

# Boletín 10

## SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

## MEDICION DE RESISTIVIDAD DE SUELOS

Boletín técnico N° 10  
Ing. Gregor Rojas

Caracas - Venezuela

## SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA MEDICION DE RESISTENCIA A TIERRA

Por:

**Ing. Gregor Rojas**  
GERENTE NACIONAL  
MERCADEO Y VENTAS  
División materiales eléctricos

### 1. Generalidades.

La protección de las personas y los equipos, se debe fundamentar primeramente en una correcta puesta a tierra. Las descargas atmosféricas no se pueden controlar, pero el riesgo de su impacto dentro del sistema eléctrico puede minimizarse de manera que la instalación eléctrica sea segura, tanto para las personas como para la infraestructura y sus equipos.

El método técnico ampliamente utilizado para medir la resistencia de tierra se centra en la metodología de medición, así como en las habilidades del técnico y su conocimiento del circuito de puesta a tierra probado, porque sin él, incluso el mejor medidor no garantizará lecturas correctas. Por otro lado, incluso el mejor y más experimentado profesional no podrá realizar las mediciones adecuadas con un medidor o instrumentos seleccionados incorrectamente.

Por lo tanto, las mediciones de resistencia de tierra realizadas correctamente requieren conocimiento y un medidor apropiado con el equipo necesario. Los ejemplos presentados muestran funciones y parámetros de los medidores, asumiendo que el sistema de medición ha sido construido de acuerdo con la teoría apropiada para el método aplicado.

Existe amplia información sobre puestas a tierra, pero en resumen, se debe contar con un sistema que presente baja resistencia eléctrica (menos de  $25\Omega$  para sistemas residenciales e inferior a  $5\Omega$  para sistemas industriales).

### 2. Métodos de prueba básicos para medición de la resistencia a tierra

La mayoría de los instrumentos existentes para la medición de la resistencia a tierra, se basan en el método de la caída de potencial.

### 3. Método de caída de potencia

Este método también denominado de tres puntos, se realiza con tres terminales y se describe previamente con referencia a la Figura 1. Prueba de resistencia de la tierra por el método de Caída de Potencial o de Tres Terminales.

Este método se realiza con tres puntas de prueba o electrodos separados, las cuales se conectan a los tres terminales del instrumento para medición de la resistencia a tierra como se muestra en la figura 1.

Es importante aclarar que en la figura se aprecia que la tercera punta de prueba es un electrodo fijo y no removible, esto es indicativo de que este método al igual que el anterior no solo es para mediciones iniciales sino también puede ser usado para corroborar mediciones anteriores o el estado de una puesta a tierra existente.

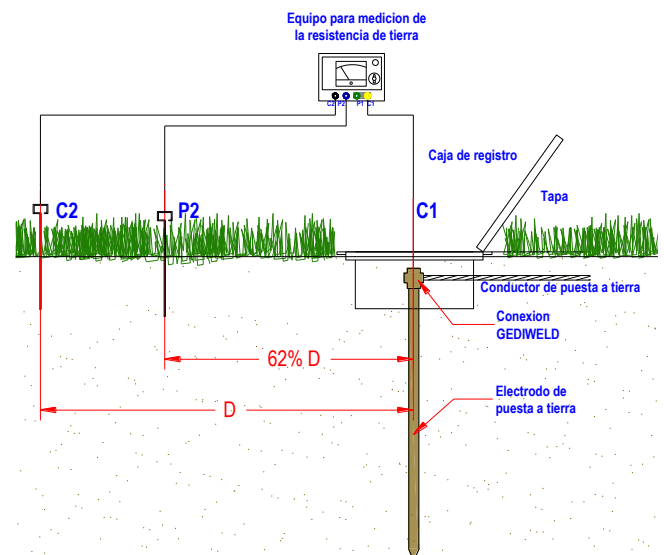


Figura 1. Prueba de resistencia de la tierra por el método de Caída de Potencial

Empleando un probador de cuatro terminales, los terminales P1 y C1 en el instrumento son puenteados y conectados al electrodo de tierra bajo prueba o al tercer electrodo de referencia.

Si se dispone de un instrumento de tres terminales, solo conecte el terminal X al electrodo a tierra. Posteriormente, se colocan las otras dos puntas de prueba auxiliares en los terminales C2 y P2 y varillas de prueba enterradas a distancias predeterminadas del electrodo bajo prueba. La figura 1 muestra el arreglo de las varillas de prueba y el electrodo.

Al accionar el instrumento, se genera una corriente que se inyecta por los terminales C1/P1 retornando por el electrodo auxiliar de corriente (C2).

Al pasar la corriente por la tierra, una caída de voltaje se generará entre los terminales C1/P1 y el electrodo auxiliar de potencial conectado en P2.

El instrumento calcula la resistencia a través de la ley de ohm.

$$R=V/I$$

Donde

R = Resistencia a tierra

V = Voltaje leído entre el electrodo C1/P1 y el terminal P2.

I = Corriente de prueba inyectada por el instrumento.

Este método demanda que por lo menos exista un espaciamiento entre C1/P1 y C2 de unos 15 m y que se grafiquen los valores de resistencia obtenidos contra la distancia existente entre el electrodo a prueba y la varilla conectada a P2.

En la práctica esta distancia entre C1/P1 y C2 debe ser lo más grande que es posible.

Al elaborar la gráfica, la misma mostrara un incremento gradual de resistencia a tierra mientras P2 está en la zona cercana al electrodo bajo prueba. Cuando P2 sale de esa zona pero no ha entrado en la zona de C2, la gráfica mostrará una meseta en los valores.

Este aplanamiento obtenido se ha demostrado teóricamente que se logra cuando P2 está localizado al 62% de la distancia entre el electrodo bajo prueba y C2.

Esta es la razón por la que también se le llama a este método el "de 62%". Pruebas realizadas por Michaels demuestran que la variación de las lecturas obtenidas al 50% y al 70% de la distancia es menor al 5%, que es la precisión de la mayoría de los instrumentos más comunes.

De ahí que las lecturas que se toman al 60% pueden dar una medida promedio aceptable de la resistencia a tierra del electrodo incluyendo la resistencia del conductor de conexión al electrodo bajo prueba.

Sin embargo, este método tiene la limitante de que depende en gran medida de enterrar los electrodos en una zona alejada de objetos conductores.

Si la curva en la gráfica, no presenta un tramo paralelo, quiere decir que la distancia escogida no es suficiente.

La solución puede ser una mayor distancia entre electrodos, pero, en algunos casos, la localización de los electrodos en línea recta es imposible por la falta de espacio u otros factores.

Pero, en el artículo se demuestra que colocando el electrodo de prueba P en ángulos hasta de 90

grados da lecturas consistentes con las que se obtendrían en línea recta, aunque en la gráfica los valores de resistencia después de distancias mayores al 70% no suben con igual rapidez, debido a la lejanía del electrodo C2.

El uso de tres terminales es más conveniente debido a que requiere que un solo conductor sea conectado. Su aceptación considera que la resistencia del conductor común está incluida en la medición.

Normalmente, este efecto puede ser minimizado si los requerimientos de las pruebas no son mayores, ya que la pequeña resistencia adicional introducida es casi nula. Sin embargo, cuando se realizan pruebas más complejas o se impongan requerimientos más rígidos, puede ser más aconsejable utilizar todos los cuatro terminales, conectando el terminal P1 con el electrodo a ser probado (conectarlo en la varilla después de C1).

Esta es una verdadera configuración de prueba de cuatro hilos, la cual elimina todas las resistencias de los cables de conexión desde el equipo.

La precisión que se ha aumentado en las mediciones, pueden resultar significantes cuando se tienen especificadas o requeridas resistencias muy bajas o se usan métodos que requieren de un dígito adicional para cumplir con requerimientos matemáticos.

La decisión sin embargo es opcional, y se basa en los objetivos que se persigan al realizar las pruebas y en los métodos que se utilicen.

La varilla hincada C de referencia debe colocarse tan lejos del electrodo a tierra como sea práctico; esta distancia puede estar limitada por la longitud de cable de extensión disponible, o la geografía de los alrededores ver Figura 1.

La varilla P de referencia de potencial es enterrada en un número de puntos aproximadamente en

línea recta entre el electrodo a tierra y C. Las lecturas de resistencia son registradas para cada uno de los puntos.

#### 4. Método de Dos Puntos.

Cuando se emplea un instrumento de cuatro terminales, se puentean los terminales P1 y C1 conectándose al electrodo a tierra bajo prueba y los terminales P2 y C2 se puentean conectándose a un sistema de tubos de agua completamente metálico, tal como se aprecia en la figura 2 Prueba de Resistencia de Tierra Método Directo o Dos Terminales.

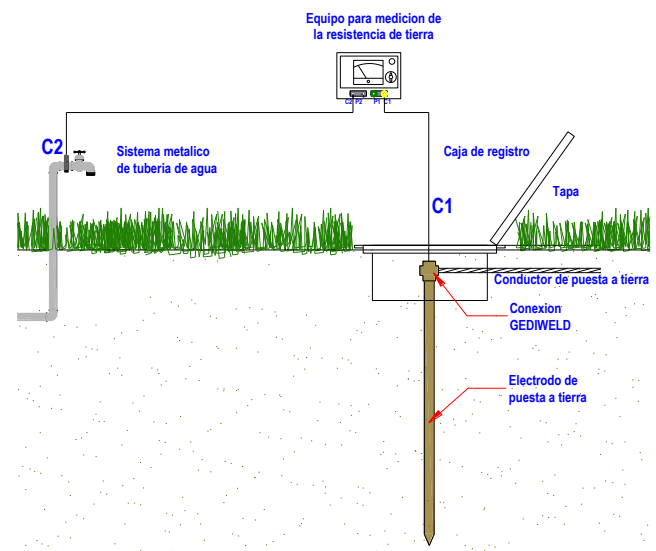


Figura 2. Prueba de Resistencia de Tierra  
Método Directo o Dos Terminales

Si el sistema de agua es extenso, es decir, se extiende a un área muy grande, su resistencia debe ser una fracción de un ohm.

Después puede tomar la lectura del instrumento como la resistencia del electrodo bajo prueba.

Este método es la forma más simple de hacer una prueba de resistencia a tierra. Con este método, la resistencia de dos electrodos en serie se mide la varilla enterrada y el sistema de agua. Pero existen tres limitaciones importantes:

1. El sistema de tubos de agua debe ser lo suficientemente grande para tener una resistencia despreciable.
2. El sistema de tubo de agua debe ser metálico en su totalidad, sin ningún acoplamiento o flanges de aislamiento.
3. El electrodo de tierra bajo prueba debe estar lo suficientemente lejos del sistema de tubos de agua para quedar fuera de su esfera de influencia.

En algunos lugares, su electrodo a tierra puede estar tan cerca del sistema de tubos de agua que no se puedan separar a los dos y dar la distancia requerida para medición por medio del método de dos terminales.

Bajo estas circunstancias, si se cumplen las condiciones 1 y 2, se puede conectar al sistema de tubos de agua y obtener un electrodo a tierra adecuado. Sin embargo como precaución contra cualquier posible cambio futuro en la resistencia del sistema de tubos de agua también se debe instalar un electrodo de tierra.

### 5. Método de cuatro terminales

Este método se realiza con cuatro puntas de prueba o electrodos separados, las cuales se conectan a los cuatro terminales del instrumento para medición de la resistencia a tierra como se muestra en la figura 3.

De aquí que el nombre de esta prueba sea llamado: "Método de Cuatro Terminales". Es importante aclarar que en la figura se aprecia que la cuarta punta de prueba es un electrodo fijo y no removible, esto es indicativo de que este método no solo es para mediciones iniciales sino también puede ser usado para corroborar mediciones anteriores o el estado de una puesta a tierra existente.

El Dr. Frank Wenner de la Oficina de la normalización de USA. Desarrollo la teoría basada en esta prueba en 1915, el demostró que si la profundidad del electrodo (B) se mantiene pequeña comparado con la distancia entre electrodos (A), se aplica la siguiente formula:

$$\rho = 2\pi AR$$

En donde

$\rho$  es la resistividad promedio del suelo a la profundidad A en ohm-cm,

$\pi$  es la constante 3.1416

A es la distancia entre los electrodos en cm,

R es la lectura del instrumento MEGGER en ohms.

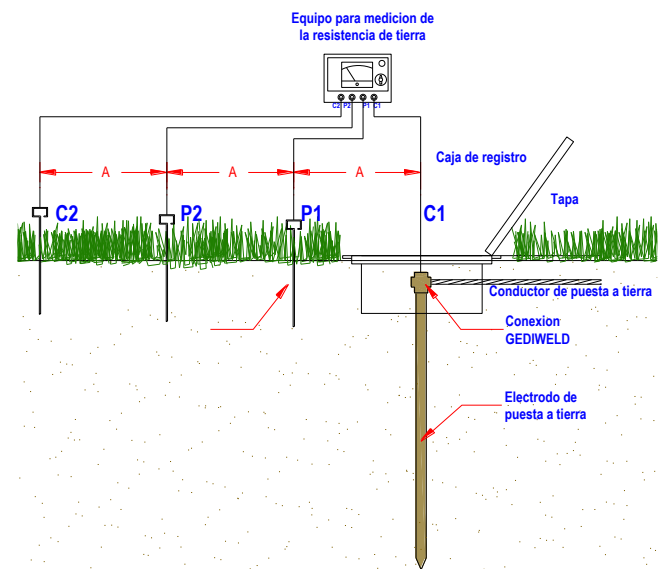


Figura 3. Método de medición de la resistencia de tierra cuatro terminales

En otras palabras si la distancia A entre electrodos es 1,2 metros (4 pies), usted obtendrá la resistividad de la tierra a una profundidad de 1,2 metros (4') como sigue:

1. Convertir los 1,2 metros o 4 pies en centímetros para obtener A en la fórmula:  $4 \times 12 \times 2.54 \text{ cm} = 122 \text{ cm}$
2. Multiplique  $2 \pi A$  para obtener la constante para una preparación de prueba dada:  $2 \times 3.1416 \times 122 = 766$

Ahora, por ejemplo si la lectura de su instrumento es de 60 ohms, la resistencia de la tierra sería de  $60 \times 766$ , o sea 45,960 ohms – cm.

Recordamos que el cuarto terminal en la figura constituye una barra de tierra existente y se colocan las otras tres puntas de pruebas para completar cuatro terminales, esto tiene el fin de ilustrar como se puede comprobar la resistividad en una aplicación ya existente.

## 6. Métodos involucrados en la prueba de resistencia de tierra

La resistencia a tierra de cualquier sistema de electrodos teóricamente puede calcularse de las formulas basadas en la formula general de la resistencia:

$$R = \rho LA$$

En donde:

$\rho$  es la resistividad de la tierra en ohm-cm

L es la longitud de la trayectoria de conducción

A es el área transversal.

Para entender el método de prueba a tierra, nos apoyaremos en el diagrama esquemático de la figura 4(a). Tenga presente nuestras observaciones previas con referencias al diagrama de capas de tierra con la distancia cada vez mayor desde un electrodo, las capas de tierra son de

área de superficie mayor y por lo tanto de menor resistencia.

Ahora, presumamos que se tienen tres varillas enterradas en la tierra a una cierta distancia separadas y con un voltaje aplicado, como se muestra en la Figura 4(a).

La corriente entre las varillas 1 y 2 se mide con un amperímetro, la diferencia de potencial (voltaje) entre las varillas 1 y 3 se mide con un voltímetro.

Si la varilla 3 se ubica más cerca de la varilla 1 en varios puntos entre las varillas 1 y 2, preferiblemente en línea recta se puede obtener una serie de lecturas de voltaje.

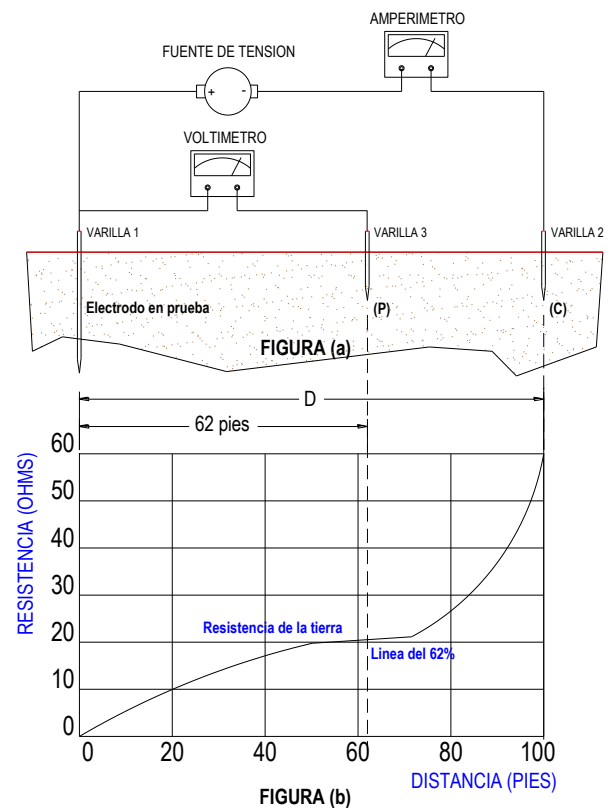


Figura 4. Principio de una prueba de resistencia de tierra

Por la ley de ohm  $R=V/I$  se puede determinar la resistencia de la tierra en cualquier punto medido. Por ejemplo, si el voltaje medido  $V$  entre las varillas 1 y 3 es 28 voltios y la corriente medida  $I$  es 2 amperes, la resistencia de la tierra  $R$  en ese punto sería 14 ohms.

Una serie de valores de la resistencia puede graficarse contra la distancia para obtener una curva de comportamiento del suelo tal como se aprecia en la figura 4(b).

Observe que a medida que la varilla 3 se mueve lejos de la varilla 1, los valores de la resistencia aumentan pero la cantidad de incremento se va disminuyendo cada vez mas hasta que se alcanza el punto donde el valor de incremento se vuelve tan pequeño que casi puede considerarse constante, unos 20 ohms, tal como se puede ver en la Figura 7(b).

Las capas de tierra entre las varillas 1 y 3 tienen un área de superficie tan grande que añaden poco a la resistencia total. Más allá de este punto, a medida que la varilla 3 se acerca a las celdas de tierra de la varilla 2, la resistencia gradualmente se eleva.

Cerca de la varilla 2, los valores suben de manera violenta. Ahora, digamos que la varilla 1 es nuestro electrodo de tierra bajo prueba. De una curva de resistencia a tierra típica, como la Figura 4(b). ¿Cual es la resistencia a tierra de esta varilla?

Denominemos a la varilla 2, punta C de corriente de referencia y a la varilla 3, punta P de referencia de potencial, (sencillamente por comodidad de identificación).

La resistencia correcta se obtiene usualmente si P (varilla 3) se coloca a una distancia del centro del electrodo a tierra (varilla 1) cerca del 62% de la distancia entre el electrodo de tierra y C (la varilla 2).

Por ejemplo, en la Figura 7(a) la distancia  $D$  desde el electrodo de tierra a C es de 100 pies. Tomando el 62% de esta distancia, obtenemos 62 pies. De la Figura 4(b), la resistencia para esta distancia es 20 ohms.

Esta es la resistencia medida del electrodo a tierra. De hecho la corriente puede existir en otras trayectorias entre los dos electrodos fijados, de tal manera que la varilla 3 pueda y quizá deba ser localizada en otro punto fuera de la línea recta. Esta regla funciona bien para electrodos sencillos, tales como barras copperweld enterradas.

También funciona para un pequeño grupo de varillas. Pero se debe conocer el verdadero centro eléctrico del sistema de electrodos con bastante precisión. También, la precisión de las lecturas es mejor si la resistividad de la tierra entre los tres electrodos es razonablemente constante.

Por último, C debe estar lo suficientemente lejos del sistema de electrodos a tierra de modo que el 62% de la distancia este fuera de la "Esfera de Influencia" del electrodo de tierra.

Básicamente, ahora conocemos el método de prueba de resistencia a tierra. El resto es refinamiento en métodos de prueba, el uso de electrodos o sistemas de electrodos y la información acerca de la resistividad de la tierra.