

**FLUKE®**

# Resistencia de tierra



**Principios,  
métodos de  
comprobación y  
aplicaciones**

**DIAGNOSTICAR**  
problemas eléctricos  
intermitentes

**EVITAR**  
tiempo improductivo  
innecesario

**APRENDER**  
los principios  
de seguridad de  
conexión a tierra



# ¿Por qué conectar a tierra? ¿Por qué realizar comprobaciones?

## ¿Por qué conectar a tierra?

Una deficiente conexión a tierra no sólo contribuye a aumentar el tiempo improductivo de manera innecesaria, sino que la falta de una buena conexión a tierra también es peligrosa y aumenta el riesgo de fallos del equipo.

Sin un sistema eficaz de conexión a tierra podríamos estar expuestos al riesgo de descarga eléctrica, por no mencionar errores de instrumentación, problemas de distorsión armónica, problemas con el factor de potencia y un sinnúmero de problemas intermitentes. Si las corrientes de fallo no tienen un camino hasta tierra por medio de un sistema de conexión a tierra con un diseño y un mantenimiento correctos, encontrarán caminos imprevistos que podrían incluir a las personas. Las siguientes organizaciones cuentan con recomendaciones y/o normas para conectar a tierra con el fin de garantizar la seguridad:

- OSHA (Occupational Safety Health Administration)
- NFPA (National Fire Protection Association)
- ANSI/ISA (American National Standards Institute and Instrument Society of America)
- TIA (Telecommunications Industry Association)
- IEC (Comisión Electrotécnica Internacional)
- CENELEC (Comité Europeo de Estandarización Electrotécnica)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

Sin embargo, una buena conexión a tierra no sólo sirve para la seguridad, sino que también se utiliza para evitar daños en plantas y equipos industriales. Un buen sistema de conexión a tierra mejorará la fiabilidad del equipo y reducirá la probabilidad de sufrir daños debidos a rayos o corrientes de fallo. Cada año se pierden miles de millones de dólares en el lugar de trabajo como consecuencia de incendios eléctricos. Y esta cifra ni siquiera incluye los costes derivados de demandas y la pérdida de la productividad personal y empresarial.

## ¿Por qué comprobar los sistemas de conexión a tierra?

Con el paso del tiempo, los terrenos corrosivos con un alto contenido de humedad, un alto contenido de sal y altas temperaturas pueden degradar las varillas de conexión a tierra y sus conexiones. Por tanto, aunque el sistema de toma de tierra, cuando fue instalado inicialmente, tenía valores bajos de resistencia de tierra, la resistencia de tierra puede aumentar si se corroen las varillas de la toma de tierra.

Los comprobadores de resistencia de tierra, como la pinza de medida de resistencia de bucle de tierra Fluke 1630-2 FC, son instrumentos indispensables solucionar problemas y le ayudan a mantener la productividad. En el caso de los frustrantes problemas eléctricos intermitentes, el problema podría estar relacionado con una deficiente conexión a tierra o con una deficiente calidad eléctrica.

Por esta razón se recomienda encarecidamente verificar todas las conexiones a tierra al menos anualmente dentro del plan normal de mantenimiento predictivo. Durante estas verificaciones periódicas, si se mide un aumento en la resistencia superior al 20%, el técnico deberá investigar el origen del problema y realizar la corrección para disminuir la resistencia, al reemplazar o agregar varillas de toma de tierra.

## ¿Qué es una conexión a tierra y cuál es su función?

El Artículo 100 del NEC (National Electrical Code) define una conexión a tierra como: "una conexión conductora, bien sea intencionada o accidental, entre un circuito eléctrico o equipo y la tierra, o a algún cuerpo conductor que funciona en lugar de la tierra" Cuando hablamos de la conexión a tierra, en realidad estamos hablando de dos conceptos distintos: la conexión a tierra propiamente dicha y la conexión a tierra del equipo. La conexión a tierra es una conexión intencionada desde un conductor del circuito, generalmente el neutro, a un electrodo de tierra colocado en el terreno. La conexión a tierra del equipo asegura que los equipos que funcionen de una estructura esté correctamente conectado a tierra. Estos dos sistemas de conexión a tierra deben mantenerse separados, salvo en el caso de una conexión entre ambos sistemas. Esto impide diferencias en el potencial de tensión provocados por un posible arco eléctrico por el impacto de relámpagos. La función de la conexión a tierra, además de la protección de personas, plantas y equipos, es proporcionar un camino seguro para la disipación de corrientes de fallo, impactos de relámpagos, descargas estáticas, señales EMI y RFI, e interferencias.

## ¿Qué es un buen valor de resistencia de conexión a tierra?

Existe bastante confusión respecto a lo que constituye una buena conexión a tierra física y cuál debe ser el valor de la resistencia de conexión a tierra. Lo ideal sería que una conexión a tierra tuviera una resistencia de cero ohmios.

No existe un único umbral estándar de resistencia de conexión a tierra reconocido por todas las agencias. Sin embargo, NFPA e IEEE han recomendado un valor de resistencia de conexión a tierra de 5,0 ohmios o menos.

La NEC ha indicado lo siguiente: "Asegúrese de que la impedancia del sistema de conexión a tierra sea de menos de 25 ohmios, tal como se especifica en NEC 250.56. En instalaciones con equipo sensible, debe ser de 5,0 ohmios o menos".

La industria de las telecomunicaciones con frecuencia ha utilizado 5,0 ohmios o menos como su valor para conexión a tierra.

El objetivo de la resistencia de la conexión a tierra es lograr el mínimo valor de resistencia de conexión a tierra posible que tenga sentido tanto económica como físicamente.



¿Por qué realizar comprobaciones?  
Terrenos corrosivos.



¿Por qué conectar a tierra? Impactos de rayos.



Utilice el Fluke 1625-2 para determinar el estado de sus sistemas de conexión a tierra.

## Tabla de contenido

2

¿Por qué conectar a tierra?  
¿Por qué realizar comprobaciones?

4

Conceptos básicos sobre la conexión a tierra

6

Métodos de comprobación de la conexión a tierra

12

Medida de la resistencia de tierra

# Conceptos básicos de la conexión a tierra

## Componentes de un electrodo de tierra

- 
- Conductor de tierra
  - Conexión entre el conductor de y el electrodo de tierra
  - Electrodo de tierra

## Ubicación de las resistencias

### (a) El electrodo de tierra y su conexión

La resistencia del electrodo de tierra y su conexión por lo general es muy baja. Las varillas de conexión a tierra, por lo general, están fabricadas de material altamente conductor y de baja resistencia, como acero o cobre.

### (b) La resistencia de contacto de la tierra que rodea al electrodo

El National Institute of Standards (una agencia gubernamental del Departamento de Comercio de EE.UU.) ha demostrado que esta resistencia es prácticamente insignificante ya que el electrodo de conexión a tierra no tiene pintura, grasa, etc. y el electrodo de conexión a tierra está en firme contacto con la tierra.

### (c) La resistencia de la tierra de alrededor

El electrodo de conexión a tierra está rodeado por tierra que, desde el punto de vista conceptual, está hecha de capas concéntricas, todas ellas del mismo grosor. Las capas más próximas al electrodo de conexión a tierra tienen la cantidad más pequeña de área y, por lo tanto, el mayor grado de resistencia. Cada capa siguiente incorpora una mayor área y, por tanto, una menor resistencia. Así llegamos finalmente a un punto en el que las capas adicionales ofrecen poca resistencia a la tierra que rodea al electrodo de conexión a tierra.

Así, con base a esta información, deberíamos centrarnos en las maneras de reducir la resistencia de tierra al instalar sistemas de conexión a tierra.

## ¿Qué afecta a la resistencia de tierra?

En primer lugar, el código NEC (1987, 250-83-3), requiere un electrodo de conexión a tierra con una longitud mínima de 2,5 m (8,0 pies) que esté en contacto con el terreno. Sin embargo, existen cuatro variables que afectan a la resistencia de un sistema de conexión a tierra:

1. Longitud/profundidad del electrodo de conexión a tierra
2. Diámetro del electrodo de conexión a tierra
3. Número de electrodos de conexión a tierra
4. Diseño del sistema de conexión a tierra

### Longitud/profundidad del electrodo de conexión a tierra

Una manera muy eficaz de disminuir la resistencia de tierra es enterrar aún más los electrodos de conexión a tierra. El terreno no es homogéneo en cuanto a su resistividad y puede ser sumamente impredecible. Esto es extremadamente importante al instalar el electrodo, que se encuentra por debajo de la profundidad de la helada. Esto se lleva a cabo de forma que la resistencia de tierra no se vea muy influenciada por el hielo del terreno de alrededor.

Por lo general, si se duplica la longitud del electrodo de conexión a tierra se reduce el nivel de resistencia en un 40% adicional. Hay ocasiones en las que no es físicamente posible enterrar más las varillas de toma de tierra, por ejemplo, en zonas compuestas por roca, granito, etc. En esos casos existen métodos alternativos, como la conexión a tierra con cemento.

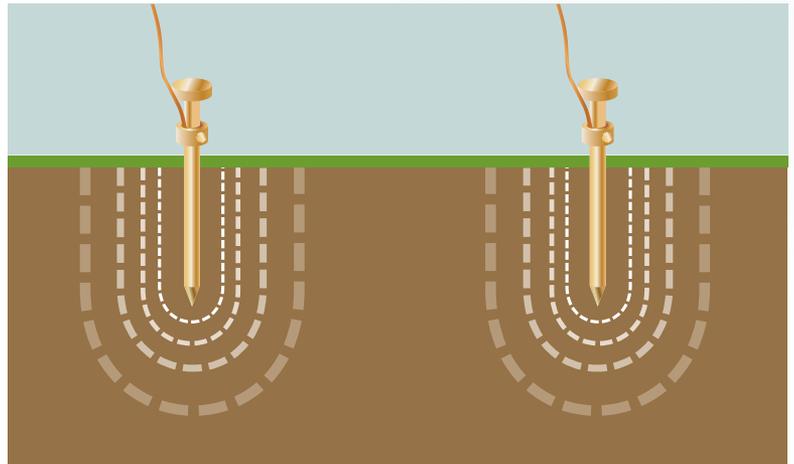
### Diámetro del electrodo de conexión a tierra

El hecho de aumentar el diámetro del electrodo de conexión a tierra tiene poca influencia en la disminución de la resistencia. Por ejemplo, al duplicar el diámetro del electrodo de tierra, la resistencia solamente disminuiría en un 10%.

## Número de electrodos de conexión a tierra

Otra manera de reducir la resistencia de tierra es emplear varios electrodos de conexión a tierra. En este diseño, se entierran varios electrodos y se conectan en paralelo para disminuir la resistencia. Para que el uso de varios electrodos sea eficaz, la separación entre las varillas adicionales debe ser al menos, igual a la profundidad de la varilla enterrada. Si no hay una separación correcta entre electrodos, sus esferas de influencia se cruzan y la resistencia no se reduce.

Puede utilizar la tabla de resistencias de tierra que aparece más abajo como ayuda para instalar una varilla de toma de tierra que cumpla sus requisitos específicos de resistencia. Recuerde que solo se debe emplear como regla general, dado que el terreno está dividido en capas y rara vez es homogéneo. Los valores de resistencia varían enormemente.



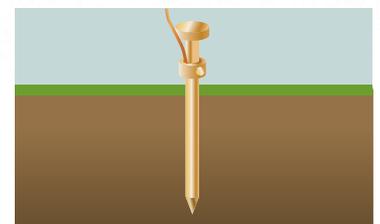
Cada electrodo de tierra tiene su propia "esfera de influencia".

## Sistemas de conexión a tierra

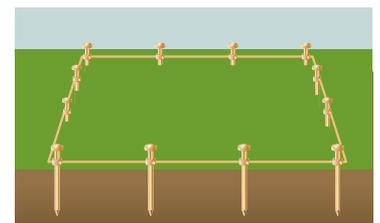
### Diseño del sistema de conexión a tierra

Los sistemas de conexión a tierra sencillos consisten en enterrar un solo electrodo de conexión a tierra. El uso de un solo electrodo es lo más habitual y se suele encontrar en exteriores de viviendas o empresas. Los sistemas de conexión a tierra complejos constan de varias varillas de toma de tierra, conectadas mediante redes de malla o de rejillas, placas de conexión a tierra y lazos de tierra. Estos sistemas se suelen instalar en subestaciones de generación de energía, oficinas centrales y estaciones base/torres.

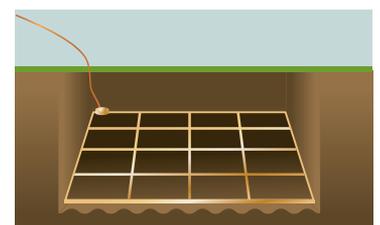
Las redes complejas aumentan radicalmente la cantidad de contacto con la tierra de alrededor y reduce las resistencias de tierra.



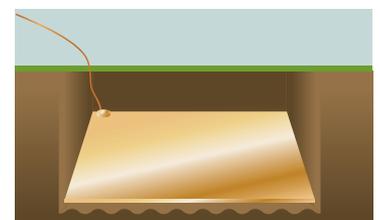
Electrodo único de conexión a tierra



Conexión de múltiples electrodos de tierra



Red de malla



Placa de conexión a tierra

Tipo de terreno	Resistividad del terreno $R_E$	Resistencia de tierra					
		Profundidad del electrodo de tierra (metros)			Tira de conexión a tierra (metros)		
		3	6	10	5	10	20
Terreno muy húmedo, pantanoso	30	10	5	3	12	6	3
Terrenos de cultivo, fértiles y arcillosos	100	33	17	10	40	20	10
Terreno de arena arcillosa	150	50	25	15	60	30	15
Terreno arenoso húmedo	300	66	33	20	80	40	20
Hormigón 1:5	400	-	-	-	160	80	40
Grava húmeda	500	160	80	48	200	100	50
Terreno arenoso seco	1000	330	165	100	400	200	100
Grava seca	1000	330	165	100	400	200	100
Terreno pedregoso	30.000	1000	500	300	1200	600	300
Roca	$10^7$	-	-	-	-	-	-

# ¿Cuáles son los métodos de comprobación de la conexión a tierra?

Existen cuatro tipos de métodos de comprobación de la conexión a tierra disponibles:

- **Resistividad del terreno** (mediante picas)
- **Caída de potencial** (mediante picas)
- **Selectiva** (mediante una pinza y picas)
- **Sin picas** (utilizando solo pinzas)

## Medida de la resistividad del terreno

### ¿Por qué determinar la resistividad del terreno?

Conocer la resistividad del terreno es especialmente necesario para determinar el diseño de la conexión a tierra de instalaciones nuevas (aplicaciones en campo abierto) para satisfacer las necesidades de resistencia de tierra. Lo ideal sería que encontrase un lugar con la menor resistencia posible. Pero, como hemos dicho anteriormente, las malas condiciones del terreno pueden superarse con sistemas de conexión a tierra más elaborados.

La composición, el contenido en humedad y la temperatura influyen en la resistividad del terreno. El terreno es rara vez homogéneo y su resistividad varía geográficamente y a diversas profundidades. El contenido en humedad cambia según la estación del año, varía en función de la naturaleza de las subcapas de la tierra y la profundidad del nivel de agua subterránea permanente. Dado que el terreno y el agua generalmente son más estables en estratos más profundos, se recomienda que las varillas de toma de tierra se coloquen lo más profundo posible en la tierra, en el nivel de agua subterránea si fuera posible. Asimismo, las varillas de toma de tierra se deben instalar en un lugar donde haya temperatura estable, por ejemplo, por debajo de la profundidad de la helada.

Para que un sistema de conexión a tierra sea eficaz, debe estar diseñado para soportar las peores condiciones posibles.

### ¿Cómo se puede calcular la resistividad del terreno?

El procedimiento de medida que se describe a continuación emplea el método Wenner aceptado universalmente y desarrollado por Frank Wenner, miembro del US Bureau of Standards, en 1915. (F. Wenner, A Method of Measuring Earth Resistivity; Bull, National Bureau of Standards, Bull 12(4) 258, p. 478-496; 1915/16.)

**La fórmula es la siguiente:**

$$\rho = 2 \pi A R$$

( $\rho$  = la resistividad media del terreno hasta la profundidad A, en ohmios—cm)

$$\pi = 3,1416$$

A = distancia entre electrodos, en cm

R = valor de resistencia medida, en ohmios, obtenida con el instrumento

**Nota:** Divida ohmios—centímetros entre 100 para convertir a ohmios—metros. Observe cuáles son las unidades.

**Ejemplo:** Ha decidido instalar varillas de toma de corriente de 3 metros de longitud en su sistema de conexión a tierra. Para medir la resistividad del terreno a tres metros de profundidad ya se explicó que es necesario dejar una separación entre los electrodos, que en este caso sería de 3 metros.

Para medir la resistividad del terreno, inicie el comprobador Fluke 1625 y lea el valor de la resistencia en ohmios. Supongamos que en este caso el valor de resistencia es de 100 ohmios. Según esto, en este ejemplo sabemos que:

A = 9 metros, y

R = 100 ohmios

Por tanto la resistividad del terreno sería igual a:

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

$$\rho = 2 \times 3,1416 \times 9 \text{ metros} \times 100 \text{ ohmios}$$

$$\rho = 5655 \Omega\text{m}$$

## ¿Cómo se mide la resistencia del terreno?

Para medir la resistividad del terreno, conecte el comprobador de resistencia de tierra como se muestra más abajo.

Como puede ver, se colocan en el terreno cuatro picas en línea recta equidistantes entre sí. La distancia entre las picas debe ser al menos el triple que el valor de profundidad de la pica. Por lo tanto, si la profundidad de cada pica es de 30 cm, asegúrese de que la distancia entre las picas es como mínimo de 91 cm. El Fluke 1625 genera una corriente conocida a través de las dos picas exteriores y se mide la caída de tensión entre las dos picas interiores. Mediante la Ley de Ohm ( $V = IR$ ), el comprobador de Fluke calcula de forma automática la resistividad del terreno.

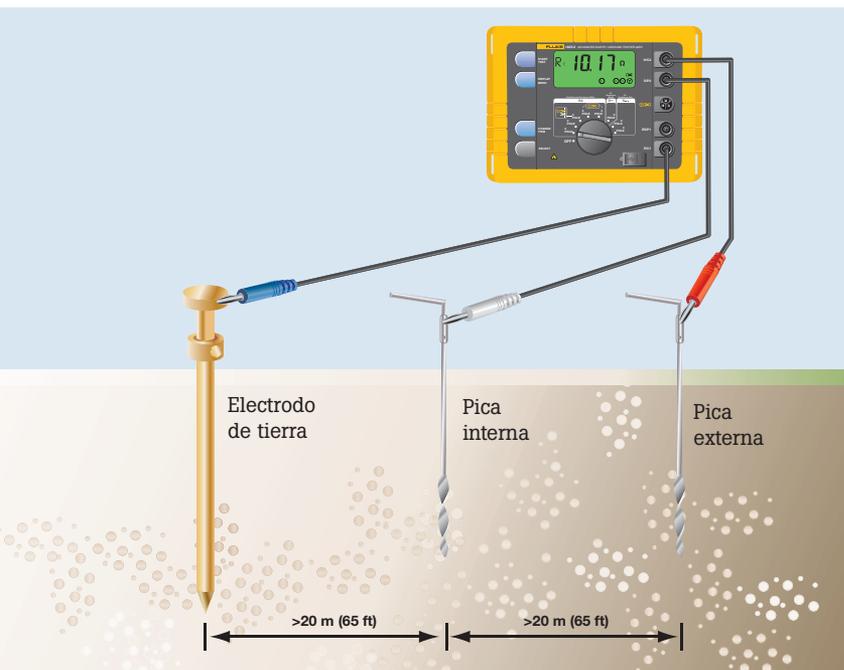
Dado que los resultados de las medidas a menudo se ven distorsionados e invalidados por la interferencia de piezas subterráneas de metal, acuíferos subterráneos, etc., siempre se recomienda tomar medidas adicionales en las que los ejes de las picas se hayan girado 90 grados. Al cambiar la profundidad y la distancia varias veces, se produce un perfil que puede determinar un sistema de resistividad del terreno adecuado.

Las medidas de resistividad del terreno a menudo se ven distorsionadas por la existencia de corrientes de tierra y sus armónicos. Para impedir que esto ocurra, el Fluke 1625 emplea el sistema AFC (Automatic Frequency Control). Este sistema selecciona automáticamente la frecuencia de medida con la mínima cantidad de ruido que le permita obtener una lectura clara.



Configuración para la comprobación de la resistividad del terreno utilizando el Fluke 1623-2 o 1625-2.

# ¿Cuáles son los métodos de comprobación de la conexión a tierra?



## Medida de la caída de potencial

El método de la caída de potencial se emplea para medir la capacidad que tiene un sistema de conexión a tierra o un electrodo individual de disipar energía de una instalación.

### ¿Cómo funciona el método de caída de potencial?

En primer lugar, se debe desconectar el electrodo de tierra en cuestión, de su conexión a la instalación. En segundo lugar, se conecta el comprobador al electrodo de tierra. A continuación, para realizar la comprobación por el método de caída de potencial de 3 hilos, se colocan dos picas en el terreno en línea recta alejadas del electrodo de tierra. Generalmente basta con 20 metros de separación. Para obtener más información sobre cómo colocar las picas, consulte la siguiente sección.

El Fluke 1625 genera una corriente conocida entre la pica exterior (pica auxiliar) y el electrodo de tierra y, mide, de forma simultánea, la caída de potencial entre la pica interior y el electrodo de tierra. Mediante la Ley de Ohm ( $V = IR$ ), el medidor calcula de forma automática la resistencia del electrodo de tierra.

Conecte el comprobador de resistencia de tierra como muestra la imagen. Pulse START y lea el valor de  $R_E$  (resistencia). Ése es el valor real del electrodo de conexión a tierra que se está comprobando. Si este electrodo de conexión a tierra está conectado en paralelo o en serie con otras varillas de toma de tierra, el valor de  $R_E$  es el valor total de todas las resistencias.

### ¿Cómo se colocan las estacas?

Para conseguir el máximo nivel de precisión al realizar la comprobación de resistencia con el método de caída de potencial de 3 hilos, es fundamental que la sonda se coloque fuera del área de influencia del electrodo de conexión a tierra que se está comprobando y la toma de tierra auxiliar.

Si no se coloca fuera del área de influencia, las zonas eficaces de resistencia se superponen e invalidan cualquier medida que esté realizando. La tabla es una guía para conocer la configuración apropiada de la sonda (pica interna) y la toma de tierra auxiliar (pica exterior). La tabla es una guía para configurar apropiadamente la sonda (pica interna) y la conexión auxiliar a tierra (pica externa).

Para comprobar la precisión de los resultados y garantizar que las picas están situadas fuera del área de influencia, vuelva a colocar la pica interna (sonda) moviéndola 1 metro en cada dirección y vuelva a realizar la medida. Si se produce un cambio importante en la lectura (30%), debe aumentar la distancia entre la varilla de toma de tierra que se está midiendo, la pica interior (sonda) y la pica exterior (toma de tierra auxiliar) hasta que los valores medidos sean lo suficientemente constantes al volver a colocar la pica interior (sonda).

Profundidad del electrodo de tierra	Distancia a la pica interna	Distancia a la pica externa
2 m	15 m	25 m
3 m	20 m	30 m
6 m	25 m	40 m
10 m	30 m	50 m

## Medida selectiva

La medida selectiva es muy similar a la comprobación de caída de potencial y facilita las medidas, pero es mucho más fácil y segura. Esto se debe a que con el método de medida selectiva no es necesario desconectar el electrodo de tierra en cuestión. Tampoco es necesario que el técnico se ponga en peligro a sí mismo al desconectar la conexión a tierra, ni que ponga en peligro a otras personas o equipos eléctricos en una instalación sin toma de tierra.

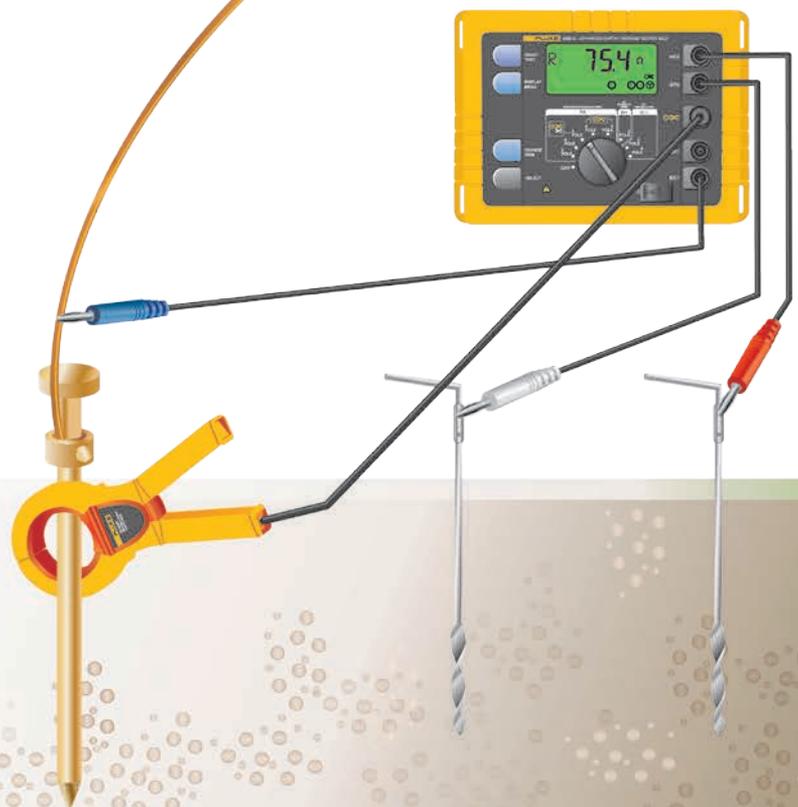
Al igual que con el método de caída de potencial, se colocan dos picas en el terreno, en línea recta y alejadas del electrodo de tierra. En general una separación de 20 metros (65 pies) es suficiente. A continuación se conecta el comprobador al electrodo de tierra bajo prueba, con la ventaja de que no hay que efectuar la desconexión con la instalación. En lugar de ello se coloca una pinza especial alrededor del electrodo de tierra, lo que elimina los efectos de las resistencias paralelas en un sistema de conexión a tierra, por tanto, sólo se efectúa la medición en el electrodo de tierra en cuestión.

Como se ha visto antes, el Fluke 1625-2 genera una corriente conocida entre la pica exterior (pica auxiliar) y el electrodo de tierra y mide de forma simultánea la caída de potencial entre la pica interior y el electrodo de tierra. Con la pinza solo se mide la corriente que fluye a través del electrodo de tierra en cuestión. La corriente generada también fluye a través de otras resistencias paralelas, pero únicamente la corriente que pasa a través de la pinza (por ejemplo, la corriente que atraviesa el electrodo de tierra en cuestión) se emplea para calcular la resistencia ( $V=IR$ ).

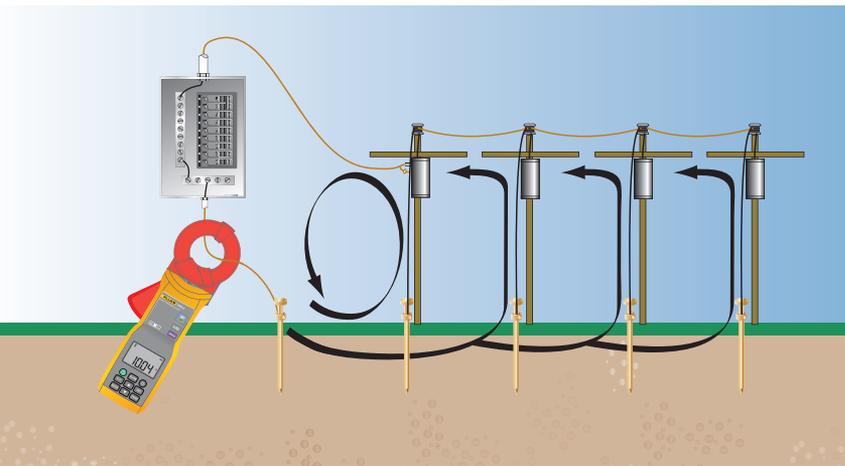
Si hay que medir la resistencia total del sistema de conexión a tierra, entonces hay que medir cada resistencia de electrodo de tierra; para ello es necesario colocar la pinza alrededor de cada electrodo individual. De esta forma se puede determinar la resistencia total del sistema de conexión a tierra mediante cálculos.

La comprobación de la resistencia de cada electrodo de conexión a tierra en torres de transmisión de alta tensión con cables estáticos o de conducción de tierra elevados requiere la desconexión de estos cables. Si una torre tiene más de una conexión a tierra en su base, se deberán desconectar y comprobar una por una. No obstante, el Fluke 1625-2 cuenta con un accesorio opcional: un transformador de corriente tipo pinza de 320 mm (12,7 pulgadas) de diámetro que puede comprobar las resistencias individuales de cada pilar sin desconectar ningún cable de conexión a tierra ni cables estáticos o de conducción de tierra elevados.

Conecte el comprobador de conexión a tierra como se indica. Pulse START y lea el valor de  $R_E$ . Éste es el valor real de la resistencia del electrodo de tierra comprobado.



# ¿Cuáles son los métodos de comprobación de la conexión a tierra?



Comprobación de rutas de corriente en el método sin picas con la pinza de medida de resistencia de tierra 1630-2 FC.

## Medida sin picas

El comprobador de resistencia de tierra Fluke 1630-2 FC también puede comprobar las resistencias de bucles de tierra en sistemas con varias conexiones a tierra, simplemente mediante pinzas amperimétricas. Esta técnica de medida elimina la peligrosa y larga tarea de desconectar las conexiones a tierra en paralelo, así como el proceso de encontrar los lugares adecuados de las picas auxiliares. Puede efectuar comprobaciones de conexiones a tierra en lugares que no hubiera considerado con anterioridad: dentro de edificios, en torres de alta tensión o en cualquier lugar donde no haya acceso al terreno.

En este método de medida se colocan dos pinzas alrededor de la varilla de la conexión a tierra o del cable de conexión. No se utilizan picas de tierra. Uno de los lados de la mordaza de la pinza induce una tensión conocida y el otro lado de la mordaza mide la corriente. La pinza determina automáticamente la resistencia del bucle de tierra en esta varilla de tierra. Esta técnica resulta especialmente útil para sistemas con múltiples conexiones a tierra, habituales en instalaciones comerciales o industriales. Si solo hay una ruta a tierra, como ocurre en muchas instalaciones domésticas, el método sin picas no proporcionará un valor aceptable y deberá utilizarse el método de prueba por caída de potencial.

El funcionamiento del Fluke 1630-2 FC se basa en el principio de que en sistemas de varias conexiones a tierra/en paralelo la resistencia de la red de todas las rutas a tierra será extremadamente baja en comparación con cualquier ruta individual (la que se está comprobando). Por lo tanto, el valor de resistencia de red de todas las resistencias conectadas a la ruta de retorno en paralelo es cero en la práctica. Las medidas sin picas solo comprueban las resistencias de cada varillas de tierra conectada en paralelo a los sistemas de conexión a tierra. Si el sistema de conexión a tierra no está en paralelo a la tierra, entonces tendrá un circuito abierto o estará midiendo una resistencia de bucle de tierra.



Configuración para el método sin picas utilizando el 1630-2 FC.

## Medidas de impedancia de tierra

Al intentar calcular posibles corrientes de cortocircuito en centrales eléctricas y otras situaciones de alta tensión/corriente es importante determinar la compleja impedancia de conexión a tierra ya que la impedancia estará formada por elementos inductivos y capacitivos. Dado que se conoce la inductividad y la resistividad en la mayoría de casos, la impedancia real puede determinarse aplicando cálculos complejos.

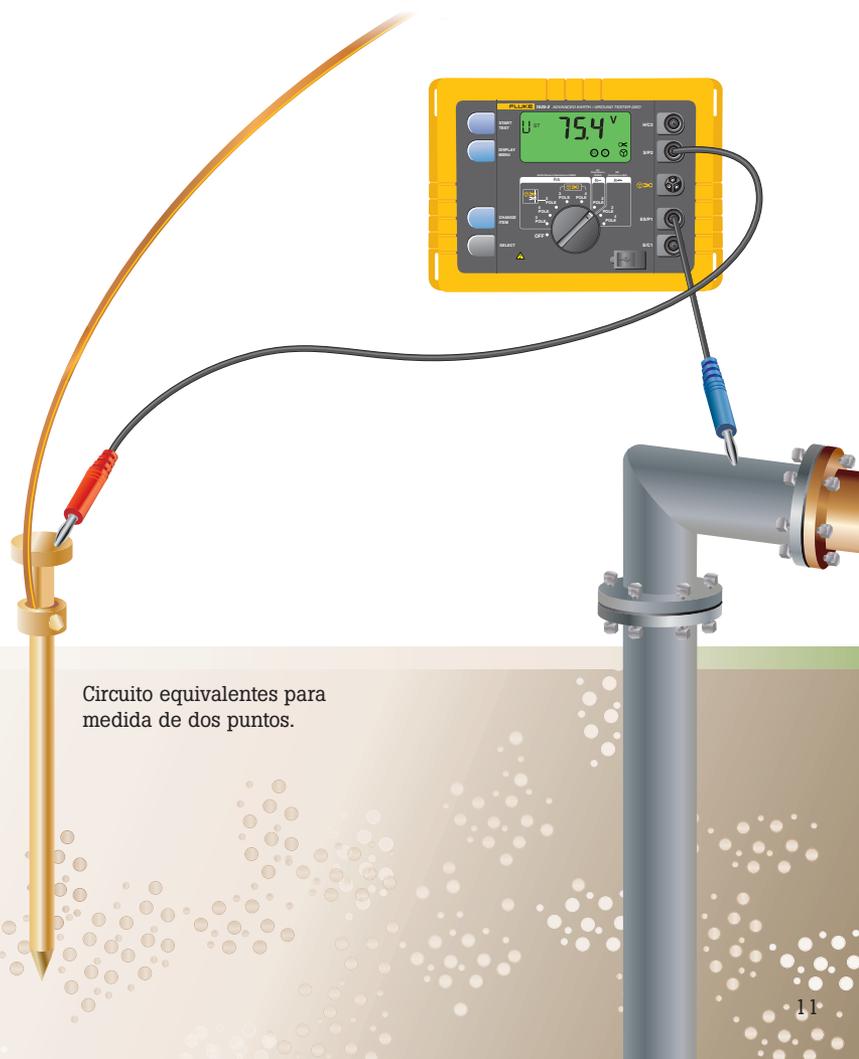
Dado que la impedancia depende de la frecuencia, el Fluke 1625-2 utiliza una señal de 55 Hz para que este cálculo se acerque lo máximo posible a la frecuencia de funcionamiento de tensión. Esto asegura que la medida se acerque al valor de la frecuencia real de funcionamiento. Mediante esta función del Fluke 1625-2 es posible realizar una medida directa y precisa de la impedancia de conexión a tierra.

Los técnicos de centrales eléctricas, cuando comprueban las líneas de transmisión de alta tensión, están interesados en dos cosas: la resistencia de conexión a tierra en caso del impacto de un rayo y la impedancia de todo el sistema si se produce un cortocircuito en un punto determinado de la línea. En este caso un cortocircuito significa que un hilo activo se suelta y toca la retícula metálica de una torre.

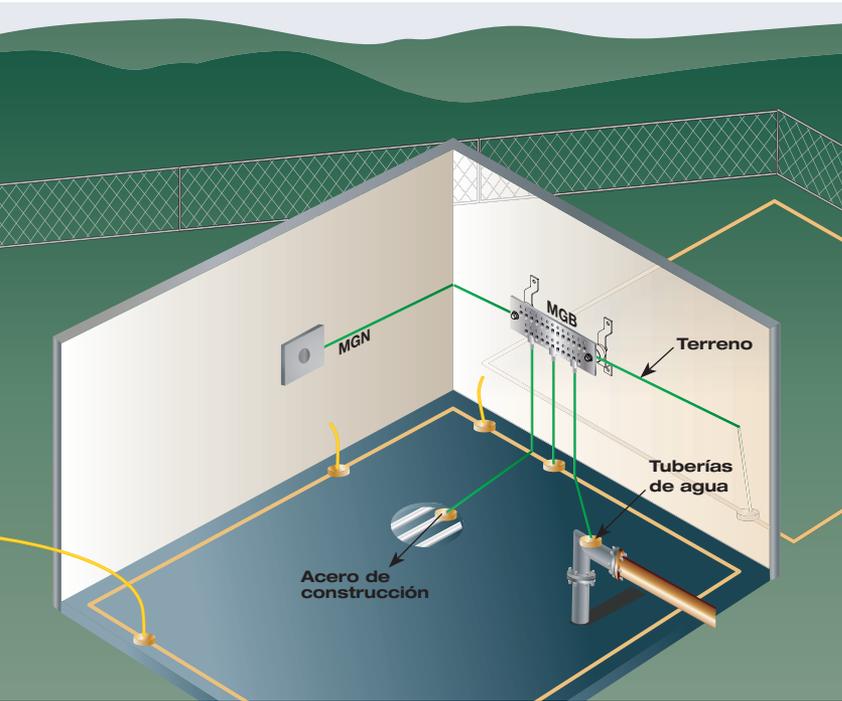
## Resistencia de tierra de dos polos

En situaciones en las cuales la colocación de las picas de conexión a tierra no es práctica ni posible, los comprobadores Fluke 1623-2 y 1625-2 le ofrecen la capacidad de realizar medidas de resistencia/continuidad de conexión a tierra de dos polos, como se indica a continuación.

Para realizar esta comprobación, el técnico debe tener acceso a una tierra conocida y en buenas condiciones, como una tubería de agua metálica. La tubería de agua debe ser lo suficiente extensa y completamente metálica, sin acoplamientos ni bridas aislantes. A diferencia de muchos comprobadores, los Fluke 1623-2 y 1625-2 realizan la comprobación con una corriente relativamente alta (corriente de cortocircuito > 250 mA), asegurando resultados estables.



# Medida de la resistencia de tierra



Disposición de una oficina central típica.

## En oficinas centrales

Al llevar a cabo un análisis de conexión a tierra en una oficina central es necesario realizar tres medidas diferentes.

Antes de medir, localice la barra principal de tierra en la oficina central para determinar el tipo de sistema de conexión a tierra del que se trata. Como se indica en esta página, la barra principal de tierra tendrá cables de conexión a tierra conectados:

- al neutro con varias conexiones a tierra o la acometida de servicio,
- al terreno,
- a la tubería de agua; y
- al acero estructural o del edificio.

En primer lugar, realice la medida sin picas en todas las conexiones a tierra que procedan de la barra principal de tierra. El objetivo es asegurarnos de que todas las conexiones a tierra están conectadas, sobre todo la de la red de neutro con varias conexiones a tierra. Es importante tener en cuenta que no está midiendo la resistencia individual, sino la resistencia de bucle del elemento al que haya conectado las pinzas. Como se indica en la figura 1, conecte el Fluke 1625-2 o 1623-2 y las pinzas inductora y detectora, las cuales se colocan alrededor de cada conexión para medir la resistencia de bucle de la red de neutro con varias conexiones a tierra, el terreno, la tubería de agua y el acero del edificio.

En segundo lugar, realice la comprobación de caída de potencial de 3 hilos en todo el sistema de conexión a tierra, conectando para ello la barra principal de tierra como muestra la figura 2. Para llegar a la tierra remota (o de referencia), muchas empresas de telefonía emplean pares de cables nuevos que se extienden a una longitud de hasta 1,6 km (una milla). Registre los datos de la medida y repita esta comprobación al menos una vez al año.

En tercer lugar, mida las resistencias de cada conexión a tierra mediante el método de medida selectiva del instrumento Fluke 1625-2 o 1623-2. Conecte el instrumento de Fluke como indica la figura 3. Mida la resistencia de la red de neutro con varias conexiones a tierra; el valor es la resistencia de ese ramal en concreto de la barra principal de tierra. A continuación realice medidas en el terreno. Esta lectura representa el valor de resistencia real del terreno de la oficina central. Ahora vayamos a la tubería de agua y a continuación repitamos la medida para conocer la resistencia del acero del edificio. Puede verificar fácilmente la precisión de estas medidas a través de la Ley de Ohm. La resistencia de cada ramal debería equivaler a la resistencia de todo el sistema en cuestión (se permite un error razonable dado que puede que no se hayan medido todos los elementos de tierra)

Estos métodos de medida proporcionan los valores más precisos de una oficina central ya que facilitan las resistencias individuales y su comportamiento real en un sistema de conexión a tierra. Pese a su precisión, las medidas no muestran el comportamiento del sistema como red ya que, en el caso en que se produjera un rayo o una corriente de fallo, todo está conectado.

**Para comprobarlo es necesario realizar más pruebas en resistencias individuales.**

En primer lugar, realice la comprobación por el método de caída de potencial de 3 hilos en cada ramal que salga de la barra principal de tierra y registre cada dato de medida. De nuevo utilice la Ley de Ohm para comprobar que estas medidas equivalgan a la resistencia de todo el sistema. A partir de los cálculos podrá observar que existe una desviación del 20% al 30% respecto ael valor total de referencia de  $R_E$ .

Por último, mida la resistencia de los distintos ramales de la barra principal de tierra mediante el método selectivo sin picas. Se parece al método sin picas, pero se diferencia en la manera de emplear las dos pinzas por separado. Se coloca la pinza de tensión inducida alrededor del cable que se dirige hacia la barra principal de tierra y, dado que ésta está conectada al suministro eléctrico, el cual se encuentra en paralelo al sistema de tierra, cumplimos ese requisito. Tome la pinza detectora y colóquela alrededor del cable de tierra que se dirige hacia el terreno. Cuando se mida la resistencia, ésta es el valor de resistencia real del terreno, además del de la ruta paralela de la barra principal de tierra. Y, dado que debería ser de muy pocos ohmios, no debe tener efecto real en la lectura medida. Este proceso se puede repetir en el resto de ramales de la barra de tierra, por ejemplo, las de la tubería de agua y el acero estructural.

Para medir la barra principal de tierra mediante el método selectivo sin picas, coloque la pinza de tensión inducida alrededor de la línea que se dirige hacia la tubería de agua (pues la tubería de agua es de cobre y debería tener muy poca resistencia) y la lectura será la resistencia únicamente de la red de neutro con varias puestas a tierra.

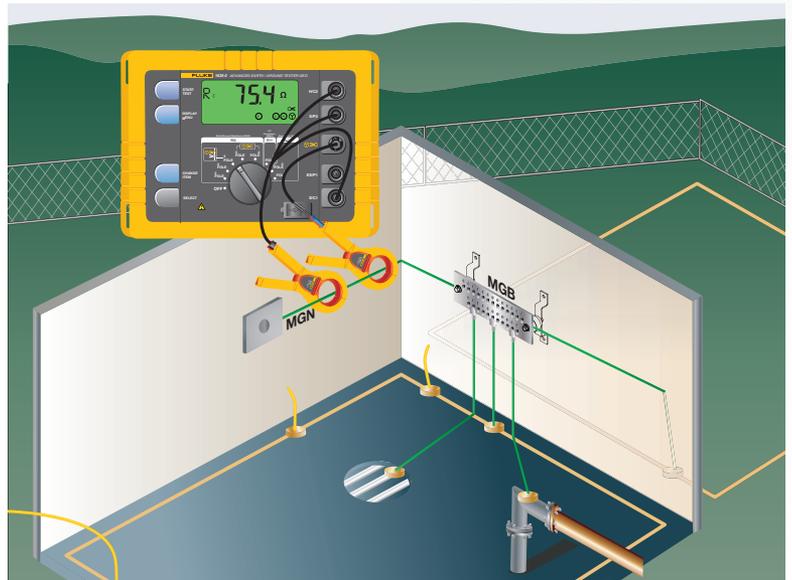


Figura 1: Comprobación sin picas de una oficina central.

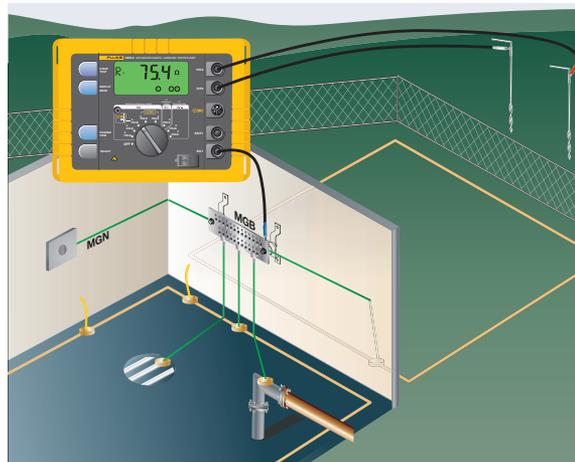


Figura 2: Realice la comprobación de caída de potencial de 3 polos de todo el sistema de conexión a tierra.

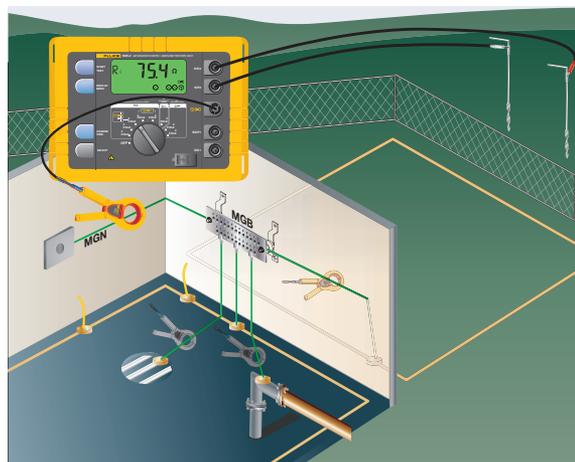
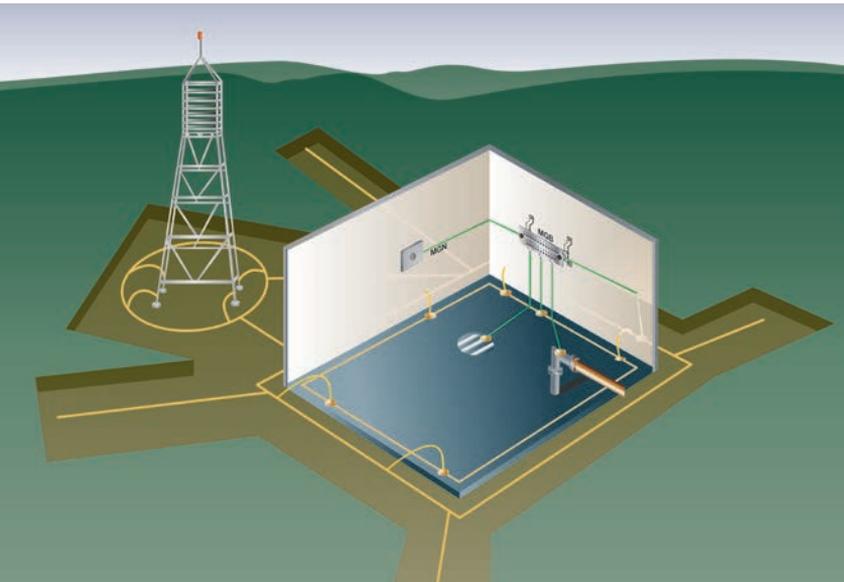


Figura 3: Mida las resistencias individuales del sistema de conexión a tierra mediante el método de medida selectiva.

# Otras aplicaciones de resistencia de tierra



Una configuración típica en una instalación de torre celular.

## Lugares de aplicación

Existen otras cuatro aplicaciones concretas en las que puede emplear el Fluke 1625-2 para medir la capacidad del sistema de conexión a tierra.

## Instalaciones celulares/de microondas y torres de radio

En la mayoría de estos lugares hay una torre de 4 pilares y cada pilar cuenta con una conexión a tierra. Estas puestas a tierra están conectadas mediante un cable de cobre. Junto a la torre se encuentra el edificio de la estación base, en el que se alojan los equipos de transmisión. Dentro del edificio hay un halo de conexión a tierra y una barra principal de tierra; el primero está conectado a la segunda mediante una conexión a tierra. El edificio de la estación base tiene conexión a tierra en cada una de las 4 esquinas conectadas a la barra principal de tierra a través de un cable de cobre y, estas 4 esquinas también están conectadas entre sí mediante cables de cobre. Asimismo hay una conexión entre el anillo de conexión a tierra del edificio y el de la torre.

## Subestaciones eléctricas

Una subestación es una estación secundaria de un sistema de distribución y transmisión en el que normalmente la tensión se transforma de un valor elevado a uno bajo. Una subestación típica contiene estructuras de terminación de línea, conmutadores de alta tensión, uno o más transformadores de potencia, conmutadores de baja tensión, protección frente a sobretensiones, controles y equipos de medida.

## Instalaciones de conmutación remota

Las instalaciones de conmutación remota están formadas por concentradores de líneas digitales y otros equipos de telecomunicaciones. La instalación remota normalmente tiene conexión a tierra en todos los extremos de cada armario y además cuenta con una serie de picas de tierra alrededor del bastidor, conectadas mediante cables de cobre.

## Protección contra rayos en instalaciones comerciales/industriales

En el diseño de la mayoría de sistemas de protección contra rayos y corrientes de fallo se conectan a tierra las cuatro esquinas del edificio, normalmente mediante cables de cobre. En función del edificio y del valor de resistencia que se pretendía alcanzar según su diseño, varía el número de varillas de toma de tierra.

## Pruebas recomendadas

Es necesario que los usuarios finales realicen las tres pruebas en cada aplicación: medida sin estacas, medida de caída de potencial de 3 polos y medida selectiva.

### Medida sin picas

Primero realice una medida sin picas en:

- Cada pilar de la torre y las cuatro esquinas del edificio  
**(estaciones base/torres)**
- Todas las conexiones a tierra  
**(subestaciones eléctricas)**
- Las líneas que se dirigen hacia la instalación remota  
**(conmutación remota)**
- Las picas de conexión a tierra del edificio  
**(protección contra rayos)**

Para todas las aplicaciones, ésta no es una medida real de resistencia de conexión a tierra de la red. Se trata principalmente de una comprobación de continuidad para verificar que la instalación esté conectada a tierra, que existe una conexión eléctrica y que el sistema puede transmitir corriente.

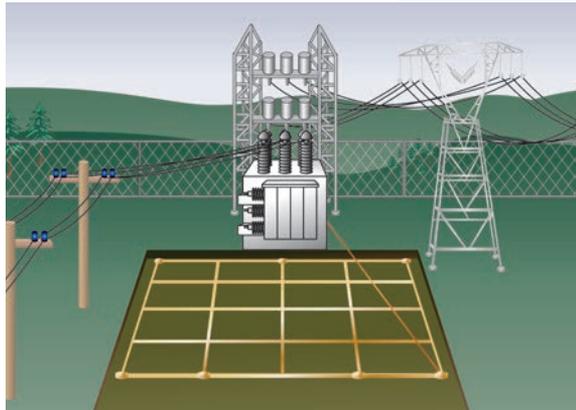
### Medida de caída de potencial de 3 hilos

En segundo lugar se mide la resistencia de todo el sistema por medio del método de caída de potencial de 3 hilos. Tenga en cuenta las reglas para la colocación de las pilas. Esta medida debe registrarse y las medidas se deben realizar al menos dos veces al año. Esta medida es el valor de la resistencia para toda la instalación.

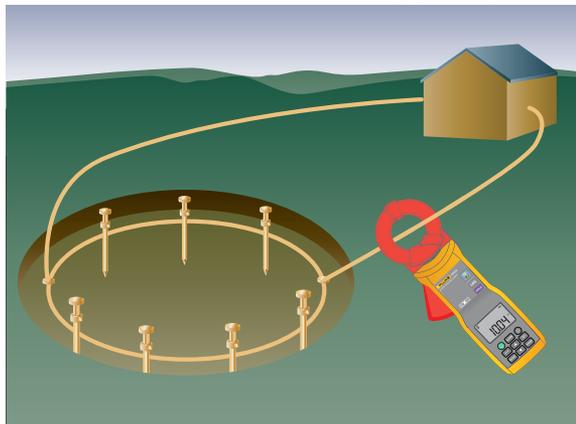
### Medida selectiva

Por último, se debe medir cada conexión a tierra mediante la prueba selectiva. Ésta verificará la integridad de la cada conexión a tierra, sus conexiones, y determinará si el potencial de conexión a tierra es uniforme. Si cualquiera de las medidas demuestra un grado de variabilidad mayor que las demás, se deberá determinar la razón. Las resistencias se deben medir en:

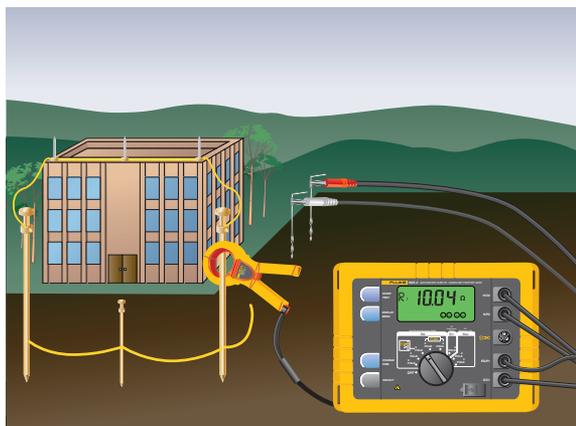
- Cada tramo de la torre y las cuatro esquinas del edificio (instalaciones celulares/torres)
- Varillas individuales de conexión a tierra y sus conexiones (subestaciones eléctricas)
- Ambos extremos de la instalación remota (conmutación remota)
- Las cuatro esquinas del edificio (protección contra rayos)



Una configuración típica en una subestación eléctrica.



El uso de la comprobación sin picas en una instalación de conmutación remota.



Uso de la comprobación selectiva en un sistema de protección contra rayos.

# Productos de conexión a tierra



Comprobador de tierra avanzado  
Fluke 1625-2 GEO



Medidor básico de resistencia de  
tierra Fluke 1623-2 GEO



Pinza de medida de resistencia de  
tierra Fluke 1630-2 FC

## Una familia completa de comprobadores

Los modelos 1623-2 y 1625-2 de Fluke son comprobadores de tierra capaces de realizar los cuatro tipos de medidas de conexión a tierra:

Entre las características avanzadas del Fluke 1625-2 se pueden destacar:

- Control automático de frecuencia (AFC): identifica la interferencia existente y elige una frecuencia de medida para minimizar su efecto, proporcionando valores más precisos de conexión a tierra
- Medida R\* - calcula la impedancia de la tierra física a 55 Hz para reflejar con mayor precisión la resistencia de tierra que detectaría un fallo en la conexión a tierra
- Límites ajustables para agilizar las pruebas

Entre las características avanzadas del Fluke 1630-2 FC se pueden destacar:

- Comprobación sin picas con una única pinza
- Registro de medidas: guarde hasta 32.760 medidas en la memoria en intervalos de registro predefinidos
- Límites de valores alto y bajo de alarma definidos por el usuario para evaluar rápidamente las medidas
- Filtro paso banda: función de filtro de paso banda seleccionable que elimina el ruido no deseado de medidas de corriente de fuga de CA
- El Fluke 1630-2 FC forma parte de un sistema en expansión formado por instrumentos de medida conectados y de software de mantenimiento de equipos. Visite la web [flukeconnect.com](http://flukeconnect.com) para más información sobre el sistema Fluke Connect.

### Accesorios opcionales

Transformador de núcleo dividido de 320 mm (12,7 pulgadas) para comprobación selectiva en tramos individuales de las torres.

### Comparación de comprobadores de resistencia de tierra

Comparación	Caída de potencial		Selectiva	Sin picas	Medida de 2 polos
	3 polos	4 polos/ terreno	1 pinza	2 pinzas	2 polos
Fluke 1621					
Fluke 1623-2					
Fluke 1625-2					
Fluke 1630-2 FC					



Kit completo 1625-2



Fluke 1630-2 FC con bucle de resistencia estándar y maletín de transporte

**Fluke.** *Manteniendo su mundo en marcha.*

**Fluke Ibérica, S.L.**  
Avda de la Industria, 32  
Edificio Payma  
28108 Alcobendas (Madrid)  
Spain  
Tel: +34 91 414 0100  
Fax: +34 91 414 0101  
E-mail: [cs.es@fluke.com](mailto:cs.es@fluke.com)  
Acceso a Internet: [www.fluke.es](http://www.fluke.es)

©2013, 2014, 2017 Fluke Corporation.  
Reservados todos los derechos. Información sujeta a modificación sin previo aviso.  
2/2017 4346628c-spa

No se permite ninguna modificación de este documento sin permiso escrito de Fluke Corporation.