

► Medida de la resistencia de la toma de tierra en edificios comerciales, residenciales y en plantas industriales

Viditec
www.viditec.com.ar

La puesta a tierra de una instalación es la unión eléctrica directa mediante conductores eléctricos sin fusibles ni protección alguna de una parte del circuito eléctrico y/o de las partes conductoras no perteneciente a este, a una toma de tierra constituida por un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo.

El sistema de puesta a tierra deberá evitar que aparezcan diferencias de potencial peligrosas en las masas metálicas de la instalación, y permitirá el paso a tierra de las corrientes de fuga de los receptores electrónicos, así como de las altas corrientes de descarga de origen atmosférico.

Con el propósito de asegurar la fiabilidad permanente de los sistemas de puesta a tierra, hay publicados distintos estándares de ingeniería y normas nacionales que definen los correspondientes procedimientos de mantenimiento de las tomas de tierra. Por ejemplo, en España, el REBT 2002 en su ITC-BT-18 especifica que "Personal técnicamente competente efectuará la comprobación de la instalación de puesta a tierra, al menos anualmente, en la época en la que el terreno esté mas seco. Para ello, se medirá la resistencia de tierra, y se repararán con carácter urgente los defectos que se encuentren".

Esta nota de aplicación explica la función básica de una instalación de puesta a tierra y describe los métodos de medida de su resistencia eléctrica: método de caída de potencial -a tres o cuatro hilos-, método selectivo, método de la medida sin picas y método bipolar.

¿Por qué conectar a tierra?

Las puestas a tierra de la mayoría de las instalaciones eléctricas cumplen con tres propósitos básicos:

- » Limitan la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas de la instalación (protección frente a contactos indirectos). Para ello, derivan a tierra las correspondientes corrientes de defecto.
- » Proveen una ruta segura de circulación a tierra de las eventuales descargas atmosféricas, y de las corrientes de fuga de los receptores electrónicos.
- » Ofrecen una tensión nula de referencia para los receptores electrónicos de la propia instalación, así como para las señales de datos que sirven para comunicar los equipos informáticos.

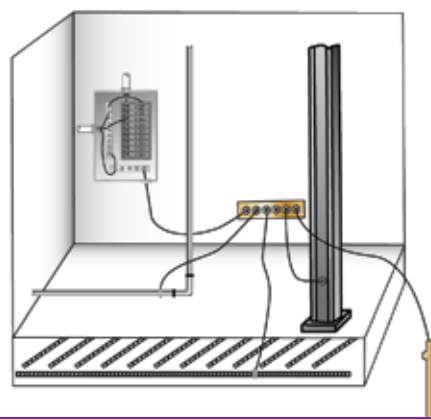


Figura 1. Instalación general de puesta a tierra

La figura 1 muestra una instalación de puesta a tierra genérica.

Según el REBT 2002, para la toma de tierra se pueden utilizar electrodos formados por: barras, tubos; pletinas, conductores desnudos; placas; anillos o mallas metálicas constituidos por los elementos anteriores o sus combinaciones; armaduras de hormigón enterradas (con excepción de las armaduras pretensadas); otras estructuras enterradas que se demuestre que son apropiadas.

El tipo y la profundidad de enterramiento de las tomas de tierra deben ser tales que la posible pérdida de humedad del suelo, la presencia del hielo u otros efectos climáticos, no aumenten la resistencia de la toma de tierra por encima del valor previsto. La profundidad nunca será inferior a medio metro.

Debe preverse sobre los conductores de tierra y en lugar accesible, un dispositivo que permita medir la resistencia de la toma de tierra correspondiente. Este dispositivo puede estar combinado con el borne principal de tierra, debe ser desmontable necesariamente por medio de un útil, tiene que ser mecánicamente seguro y debe asegurar la continuidad eléctrica.

Resistencia de la toma de tierra

La resistencia de la toma de tierra depende de dos factores: la resistividad del terreno circundante y la estructura del electrodo.

La resistividad es una propiedad que poseen todos los materiales y que define su capacidad para conducir la corriente. La determinación de la resistividad del terreno es una tarea complicada por los siguientes factores:

- » Depende de la composición del suelo (por ejemplo, arcilla, grava y arena).
- » Puede variar incluso en pequeñas distancias debido a la mezcla de diferentes materiales.
- » Depende del contenido mineral (por ejemplo, sales).
- » Varía con la compresión y puede cambiar con el tiempo debido a la sedimentación.
- » Cambia con las temperaturas y, por lo tanto, con la época del año. La resistividad aumenta cuando disminuye la temperatura.

- » Puede verse afectada por depósitos de metal enterrados, tuberías, refuerzos de acero para hormigón, etc.
- » Varía con la profundidad.

Puesto que la resistividad puede disminuir con la profundidad, una forma de reducir la impedancia de la toma de tierra es colocar el electrodo a mayor profundidad. Otros métodos comunes para aumentar la eficacia de un electrodo son el uso de una serie de picas, un anillo conductor o una malla. En caso de varias picas, para aumentar la eficacia, cada pica debe encontrarse fuera del "área de influencia" de las demás (ver la figura 2). Como regla general, las picas deben respetar una separación superior a su longitud. Por ejemplo, las varillas de 2,5 metros se deben separar más de cinco metros para alcanzar el grado óptimo de eficacia.

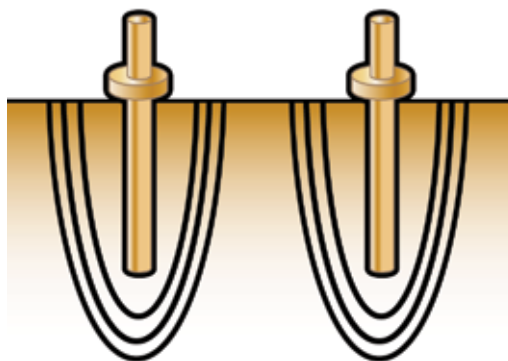


Figura 2. Los electrodos de conexión a tierra tienen "áreas de influencia" a su alrededor

Existen, de nuevo, distintas normas que definen diferentes límites aceptables para la impedancia del electrodo. En España, la Guía técnica de aplicación GUÍA -BT- Anexo 4: "Instalaciones interiores en viviendas. Prescripciones generales de instalación" recomienda una resistencia de la toma de tierra inferior a quince ohms (15Ω) en edificios con pararrayos, e inferior a treinta y siete ohms (37Ω) en edificios sin pararrayos. Por otra parte, la normativa que

aplica a las infraestructuras técnicas de comunicaciones obliga a que el valor de la toma de tierra en estas instalaciones sea inferior a diez ohms (10Ω). En Estados Unidos, la NEC (Código Eléctrico Nacional, por sus siglas en inglés) especifica veinticinco ohms (25Ω) como límite aceptable para la impedancia de la puesta a tierra. Por terminar de dar referencias, la norma IEEE 142 "Prácticas recomendadas para la conexión a tierra de sistemas eléctricos industriales y comerciales" sugiere una resistencia de la toma de tierra entre uno y cinco ohms (1 y 5Ω) para sistemas comerciales o industriales de gran tamaño.

Nota: Los sistemas de distribución eléctrica suministran corriente alterna e, igualmente, los medidores de resistencia de tierra utilizan corriente alterna para las comprobaciones. Por lo tanto, podría parecer que lo importante es la impedancia y no la resistencia. Sin embargo, en las frecuencias de las líneas eléctricas, la componente resistiva de la impedancia de la tierra suele ser bastante mayor que la componente reactiva. Por esa razón, los términos 'impedancia' y 'resistencia' se utilizan en el texto casi de manera intercambiable.

¿Cómo funcionan los medidores de impedancia de tierra?

Existen dos tipos de medidores de impedancia de tierra: (1) medidores de resistencia de tierra de tres y cuatro hilos -también llamados 'telurómetros'-, y (2) pinzas de medida de la impedancia de bucle de tierra (ver figura 3). Ambos tipos aplican una tensión al electrodo y miden la corriente resultante.

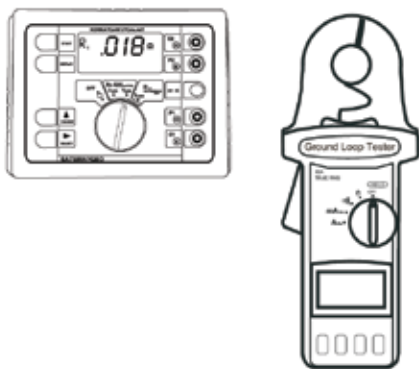


Figura 3. Medidores de impedancia de tierra

Los medidores de resistencia a tierra de tres o cuatro hilos combinan una fuente de corriente y un medidor de tensión, y requieren el uso de picas o pinzas. Presentan las siguientes características:

- » Utilizan corriente alterna para la prueba, pues la tierra no conduce bien la corriente continua.
- » Utilizan una frecuencia próxima, pero distinta, a la frecuencia de red (50 Hz) y sus armónicos. De esta forma, se evita que las corrientes fantasmas o procedentes de otras fuentes interfieran con las medidas de impedancia de tierra.
- » Los medidores de cuatro hilos disponen de cables de generación y medida independientes para compensar la resistencia eléctrica de los propios cables -método de medida de resistencia de cuatro hilos-. Este método permite eliminar de la medida de la impedancia de tierra el valor de la resistencia óhmica de los cables de prueba pues, en ocasiones, por tener una elevada longitud, presentan una apreciable resistencia eléctrica.
- » Tienen un filtro de entrada diseñado para captar su propia señal y rechazar todas las demás.

Las pinzas de medida de bucle de tierra tienen el aspecto de una pinza amperimétrica, pero internamente son muy diferentes ya que cuentan con un transformador de generación y un transformador de medida. El transformador de generación impone una tensión en el lazo que se está ensayando y el transformador de medida mide la corriente resultante. Estas pinzas utilizan un filtrado avanzado para reconocer su propia señal y rechazar todas las demás.

Seguridad en las comprobaciones de resistencia a tierra

Al realizar las conexiones, se deben utilizar siempre guantes aislantes, protecciones para los ojos y cualquier otro equipo de protección personal apropiado. No es seguro asumir que un electrodo de conexión a tierra tiene cero volts (0 V) o cero amperes (0 A), por las razones que se indican más adelante.

La medida de la resistencia de la toma de tierra por el método de la caída de potencial implica la

desconexión del electrodo de tierra del sistema de toma de tierra de la instalación. Para ello, se accederá al borne principal de tierra.

Durante la prueba, la instalación eléctrica queda entonces temporalmente sin toma de tierra. El método selectivo no requiere la desconexión del electrodo.

Una avería en el sistema de puesta a tierra de la instalación eléctrica, o en sus protecciones diferenciales, puede originar una corriente permanente importante a lo largo de este. Por ello, se debe utilizar una pinza amperimétrica para comprobar la existencia de corriente en el conductor de tierra (ver figura 1) antes de realizar la medida. Si la medida es superior a un amper (1 A), es necesario encontrar el origen de la corriente antes de continuar. Si fuese necesario desconectar uno de los electrodos del sistema, esta operación se deberá realizar siempre que sea posible durante una interrupción por mantenimiento o similar donde se corte el suministro de energía para poder evitar posibles corrientes circulantes. De otro modo, se deberá considerar la posibilidad de conectar temporalmente un electrodo de reserva al sistema eléctrico durante la prueba. No desconectar nunca un electrodo de conexión a tierra si existe la posibilidad de caída de rayos (tormenta eléctrica).

Una avería en la puesta a tierra de una instalación vecina puede generar la presencia de tensión en bornes del electrodo que se está verificando. Esto puede resultar especialmente peligroso en las proximidades de subestaciones o líneas de distribución eléctrica en las que se pueden producir importantes corrientes de tierra. (La comprobación de la puesta a tierra de las torres de distribución o subestaciones requiere el uso de procedimientos especiales que no se tratan en esta nota de aplicación).

Los medidores de resistencia de tierra utilizan una energía muy superior a la que emplean otros instrumentos de medida, con corrientes de ensayo que pueden ser de hasta 250 mA. Es preciso asegurarse de que todas las personas que se encuentran en el área de medida conocen este dato y advertirles de que no deben tocar las sondas mientras el instrumento esté activado.

Comprobación del conductor de tierra

Antes de medir la resistencia de la toma de tierra, es recomendable verificar la buena conexión eléctrica del conductor de tierra (ver figura 1) desde el propio electrodo hasta el borne principal de tierra. La mayoría de los telurómetros (medidores que emplean el método de caída de potencial) incorporan la medida de resistencia eléctrica a dos hilos y disponen de una buena resolución para esta prueba, por lo que resultan perfectos para la tarea. El valor de resistencia eléctrica desde el borne principal de tierra hasta el electrodo deberá ser inferior a un ohm (1Ω).

El método de caída de potencial

El método de caída de potencial es el método "tradicional" de medida de la resistencia de la toma de tierra, y es el que utilizan los equipos conocidos como "telurómetros".

Se debe recordar que para medir la resistencia de la toma de tierra empleando este método, es necesario desconectar previamente el electrodo de puesta a tierra de la instalación, maniobra que se ejecuta en el borne principal de tierra que, generalmente, está ubicado en el cuarto de contadores de la instalación.

Descripción del método de caída de potencial

El telurómetro requiere tres conexiones para realizar la medida de la resistencia de la toma de tierra si bien los medidores más precisos pueden requerir de una cuarta conexión para eliminar del resultado de la medida de resistencia de los propios cables de prueba. Las conexiones que se deben realizar se presentan en la figura 4, y son:

- » E/C1: conexión de la borne C1 del telurómetro al electrodo bajo prueba.
- » S/P2: conexión de la borne S del telurómetro a la pica P2 llamada "pica auxiliar de referencia de potencial". Esta pica pertenece a la dotación del telurómetro y se deberá clavar en la tierra a cierta distancia del electrodo bajo prueba.
- » H/C2: conexión de la borna H del telurómetro a la pica C2 auxiliar de inyección de corriente. Esta pica también es un accesorio del telurómetro, y se deberá clavar en la tierra a una distancia aún mayor.

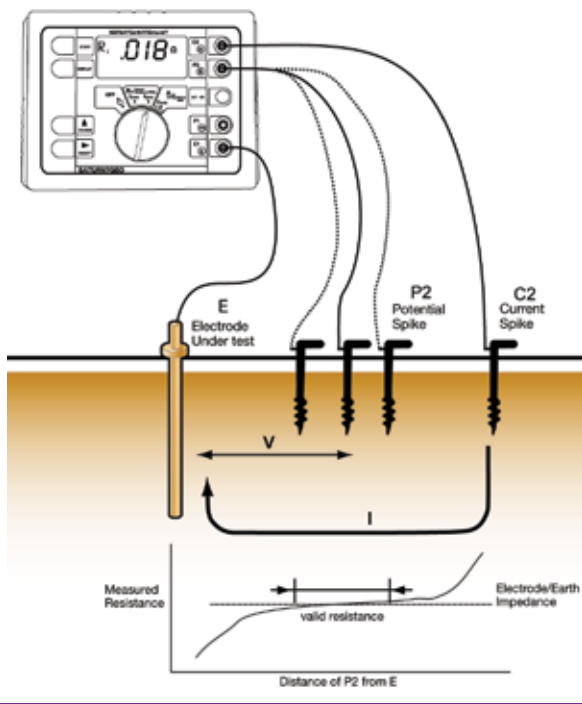


Figura 4. Esquema de conexión del telurómetro.

La figura 5 muestra el circuito eléctrico de la medida. El telurómetro inyecta una corriente alterna en la tierra a través de electrodo que se está comprobando, E, y la pica de corriente C2; a continuación, mide la caída de tensión entre las picas P2 y E y, por último, y mediante la Ley de Ohm, calcula la resistencia entre P2 y E. Como se puede ver, la resistencia de conexión a tierra de las picas auxiliares no afecta a la medida. Para realizar la prueba, la pica C2 se coloca a cierta distancia del electrodo que se desea verificar. Posteriormente, manteniendo la pica C2 fija, se desplaza la pica P2 por la línea entre E y C2 para verificar si hay variación de la impedancia en el trayecto.

La parte difícil de esta prueba es determinar el lugar en el que se deben clavar las picas para obtener una lectura correcta de la resistencia de la toma de tierra. ¿En qué punto la tierra que rodea al electrodo deja de contribuir a la resistencia y se convierte en simple suelo, a un potencial de cero volts (0 V)?

La corriente que circula entre el electrodo y la pica auxiliar de inyección de corriente provoca una caída de tensión en las proximidades tanto del electrodo como de dicha pica. Para que la medida de la

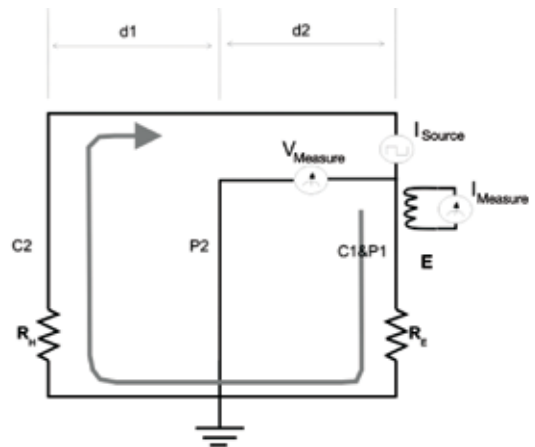


Figura 5. Circuito eléctrico de la medida.

resistencia de la toma de tierra sea fiable, la pica auxiliar de referencia de tensión debe estar fuera de estas dos áreas de influencia. La curva de la figura 4 muestra la distribución de la medida de impedancia en relación a la posición de la pica auxiliar de referencia de tensión. Evidentemente, si esta pica está en contacto con el electrodo bajo prueba, la medida resultante será cero, mientras que si el contacto lo hace con la pica de inyección de corriente, la medida corresponderá a la suma de las resistencias del electrodo y de esta última pica. Se aprecia en la gráfica de la figura 4 que para un determinado rango de posiciones de la pica de referencia, el valor medido no varía. En todos estos puntos, estamos fuera de las mencionadas zonas de influencia, por lo que estos puntos nos ofrecen la medida correcta de la resistencia del electrodo.

La prueba consiste entonces en la realización de varias medidas para establecer una curva similar a la de la figura 4. En la parte más plana de la curva es donde se mide la resistencia de la tierra. En realidad, la curva nunca se aplanar por completo, pero dibuja una pendiente muy suave en la que los cambios de resistencia son pequeños. El margen de influencia del electrodo depende de su profundidad y su área. Los electrodos más profundos requieren un mayor alejamiento de la pica de corriente (véase la tabla 1). En anillos, mallas o series de picas en paralelo, la influencia del electrodo puede extenderse decenas de metros. La tabla 2 ofrece puntos de inicio posibles para la colocación de las picas auxiliares de inyección de corriente y de referencia de tensión.

| Profundidad del electrodo que se está comprobando (E) | Distancia desde E a la pica de referencia de tensión (P2) | Distancia desde E a la pica de inyección de corriente (C2) |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 6 | 50 | 82 |
| 8 | 62 | 100 |
| 20 | 81 | 131 |
| 30 | 100 | 161 |

Tabla 1. Posición aproximada de las picas auxiliares según la regla del 62% (en metros).

| Dimensión mayor (diagonal, diámetro o línea recta) del grupo de electrodos que se está comprobando (E) | Distancia desde E a la pica de referencia de tensión (P2) | Distancia desde E a la pica de inyección de corriente (C2) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 65 | 100 | 165 |
| 80 | 165 | 265 |
| 100 | 230 | 330 |
| 165 | 330 | 560 |
| 230 | 430 | 655 |

Tabla 2. Posición aproximada de las picas auxiliares para grupos de electrodos (en metros).

Debido a la posibilidad de interacción entre los anillos, mallas o series de picas en paralelo y las picas auxiliares de medida, se deberá seguir estrictamente el gráfico de caída de potencial, sin ignorar ningún paso, para garantizar que los resultados obtenidos son precisos.

Al comprobar una serie de electrodos en paralelo, la resistencia combinada será inferior a la menor de las lecturas obtenidas de cualquiera de los electrodos individuales. Si, por ejemplo, se trata de dos picas de 2,5 metros con una separación entre sí superior a los 5 m, se puede asegurar que la resistencia combinada será sustancialmente inferior a la resistencia de cada pica por separado. La medida a tres hilos proporciona buenos resultados si se utiliza un cable C1 corto o si se asume que en la lectura habrá una imprecisión adicional de una fracción de ohmio por la resistencia del propio cable. Para medidas de resistencia de tierra superiores a los diez ohms (10 Ω), el efecto de la resistencia del cable C1 resulta inapreciable. Pero en situaciones en las que las medidas deben ser muy precisas, es decir, donde se esperan valores de resistencia de tierra bajos, el método a cuatro hilos permite añadir un cuarto cable para eliminar la resistencia debida al cable C1. De esta manera se elimina la caída de tensión en el cable de medida C1, y por tanto su influencia en el resultado de la prueba.

La regla del 62%

Es posible reducir el número de medidas a realizar si:

- » Se comprueba un electrodo simple (no una malla ni una placa grande).
- » Es posible colocar la pica de inyección de corriente a una distancia igual o superior a treinta metros (30 m) desde el electrodo que se está comprobando.
- » El terreno es uniforme.

En estas condiciones, se puede colocar la pica de inyección de corriente a una distancia igual o superior a treinta metros (30 m) del electrodo que se está comprobando, y la pica de referencia de tensión al sesenta y dos por ciento (62%) de dicha distancia. Se realiza una medida y, a modo de comprobación, se deben realizar dos medidas adicionales: una con la sonda de referencia de tensión un metro (1 m) más cerca del electrodo que se está comprobando y otra un metro (1 m) más alejada (véase la figura 6). Si realmente se está en la parte plana de la curva, las lecturas deben ser prácticamente iguales y se podrá registrar la primera lectura como valor de la resistencia.

Técnica de la pendiente de Tagg

Los electrodos de gran tamaño o los sistemas de conexión a tierra requieren consideraciones

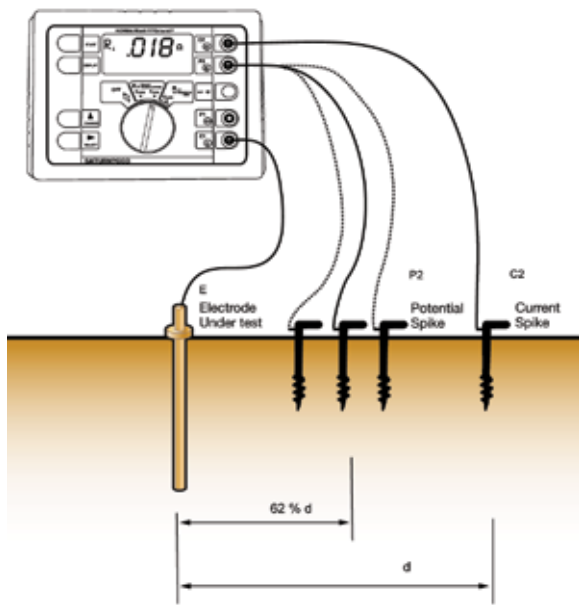


Figura 6. Posiciones de las picas para la regla del 62%

especiales. Si se han realizado lecturas de resistencia en nueve ubicaciones de P2 diferentes y no aparece un aplanamiento claro en el gráfico, puede utilizarse la técnica de la pendiente de Tagg (también

| Distance From Electrode Under Test C2 (m) | P2 (m) | P2/C2 | Resistance R (ohms) |
|----------------------------------------------|--------|-------|------------------------|
| 100 | 10 | 10% | 3.7 |
| 100 | 20 | 20% | 4.4 |
| 100 | 30 | 30% | 5.3 |
| 100 | 40 | 40% | 5.8 |
| 100 | 50 | 50% | 6.5 |
| 100 | 60 | 60% | 6.8 |
| 100 | 70 | 70% | 7.0 |
| 100 | 80 | 80% | 7.7 |
| 100 | 90 | 90% | 8.8 |

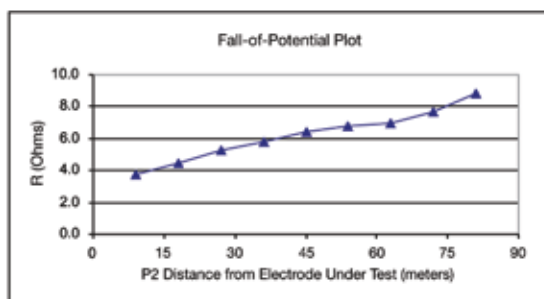


Figura 7. La impedancia de la tierra se puede obtener de la curva mediante la técnica de la pendiente de Tagg

denominado "método de la pendiente") para establecer la impedancia de la toma de tierra.

La figura 7 muestra un ejemplo de conjunto de datos en el que no existe una clara parte plana. Esta curva es característica de las verificaciones en las que las sondas de inyección de corriente y de referencia de tensión no están fuera de la influencia del electrodo que se está comprobando, lo cual puede suceder por varias causas:

- » En sistemas de electrodos que cubren áreas amplias, puede resultar complicado colocar las picas suficientemente lejos.
- » Es posible que no se pueda colocar el cable C1 en el centro del sistema de electrodos.
- » El área donde se deben colocar las picas es limitada.

Si ya se dispone de lecturas en los puntos del veinte, cuarenta y sesenta por ciento (20, 40 y 60%) entre E y C2, se puede aplicar el siguiente método a los datos existentes. Primero se calcula el coeficiente μ a partir de las tres medidas de resistencia al 20%, 40% y 60% a través de la siguiente expresión:

$$\mu = (R_{60\%} - R_{40\%}) / (R_{40\%} - R_{20\%})$$

A continuación, se consulta la tabla del final de esta nota de aplicación para hallar el valor de P2/C2 que corresponde al valor de μ obtenido. Este valor indica el punto del gráfico en el que es fiable determinar la resistencia de la toma de tierra. Por ejemplo, para los datos de la figura 7:

$$\mu = (6,8 - 5,8) / (5,8 - 4,4) = 0,71$$

Según la tabla, para $\mu = 0,71$ el porcentaje de P2/C2 correspondiente es del 59,6%. Esto quiere decir que la resistencia de la tierra aproximada se mide a 59,6% x 100 m, es decir, a 59,6 metros. Este valor es muy cercano a 60 m, en el que la lectura era 6,8 ohms. Podría decirse entonces que la resistencia de la tierra del electrodo que se está comprobando es aproximadamente de 6,8 ohms.

Método selectivo

El método selectivo es una variante del método de caída del potencial y puede encontrarse en medidores de resistencia de tierra de gama alta, como el *Fluke 1625*. Los medidores que incluyen esta función pueden medir la resistencia de tierra en cualquier sistema sin desconectarlo de la instalación. Esto significa que no es necesario esperar a poder interrumpir el suministro de energía para realizar la prueba, ni someterse a los riesgos para la seguridad que supone desconectar el electrodo de un sistema bajo tensión.

Tanto el método de caída de potencial como el método selectivo utilizan picas para inyectar corriente y medir la caída de la tensión. Aplican las mismas reglas para la colocación de estas picas que en el método de la caída de potencial. Si se cumplen las condiciones para la regla del sesenta y dos por ciento (62%), es posible reducir el número de medidas. De lo contrario, se deberá trazar un gráfico de caída de potencial completo. Si la curva no está aplanada, se puede utilizar la técnica de la pendiente de Tagg. La principal diferencia con respecto al método de caída de potencial radica en que la comprobación selectiva permite medir de forma precisa la corriente en el electrodo.

Dado que la estructura metálica del edificio está en contacto con el terreno y que el conductor de neutro de la instalación generalmente también lo está (por ejemplo, en los sistemas TT), resulta imposible conocer qué parte de la corriente inyectada desde la pica de inyección de corriente retorna por el electrodo bajo prueba. La comprobación selectiva utiliza un transformador de corriente (pinza amperimétrica) de gran sensibilidad y precisión para medir la corriente de prueba en el electrodo que se desea comprobar, sin necesidad de desconectarlo de la instalación. El medidor selectivo emplea un filtro digital en la medida de corriente para reducir los efectos de las posibles corrientes fantasma. La figura 8 muestra la configuración de esta prueba.

Método de la medida sin picas

El método de la medida sin picas permite medir la impedancia del bucle de tierra de la instalación sin

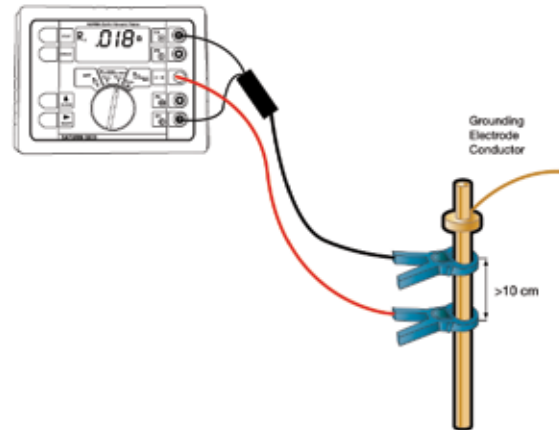


Figura 8. Conexiones para la medida selectiva de electrodos de puesta a tierra

necesidad de desconectar su toma de tierra y sin utilizar ninguna pica auxiliar de medida. Para realizar la medida, el medidor utiliza un transformador especial (pinza de tensión) que genera una tensión en el conductor de tierra con una frecuencia de prueba especial. Además, utiliza un segundo transformador para medir la corriente resultante en el bucle de tierra específicamente a la frecuencia de la tensión de prueba. Este método se incluye en algunos medidores de caída de potencial, por ejemplo, el *Fluke 1625* o *Fluke 1623*, así como en instrumentos con formato de pinza amperimétrica, como el *Fluke GEO 30*.

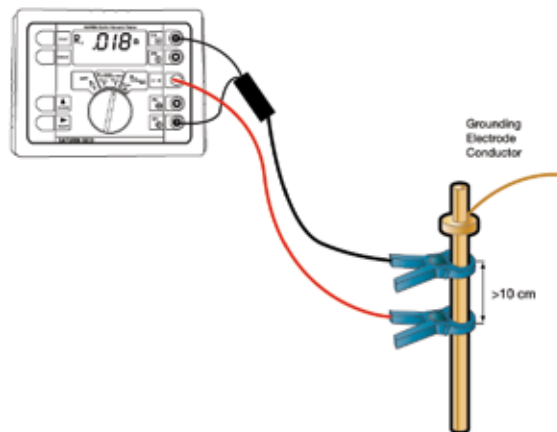


Figura 9. Conexión del equipo Saturn GEO X para una medida sin picas

La figura 9 muestra la conexión de las pinzas de generación y de medida del equipo *Saturn GEO X*.

Cuando se comprueba el electrodo de conexión a tierra de una instalación TN-S con este método, en realidad se comprueba un lazo que incluye:

- » El electrodo que se quiere verificar.
- » El conductor de tierra.
- » El borne principal de tierra.
- » El conductor PE de la alimentación.
- » La conexión de neutro a tierra de la alimentación.
- » El conductor de tierra de la alimentación.
- » La toma de tierra de la alimentación.

Puesto que este método utiliza la instalación de la alimentación (o suministro eléctrico) como parte del circuito, solo se puede utilizar una vez que el cableado está finalizado, es decir, no se puede utilizar antes del enganche al suministro de la instalación a verificar. En este método, la pinza mide la resistencia total de todos los componentes anteriores, que están conectados en serie. Una lectura anormalmente elevada o una indicación de circuito abierto en el instrumento indica una conexión incorrecta entre dos o más de los componentes fundamentales mencionados con anterioridad.

En general, el método sin picas siempre requiere una ruta de baja impedancia en paralelo con el electrodo que se está comprobando. El electrodo de puesta a tierra de la mayoría de las instalaciones se encuentra en paralelo con otros muchos electrodos de puesta a tierra de la compañía eléctrica. Estos electrodos pueden ser, por ejemplo, electrodos de postes o torres eléctricas (ver figura 10). La

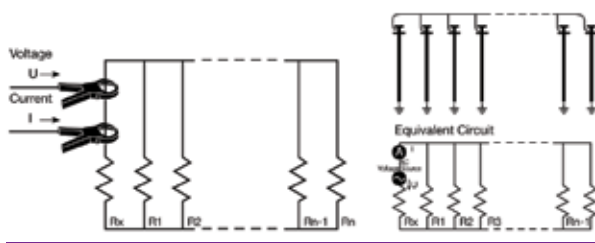


Figura 10: conexiones para la medida sin picas de la impedancia del electrodo

impedancia de estos electrodos de puesta a tierra se combina por lo general en una impedancia muy baja.

Así, por ejemplo, si hay 40 postes eléctricos en las proximidades de una instalación, cada uno de ellos con una puesta a tierra de 20 Ω, y estas puestas a tierra están interconectadas en serie mediante un conductor (véase figura 11), la resistencia equivalente de los cuarenta electrodos en paralelo es:

$$R_{eq} = 1 / (40 \times 1/20 \Omega) = 1/2 \Omega$$

Puesto que medio ohmio es un valor pequeño en comparación con la resistencia esperada en la comprobación del electrodo de la instalación, se puede asumir que la mayor parte de la resistencia medida en el bucle se debe a la resistencia de dicha toma de tierra.

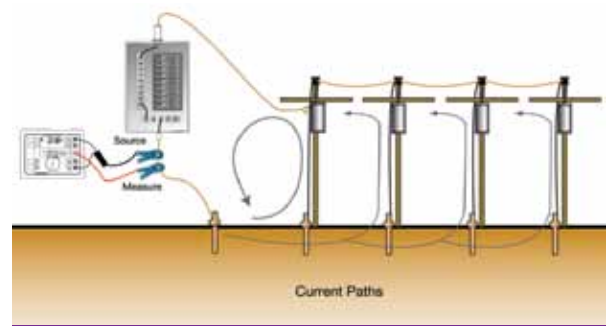


Figura 11. Rutas de corriente de comprobación en el método sin picas

Pero también existen algunas dificultades potenciales en este método. Si la medida se realiza en el lugar incorrecto del sistema, se puede medir la resistencia de un lazo compuesto exclusivamente por conductores, por ejemplo, en el anillo que forman los conductores de protección con los del sistema de protección contra rayos. La resistencia eléctrica de este lazo conductor es muy baja, lo que nos puede alertar de que la medida no es correcta. En general, si el valor de las lecturas es inferior a un ohm (1 Ω), se debe volver a repetir la comprobación para garantizar que no se está midiendo un lazo conductor cableado en lugar de la resistencia de la tierra.

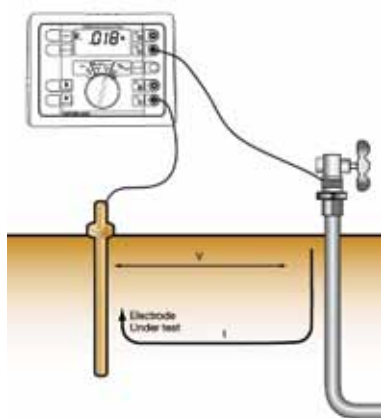


Figura 12. Configuración de la prueba en el método bipolar.

También se pueden obtener lecturas bajas debido a la interacción con otros electrodos muy cercanos, con conductos enterrados, tuberías de agua, etc. La calidad de la medida depende del número de rutas paralelas, que no interaccionen con el electrodo que se pretende medir. Si un edificio con sistema TN solo recibe suministro de un transformador con un único electrodo en su puesta a tierra, y no se puede asumir la existencia de varias rutas, la medida indicará la suma de las resistencias de las tomas de tierra del edificio y del transformador. Afortunadamente, las tomas de tierra de los transformadores de las compañías eléctricas suelen ser buenas, con lo que la medida de la resistencia del bucle vendrá determinada

fundamentalmente por la resistencia de la toma del edificio. Si el valor de la resistencia del bucle cumple con los límites establecidos para la toma de tierra de la instalación, siempre estaremos en el lado seguro.

Método bipolar

El método bipolar utiliza un electrodo auxiliar cuya resistencia de toma de tierra se haya determinado a priori y se establezca como buena (de bajo valor óhmico). Un ejemplo de electrodo auxiliar puede ser una tubería de agua en los alrededores de la instalación, pero lo suficientemente alejada de esta (ver figura 12). El medidor en este método simplemente mide la resistencia del circuito eléctrico formado por la toma de tierra del electrodo que se está comprobando, el electrodo auxiliar y los cables de medida. Si la resistencia de tierra del electrodo auxiliar es muy baja -lo que es probablemente cierto en tuberías de metal sin segmentos de plástico ni juntas aislantes-, y el efecto de los cables de medida es también pequeño, el valor óhmico del circuito eléctrico corresponderá fundamentalmente al de la resistencia de la toma de tierra del electrodo bajo prueba.

| Método | Ventajas | Desventajas |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Caída de potencial | Ampliamente aceptado. La medida es correcta cuando puede realizarse la curva característica. | Es necesario desconectar la tierra. Puede ser difícil clavar las picas. Puede que no exista espacio alrededor del electrodo de puesta a tierra para clavar las picas. |
| Selectivo | No es necesario desconectar el electrodo. Ampliamente aceptado. La medida es correcta cuando puede realizarse la curva característica. | Puede ser difícil clavar las picas. Puede que no exista espacio alrededor del electrodo de puesta a tierra para clavar las picas. |
| Sin picas | Comodidad | Asume una ruta paralela de baja impedancia. Posibilidad de obtener lecturas muy bajas al medir por error un lazo cableado. |
| Bipolar | Comodidad | Imposible juzgar la integridad del electrodo auxiliar. No se puede estar seguro de encontrarse fuera del área de influencia. |

Resumen de los métodos de medida de la resistencia de tierra

| μ | P2/C2 | μ | P2/C2 | μ | P2/C2 | μ | P2/C2 | μ | P2/C2 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | % | | % | | % | | % | | % |
| 0,4 | 64,3 | 0,65 | 60,6 | 0,9 | 56,2 | 1,15 | 50,7 | 1,4 | 43,1 |
| 0,41 | 64,2 | 0,66 | 60,4 | 0,91 | 56 | 1,16 | 50,4 | 1,41 | 42,7 |
| 0,42 | 64 | 0,67 | 60,2 | 0,92 | 55,8 | 1,17 | 50,2 | 1,42 | 42,3 |
| 0,43 | 63,9 | 0,68 | 60,1 | 0,93 | 55,6 | 1,18 | 49,9 | 1,43 | 41,8 |
| 0,44 | 63,7 | 0,69 | 59,9 | 0,94 | 55,4 | 1,19 | 49,7 | 1,44 | 41,4 |
| 0,45 | 63,6 | 0,7 | 59,7 | 0,95 | 55,2 | 1,2 | 49,4 | 1,45 | 41 |
| 0,46 | 63,5 | 0,71 | 59,6 | 0,96 | 55 | 1,21 | 49,1 | 1,46 | 40,6 |
| 0,47 | 63,3 | 0,72 | 59,4 | 0,97 | 54,8 | 1,22 | 48,8 | 1,47 | 40,1 |
| 0,48 | 63,2 | 0,73 | 59,2 | 0,98 | 54,6 | 1,23 | 48,6 | 1,48 | 39,7 |
| 0,49 | 63 | 0,74 | 59,1 | 0,99 | 54,4 | 1,24 | 48,3 | 1,49 | 39,3 |
| 0,5 | 62,9 | 0,75 | 58,9 | 1 | 54,2 | 1,25 | 48 | 1,5 | 38,9 |
| 0,51 | 62,7 | 0,76 | 58,7 | 1,01 | 53,9 | 1,26 | 47,7 | 1,51 | 38,4 |
| 0,52 | 62,6 | 0,77 | 58,5 | 1,02 | 53,7 | 1,27 | 47,4 | 1,52 | 37,9 |
| 0,53 | 62,4 | 0,78 | 58,4 | 1,03 | 53,5 | 1,28 | 47,1 | 1,53 | 37,4 |
| 0,54 | 62,3 | 0,79 | 58,2 | 1,04 | 53,3 | 1,29 | 46,8 | 1,54 | 36,9 |
| 0,55 | 62,1 | 0,8 | 58 | 1,05 | 53,1 | 1,3 | 46,5 | 1,55 | 36,4 |
| 0,56 | 62 | 0,8 | 57,9 | 1,06 | 52,8 | 1,31 | 46,2 | 1,56 | 35,8 |
| 0,57 | 61,8 | 0,82 | 57,7 | 1,07 | 52,6 | 1,32 | 45,8 | 1,57 | 35,2 |
| 0,58 | 61,7 | 0,83 | 57,5 | 1,08 | 52,4 | 1,33 | 45,5 | 1,58 | 34,7 |
| 0,59 | 61,5 | 0,84 | 57,3 | 1,09 | 52,2 | 1,34 | 45,2 | 1,59 | 34,1 |
| 0,6 | 61,4 | 0,85 | 57,1 | 1,1 | 51,9 | 1,35 | 44,8 | - | - |
| 0,61 | 61,2 | 0,86 | 56,9 | 1,11 | 51,7 | 1,36 | 44,5 | - | - |
| 0,62 | 61 | 0,87 | 56,7 | 1,12 | 51,4 | 1,37 | 44,1 | - | - |
| 0,63 | 60,9 | 0,88 | 56,6 | 1,13 | 51,2 | 1,38 | 43,8 | - | - |
| 0,64 | 60,7 | 0,89 | 56,4 | 1,14 | 50,9 | 1,39 | 43,4 | - | - |

Tabla de la técnica de la pendiente de Tagg (con dos decimales)

La resistencia de los cables de prueba se puede incluso descontar de la medida final. Pero ello basta con medir su resistencia previamente cortocircuitándolos en sus extremos. Aunque el método bipolar resulta cómodo de realizar, se deben extremar las precauciones, porque:

- » Una tubería de agua puede tener componentes de PVC, que aumentarían enormemente la resistencia de la tierra. En este caso, la lectura del método bipolar sería excesivamente elevada.
- » Es posible que el electrodo auxiliar no se encuentre fuera del área de influencia del electrodo que se está comprobando. En este caso, la lectura puede ser inferior a la real.

Debido a las incógnitas que implica, esta técnica se recomienda únicamente cuando el sistema de conexión a tierra y el electrodo auxiliar se conocen a la perfección.

Nota: las tuberías no deben utilizarse como electrodo de toma de tierra en una instalación. Así lo expresa explícitamente el REBT 2002 en su ITC-BT-18: "Las canalizaciones metálicas de otros servicios (agua, líquidos o gases inflamables, calefacción central, etc.) no deben ser utilizadas como tomas de tierra por razones de seguridad". ■

Artículo adaptado por Ignacio Usunáriz
Responsable de distribución en *Fluke Ibérica*