



**FLUKE**®

**Principios,  
métodos de  
comprobación y  
aplicaciones**

Diagnosticar problemas  
eléctricos intermitentes

Evitar tiempo  
improductivo innecesario

Aprender principios  
de seguridad de  
conexión a tierra física

**Resistencia de  
tierra física**



# ¿Por qué conectar a tierra física?

## ¿Por qué realizar comprobaciones?

### ¿Por qué conectar a tierra física?

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

Sin un sistema eficaz de conexión a tierra física, podríamos estar expuestos al riesgo de descarga eléctrica, sin mencionar también errores de instrumentación, situaciones de distorsión de armónicas, problemas de factores de potencia y un sinnúmero de dilemas intermitentes. Si las corrientes de fallas no tienen un camino a la tierra física por medio de un sistema de conexión a tierra física correctamente diseñado y mantenido, encontrarán caminos no intencionados que podrían incluir a las personas. Las siguientes organizaciones cuentan con recomendaciones y/o normas para conectar a tierra física a fin de garantizar la seguridad:

- OSHA (Administración de Salud y Seguridad Ocupacional)
- NFPA (Asociación Nacional de Protección contra Incendios)
- ANSI/ISA (Instituto Nacional de Normas Norteamericanas y Sociedad de Instrumentos de Norteamérica)
- TIA (Asociación de la Industria de Telecomunicaciones)
- IEC (Comisión Electrotécnica Internacional)
- CENELEC (Comité Europeo para la Estandarización Electrotécnica)
- IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)

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

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

Con el correr 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 física y sus conexiones. De modo que aunque el sistema de conexión a tierra física cuando fue instalado inicialmente tenía valores bajos de resistencia a tierra física en tierra, la resistencia del sistema de conexión a tierra física puede aumentar si las varillas de conexión a tierra física son corroídas.

Los comprobadores de conexión a tierra física, como el Fluke 1623 y 1625, son herramientas indispensables para la resolución de problemas que 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 física o con una deficiente calidad de la alimentación.

Por esta razón se recomienda encarecidamente verificar todas las conexiones a tierra física y los dispositivos de conexión a tierra física al menos anualmente como parte de su plan normal de mantenimiento predictivo. Durante estas verificaciones periódicas, si se mide un aumento en la resistencia de más del 20 %, el técnico deberá investigar el origen del problema, y hacer la corrección para disminuir la resistencia, al reemplazar o agregar varillas de conexión a tierra física al sistema de conexión a tierra física.

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

El Artículo 100 del NEC, Código Eléctrico Nacional, define una conexión a tierra física como: "una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, entre un circuito eléctrico o equipo y la tierra, o a algún cuerpo conductor que sirve en lugar de la tierra." Al hablar con respecto a la conexión a tierra física, en realidad se está hablando de dos temas diferentes: conexión a tierra física y conexión

## Tabla de materias

a tierra física del equipo. La conexión a tierra física es una conexión intencional desde un conductor del circuito, por lo general, el neutro, a un electrodo de tierra física colocado en la tierra. La conexión a tierra física del equipo asegura que el equipo operativo dentro de una estructura esté correctamente conectado a tierra física. Estos dos sistemas de conexión a tierra física deben mantenerse separados, salvo en el caso de una conexión entre ambos sistemas. Esto impide diferencias en el potencial de tensión proveniente de un posible rayo al chocar los relámpagos. El propósito de una conexión de tierra física, además de la protección de las personas, plantas y equipos, es proporcionar un camino seguro para la disipación de corrientes de fallo, choques de relámpagos, descargas estáticas, señales EMI y RFI, e interferencia.

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

Existe bastante confusión con respecto a lo que constituye una buena conexión a tierra física y cuál debe ser el valor de la resistencia de conexión a tierra física. Idealmente, una conexión a tierra física debe tener una resistencia de cero ohmios.

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

La NEC ha indicado lo siguiente: "Asegúrese de que la impedancia del sistema a la conexión a tierra física 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 física y unión.

La meta en la resistencia de la conexión a tierra física es lograr el mínimo valor de resistencia de conexión a tierra física posible que tenga sentido tanto económica como físicamente.



¿Por qué realizar comprobaciones?  
Terrenos corrosivos.



¿Por qué conectar a tierra física?  
Golpes de relámpagos.



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

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

2

4

Conceptos básicos de la conexión a tierra física

6

Métodos de comprobación de las conexiones a tierra física en tierra

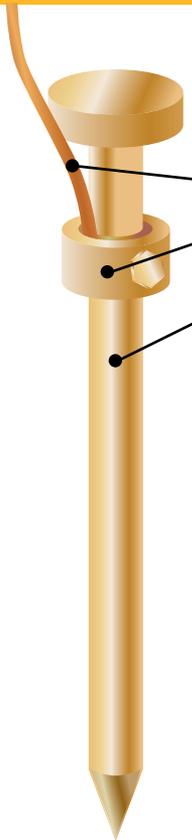
12

Medición de la resistencia de la conexión a tierra física



# Conceptos básicos de la conexión a tierra física

## Componentes de un electrodo de tierra física

- 
- Conductor de conexión a tierra física
  - Conexión entre el conductor de conexión a tierra física y el electrodo de tierra física
  - Electrodo de tierra física

## Ubicaciones de las resistencias

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

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

### (b) La resistencia del contacto de la tierra circundante al electrodo

El Instituto Nacional de Normas (una agencia gubernamental dentro del Departamento de Comercio de los EE. UU.) ha demostrado que esta resistencia es casi insignificante siempre y cuando el electrodo de tierra física esté libre de pintura, grasa, etc. y que el electrodo de tierra física esté en contacto firme con la tierra.

### (c) La resistencia del cuerpo circundante de la tierra

El electrodo de tierra física está rodeado por tierra que conceptualmente está compuesta de capas concéntricas de idéntico espesor. Dichas capas más cercanas al electrodo de tierra física tienen la cantidad de área más pequeña que resulta en el mayor grado de resistencia. Cada capa subsiguiente incorpora una mayor área, lo cual resulta en una menor resistencia. Esto finalmente llega a un punto donde las capas adicionales ofrecen poca resistencia a la tierra física circundante al electrodo de tierra física.

De modo que, tomando como base esta información, es necesario concentrarse en maneras de reducir la resistencia de la conexión a tierra física al instalar sistemas de conexión a tierra física.

## ¿Qué es lo que afecta la resistencia de conexión a tierra física?

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

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

### Longitud y profundidad del electrodo de tierra física

Una manera muy eficaz de disminuir la resistencia de la conexión a tierra física es hincar los electrodos a conexión a tierra física a una mayor profundidad. El terreno no tiene una resistividad constante, y puede ser muy impredecible. Resulta crítico al instalar el electrodo de tierra física que éste se encuentre debajo de la línea de congelamiento. Esto se hace para que la resistencia a la tierra física no se vea demasiado influenciada por el congelamiento del terreno circundante.

Por lo general, al duplicar la longitud del electrodo de tierra física, es posible reducir el nivel de resistencia en un 40 % adicional. Hay ocasiones en las que es físicamente imposible hincar las varillas de conexión a tierra física a una profundidad mayor; se trata de áreas compuestas de roca, granito, etc. En estos casos, son viables métodos alternativos, que incluyen el uso de cemento de conexión a tierra física.

### Diámetro del electrodo de tierra física

El aumento del diámetro del electrodo de tierra física tiene muy poco efecto en disminuir la resistencia. Por ejemplo, es posible duplicar el diámetro de un electrodo de tierra física, y la resistencia sólo disminuiría en un 10 %.

## Número de electrodos de tierra física

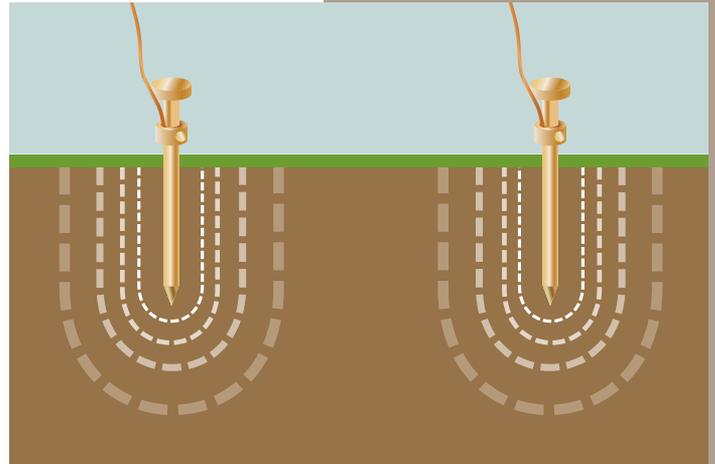
Otra manera de disminuir la resistencia de conexión a tierra física es utilizar varios electrodos de tierra física. En este diseño, se hincan más de un electrodo en la tierra, y se lo conecta en paralelo, a fin de reducir la resistencia. Para que los electrodos adicionales resulten eficaces, el espaciado de las varillas adicionales debe ser al menos igual a la profundidad de la varilla hincada. Sin un espaciado correcto de los electrodos de tierra física, sus esferas de influencia se intersecarán, y no se disminuirá la resistencia.

Para asistirle en instalar una varilla de conexión a tierra física que cumplirá sus requisitos específicos de resistencia, puede utilizar la tabla de resistencias de conexión a tierra física, que aparece a continuación. Recuerde, esto debe utilizarse únicamente como regla general, porque el terreno tiene capas, y raramente es homogéneo. Los valores de resistencia variarán ampliamente.

## Diseño del sistema de conexión a tierra física

Los sistemas simples de conexión a tierra física constan de un único electrodo de tierra física hincado en el terreno. El uso de un único electrodo de tierra física es la forma más común de realizar dicha conexión a tierra física, y puede encontrarse fuera de su casa o lugar de trabajo. Los sistemas complejos de conexión a tierra física constante de varias varillas de conexión a tierra física conectadas entre sí, de redes en malla o retícula, de placas de conexión a tierra física, y de bucles de conexión a tierra física. Estos sistemas típicamente se instalan en las subestaciones de generación de energía eléctrica, oficinas centrales y sitios de torres celulares.

Las redes complejas aumentan drásticamente la cantidad de contacto con la tierra circundante, y disminuyen las resistencias de conexión a tierra física.

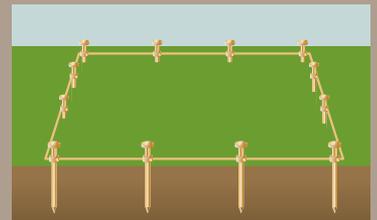


Cada electrodo de tierra física tiene su propia 'esfera de influencia'.

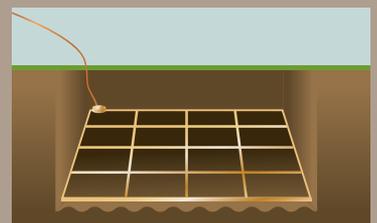
## Sistemas de conexión a tierra física



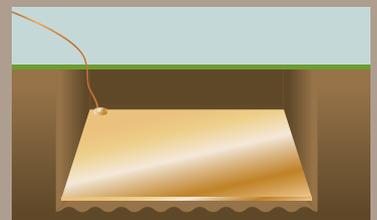
Electrodo único de conexión a tierra física



Varios electrodos de tierra física conectados entre sí



Red de malla



Placa de conexión a tierra física

Tipo de terreno	R <sub>B</sub> de resistividad del terreno	Resistencia de la conexión a tierra física					
		Profundidad del electrodo de tierra física (metros)			Tira de conexión a tierra física (metros)		
	ΩM	3	6	10	5	10	20
Terreno muy húmedo, pantanoso	30	10	5	3	12	6	3
Terreno de cultivo agrícola, terrenos fértiles y arcillosos	100	33	17	10	40	20	10
Terreno arcilloso arenoso	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 <sup>7</sup>	-	-	-	-	-	-

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

Hay cuatro tipos de métodos de comprobación de la conexión a tierra física disponibles:

- **Resistividad del terreno** (usando estacas)
- **Caida de potencial** (usando estacas)
- **Selectiva** (usando 1 pinza y estacas)
- **Sin estacas** (usando sólo 2 pinzas)

## Medición de la resistividad del terreno

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

La resistividad del terreno es más necesaria al determinar el diseño del sistema de conexión a tierra física para nuevas instalaciones (aplicaciones en campos verdes) para cumplir con sus requisitos de resistencia de la tierra física. Idealmente, encontraría una ubicación con la resistencia más baja posible. Pero tal como se explicó con anterioridad, las condiciones deficientes del terreno pueden superarse con sistemas más elaborados de conexión a tierra física.

La composición del terreno, el contenido de humedad y la temperatura todos tienen un impacto en la resistividad del terreno. El terreno raras veces es homogéneo y la resistividad del terreno variará geográficamente y a diferentes profundidades del terreno. El contenido de humedad cambia estacionalmente, varía de acuerdo con la naturaleza de las subcapas del terreno y la profundidad de la napa freática permanente. Dado que el terreno y el agua son generalmente más estables a estratos más profundos, se recomienda colocar las varillas de conexión a tierra física tan profundo como sea posible en la tierra; de ser posible, en la napa freática. Asimismo, deben instalarse las varillas de conexión a tierra física donde exista una temperatura estable; es decir, debajo de la línea de congelamiento.

Para que un sistema de conexión a tierra física resulte eficaz, deberá estar diseñado como para soportar las peores condiciones posibles.

### ¿Cómo es posible calcular la resistividad del terreno?

El procedimiento de medición descrito a continuación utiliza el método Wenner aceptado universalmente, que fue desarrollado por el Dr. Frank Wenner de la Oficina de Normas de EE. UU. en 1915. (F. Wenner, A Method of Measuring Earth Resistivity [Un método de medición de la resistividad de la tierra]; 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 promedio del terreno hasta la profundidad A, en ohmios-cm)

$$\pi = 3,1416$$

A = la distancia entre los electrodos, en cm

R = el valor de resistencia medida, en ohmios, proveniente del instrumento de comprobación

**Nota:** Divida ohmios-centímetros por 100 para convertir a ohmios-metros. Simplemente esté atento a las unidades.

**Ejemplo:** Ha decidido instalar varillas de conexión a tierra física de un metro de largo como parte de su sistema de conexión a tierra física. Para medir la resistividad del terreno a una profundidad de un metro, se ha considerado un espaciamiento entre los electrodos de prueba de tres metros.

Para medir la resistividad del terreno, encienda el Fluke 1625 y lea el valor de resistencia en ohmios. En este caso, suponga que la lectura de resistencia es de 100 ohmios. Por lo tanto, en este caso sabemos lo siguiente:

$$A = 1 \text{ metro, y}$$

$$R = 100 \text{ ohms}$$

Entonces, la resistividad del terreno sería igual a:

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

$$\rho = 2 \times 3,1416 \times 1 \text{ metro} \times 100 \text{ ohmios}$$

$$\rho = 628 \Omega\text{m}$$

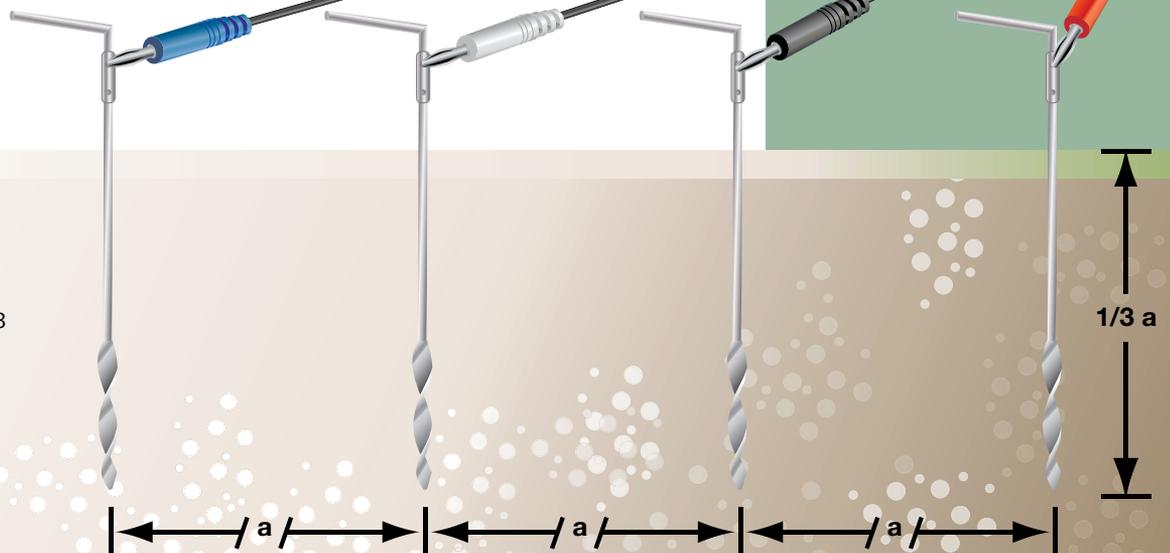
## ¿Cómo es posible medir la resistencia del terreno?

Para comprobar la resistividad del terreno, conecte el comprobador de conexión a tierra física tal como se muestra a continuación.

Tal como se puede observar, se posicionan en línea recta sobre el terreno cuatro estacas de conexión a tierra física, equidistantes entre sí. La distancia entre las estacas de conexión a tierra física debe ser de al menos tres veces mayor que la profundidad de la estaca. De modo que si la profundidad de cada estaca de conexión a tierra física es de un pie (0,30 metros), asegúrese de la distancia entre estacas sea mayor que tres pies (0,91 metros). El Fluke 1625 genera una corriente conocida a través de las dos estacas externas de conexión a tierra física y la caída del potencial de voltaje se mide entre las dos estacas internas de conexión a tierra física. Usando la ley de Ohm ( $V = IR$ ), el comprobador Fluke calcula automáticamente la resistencia del terreno.

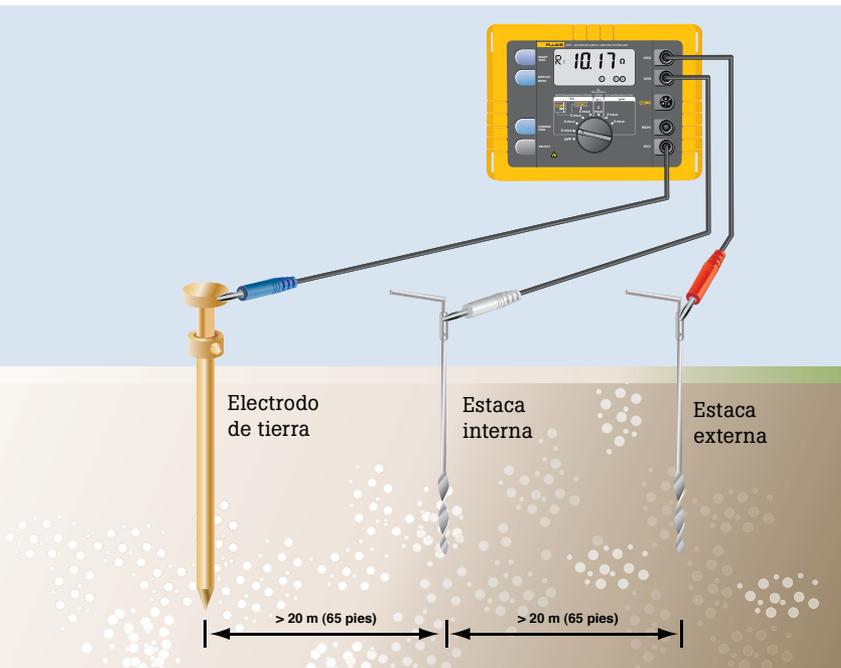
Dado que los resultados de medición con frecuencia quedan distorsionados e invalidados por la interferencia de piezas subterráneas de metal, acuíferas subterráneas, etc., siempre se recomienda tomar mediciones adicionales en donde los ejes de las estacas se gire 90 grados. Al cambiar la profundidad y la distancia varias veces, se produce un perfil que puede determinar un sistema apropiado de resistencia del terreno.

Las mediciones de resistividad del terreno con frecuencia son perturbadas por la existencia de corrientes en el terreno y sus armónicas. Para evitar que ocurra esta situación, el Fluke 1625 utiliza un sistema de control automático de frecuencia (AFC). El mismo selecciona automáticamente la frecuencia de comprobación con la menor cantidad de ruido, permitiéndole obtener una lectura clara.



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

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



## Medición de caída de potencial

El método de comprobación de la caída del potencial se utiliza para medir la capacidad de un sistema de conexión a tierra física o un electrodo individual para disipar la energía de un sitio.

### ¿Cómo funciona la comprobación de la caída de potencial?

En primer lugar, el electrodo de interés de conexión a tierra física debe desconectarse de su conexión al sitio. En segundo lugar, se conecta el comprobador al electrodo de tierra. Luego, para realizar la comprobación de caída de potencial de 3 polos, se colocan dos estacas de conexión a tierra en el terreno, en línea recta—alejadas del electrodo de tierra. Normalmente, alcanza con un espaciamiento de 20 metros (65 pies). Para conocer más detalles sobre cómo colocar las estacas, consulte la sección siguiente.

El Fluke 1625 genera una corriente conocida entre la estaca externa (estaca auxiliar de conexión a tierra) y el electrodo de tierra, mientras que se mide el potencial de caída

de tensión entre la estaca interna de tierra y el electrodo de tierra. Utilizando la ley de Ohm ( $V = IR$ ), el comprobador calcula automáticamente la resistencia del electrodo de tierra.

Conecte el comprobador de conexión a tierra física tal como se muestra en la ilustración. Pulse START y lea el valor de  $R_E$  (resistencia). Éste es el valor real del electrodo de tierra física bajo comprobación. Si este electrodo de tierra física está en paralelo o en serie con otras varillas de conexión a tierra física, el valor de  $R_E$  resultará ser el valor total de todas las resistencias.

### ¿Cómo se colocan las estacas?

Para lograr el mayor grado de exactitud al realizar una comprobación de resistencia de conexión a tierra física de 3 polos, resulta esencial colocar la sonda fuera de la esfera de influencia del electrodo de tierra física bajo comprobación y la conexión auxiliar a tierra.

Si no se sale de la esfera de influencia, las áreas eficaces de resistencia se superpondrán e invalidarán cualquier medición que estuviera tomando. La tabla es una guía para configurar apropiadamente la sonda (estaca interna) y la conexión auxiliar a tierra física (estaca externa).

Para comprobar la exactitud de los resultados y asegurar que las estacas de conexión a tierra física estén fuera de las esferas de influencia, modifique la posición de la estaca interna (sonda) 1 metro (3 pies) en cualquier dirección y tome una nueva medición. Si hay un cambio significativo en la lectura (30 %), necesitará aumentar la distancia entre la varilla de conexión a tierra física bajo comprobación, la estaca interna (sonda) y la estaca externa (conexión auxiliar a tierra física) hasta que los valores medidos permanezcan bastante constantes al modificar la posición de la estaca interna (sonda).

Profundidad del electrodo de tierra física	Distancia a la estaca interna	Distancia a la estaca 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

## Medición selectiva

La comprobación selectiva es muy similar a la comprobación de caída de potencial, y proporciona las mismas mediciones, pero de una manera mucho más segura y sencilla. Esto se debe a que, en el caso de la comprobación selectiva, el electrodo de tierra, que es el que interesa, no necesita desconectarse de su conexión al sitio. El técnico no debe ponerse en peligro al desconectar la conexión a tierra física, ni poner en peligro al demás personal ni al equipo eléctrico dentro de una estructura sin conexión a tierra física.

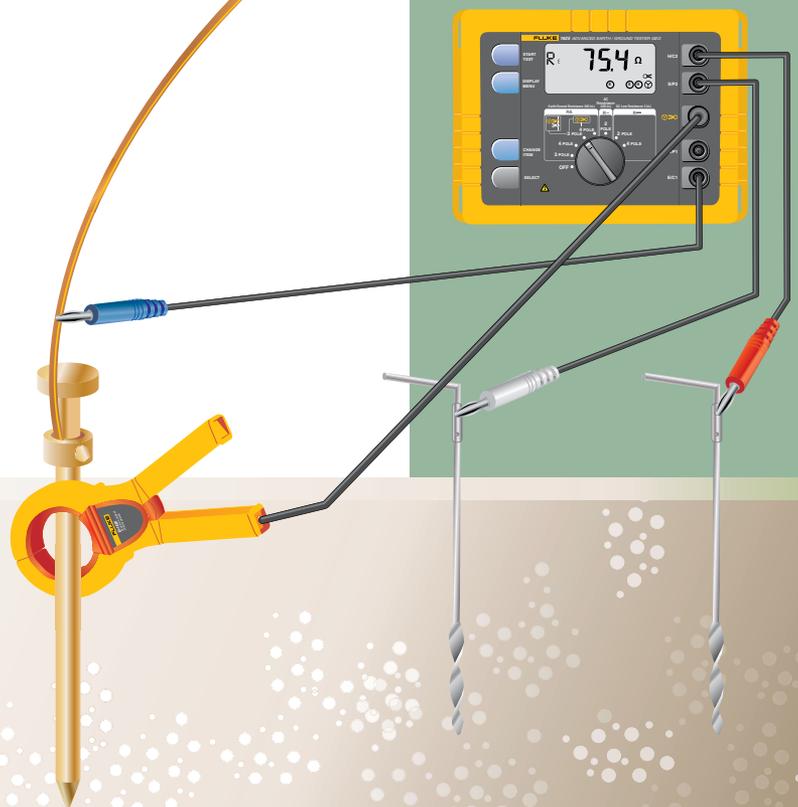
Tal como sucede en el caso de la comprobación de caída de potencial, se colocan dos estacas de conexión a tierra en el terreno, en línea recta, alejadas del electrodo de tierra. Normalmente, alcanza con un espaciamiento de 20 metros (65 pies). El comprobador luego se conecta al electrodo de tierra, que es que interesa, con la ventaja de que no es necesario desconectar la conexión al sitio. En cambio, se coloca una pinza especial alrededor del electrodo de tierra, la cual elimina los efectos de las resistencias en paralelo de un sistema conectado a tierra física, de modo que sólo se mide el electrodo de tierra, que es el que interesa.

Tal como se explicó anteriormente, el Fluke 1625 genera una corriente conocida entre la estaca externa (estaca auxiliar de conexión a tierra) y el electrodo de tierra, mientras que se mide el potencial de caída de tensión entre la estaca interna de tierra y el electrodo de tierra. Con la pinza, sólo se mide la corriente que fluye a través del electrodo de tierra, que es el que interesa. La corriente generada también fluirá a través de otras resistencias en paralelo, pero sólo se utiliza la corriente a través de la pinza (es decir, la corriente a través del electrodo de tierra, que es el que interesa) para calcular la resistencia ( $V = IR$ ).

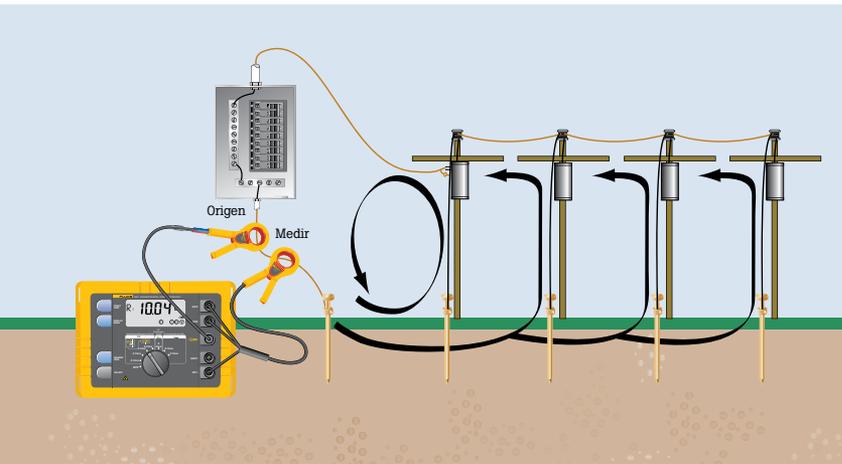
En caso de que deba medirse la resistencia total del sistema de conexión a tierra física, entonces deberá medirse la resistencia de cada electrodo de tierra, colocando la pinza alrededor de cada electrodo individual de tierra. Luego, puede determinarse la resistencia total del sistema de conexión a tierra física, mediante cálculos.

La comprobación de las resistencias de los electrodos individuales de conexión a tierra física de las torres de transmisión de alta tensión, con hilos suspendidos de conexión a tierra física o hilos estáticos, requiere la desconexión de dichos hilos. Si una torre tiene más de una conexión a tierra física en su base, también éstas deberán desconectarse y comprobarse, una por una. No obstante ello, el Fluke 1625 tiene un accesorio opcional, un transformador de corriente engrapable de 320 mm (12,7 pulg) de diámetro, que puede medir las resistencias individuales de cada tramo, sin desconectar ninguna derivación de conexión tierra física ni ningún hilo suspendido estático o de conexión a tierra física.

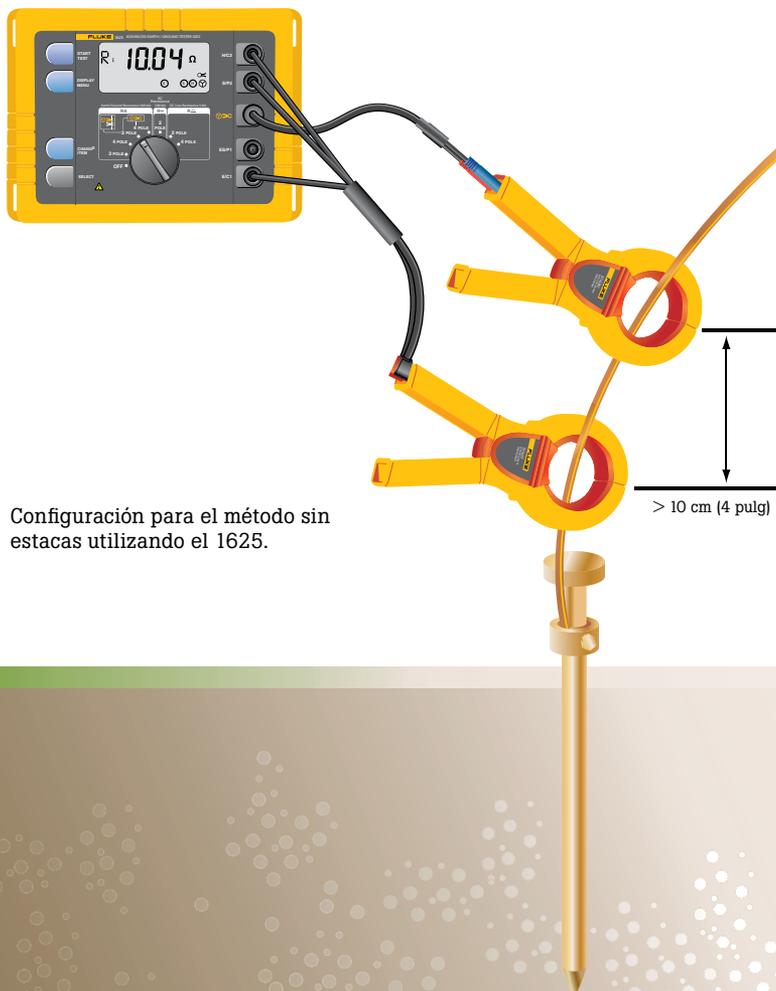
Conecte el comprobador de conexión a tierra física, tal como se ilustra. Pulse START y lea el valor de  $R_E$ . Éste es el valor real de la resistencia del electrodo de tierra física bajo comprobación.



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



Comprobación de rutas de corriente en el método sin estacas.



Configuración para el método sin estacas utilizando el 1625.

## Medición sin estacas

El comprobador de tierra física a tierra Fluke 1625 puede medir las resistencias de bucles de conexión de tierra física a tierra para sistemas con múltiples conexiones a tierra física, utilizando únicamente pinzas amperimétricas. Esta técnica de comprobación elimina la actividad peligrosa y engorrosa de desconectar conexiones paralelas a tierra física, así como el proceso de encontrar ubicaciones idóneas para estacas auxiliares de conexión a tierra física. También puede realizar pruebas de conexión a tierra física en lugares que no hubiera considerado antes: en el interior de edificios, en torres de alimentación eléctrica o en cualquier lugar en donde no tenga acceso al terreno mismo.

Con este método de prueba, se colocan dos pinzas alrededor de la varilla de conexión a tierra física o del cable de conexión, conectando cada una de ellas al comprobador. No se utiliza ninguna estaca de conexión a tierra física. Se induce una tensión conocida en una pinza y se mide la corriente utilizando la segunda pinza. El comprobador automáticamente determina la resistencia del bucle de tierra física en esta varilla de conexión a tierra física. Si sólo hay una ruta a la tierra, como en muchas situaciones residenciales, el método sin estacas no proporcionará un valor aceptable, y deberá usarse el método de prueba por caída de potencial.

El Fluke 1625 funciona en base al principio de que en los sistemas conectados en paralelo o con varias conexiones de tierra física, la resistencia neta de todas las rutas de conexión a tierra física será extremadamente baja, en comparación con cualquier ruta individual (aquella bajo comprobación). Por lo tanto, la resistencia neta de todas las resistencias paralelas de la ruta de retorno es efectivamente cero. La medición sin estacas sólo mide las resistencias individuales de las varillas de conexión a tierra física en paralelo con los sistemas de conexión a tierra física. Si el sistema de conexión a tierra física no es paralelo a la tierra, entonces tendrá un circuito abierto, o bien, estará midiendo la resistencia del bucle de conexión a tierra física.

## Mediciones de impedancia de tierra física

Al intentar calcular posibles corrientes de cortocircuito en plantas de energía eléctrica y otras situaciones de alta tensión/corriente, la determinación de la compleja impedancia de conexión a tierra física es importante, dado que la impedancia estará compuesta de elementos inductivos y capacitivos. Dado que se conoce la inductividad y la resistividad en la mayoría de las casos, la impedancia real puede determinarse utilizando un cómputo complejo.

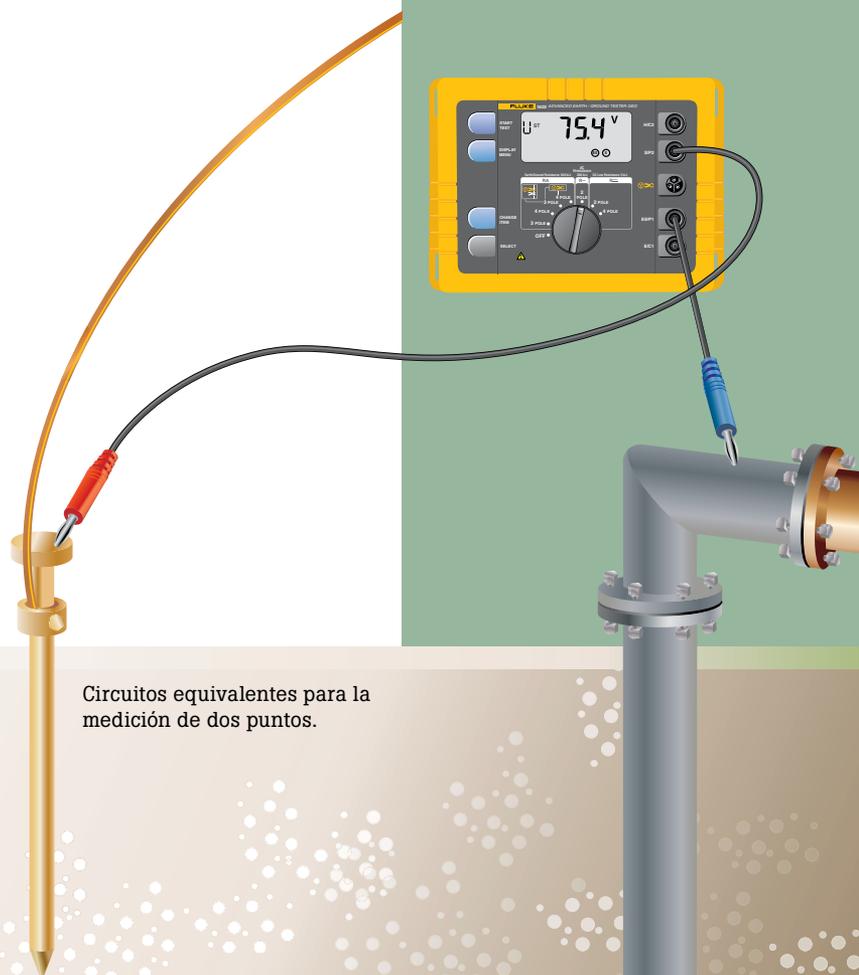
Dado que la impedancia depende de la frecuencia, el Fluke 1625 utiliza una señal de 55 Hz para que este cálculo sea tan cercano a la frecuencia de operación del voltaje como sea posible. Esto asegura que la medición sea cercana al valor de la frecuencia verdadera de operación. Mediante esta función del Fluke 1625, es posible una medición directa exacta de la impedancia de conexión a tierra física.

Los técnicos de los servicios eléctricos públicos, al comprobar las líneas de transmisión de alta tensión, tienen interés en dos cosas: la resistencia de conexión a tierra física en el caso del golpe de un relámpago, y la impedancia de todo el sistema en el caso de un cortocircuito en un punto específico 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 conexión a masa de dos polos

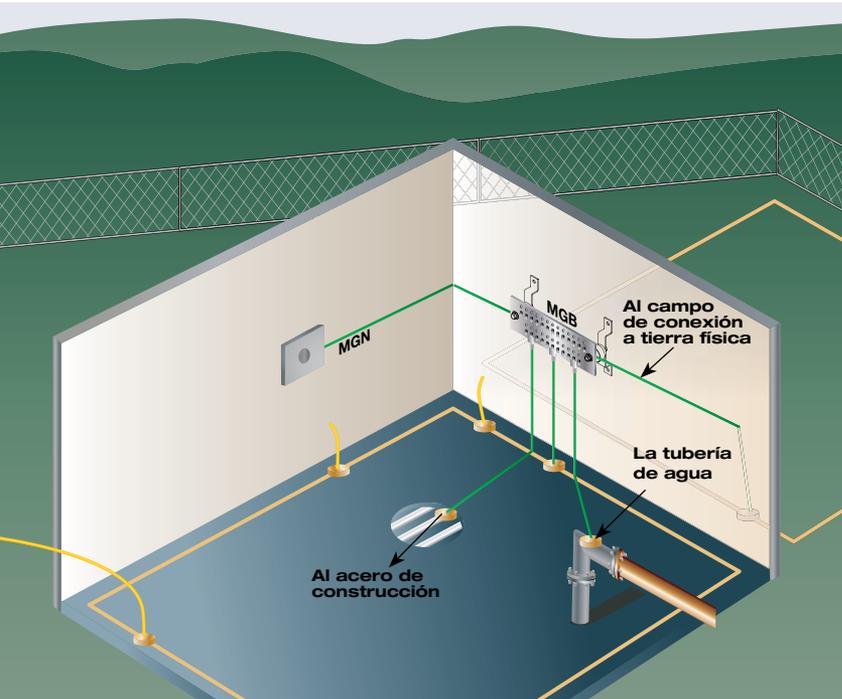
En situaciones en las que el hincado de estacas de conexión a tierra física no es práctico ni posible, los comprobadores Fluke 1623 y 1625 le brindan la capacidad de realizar mediciones de resistencia/continuidad de conexión a tierra física de dos polos, tal como se indica a continuación.

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



Circuitos equivalentes para la medición de dos puntos.

# Medición de la resistencia de la conexión a tierra física



La disposición de una oficina central típica.

## En oficinas centrales

Al realizar la auditoría de conexión a tierra física de una oficina central, se requieren tres mediciones diferentes.

Antes de realizar la comprobación, localice la barra maestra de conexión a tierra física (MGB) dentro de la oficina central para determinar el tipo de sistema de conexión a tierra física que existe. Tal como se muestra en esta página, la MGB tendrá conductores de conexión a tierra física conectados:

- al neutro de múltiples conexiones a tierra física (MGN) o al servicio entrante,
- al campo de conexión a tierra física,
- a la tubería de agua, y
- al acero estructural o de construcción

En primer lugar, realice una comprobación sin estacas en todas las conexiones a tierra física provenientes de la MGB. El propósito es

asegurar que todas las conexiones a tierra física estén conectadas, especialmente el MGN. Es importante observar que no se está midiendo la resistencia individual, sino la resistencia de bucle del elemento rodeado por la pinza. Tal como se muestra en la figura 1, conecte el Fluke 1625 o 1623 y ambas pinzas, la de inducción y la de detección, que se colocan alrededor de cada conexión para medir la resistencia del bucle del MGN, el campo de conexión a tierra física, la tubería de agua y el acero de construcción.

En segundo lugar, realice la comprobación de caída de potencial de 3 polos de la totalidad del sistema de conexión a tierra física, conectando a la MGB tal como se ilustra en la figura 2. Para llegar a la tierra remota, muchas compañías telefónicas utilizan pares de cables no utilizados que se extienden hasta una milla de distancia. Registre la medición y repita esta comprobación al menos anualmente.

En tercer lugar, mida las resistencias individuales del sistema de conexión a tierra física usando la comprobación selectiva del Fluke 1625 o 1623. Conecte el comprobador de Fluke, tal como se muestra en la figura 3. Mida la resistencia del MGN; el valor es la resistencia de ese tramo en particular del MGB. Luego, mida el campo de conexión a tierra física. Esta lectura es el valor real de resistencia del campo de conexión a tierra física de la oficina central. Ahora, continúe con la tubería de agua, y luego repita para la resistencia del acero de construcción. Puede verificar fácilmente la exactitud de estas mediciones por medio de la ley de Ohm. La resistencia de los tramos individuales, cuando se la calcula, debe ser igual a la resistencia de todo el sistema dado (considere también un error razonable, dado que es posible que no se midan todos los elementos de conexión a tierra física).

Estos métodos de comprobación proporcionan la medición más exacta de una oficina central, porque le ofrece las resistencias individuales y su comportamiento real en un sistema de conexión a tierra física. Si bien serán exactas, las mediciones no mostrarían cómo se comporta el sistema como una red, porque en el caso de un rayo o una corriente de fallo, todo está conectado.

**Para comprobar esto, necesita realizar algunas pruebas adicionales en resistencias individuales.**

Primero, realice la prueba de caída de potencial de 3 polos en cada tramo del MGB y registre cada medición. Usando la ley de Ohm una vez más, estas mediciones deberían ser iguales a la resistencia de todo el sistema. A partir de los cálculos, podrá ver que se encuentra a una diferencia de un 20 % a un 30 % del valor total de  $R_E$ .

Finalmente, mida las resistencias de los diversos tramos del MGB usando el método selectivo sin estacas. Funciona como el método sin estacas, pero difiere en la manera en que utilizamos las dos pinzas separadas. Colocamos la pinza de voltaje de inducción alrededor del cable que se dirige hacia el MGB, y dado que se conecta el MGB a la alimentación entrante, que es paralela al sistema de conexión a tierra física, hemos logrado dicho requerimiento.

Tome la pinza de detección y colóquela alrededor del cable de conexión a tierra física que sale hacia el campo de conexión a tierra física. Cuando medimos la resistencia, ésta es la resistencia real del campo de conexión a tierra física, además de la ruta paralela del MGB. Y dado que este valor debe ser muy bajo en cuanto al valor de ohmios, no debiera tener un efecto real en la lectura medida. Este proceso puede repetirse para los otros tramos de la barra de conexión a tierra física; es decir, la tubería de agua y el acero estructural.

Para medir el MGB por medio del método selectivo sin estacas, coloque la pinza de voltaje de inducción alrededor de la línea a la tubería de agua (dado que la tubería de agua de cobre debe tener una resistencia muy baja) y su lectura será la resistencia solamente para el MGN.

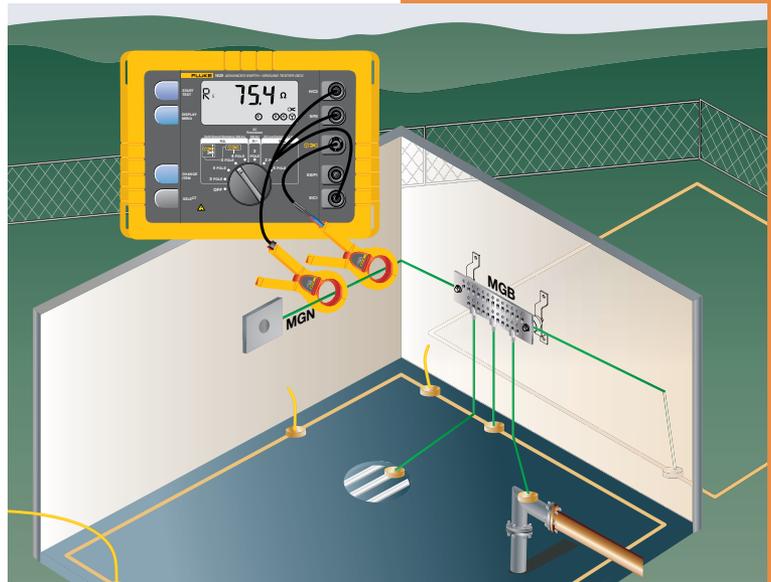


Figura 1: Comprobación sin estacas de una oficina central.

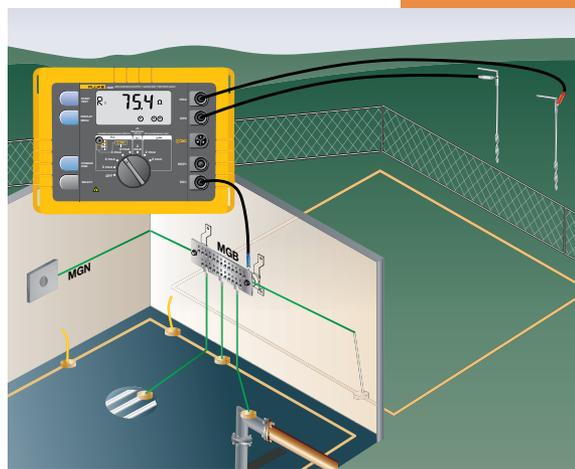


Figura 2: Realice la comprobación de caída de potencial de 3 polos de todo el sistema de conexión a tierra física.

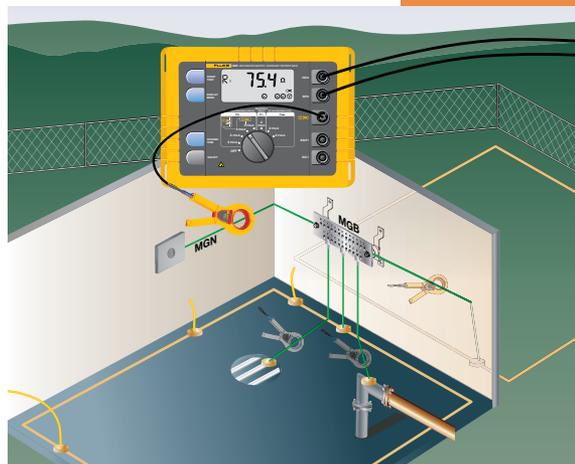
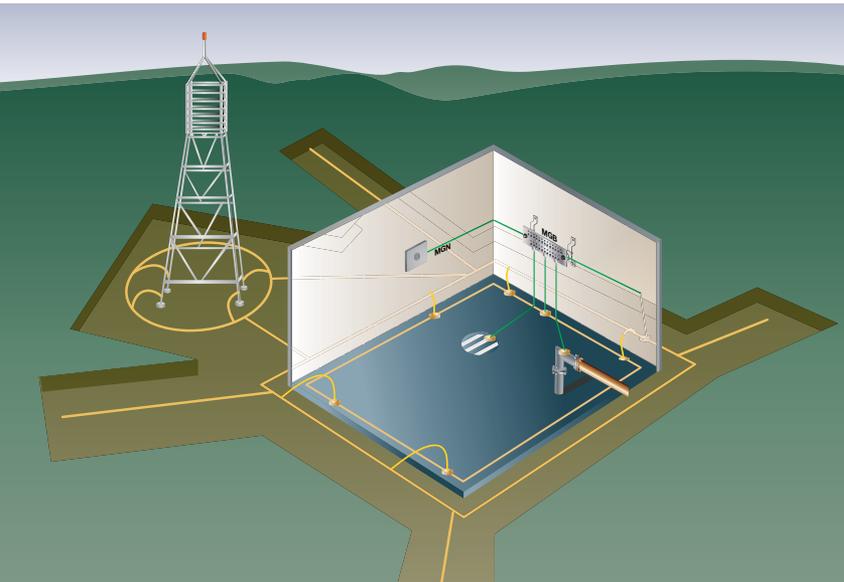


Figura 3: Mida las resistencias individuales del sistema de conexión a tierra física usando la prueba selectiva.

# Más aplicaciones de resistencia de tierra física



Una configuración típica en una instalación de torre celular.

## Sitios de aplicación

Hay otras cuatro aplicaciones particulares en las que puede usar el Fluke 1625 para medir la capacidad del sistema de conexión a tierra física.

### Sitios celulares/de microondas y torres de radio

En la mayoría de las ubicaciones, hay una torre de 4 patas con cada pata conectada individualmente a tierra física. Estas conexiones a tierra física se conectan luego con un cable de cobre. Al lado de la torre, se encuentra en edificio con el sitio celular, que aloja todo el equipo de transmisión. En el interior del edificio hay una conexión a tierra física de halo y un MGB, con la conexión a tierra física de halo conectada al MGB. El edificio del sitio celular se conecta a tierra en las 4 esquinas, conectadas al MGB por medio de un cable de cobre y las 4 esquinas también se interconectan por medio del hilo de cobre. También hay una conexión entre el anillo de conexión a tierra física del edificio y el anillo de conexión a tierra física de la torre.

## Subestaciones eléctricas

Una subestación es una estación subsidiaria en un sistema de transmisión y distribución donde el voltaje normalmente se transforma de un valor alto a un valor bajo. Una subestación típica contendrá estructuras de terminación de línea, sistemas de conmutadores de alta tensión, uno o más transformadores de potencia eléctrica, sistemas de conmutadores de baja tensión, protección contra sobrecargas, controles y dosificación.

## Sitios remotos de conmutación

Los sitios remotos de conmutación también se conocen como sitios activos, donde están en funcionamiento los concentradores de las líneas digitales y otro equipo de telecomunicaciones. El sitio remoto por lo general está conectado a tierra física en cualquiera de los extremos del armario y luego tendrá una serie de estacas de conexión a tierra física alrededor del armario conectadas por medio de hilos de cobre.

## Protección contra rayos – en sitios comerciales/industriales

La mayoría de los sistemas de protección contra corrientes de fallos por rayos siguen el diseño de tener las cuatro esquinas del edificio conectadas a tierra física, por lo general mediante cable de cobre. Según el tamaño del edificio y el valor de resistencia que fue diseñado a lograr, variará el número de varillas de conexión a tierra física.

## Pruebas recomendadas

Se requiere que los usuarios finales realicen las mismas tres pruebas en cada aplicación: medición sin estacas, medición de caída de potencial de 3 polos y medición selectiva.

### Medición sin estacas

Primero, realice una medición sin estacas en:

- Las patas individuales de la torre y las cuatro esquinas del edificio  
**(sitios celulares/torres)**
- Todas las conexiones a tierra física  
**(subestaciones eléctricas)**
- Las líneas tendidas al sitio remoto  
**(conmutación remota)**
- Las estacas de conexión a tierra física del edificio  
**(protección contra rayos)**

Para todas las aplicaciones, ésta no es una medición verdadera de resistencia de conexión a tierra física de la red. Se trata principalmente de una comprobación de continuidad para verificar que el sitio esté conectado a tierra física, que existe una conexión eléctrica y que el sistema puede transmitir corriente.

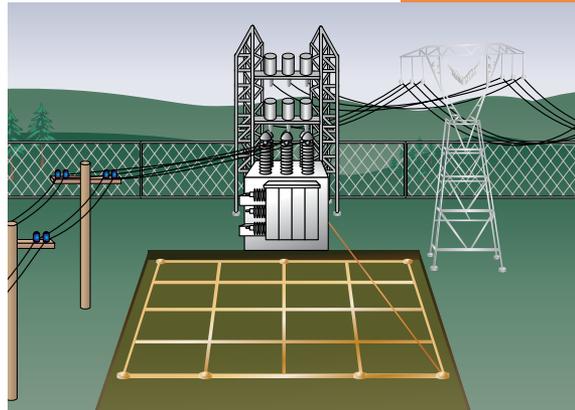
### Medición de caída de potencial de 3 polos

En segundo lugar, se mide la resistencia de todo el sistema por medio del método de caída de potencial de 3 polos. Tenga en cuenta las reglas para colocar las estacas. Esta medición debe registrarse, y las mediciones deben realizarse al menos dos veces al año. Esta medición es el valor de resistencia para todo el sitio.

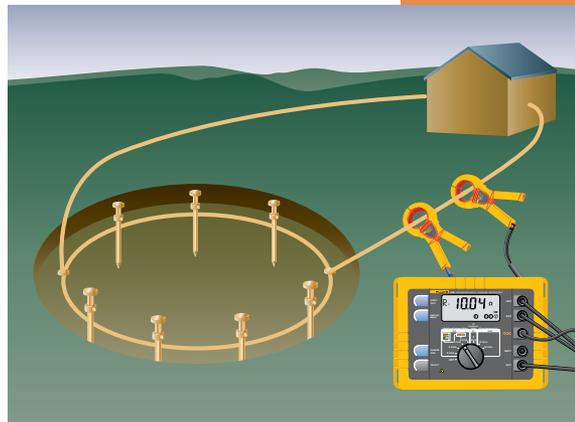
### Medición selectiva

Por último, se debe medir las conexiones individuales de tierra física mediante la prueba selectiva. Esto verificará la integridad de las conexiones individuales de tierra física, sus conexiones, y determinarán si el potencial de conexión a tierra física es regularmente uniforme todo a lo largo. Si cualquiera de las mediciones 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 (sitios celulares/torres)
- Varillas individuales de conexión a tierra física y sus conexiones (subestaciones eléctricas)
- Ambos extremos del sitio remoto (conmutación remota)
- Las cuatro esquinas del edificio (protección contra rayos)



Una configuración típica en una subestación eléctrica.



El uso de la comprobación sin estacas en un sitio de conmutación remota.



El uso de la comprobación selectiva en un sistema de protección contra rayos.

# Productos de conexión a tierra física

FLUKE®



Fluke 1625 GEO avanzado  
Comprobador de tierra física



Fluke 1623 GEO básico  
Comprobador de masa/tierra

## El comprobador más completo

Los modelos 1623 y 1625 de Fluke son comprobadores distintivos de tierra física que pueden realizar los cuatro tipos de mediciones de conexión a tierra física:

- Caída de potencial de 3 y 4 polos (usando estacas)
- Comprobación de resistividad del terreno de 4 polos (usando estacas)
- Comprobación selectiva (usando 1 pinza y estacas)
- Comprobación sin estacas (usando sólo 2 pinzas)

El juego completo del modelo incluye el comprobador Fluke 1623 o 1625, un conjunto de dos conductores de prueba, 4 estacas de conexión a tierra física, 3 carretes de cable con alambres, 2 pinzas, baterías y el manual de uso—todo dentro de un robusto estuche de transporte de Fluke.



El kit completo

## Características avanzadas del Fluke 1625

Las características avanzadas del Fluke 1625 incluyen:

- **Control automático de frecuencia (AFC)**—identifica la interferencia existente y elige una frecuencia de medición para minimizar su efecto, proporcionando un valor más preciso de conexión a tierra física
- **Medición R\***—calcula la impedancia de la tierra física a 55 Hz para reflejar con mayor precisión la resistencia de tierra física que detectaría una conexión de falla a tierra
- **Límites ajustables**—para agilizar la comprobación

## Accesorios opcionales

Transformador de núcleo dividido de 320 mm (12,6 pulg) para realizar la comprobación selectiva en patas individuales de las torres.

Para obtener más información visite [www.fluke.com](http://www.fluke.com)

**Fluke.** *Manteniendo su mundo en funcionamiento continuo.™*

**Fluke Corporation**  
PO Box 9090, Everett, WA EE. UU. 98206

**Fluke Europe B.V.**  
PO Box 1186, 5602 BD  
Eindhoven, Países Bajos

**Para obtener información adicional, póngase en contacto con:**

En EE.UU. (800) 443-5853 o  
Fax (425) 446-5116

En Europa/Medio Oriente/África  
+31 (0) 40 2675 200 o  
Fax +31 (0) 40 2675 222

En Canadá, al (800)-36-FLUKE o  
Fax (905) 890-6866

Desde otros países  
+1 (425) 446-5500 o  
Fax +1 (425) 446-5116

Acceso a Internet: <http://www.fluke.com>

©2006 Fluke Corporation.  
Todos los derechos reservados.  
Impreso en EE.UU. 6/2006  
11129-spa 2713341 B-E-N Rev A