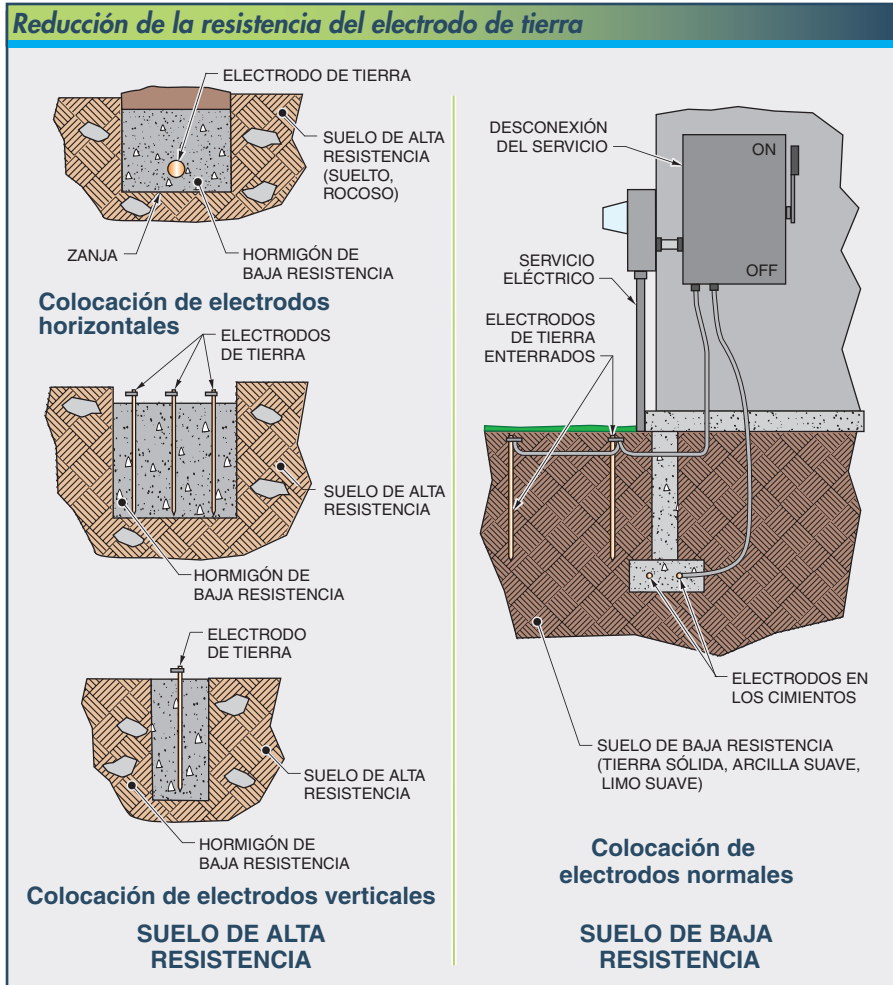
de resistividad son lo suficientemente bajos, medidos en  $\Omega/\text{cm}$ , de forma que se puede usar un tipo de sistema de conexión a tierra estándar, tal como varillas de tierra, anillos o placas. Sin embargo, algunas construcciones, torres y estructuras se construyen sobre suelo poco conductor como roca expuesta o áreas rocosas. En estas áreas, los electrodos de tierra pueden empotrarse en hormigón no corrosivo de baja resistencia a fin de reducir la resistencia entre el sistema de conexión a tierra y la tierra. **Consulte la figura 3-1.**

Aunque pueden usarse otros métodos para reducir la resistencia del suelo entre el electrodo de tierra y la tierra, como tratar el suelo con mezclas de sales, solo pueden usarse métodos que sean ambiental y eléctricamente seguros. Las mezclas de sales pueden aumentar la corrosión en las partes metálicas, causar daño ambiental y disiparse en un área más grande, lo cual puede aumentar la resistencia de tierra por encima de los requisitos mínimos de seguridad. La mejor solución es revestir el electrodo con una mezcla de hormigón especialmente diseñada que sea no corrosiva, duradera y que tenga resistencia baja durante todo el tiempo que dure el sistema de conexión a tierra.

El suelo debe ser una parte de todo el sistema eléctrico que sea conductora y de baja resistencia en todo momento. Solo



*Los sistemas de conexión a tierra comerciales pueden tener alambre de cobre o con chapa de cobre soldados a varillas de tierra de cobre o con chapa de cobre.*



**Figura 3-1.** Cuando las construcciones, torres y estructuras se hacen sobre un suelo que es mal conductor, tal como roca expuesta o áreas rocosas, los electrodos de tierra pueden recubrirse con concreto no corrosivo de baja resistencia para reducir la resistencia entre el sistema de conexión a tierra y la tierra.

al medir la resistencia del sistema de conexión a tierra, después de la instalación con instrumentos de prueba y el método de tres/cuatro polos, selectivo o sin jabalinas, puede conocerse la verdadera resistencia del sistema de conexión a tierra instalado. En ocasiones, podría ser necesario hacer

ajustes para reducir la resistencia del sistema más de lo que está especificado. Con el tiempo, la experiencia de un técnico o un diseñador en un área específica con diferentes tipos de suelos ayuda a determinar el mejor tipo y tamaño de sistema de conexión a tierra a instalar.

## PROBLEMAS DE INSTALACIÓN DEL ELECTRODO DE CONEXIÓN A TIERRA

Los sistemas eléctricos que están conectados a tierra deben estar conectados con un electrodo de tierra, el bastidor de metal de un edificio, electrodos revestidos de hormigón, un anillo de tierra o una tubería metálica de agua subterránea, de acuerdo con los requisitos locales y del NEC®. El sistema de conexión a tierra es una de las partes más importantes de un sistema eléctrico porque puede evitar un choque eléctrico, incendios y daño al equipo, pero muchas veces ya no se le presta atención después de instalado y no se inspecciona ni prueba hasta que ocurre un problema. Los sistemas de conexión a tierra que inicialmente cumplieron con los requisitos mínimos de resistencia probablemente ya no los cumplan. Los componentes de un sistema de conexión a tierra pueden haberse dañado hasta el punto que ya no forman parte del mismo. Para evitar problemas relacionados con el suelo, el sistema de conexión a tierra



*Los electrodos de conexión a tierra pueden insertarse en superficies duras y rocosas con barrenos de martillo para trabajo pesado.*

debe instalarse correctamente y debe inspeccionarse regularmente para asegurarse de que funcione de acuerdo con su diseño.

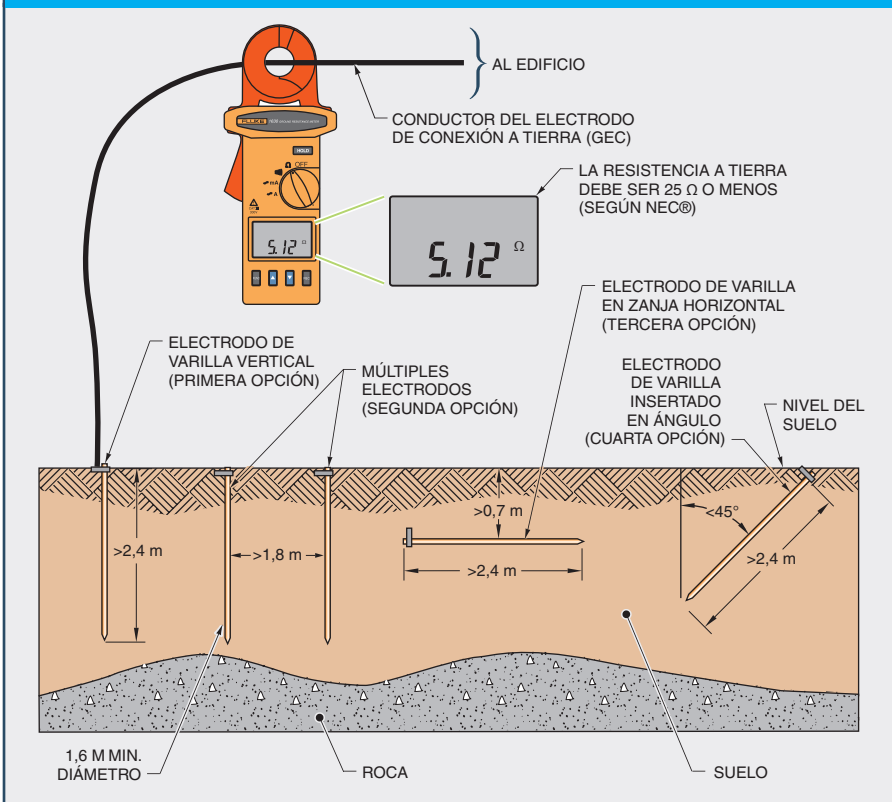
### *Instalación del sistema del electrodo de tierra*

Los electrodos de varilla, tubo y placa deben cumplir con los requisitos del NEC®. El equipo de tierra tipo varilla de acero inoxidable, cobre y acero recubierto con cinc debe ser enchapado en cobre y tener un diámetro mínimo de 1,6 m y un largo de 2,4 m insertado verticalmente en suelo no corrosivo con buena conductividad. La parte superior del electrodo debe estar al nivel del suelo o por debajo a menos que esté protegido del daño físico. Además, debe haber al menos 2,4 m de los electrodos de varilla y tubo en contacto con el suelo.

Las condiciones del suelo menos que óptimas pueden requerir sistemas de conexión a tierra más complejos o suelos artificiales para reducir la resistencia a tierra a los niveles necesarios. La resistencia a tierra del sistema de conexión a tierra para un electrodo de varilla, tubo o placa debe ser 25  $\Omega$  o menos. **Consulte la figura 3-2.**

Si las condiciones rocosas no permiten una instalación vertical, el electrodo de varilla puede insertarse a un ángulo que no supere los 45° de la vertical. O bien, el electrodo de varilla puede enterrarse en una zanja de al menos 0,7 m de profundidad. Pueden conectarse electrodos adicionales en paralelo para reducir la resistencia total. Si no se pueden usar electrodos de varilla o estos no cumplen con los requisitos mínimos, deben usarse métodos de conexión a tierra alternativos tales como bastidores metálicos de edificios, anillos de tierra o una placa de conexión a tierra. En algunas aplicaciones, instalar una varilla de tierra en hormigón de baja resistencia diseñado para sistemas de conexión a tierra reduce la

### Colocación del electrodo de varilla



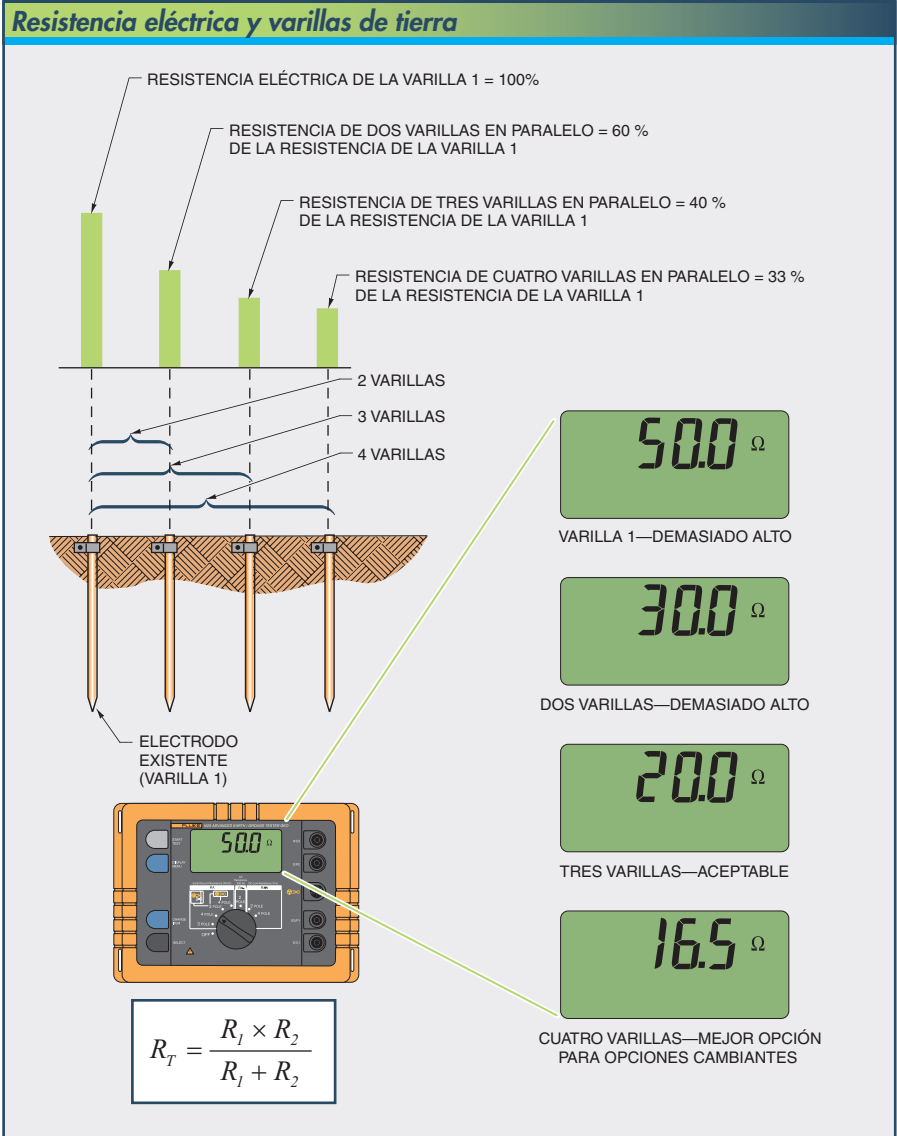
**Figura 3-2.** Un electrodo de tierra de varilla con un diámetro mínimo de 1,6 m y una longitud de 2,4 m se coloca en un suelo no corrosivo con la parte superior del electrodo al nivel del suelo o más abajo. Debe haber por lo menos 2,4 m del electrodo en contacto con el suelo.

resistencia para cumplir con los requisitos del código. Cualquier método que se utilice debe probarse con un medidor de resistencia de tierra para verificar que se cumpla con los requisitos.

### Uso de múltiples electrodos de tierra

De acuerdo con NEC® si un electrodo de varilla, tubo o placa supera el límite de resistencia a tierra de 25  $\Omega$ , pueden agregarse electrodos al sistema para reducir la resis-

tencia total. Después de eso, es necesario medir la resistencia a tierra. La resistencia se reduce con porcentajes aproximados a medida que se agrega cada varilla adicional con la misma resistencia individual. La segunda varilla reduce la resistencia total a aproximadamente el 60 % de la primera varilla. La tercera varilla reduce la resistencia total a aproximadamente el 40 % de la primera varilla. La cuarta varilla reduce la resistencia total a aproximadamente el 33 % de la primera varilla. Cuando hay varios electrodos, estos deben estar separados



**Figura 3-3.** Si un electrodo supera el límite de resistencia a tierra de 25 Ω, pueden agregarse electrodos adicionales al sistema para reducir la resistencia total.

al menos 1,8 m y conectados entre sí en la parte superior. **Consulte la figura 3-3.**

*Nota:* el resultado de un sistema de conexión a tierra (varilla, anillo, placa, etc.)

es garantizar que se satisfaga la resistencia mínima (usualmente de 25 Ω). Además de agregar más varillas, su tamaño y capacidad puede aumentarse según sea necesario,

siempre que todas estén interconectadas (unidas) de acuerdo con los requisitos.

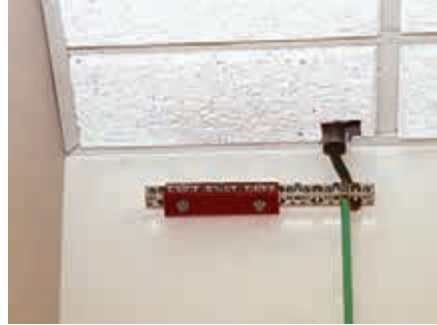
## PROBLEMAS DE OPERACIÓN

Un sistema de conexión a tierra bien diseñado e instalado debe funcionar correctamente. En la mayoría de los casos, el sistema de conexión a tierra no funciona como debe. Lamentablemente, puede ser que un sistema de conexión a tierra no muestre señales de tener un problema sino hasta que se produce un choque eléctrico, el equipo se daña o no funciona correctamente. Es importante entender cómo debe funcionar el sistema de conexión a tierra, qué fallas pueden ocurrir y cómo probar y corregir la falla.

### Problemas del bucle de tierra

Un sistema de electrodo de tierra se instala en el servicio eléctrico principal o en la fuente de un sistema derivado independiente. Un *sistema derivado independiente* (*separately derived system, SDS*) es un sistema eléctrico que suministra alimentación eléctrica derivada o tomada de transformadores, baterías de almacenamiento, sistemas fotovoltaicos, turbinas de viento o generadores. La gran mayoría de estos sistemas son producidos por el lado secundario de un transformador de distribución de alimentación.

Un SDS generalmente se usa para establecer un nivel de tensión nuevo, reducir la impedancia de la fuente de alimentación o aislar partes del sistema de distribución de alimentación eléctrica. Debido a que un SDS no tiene conexiones eléctricas directas con ninguna otra parte de un sistema de distribución de la alimentación (los transformadores se acoplan magnéticamente), se necesita una nueva referencia de tierra. Se necesita una referencia de tierra apropiada



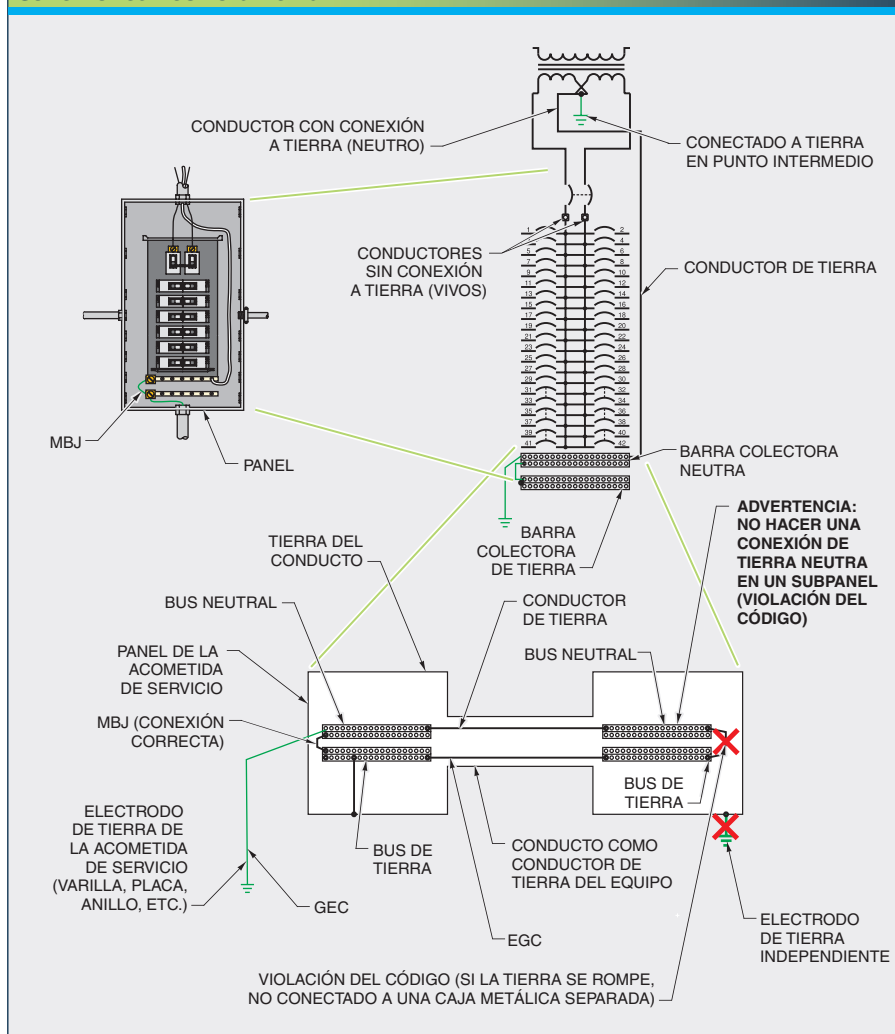
Los conductores de los sistemas de conducción a tierra generalmente se identifican por la presencia de aislamiento de color verde.

para la seguridad y el funcionamiento adecuado del equipo y esta se establece haciendo una conexión de tierra entre el SDS y la tierra.

La conexión a tierra se logra a través de un electrodo de tierra tal como una varilla o un marco de acero de un edificio que tiene una conexión a tierra adecuada. La conexión de neutro a tierra debe hacerse en el transformador o en el panel de servicio principal únicamente. La conexión de neutro a tierra se hace conectando el bus neutro al bus de tierra con un puente de conexión principal y al sistema del electrodo de tierra a través de un conductor del electrodo de conexión a tierra. **Consulte la figura 3-4.** Un *puente de interconexión principal (MBJ)* es una conexión en un panel de servicio que conecta el conductor de conexión a tierra del equipo, el conductor del electrodo de conexión a tierra (GEC) y el conductor conectado a tierra (conductor neutro).

Un *conductor de conexión a tierra del equipo* (*equipment grounding conductor, EGC*) es un conductor eléctrico que ofrece una ruta a tierra de baja impedancia entre el equipo eléctrico y las cajas de protección en un sistema de distribución. Un GEC conecta partes de tierra de un sistema de distribución de alimentación eléctrica (conductores de conexión a tierra del equipo, conductores de

### Conexiones neutro a tierra



**Figura 3-4.** La conexión de neutro a tierra se hace conectando el bus neutro al bus de tierra con un MBI y, a un electrodo de tierra.

tierra y todas las partes metálicas) al sistema de conexión a tierra aprobado por el NEC®.

Las conexiones neutro a tierra no deben hacerse en ningún subpanel, tomas de corriente o equipo. Cuando una conexión neutro a tierra se hace en cualquier lugar que no sea el panel de servicio principal,

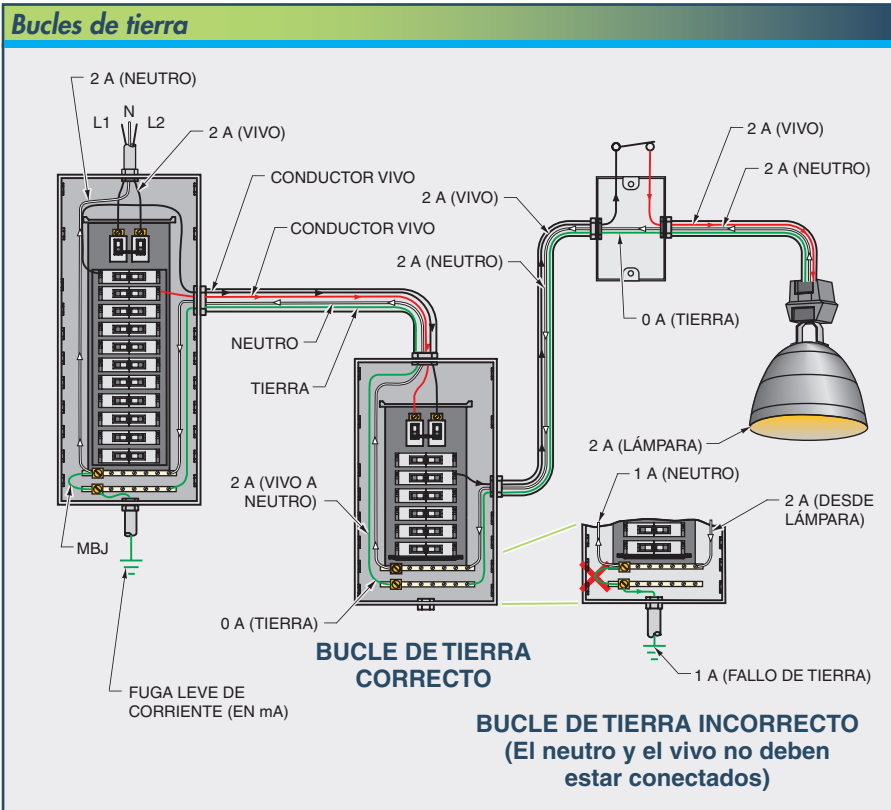
se crea una ruta de flujo paralelo para la corriente de retorno normal desde la carga. La ruta de flujo paralelo permite que la corriente fluya por las partes de metal del sistema. El NEC® no permite conexiones neutro a tierra que creen bucles de tierra porque eso puede causar choques eléctricos



y problemas de calidad eléctrica. Además de no hacer conexiones neutro a tierra en los subpaneles, no pueden establecerse conexiones a tierra adicionales tales como electrodos de tierra. Un electrodo de tierra adicional, separado y aislado crea dos referencias de tierra que normalmente están a diferentes potenciales de tensión.

Un *bucle de tierra* es un circuito eléctrico que tiene más de un punto de conexión a tierra conectado a tierra física, con una diferencia de potencial de tensión entre los puntos de conexión a tierra lo suficientemente alta como para producir una corriente

de circulación en el sistema de conexión a tierra. Los dos electrodos de tierra resultan en una corriente circulante y forman un bucle de tierra entre los dos electrodos de conexión a tierra en un intento por igualar la diferencia en el potencial de tensión. La circulación de la corriente es causada por corriente que fluye desde un potencial de tensión más alto a un potencial de tensión más bajo. Existe un potencial de tensión porque hay una diferencia en la impedancia (resistencia total, inductancia y capacitancia) entre dos puntos de tierra. **Consulte la Figura 3-5.**



**Figura 3-5.** Un bucle de tierra es un circuito que tiene más de un punto de conexión a tierra conectado a la tierra física, con una diferencia de potencial de tensión entre los puntos de conexión a tierra lo suficientemente alta como para producir una corriente circulante en el sistema de conexión a tierra.

**SUGERENCIA TÉCNICA**

*Generalmente, una pequeña cantidad de corriente puede fugarse a través del aislamiento eléctrico e indicar una lectura de resistencia hasta de varios cientos de megaohmios ( $M\Omega$ ) en un megóhmetro.*

### Corriente de fallo de tierra del circuito

Todos los circuitos eléctricos están diseñados con una ruta normal para que la corriente fluya. Por ejemplo, la ruta normal de un flujo de corriente de un circuito estándar de 115 VCA es desde un conductor vivo, pasando por la carga, y de vuelta a través del conductor neutro. La corriente nunca debe fluir a través de los conductores de tierra de un circuito secundario ni por ningún metal en ningún momento. La corriente solo debe fluir a través del conductor de tierra cuando ocurre una falla en el circuito. Por lo general, las fallas que hacen que la corriente fluya a través de un conductor de tierra incluyen los cortocircuitos, rotura del aislamiento, humedad, corrosión, alambres dañados y conexiones ilegales de neutro a tierra.

A la corriente que no sigue una ruta prevista se la conoce como corriente de fuga. La corriente de fuga es corriente que sale de la ruta normal del flujo de corriente (vivo a neutro) y fluye a través de una ruta de conexión a tierra. La corriente de fuga puede ser en el equipo, en circuitos secundarios, o en cualquier lugar donde la corriente fluya a un sistema de conexión a tierra debido a una falla. Por ejemplo, si hay una rotura en el aislamiento entre un conductor vivo y uno de tierra o un metal conectado a tierra, la corriente puede fluir desde el conductor vivo hacia el conductor de tierra.

La cantidad del flujo de corriente puede ser pequeña (en  $\mu A$  o mA) o grande (hasta varios amperios). Si la corriente es lo su-

ficientemente alta, el fusible se abre o el disyuntor se dispara. Es la cantidad más pequeña de corriente de fuga la que causa problemas como choque eléctrico porque esta puede pasar desapercibida hasta que llega a un punto en que dispara el disyuntor.

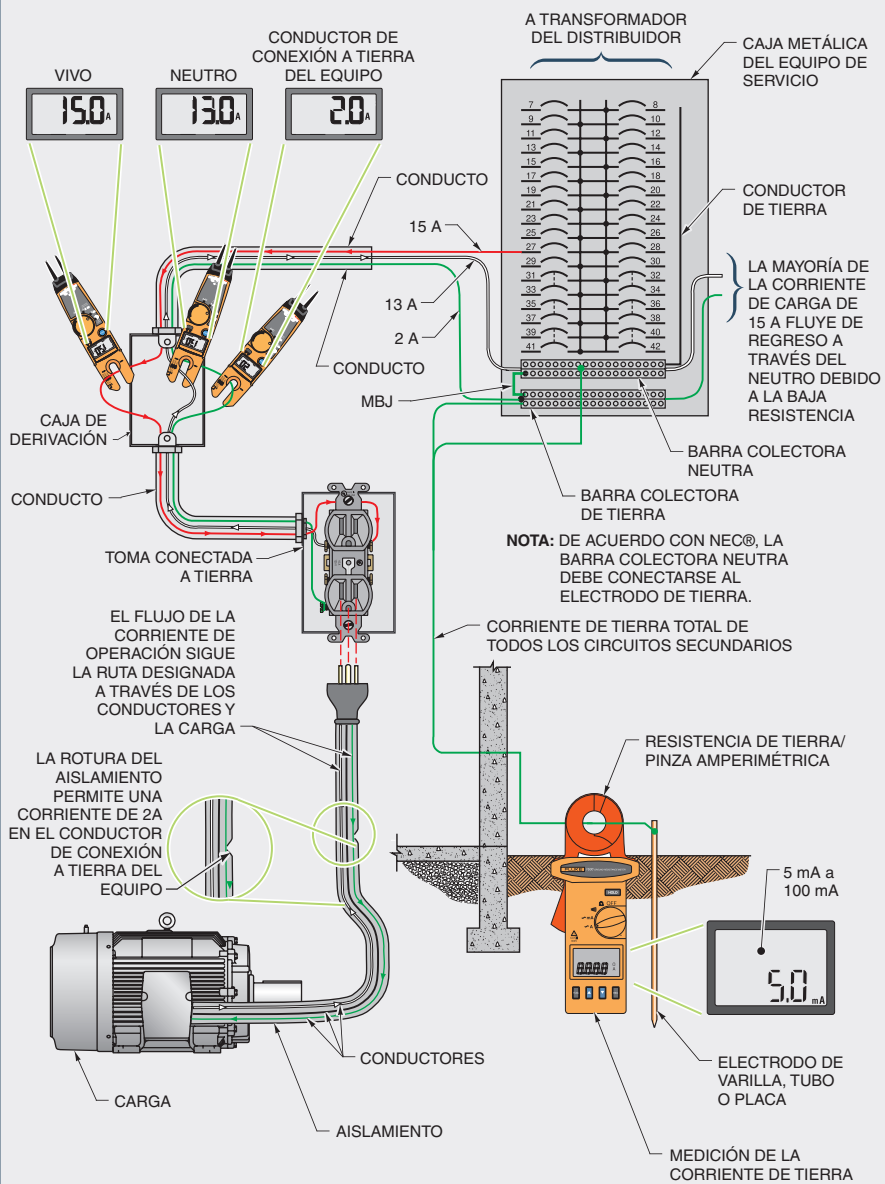
#### Consulte la Figura 3-6.

Teóricamente, no debe haber corriente de fuga en el equipo ni en los circuitos secundarios. Sí habrá cierta corriente de fuga a tierra a lo largo del sistema de conexión a tierra de la construcción. Esta corriente de fuga existe porque la fuente de alimentación del servicio de distribución de energía eléctrica está conectada a tierra en el transformador y el sistema de conexión a tierra del edificio está conectado a tierra en la acometida de servicios. La tierra entre los dos puntos de conexión a tierra puede permitir que fluya algo de corriente a través de la tierra.

Debido a que los puntos en los cuales el servicio de distribución de energía eléctrica está conectado a tierra y el servicio está conectado a tierra con un conductor de baja resistencia, el conductor lleva la mayoría de la corriente neutra del sistema de regreso al transformador. La cantidad de flujo de corriente que pasa a través del electrodo de tierra de regreso al transformador normalmente está en el rango de 5 mA a 100 mA. Cualquier corriente por encima de 5 mA debería indicar la fuente de la corriente de fuga. Un sistema de conexión a tierra debe probarse dentro del panel de alimentación. Esto sirve para inspeccionar el cableado del sistema y la corriente secundaria en cada conductor vivo, neutro y de tierra, para entender el funcionamiento del sistema. Una corriente elevada puede causar problemas, y una corriente de fuga de tierra alta generalmente es causada por conexiones neutras deficientes, flojas o dañadas que aumentan la resistencia total de conductor neutro.

#### Consulte la Figura 3-7.

### Corriente de fallo de tierra del circuito



**Figura 3-6.** La corriente de fallo de tierra puede medirse con instrumentos tales como amperímetros y medidores de corriente/resistencia de tierra.

## Corriente de fuga

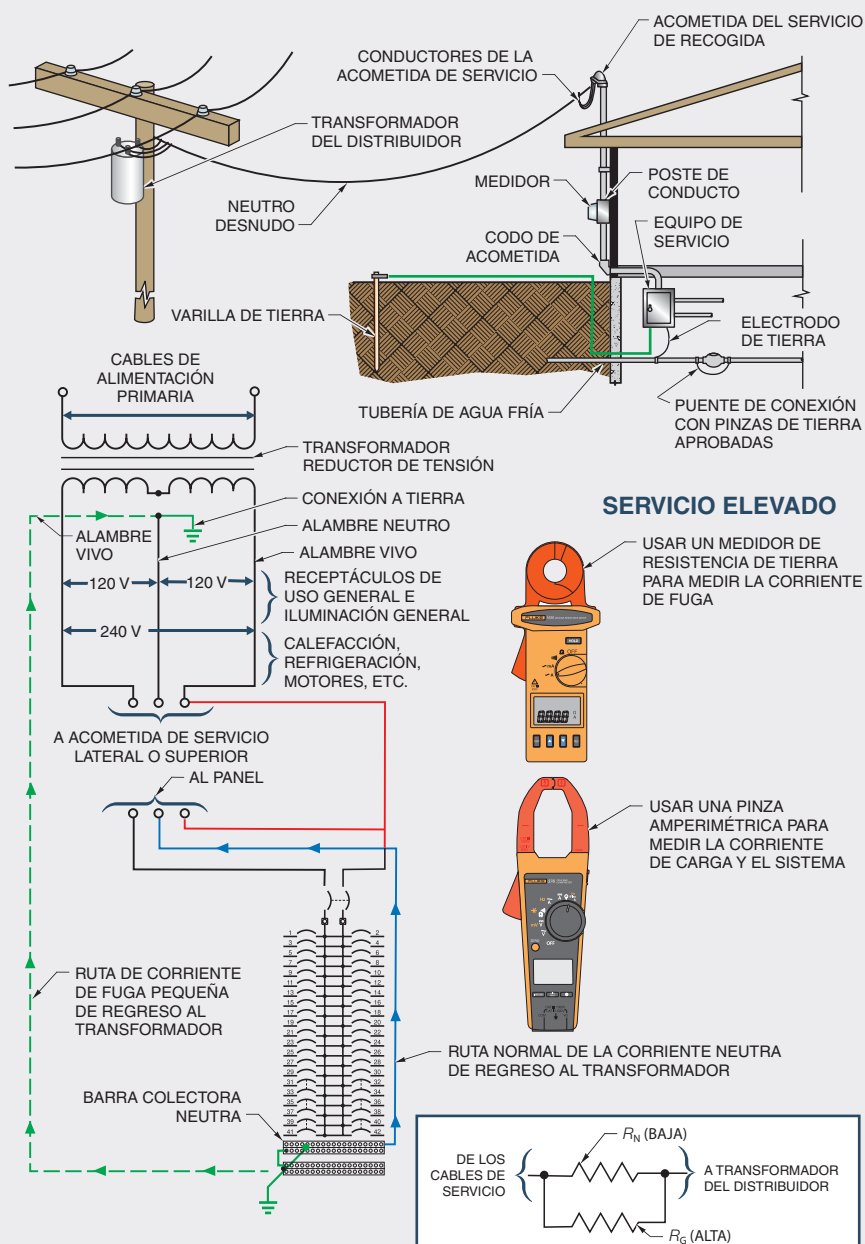


Figura 3-7. La corriente eléctrica fluye hacia un potencial diferente entre dos puntos.

## Solución de problemas del sistema y mantenimiento preventivo

Los sistemas de conexión a tierra y sus componentes son parte de un sistema eléctrico completo desde la generación hasta cada punto final de distribución y uso. Esto incluye el sistema de conexión a tierra de distribución de energía eléctrica, los electrodos de tierra, tierras contra rayos, tierras del edificio, tierras del equipo y tierras de circuitos. Una falla tal como un circuito abierto, cortocircuito, conexión de alta resistencia o unión inapropiada puede causar problemas dentro del sistema y producir una condición insegura y peligrosa. La solución de problemas del sistema de conexión a tierra y el mantenimiento preventivo requieren el uso de varios instrumentos de prueba diferentes, además de un comprobador de resistencia de tierra para ubicar cualquier problema o falla potencial.

### CONEXIONES FLOJAS

Cuando fluye corriente a través de un dispositivo que tiene resistencia, ocurre una caída de tensión en ese dispositivo, y se produce calor debido a la energía producida ( $E = I \times R$ ). Debido a que todos los conductores (alambres), empalmes y conexiones tienen cierta resistencia, siempre se produce algo de energía/calor dentro del dispositivo. Los conductores del tamaño apropiado y las conexiones bien hechas tienen una resistencia baja y en consecuencia producen poco calor. Los conductores que son demasiado pequeños y las conexiones que están sueltas tienen una resistencia más alta y por lo tanto producen más calor. Incluso los conductores que son del tamaño adecuado producen calor porque tienen resistencia. La cantidad de calor producida depende de la cantidad de corriente que fluye por los conductores y las conexiones. Mientras más alta es la cantidad de corriente que fluye a través del conductor o conexión, mayor es la cantidad de calor que se produce en los conductores/las conexiones.

Una *cámara termográfica* es un dispositivo que detecta patrones de calor en el espectro de longitud de onda infrarroja

sin tener que hacer contacto directo con el equipo. Una cámara termográfica se puede usar para observar o medir el calor que producen los conductores y las conexiones. Los patrones de calor están indicados por los colores azul (más frío), verde, amarillo, anaranjado y rojo (más caliente). La temperatura también puede verse en la pantalla de la cámara termográfica.

Todos los conductores/las conexiones por los que fluye una corriente emiten calor. Siempre que la corriente esté dentro de los límites designados, el calor producido no causa problema. Debido a que por un conductor conectado a tierra debe fluir poca (unos cuantos mA) o ninguna corriente, no debe producirse ni observarse calor en el conductor ni en la conexión. Cuando hay presencia de calor, eso significa que hay un problema que debe ser investigado.

### SUGERENCIA TÉCNICA

*El National Electrical Code® (NEC®) 2011 Artículo 250, partes III, IV, V y VI cubre el tema de conexiones de conductores de tierra.*

Medir la caída de tensión en una conexión con un voltímetro o un multímetro digital determina si la conexión es buena o mala. Mientras más alta es la caída de tensión medida en la conexión, más alta es la resistencia de las conexiones y más baja es la calidad del empalme. El medir la resistencia del sistema de conexión a tierra (conductores y conexiones) con un comprobador de puesta a tierra con pinza puede indicar si hay un problema dentro del sistema. **Consulte la figura 4-1.** Si al medir se encuentra algún problema, tal como resistencia alta, deben inspeccionarse y probarse las partes individuales del sistema de conexión a tierra. Muchas veces el problema es una conexión deficiente, por lo que es necesario inspeccionar todas las conexiones. Otros problemas pueden ser un aumento en la resistencia de los electrodos de tierra debido a la sequedad del suelo o a la corrosión en las varillas.



*Las cámaras termográficas se pueden usar para detectar de forma segura los problemas inadvertidos con el equipo y los sistemas eléctricos.*

## CONEXIONES DE TIERRA INADECUADAS

La conexión a tierra se hace en el equipo de servicio principal o en la fuente de un sistema derivado independiente (SDS). Un sistema de estos suministra energía eléctrica derivada o tomada de transformadores, baterías de almacenamiento, sistemas fotovoltaicos, generadores de turbina eólica y otros generadores. **Consulte la figura 4-2.**

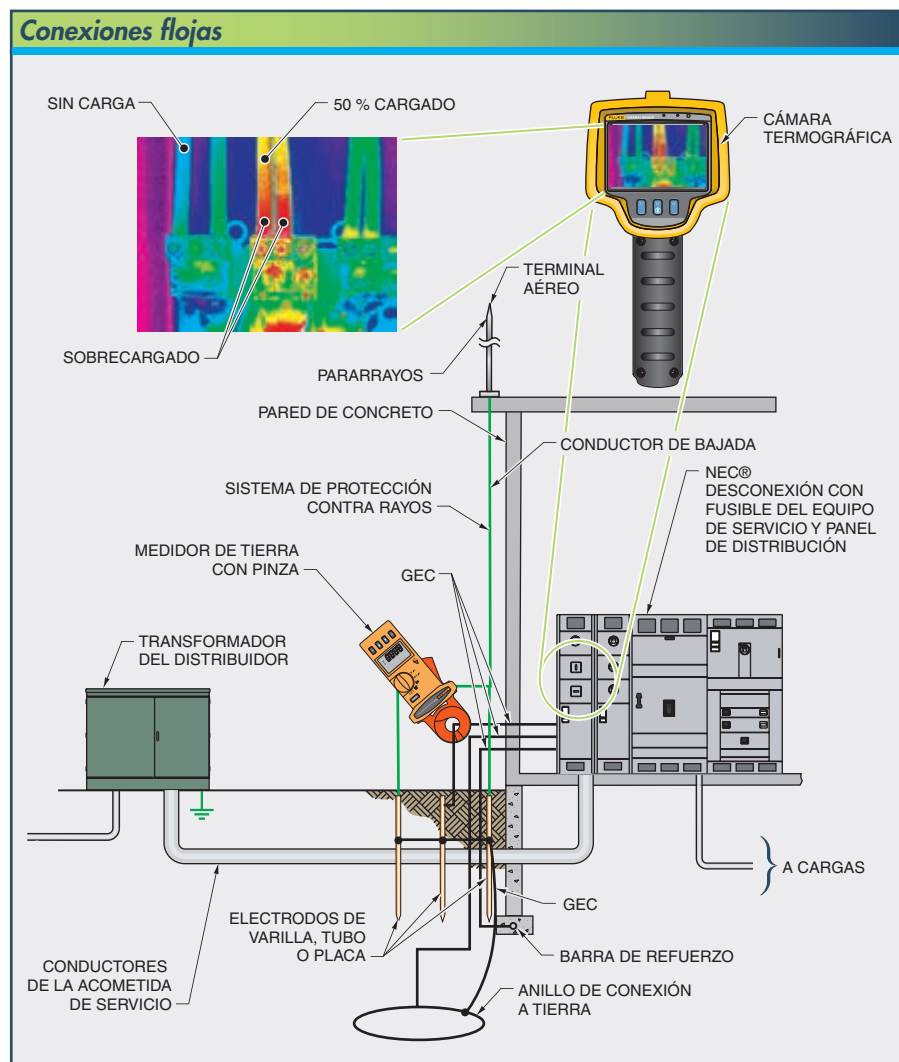
Debido a que un SDS no tiene conexiones eléctricas con ninguna otra parte del sistema de distribución, se necesita de una nueva referencia de tierra. La nueva referencia de tierra debe conectarse de vuelta al electrodo de tierra principal de la construcción y no a un electrodo de tierra nuevo. La conexión de vuelta al electrodo de tierra principal de la construcción une el sistema de conexión a tierra con un punto de conexión a tierra común (electrodo).

Si la salida de un SDS no está conectada a la tierra, las cargas del sistema continúan funcionando. Sin embargo, existe una situación de peligro. Se usa un voltímetro para verificar que la salida del SDS está conectada a tierra según los requisitos. **Consulte la figura 4-3.** Un voltímetro lee la salida del SDS independientemente de si el sistema está conectado a tierra o no.

Por ejemplo, para probar un sistema secundario conectado a tierra, el voltímetro debe conectarse entre las dos líneas eléctricas para verificar la salida de tensión del SDS. El voltímetro debe mostrar la tensión de salida sin importar si el SDS secundario está conectado a tierra. Si una de las líneas eléctricas está conectada a tierra, el voltímetro medirá la salida del SDS secundario entre el conductor vivo (protegido con fusible) y tierra. Si una de las líneas eléctricas no está conectada a tierra, el voltímetro no podrá medir la tensión fija entre ninguna línea eléctrica de salida y

tierra. La lectura varía porque el voltímetro solo está midiendo la tensión fantasma. Una *lectura de tensión fantasma* es la lectura de un voltímetro que no está conectado a un circuito energizado. La tensión fantasma

también puede aparecer en la pantalla si solo un cable del voltímetro está conectado a un circuito energizado y el otro no está conectado a ningún punto energizado ni conectado a tierra.



**Figura 4-1.** Los problemas de conexiones sueltas en un sistema de conexión a tierra pueden ubicarse y medirse con un comprobador de puesta a tierra con pinza y cámaras termográficas.



### Sistemas derivados independientes (SDS)

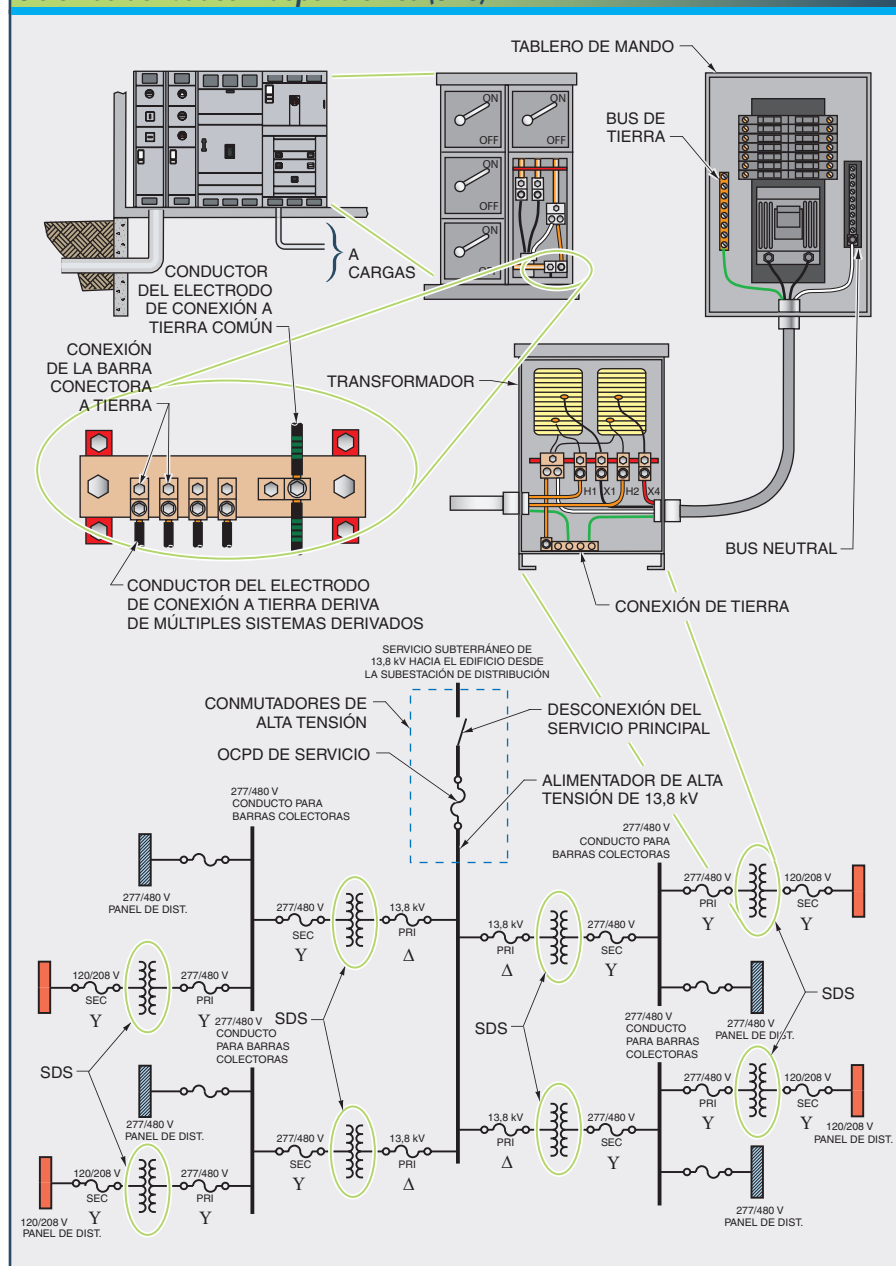
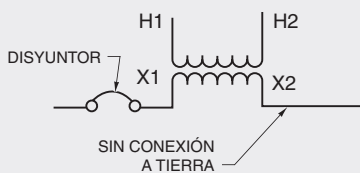
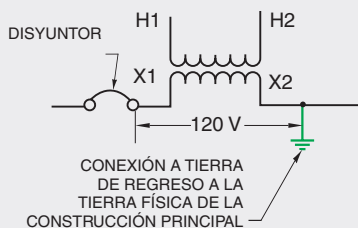


Figura 4-2. El electrodo de tierra está conectado en el equipo de servicio y en un SDS.

### Verificación de la tierra de salida del SDS



**SDS SIN TIERRA SECUNDARIA**



**SDS CON TIERRA SECUNDARIA**



MULTÍMETRO DIGITAL CONFIGURADO PARA MEDIR TENSIÓN DE CA

X1 A X2 = 120 V  
X1 A TIERRA =  
X2 A TIERRA = } SOLO MUESTRA EL VOLTAJE FANTASMA



MULTÍMETRO DIGITAL CONFIGURADO PARA MEDIR TENSIÓN DE CA

X1 A X2 = 120 V  
X1 A TIERRA = 120 V

**Figura 4-3.** Un voltímetro o un instrumento similar se usan para verificar que la salida del SDS está conectada a tierra, según los requisitos.

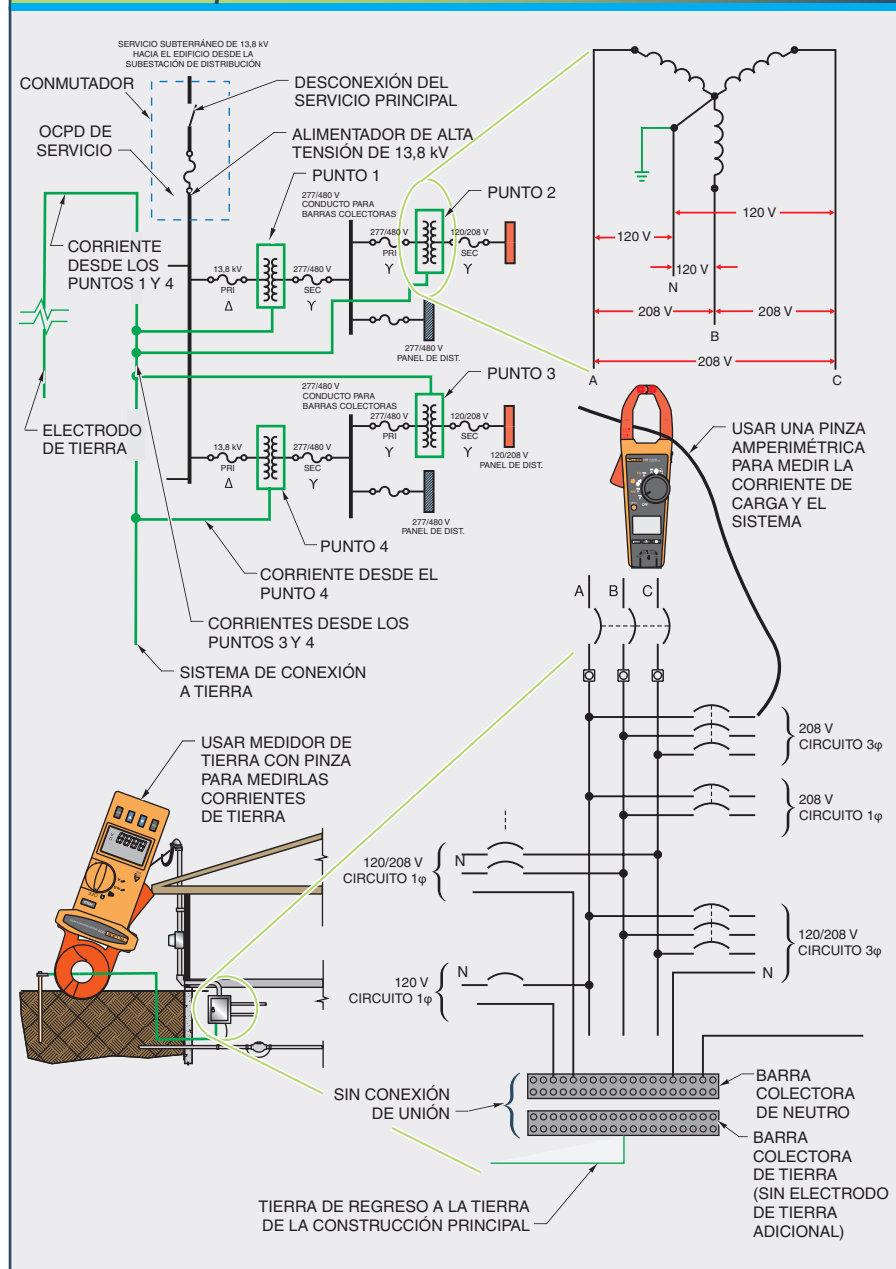
### CONEXIONES MÚLTIPLES DE NEUTRO A TIERRA

Las conexiones neutro a tierra no deben hacerse en ningún subpanel, toma de corriente o equipo. Si se hace una conexión neutro a tierra, se crea una ruta paralela para la corriente de retorno normal desde las cargas del sistema. La ruta paralela permite que la corriente fluya a través de las partes metálicas del sistema, con lo que se crea una situación peligrosa. Todos los puntos a tierra deben estar conectados de vuelta al electrodo de tierra principal. **Consulte la figura 4-4.**

Medir la cantidad de corriente en un sistema de conexión a tierra puede ser útil

cuando se inspeccionan los sistemas eléctricos de un edificio o cuando se solucionan los problemas del sistema para ubicar una falla. La corriente de tierra se mide con un juego de comprobador de puesta a tierra con pinza para medir la corriente. Los comprobadores de puesta a tierra con pinza están diseñados para medir pequeñas corrientes de tierra y no deben usarse para medir la carga, el circuito secundario ni la corriente de un conductor eléctrico. Un amperímetro de pinza se usa para medir la corriente de carga, de un circuito secundario o un conductor de alimentación. La corriente de tierra medida es más alta en el electrodo de tierra porque ahí es la suma de todas las corrientes de tierra.

### Conexiones múltiples de neutro a tierra



**Figura 4-4.** Con múltiples conexiones neutro a tierra, todos los puntos a tierra deben estar conectados de vuelta al electrodo de tierra principal.

## **CORRIENTE DE TIERRA ALTA—RUPTURA DEL AISLAMIENTO**

Los conductores eléctricos están cubiertos con material aislante. El aislamiento evita que la corriente fluya fuera de su ruta designada a través del conductor a partes metálicas conectadas a tierra o no conectadas, o a un sistema de conexión a tierra. El aislamiento debe tener una resistencia lo suficientemente alta como para evitar que la corriente fluya a través del mismo y cause un choque eléctrico o un incendio, dispare un disyuntor o queme un fusible. Una pequeña cantidad de corriente de fuga fluye por la mayor parte del aislamiento. La corriente de fuga aumenta a medida que el aislamiento se va deteriorando debido a la humedad, las temperaturas extremas, aceite, vibración, contaminantes, y estrés mecánico o daño.

A medida que la resistencia del aislamiento disminuye, la corriente de fuga a tierra aumenta. Antes de que la corriente de fuga suba lo suficiente como para disparar un disyuntor o quemar un fusible, este puede provocar un choque eléctrico o una chispa que podría provocar un incendio. Los instrumentos de prueba eléctrica se usan para probar variables en los sistemas eléctricos, cargas, aislamiento y tierras.

**Consulte la figura 4-5.** Los instrumentos de prueba eléctrica incluyen lo siguiente:

- Un megóhmetro (medidor de aislamiento) se usa para medir la condición del aislamiento con la fuente de poder apagada. Un megóhmetro se conecta a tierra y cada conductor que está diseñado para conducir corriente a la carga.
- Un comprobador de puesta a tierra con pinza se usa para medir la corriente de fuga (configuración de corriente baja) y para medir la corriente a través del sistema de conexión a tierra con la fuente

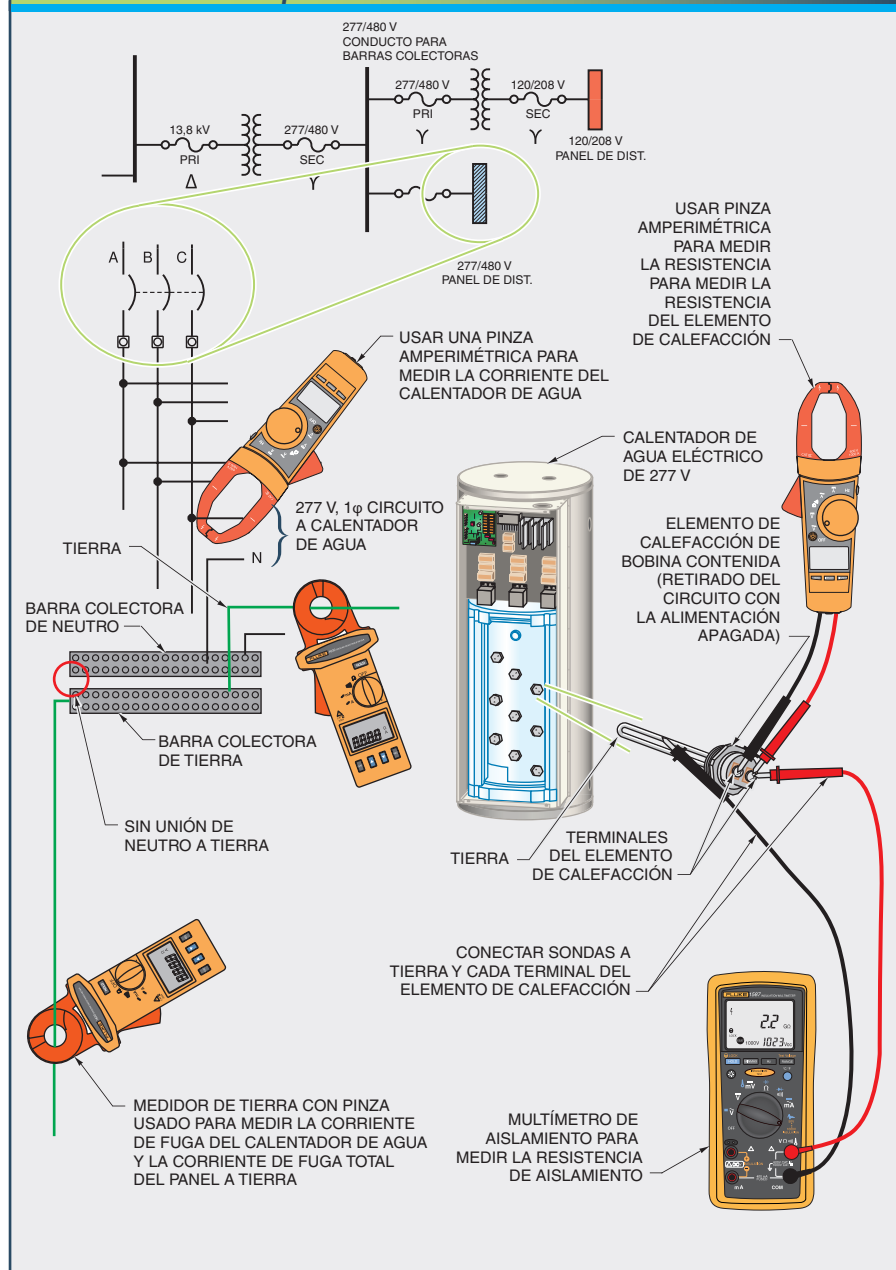
de poder encendida. La corriente de fuga aumenta mientras se van tomando medidas de circuitos individuales y cargas de regreso al electrodo de tierra principal de la construcción.

- Un amperímetro de pinza se usa para medir la cantidad de consumo de corriente de cargas individuales, circuitos secundarios individuales o alimentación de la línea eléctrica principal con la alimentación conectada.
- Un multímetro digital, un amperímetro de pinza o cualquier medidor que mida resistencia se usa para medir la resistencia de cargas o componentes individuales con la alimentación desconectada.

Para probar o solucionar los problemas de cualquier sistema eléctrico es necesario tomar diferentes tipos de medidas para entender en detalle cómo están funcionando el sistema, los circuitos y las cargas. Una prueba individual puede identificar un problema o un componente defectuoso, pero no puede identificar otros problemas que pueden causar o están causando problemas adicionales. Cuando se hacen pruebas o solucionan problemas de un sistema eléctrico, siempre hay que medir la tensión de carga o del circuito, la corriente, y la resistencia del sistema de conexión a tierra a fin de proporcionar un punto de partida. Además, pueden tomarse otras medidas para ayudar a identificar otros problemas o para proporcionar más información acerca del sistema. Las medidas tomadas incluyen las siguientes:

- Tensión, que indica si hay energía presente y a qué nivel
- Corriente, que revela cuánta carga hay en un circuito
- Resistencia de tierra, que garantiza que el sistema de conexión a tierra cumpla con los requisitos de resistencia mínima
- Corriente de fuga de tierra, que identifica cualquier choque eléctrico potencial o

## Variables eléctricas de prueba



**Figura 4-5.** Los instrumentos de prueba eléctrica se usan para probar variables en los sistemas eléctricos, cargas, aislamiento y tierras.

incendio potencial

- Resistencia baja, que identifica el nivel de resistencia de los empalmes, cargas, etc. [Nota: use un multímetro digital estándar para medir la resistencia ( $\Omega$ )].
- Resistencia alta, que revela la condición del aislamiento (Nota: use un megóhmetro o un medidor de resistencia de aislamiento).
- Alimentación, que determina el costo de operación (W), tamaño de los transformadores (VA) y eficiencia (PF)



Un megóhmetro se puede usar para tomar lecturas de resistencia de aislamiento en sistemas y equipo eléctrico.

## MEDICIÓN DE LA CORRIENTE DEL SISTEMA DE CONEXIÓN A TIERRA

Algunas de las fallas en un sistema eléctrico son visibles, tal como una lámpara quemada, algunas fallas requieren que se realicen pruebas, como un disyuntor que continúa disparándose, y otras podrían requerir muchas pruebas con diferentes medidores en diferentes ubicaciones. La solución de problemas y las pruebas de un sistema de conexión a tierra requieren que se tomen medidas en varias ubicaciones, incluidos

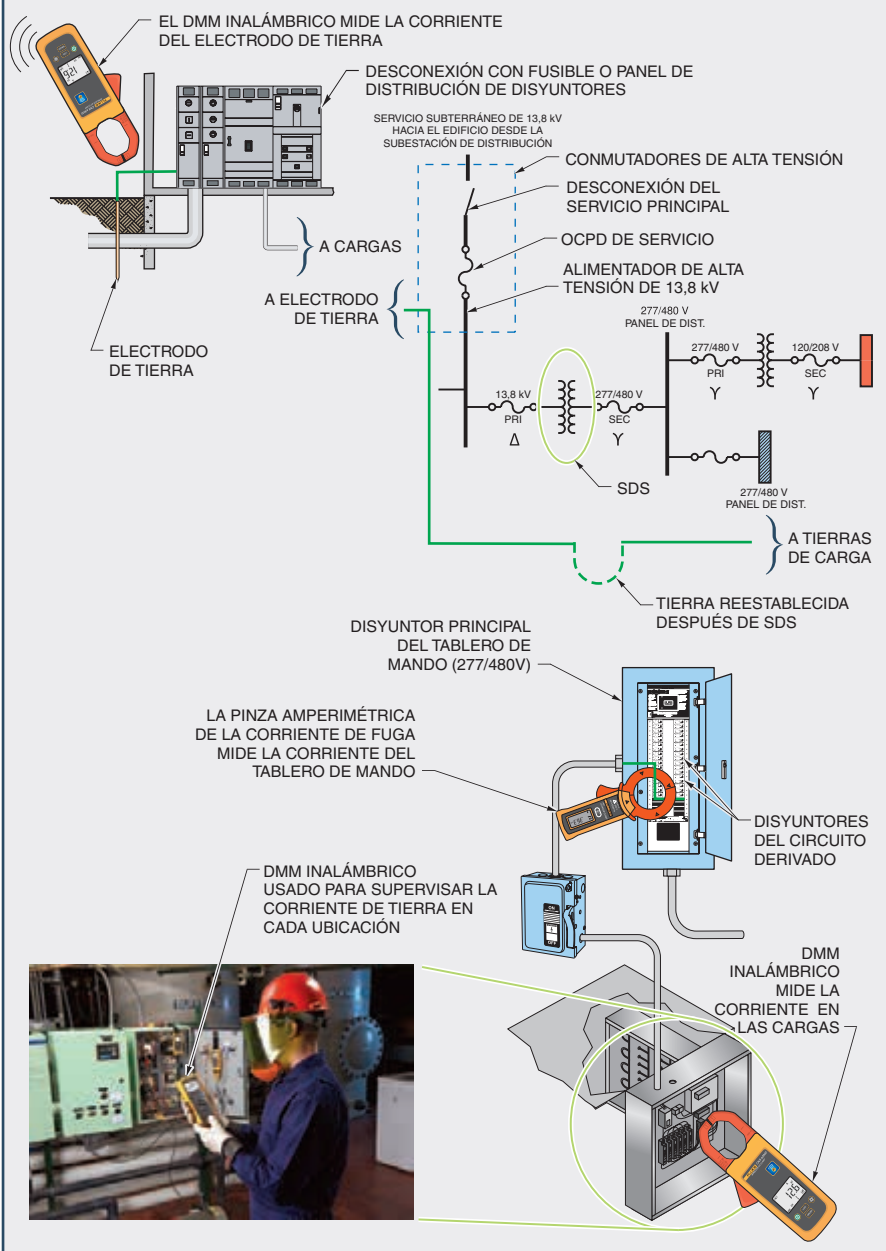
conductores de tierra, neutros y vivos para entender cómo está funcionando el sistema y si hay algún problema. Las pruebas incluyen tomar medidas de corriente y tensión en la carga, paneles y conmutadores de alta tensión. **Consulte la Figura 4-6.**

Un juego de instrumentos inalámbricos, tal como multímetros digitales inalámbricos, se puede usar para medir y controlar múltiples lecturas de una ubicación central. Se puede usar un multímetro digital inalámbrico que tome lecturas de medidores a distancia y muestre las mediciones de los mismos en la pantalla de un medidor. El medidor puede mostrar en pantalla las mediciones que está tomando además de mostrar otros tres módulos inalámbricos a distancia ubicados en el sistema. Los medidores a distancia pueden medir y transmitir medidas de tensión, corriente y temperatura a un medidor, lo que permite supervisar los sistemas en diferentes ubicaciones. Además, ofrecen seguridad adicional, puesto que el operador del instrumento central puede supervisar las lecturas que ya están conectadas a una ubicación peligrosa.

### SUGERENCIA TÉCNICA

Un multímetro digital inalámbrico muestra en pantalla las medidas tomadas así como las lecturas de hasta tres módulos inalámbricos con distancias tan lejos como 20 m (66').

### Medición de las corrientes de tierra del sistema de múltiples ubicaciones



**Figura 4-6.** Un juego de instrumentos inalámbricos, tal como multímetros digitales inalámbricos y pinzas amperimétricas, se puede usar para medir y controlar múltiples lecturas de una ubicación central.



## Apéndice

### Fórmulas de potencia — $1\phi$ , $3\phi$

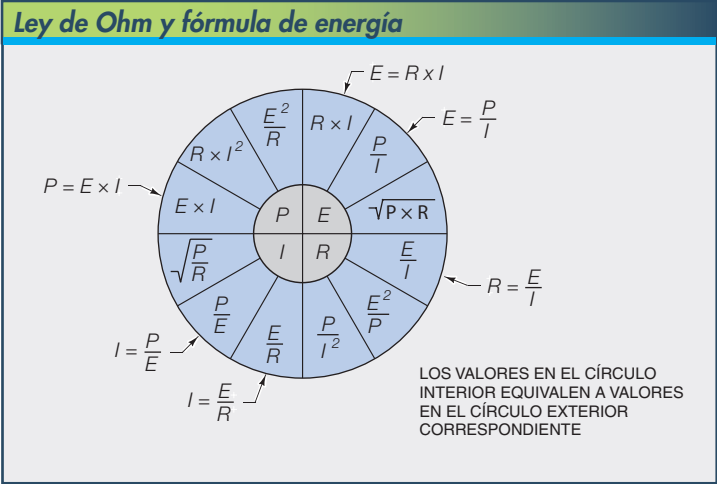
| Fase    | Para buscar | Usar fórmula                       | Ejemplo             |        |                                                                                                      |
|---------|-------------|------------------------------------|---------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         |             |                                    | Dado                | Buscar | Solución                                                                                             |
| $1\phi$ | I           | $I = \frac{VA}{V}$                 | 32.000 VA,<br>240 V | I      | $I = \frac{VA}{V}$ $I = \frac{32.000 \text{ VA}}{240 \text{ V}}$ $I = 133 \text{ A}$                 |
| $1\phi$ | VA          | $VA = I \times V$                  | 100 A, 240 V        | VA     | $VA = I \times V$ $VA = 100 \text{ A} \times 240 \text{ V}$ $VA = 24.000 \text{ VA}$                 |
| $1\phi$ | V           | $V = \frac{VA}{I}$                 | 42.000 VA<br>350 A  | V      | $V = \frac{VA}{I}$ $V = \frac{42.000 \text{ VA}}{350 \text{ A}}$ $V = 120 \text{ V}$                 |
| $3\phi$ | I           | $I = \frac{VA}{V \times \sqrt{3}}$ | 72.000 VA,<br>208 V | I      | $I = \frac{VA}{V \times \sqrt{3}}$ $I = \frac{72.000 \text{ VA}}{360 \text{ V}}$ $I = 200 \text{ V}$ |
| $3\phi$ | VA          | $VA = I \times V \times \sqrt{3}$  | 2 A,<br>240 V       | VA     | $VA = I \times V \times \sqrt{3}$ $VA = 2 \times 416$ $VA = 832 \text{ VA}$                          |

### Valores de tensión trifásica

|                                       |
|---------------------------------------|
| Para 208 V $\times$ 1,732, usar 360   |
| Para 230 V $\times$ 1,732, usar 398   |
| Para 240 V $\times$ 1,732, usar 416   |
| Para 440 V $\times$ 1,732, usar 762   |
| Para 460 V $\times$ 1,732, usar 797   |
| Para 480 V $\times$ 1,732, usar 831   |
| Para 2400 V $\times$ 1,732, usar 4157 |
| Para 4160 V $\times$ 1,732, usar 7205 |

### Fórmula de energía Abreviaturas y símbolos

|              |                                      |
|--------------|--------------------------------------|
| P = Vatios   | V = Voltios                          |
| I = Amperios | VA = Voltios Amperios                |
| A = Amperios | $\phi$ = Fase                        |
| R = Ohmios   | $\sqrt{\phantom{x}}$ = Raíz cuadrada |
| E = Voltios  |                                      |



| Conversiones de voltaje |                    |                 |
|-------------------------|--------------------|-----------------|
| A convertir             | A                  | Multiplicar por |
| Valor eficaz (rms)      | Promedio           | 0,9             |
| Valor eficaz (rms)      | Pico               | 1,414           |
| Promedio                | Valor eficaz (rms) | 1,111           |
| Promedio                | Pico               | 1,567           |
| Pico                    | Valor eficaz (rms) | 0,707           |
| Pico                    | Promedio           | 0,637           |
| Pico                    | Pico a pico        | 2               |

| Eficiencias típicas de motores |                    |                                     |     |                    |                                     |
|--------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----|--------------------|-------------------------------------|
| HP                             | Motor estándar (%) | Motor energéticamente eficiente (%) | HP  | Motor estándar (%) | Motor energéticamente eficiente (%) |
| 1                              | 76,5               | 84,0                                | 30  | 88,1               | 93,1                                |
| 1,5                            | 78,5               | 85,5                                | 40  | 89,3               | 93,6                                |
| 2                              | 79,9               | 86,5                                | 50  | 90,4               | 93,7                                |
| 3                              | 80,8               | 88,5                                | 75  | 90,8               | 95,0                                |
| 5                              | 83,1               | 88,6                                | 100 | 91,6               | 95,4                                |
| 7,5                            | 83,8               | 90,2                                | 125 | 91,8               | 95,8                                |
| 10                             | 85,0               | 90,3                                | 150 | 92,3               | 96,0                                |
| 15                             | 86,5               | 91,7                                | 200 | 93,3               | 96,1                                |
| 20                             | 87,5               | 92,4                                | 250 | 93,6               | 96,2                                |
| 25                             | 88,0               | 93,0                                | 300 | 93,8               | 96,5                                |

### B

**bucle de tierra:** Circuito eléctrico que tiene más de un punto de conexión a tierra conectado a tierra física, con una diferencia de potencial de tensión entre los puntos de conexión a tierra lo suficientemente alta como para producir una corriente circulante en el sistema de conexión a tierra.

### C

**cámara termográfica:** Dispositivo que detecta patrones térmicos en el espectro de longitud de onda infrarroja sin hacer contacto directo con el equipo.

**corriente de fuga:** Corriente que no es funcional, incluida la corriente en las cajas de protección y conductores de tierra.

**corriente de fallo:** Cualquier corriente que recorre un camino distinto al camino de funcionamiento normal para el cual fue diseñado el sistema.

**conexión a tierra:** Conexión de conducción de baja resistencia entre circuitos eléctricos, equipos y tierra.

**conductor de tierra:** Conductor que tiene una conexión a tierra intencional.

**conductor de conexión a tierra del equipo (equipment grounding conductor, EGC):** Conductor eléctrico que ofrece una ruta a tierra de baja impedancia entre el equipo eléctrico

y las cajas de protección dentro de un sistema de distribución.

**conductor del electrodo de conexión a tierra (GEC):** Conductor que conecta partes de tierra de un sistema de distribución de alimentación eléctrica (conductores de conexión a tierra del equipo, conductores de tierra y todas las partes metálicas) al sistema de conexión a tierra aprobado.

### L

**lectura de tensión fantasma:** Lectura de un voltímetro que no está conectado a un circuito energizado.

**ley de Ohm:** Fórmula matemática que indica que la corriente en un circuito eléctrico es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la resistencia.

### P

**punto de conexión principal (main bonding jumpers, MBJ):** Conexión en un panel de servicio que conecta el conductor de conexión a tierra del equipo, el conductor del electrodo de conexión a tierra (GEC) y el conductor conectado a tierra (conductor neutro).

## S

**sistema derivado independiente (separately derived system, SDS):**

Sistema eléctrico que suministra alimentación eléctrica derivada o tomada de transformadores, baterías de almacenamiento, sistemas fotovoltaicos, turbinas de viento o generadores.

**sistema de electrodo de tierra:**

Conexión de un sistema eléctrico a tierra física mediante el uso de electrodos de tierra, tal como el bastidor metálico del edificio, electrodos envueltos en hormigón, un anillo de tierra u otro método de conexión a tierra aprobado.

**solución de problemas:** Diagnóstico sistemático de un sistema para ubicar cualquier falla o problema.

## T

**tierra de baja impedancia:** Ruta a tierra que contiene muy poca resistencia al flujo de la corriente de fallo hacia tierra.

*Los números de página en cursiva hacen referencia a las figuras.*

## A

áreas estables, 17, 18

## B

bucles de tierra, 37, 37

## C

cámaras termográficas, 41  
categorías de conexión a tierra, 5  
circulación de la corriente, 37  
colocación de electrodos, 33  
comprobadores de aislamiento, 47, 48  
comprobadores de puesta a tierra  
    con pinza, 45, 47, 48  
comprobadores de tierra (resistencia),  
    2, 28  
conductores de conexión a tierra  
    del equipo (EGC), 35  
conductores de tierra, 7  
conductores del electrodo de conexión  
    a tierra (GEC), 7, 8  
conexión a tierra de baja impedancia, 6  
conexión a tierra, 1–2, 7–8  
conexiones de tierra  
    inadecuadas, 42–43  
conexiones neutro a tierra, 45, 46  
conexiones flojas, 41–42, 43  
conexiones, 41–46, 43, 46  
corriente circulante, 37  
corriente de fallo de tierra  
    del circuito, 38  
corriente de fallo, 3, 5–6  
corriente de fuga, 22, 38, 40  
corriente de tierra alta, 47–49  
corriente de tierra, 47–49  
corriente del sistema de conexión  
    a tierra, 49, 50

## E

EGC (conductores de conexión a  
    tierra del equipo), 35  
electrodos de varilla de tierra, 28  
electrodos, 28, 33–34  
equipo electrónico, 3–6

## G

GEC (conductores del electrodo  
    de conexión a tierra), 7, 8

## I

instalación del electrodo  
    de tierra, 32–34, 33, 34  
instrumentos de prueba eléctrica, 47, 48  
instrumentos de prueba, 47, 48

## L

lecturas de tensión fantasma, 43  
ley de Ohm, 16

## M

mediciones de pH, 2  
mediciones de resistividad de tierra  
    con cuatro terminales, 13  
medidas de resistividad del suelo, 2  
medidas de resistividad, 2  
megóhmetros, 47  
métodos de conexión a tierra, 7–8  
métodos de prueba, sistema de  
    conexión a tierra, 14–16, 19–25  
    prueba con cuatro polos, 15, 21,  
        20–22  
    prueba con tres polos, 15, 19, 19–22  
    prueba selectiva, 15, 22, 23  
    prueba sin jabalina, 15, 22–25, 26, 27

múltímetros digitales (DMM), 47, 49  
múltiples electrodos de tierra, 33–34

## P

pinzas amperimétricas de tierra, 2  
pinzas amperimétricas, 45, 47, 48  
principios de las medidas de  
resistencia, 16–17, 17, 18  
principios de pruebas, 16–17, 18  
problemas de falla de tierra, 35–38  
problemas del bucle de tierra,  
35–37, 36  
prueba con cuatro polos, 15, 21, 20–22  
prueba con tres polos, 15, 19, 19–22  
prueba selectiva, 15, 22, 23  
prueba sin jabalina, 15, 25–27, 26  
pruebas, 1–2, 2, 9–10, 11  
puente de conexión principal  
(MBJ), 35, 36

## R

resistencia, 24, 24  
resistividad del suelo, 10–14, 12  
ruptura del aislamiento, 47–49

## S

SDS (sistemas derivados  
independientes), 35, 42, 44, 45  
sistemas de conexión a tierra, 3–8, 4  
sistemas de electrodos de conexión  
a tierra, 6  
sistemas derivados independientes  
(SDS), 35, 42, 44, 45  
solución de problemas, 29–38  
problemas de falla de tierra, 35–38  
problemas del electrodo de tierra,  
32–34, 32, 34  
problemas de resistencia del suelo,  
30–32, 31

## U

ubicaciones de la varilla de prueba,  
14, 14

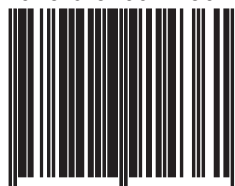
## V

valores de resistencia de tierra, 6–7



Item No. **6001199A\_LAES**

ISBN 978-0-8269-1436-1



9 780826 914361

9 0 0 0 0

