

MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Instalaciones Eléctricas de B.T. y M.T.

Ing. Vladimir Pinzón

20
AÑOS
#ITSaSiemprePionera



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

• Introducción.

- Hoy en día todas las personas se encuentran involucradas de algún modo con la electricidad (hogar, empresa, comercio, etc.).
- De ahí, la importancia de las protecciones para personas y equipos eléctricos.

• Objetivos.

- Seguridad de las personas.
- Protección de las instalaciones eléctricas.
- Compatibilidad electromagnética.



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **Definición.**

- Grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuye las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa.

- **Funciones.**

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente una falla.
- Servir de referencia al sistema eléctrico.
- Conducir y disipar las corrientes de falla.
- Servir como conductor de retorno (en algunos casos)
- Transmitir señales de RF en onda media.



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **Diferencia entre neutro y tierra.**

- **Neutro:** se usa como retorno de la línea de alimentación.
- **Conexión a tierra:** conexión usada para que circule corrientes no deseadas (falta) o descargas eléctricas hacia tierra, para evitar daños a personas, equipos eléctricos, electrónicos.

- **Requisitos.**

- Elementos metálicos que son parte de la instalación, no se incluyen como conductores a tierra, sin embargo en algunos casos se deben conectar a tierra.
- Elementos metálicos principales, que actúan como refuerzo estructural, deben tener conexión permanente con el SPT.
- Conexiones bajo tierra, realizadas con soldadura exotérmica o conector certificado para tal uso.



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

• Requisitos (Continuación).

- En instalaciones domiciliarias, se debe dejar un punto de conexión accesible e inspeccionable, para verificar características del electrodo.
- La caja de inspección debe ser, mínimo, de 30 X 30 cm, y tapa removible.
- No se usa electrodos de aluminio.
- Para sistemas 3ϕ de BT con cargas desbalanceadas, se puede sobrecargar el neutro (recalentamiento). En estos casos, el neutro debe ser dimensionado con por lo menos el 173% de área respecto al de fases.
- Se utilizan varillas de cobre como electrodo (copperwell)



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

• Requisitos (Continuación).

- El fabricante de electrodos debe garantizar resistencia a la corrosión como mínimo de 15 años (según RETIE).
- Las dimensiones del electrodo deben ser mínimo 2,4 m de longitud y 12,7 mm de diámetro, identificado con el nombre del fabricante dentro de los 30 cm desde la parte superior.
- La parte superior del electrodo debe quedar mínimo a 15 cm de la superficie, para tener humedad artificial y garantizar la permanente puesta a tierra.
- Si el fondo es rocoso a menos de 1,20 m, el electrodo debe enterrarse horizontal, mínimo a 75 cm de profundidad.



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

• Requisitos (Continuación).

- En lugar de copperwell se puede emplear lámina de cobre de 20000 mm² de área y espesor 1,5 mm.
- Los conductores de SPT deben ser continuos, sin interruptores o medios de desconexión, y los empalmes deben estar certificados.
- El conductor de puesta a tierra debe ir por la misma canalización de las líneas de alimentación.
- La corriente máxima admisible en los conductores del SPT, en condiciones normales no debe sobrepasar:
 - 0,5 A, si el circuito es exclusivo para cargas electrónicas.
 - 25 mA, si el circuito no tiene cargas electrónicas
 - Estos valores son asociados a corrientes inevitables y no a condiciones anormales, debido a instalaciones defectuosas.



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **Características de los conductores de tierra.**

- El calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra para BT:
 - Si el conductor de la acometida es # 2 AWG o menor, será # 8 AWG
 - Si la acometida es 1/0, será # 6 AWG.
 - Si la acometida es 2/0 ó 3/0, será # 4 AWG.
- Para los equipos, el calibre del conductor de tierra es # 14 AWG para 15 A.

- **Elementos del SPT.**

- Electrodo de puesta a tierra
- Conductores
- Conectores
- Registro



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **Electrodos.**

- Varillas, generalmente de Cobre
- Resistentes a la corrosión, por sales de la tierra.
- Enterradas en la tierra a una profundidad de 3 m.
- Disipan la corriente en la tierra en caso de una falla o sobrecarga.
- Las más utilizadas son las marca copperwell, por sus características.

- **Tipos de electrodos.**

- **Varilla copperwell.** Es la más utilizada por su bajo costo. Hecha de acero con un recubrimiento de cobre. Su longitud es de 3,05 m y diámetro de 16 mm. Se entierra verticalmente a una profundidad de 2,4 m mínimo. Por su longitud, es posible tener contacto con tierras húmedas (resistencia baja).



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **Picas o jabalinas.** Tiene un área de contacto más grande que la copperweld, no necesita mucha longitud. Es un perfil de acero galvanizado, en forma de ángulo recto, cruz o T.
- **Rehilete.** Se forma de dos placas cruzadas soldadas. Bueno para terrenos donde es difícil excavar, porque tiene mucha área de contacto.
- **Placa.** Tiene gran área de contacto, recomendado en terrenos de alta resistividad. Debe tener un área mínima de 2000 cm^2 y un espesor mínimo de 6,4 mm en materiales ferrosos y 1,52 mm en materiales no ferrosos. Cuando se utilizan varias, deben instalarse a una distancia mínima de 2m.
- **En estrella.** Se puede hacer con cable de cobre desnudo, con ramificaciones de 60° se utilizan en campo, ya que por la longitud del cable se obtiene un valor de resistencia menor.



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **Conductor o cable.**

- Permite la conexión del electrodo hacia las demás partes de la instalación.
- No debe ser seccionado (si lo es: soldadura exotérmica, para asegurar continuidad).
- Debe procurarse usar cable desnudo o con aislante color verde para poder distinguirlo de los demás cables.
- El conductor para BT se debe seleccionar de acuerdo a la tabla 250-94 de la NTC 2050.
- Para MT, el conductor debe ser seleccionado con la siguiente fórmula, tomado de la norma ANSI/IEEE 80.

- $$A_{mm^2} = \frac{I \cdot K_f \cdot \sqrt{t_c}}{1,9737}$$



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

Tabla 250-94. Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de c.a.

Sección Transversal del mayor conductor de acometida o su equivalente para conductores en paralelo				Sección transversal (calibre) del conductor al electrodo de puesta a tierra			
Cobre		Aluminio o aluminio recubierto de cobre		Cobre		Aluminio o aluminio revestido de cobre *	
mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o Kcmils	mm ²	AWG o Kcmils	mm ²	AWG o Kcmils
33,62 o menor	2 o menor	53,5 o menor	1/0 o menor	8,36	8	13,29	6
42,2 o 53,5	1o 1/0	67,44 o 85,02	2/0 o 3/0	13,29	6	21,14	4
67,44 o 85,02	2/0 o 3/0	107,21 o 126,67	4/0 o 250 kcmil	21,14	4	33,62	2
107,21 hasta 177,34	4/0 hasta 350 kcmil	152,01 a 253,35	300 a 500 kcmil	33,62	2	53,50	1/0
202,68 a 304,02	400 a 600 kcmil	278,68 a 456,03	550 a 900 kcmil	53,50	1/0	85,02	3/0
329,35 a 557,37	650 a 1100 kcmil	506,70 a 886,73	1000 a 1 750 kcmil	67,44	2/0	107,21	4/0
608,04 y más	1200 kcmil y más	912,06 y más	1800 y más kcmil	85,02	3/0	126,67	250 kcmil



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA





INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **Conectores.**

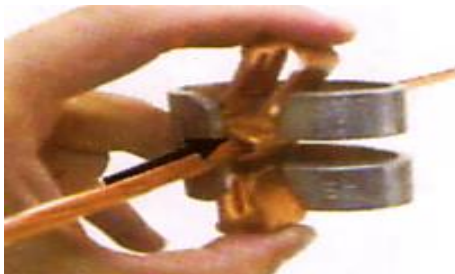
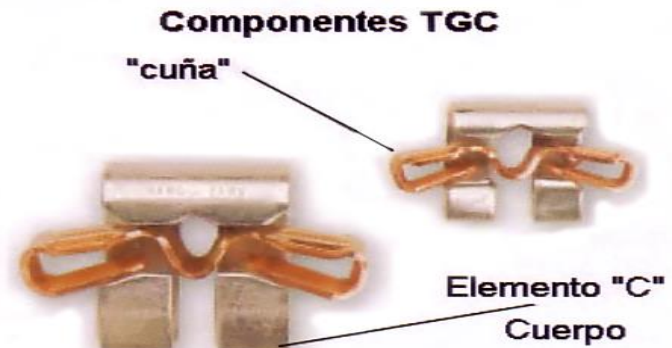
- Los conectores de los conductores de PAT con los electrodos son del tipo:
 - Soldadura exotérmica.
 - Conectores a presión.
 - Abrazaderas.
- No deben tener soldadura con materiales como: estaño, plomo, etc.
- Las abrazaderas deben ser adecuadas al número y tipo de conductores. Compatibles con los materiales de conductores y electrodos.



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA





INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- Las conexiones en una instalación de puesta a tierra, pueden ser:
 - Mecánicas
 - Soldadas
- Las conexiones entre los diferentes componentes debe ser:
 - Mecánicamente robustas.
 - Buena resistencia a la corrosión.
 - Baja resistividad eléctrica.
- Se deben evitar uniones y conexiones innecesarias
- Debe considerarse el valor de I_{falla} y su duración.

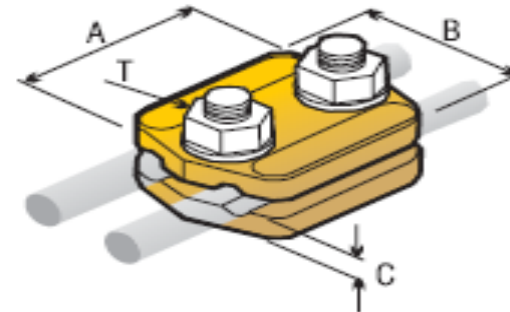
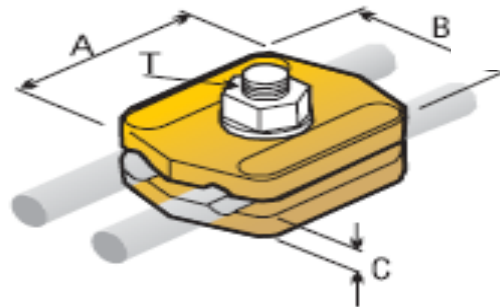
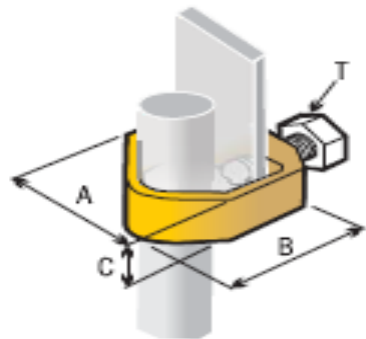
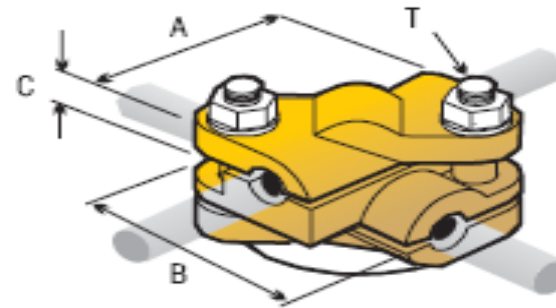
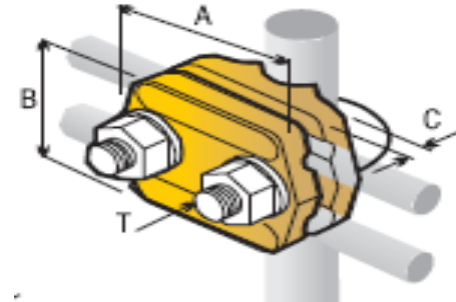
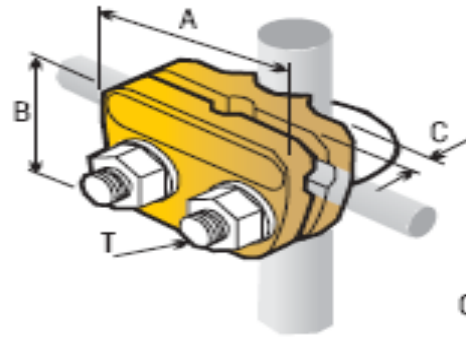
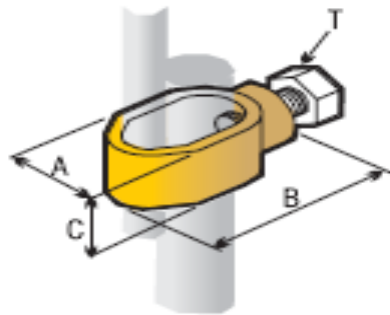


INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

- **Conexiones mecánicas.** Son las más usadas.
Pueden ser:
 - Apernadas.
 - Compresión.
- **Grapas para picas.**
 - Diseñadas para conexión segura con las picas.
 - Cuerpo de aleación rica en cobre.
 - Fabricadas por estampación en caliente.
 - Tornillería de acero electrogalvanizado o inoxidable.



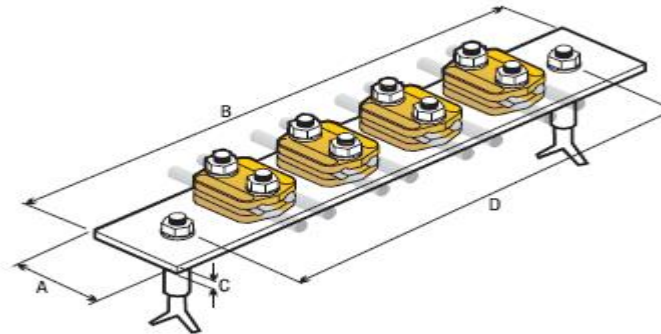
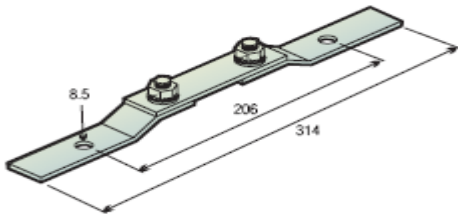
INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **Barrajes de conexión.**

- Tornillería de acero electrogalvanizado o inoxidable.
- Grapas de aleación rica en cobre
- Platina de cobre electrogalvanizado.



- **Uniones exotérmicas.**

- Se realizan mediante un molde de grafito para ajustar la unión y el tamaño de los conductores.



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- Pistola que hace una mezcla de polvo de aluminio y óxido de cobre. Crea una forma de unión (virtual) de cobre en torno a los conductores.
- La reacción se hace en el interior del molde de grafito a alta temperatura.
- Beneficios:
 - Unión permanente de baja resistencia eléctrica y resistente a corrosión.
 - Opera a alta temperatura, permitiendo reducir el calibre del conductor.
 - Puede conectar metales como: acero inoxidable, bronce, cobre, acero con recubrimiento de cobre, acero galvanizado.

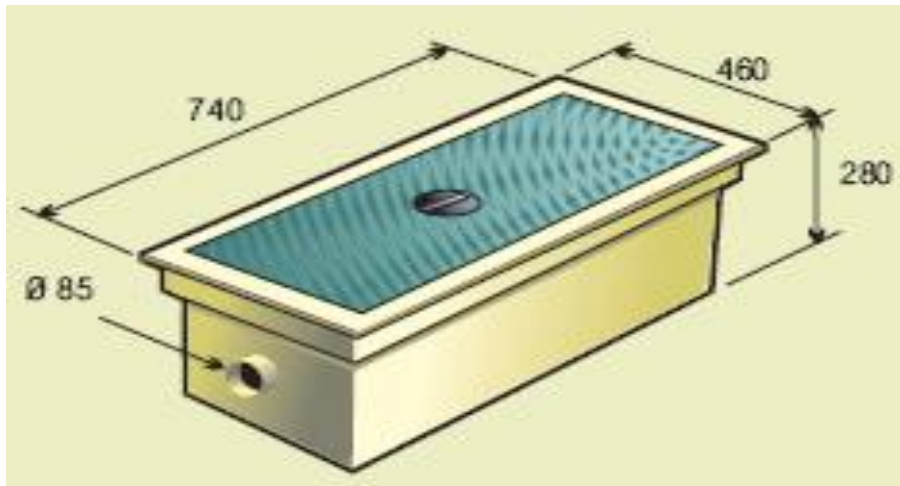
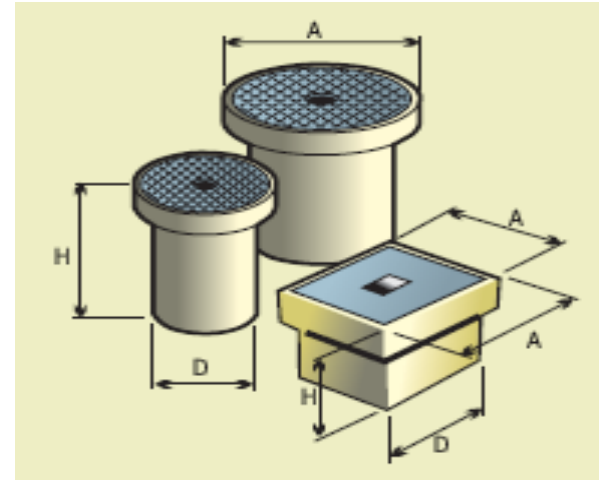
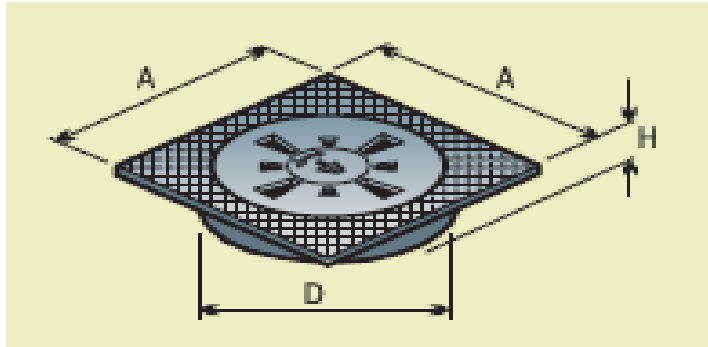


INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **Registros.**

- Los conectores deben protegerse contra daño físico con una cubierta protectora. La conexión debe ser accesible. (NTC 2050 _250-117_250-112).
- Para subestaciones eléctricas, se recomienda dejar registros en los electrodos, porque hay que estar haciendo mediciones periódicas.
- Se pueden utilizar tubos con la boca hacia arriba para que sirva de tope a una tapa de cemento.

INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA





INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **Resistividad del terreno.**

- Se define como la resistencia que presenta 1 m³ de tierra y resulta de importancia para saber el lugar de construcción de SPT.

- **Factores que afectan la resistividad del terreno.**

- Naturaleza del terreno. La resistividad varia según el tipo de terreno. Ejemplo: la resistividad es mayor en terrenos rocosos, que en uno donde hay arena.
- Humedad. Mientras más húmedo el terreno más baja es la resistividad, y viceversa.
- Salinidad. El agua con sales se convierte en excelente conductor. Entre más húmedo y más sales contenga el terreno, más baja es la resistividad.



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- Temperatura. El calor aumenta la resistencia (terreno seco). A temperaturas muy bajas crea hielo que tampoco es buen conductor.
- Estratigrafía. El tamaño de las rocas y piedras provocan mayor resistencia en el terreno.
- Compactación. La resistividad se disminuye si el terreno es más compacto, porque se crean espacios de aire que no dejan conducir la corriente.
- Variaciones estacionales. Los valores de resistividad varían de acuerdo a la estación en la que se encuentre. Estaciones calurosas > resistividad.
- Por la uniformidad del terreno, se deben hacer varias mediciones y luego sacar un promedio.



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **Resistencia a tierra.**

- Resistencia que ofrece un SPT al paso de la corriente eléctrica.
- Depende de la resistividad del terreno, características físicas del electrodo y longitud y área de los conductores.
- Es la resistencia entre un conductor de PAT y un punto a potencial 0.

- **Conexión a tierra de instalaciones de BT.**

- Se deben conectar a tierra todas las piezas metálicas que no transporten corriente, pero que pueden ser recorridas por una, excepto en los siguientes casos:
 - Cubiertas de interruptores o disyuntores.
 - Armaduras de dispositivos calentados eléctricamente.
 - Equipos eléctricos alimentados por transformadores de aislamiento



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- Deberán conectarse a tierra los siguientes equipos no eléctricos:
 - Armaduras y rieles de grúas accionadas eléctricamente.
 - Los cables de tracción de ascensores eléctricos.
 - Equipos similares.
- **Configuraciones de electrodos.**
 - Los electrodos que se conecten, se consideran como uno solo, con una separación mínima de 1,83 m.
 - Anillo de tierra. Conductor de cobre desnudo no menor a calibre 2 AWG y longitud no menor a 6m enterrado a una profundidad de 80 cm. Se emplea circundando fábricas o edificios de comunicaciones. Proveer un plano equipotencial alrededor del edificio y equipos.



INSTALACIÓN DE PUESTAS A TIERRA

Numero de electrodos	Valor original	El valor original se reduce al
Un solo electrodo	100%	
Dos electrodos en línea		55%
Tres electrodos en línea		38%
Tres electrodos en triángulo		35%
Cuatro electrodos en simetría		28%
Ocho electrodos en simetría		16%

Porcentaje de reducción del valor resistivo en función del tipo de configuración



INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

- Mallas. Se utilizan cuando las tensiones y corrientes son muy altas, con el fin de minimizar riesgos eléctricos. Consta de una red de conductores enterrados a una profundidad entre 0,3 y 1 m, colocados paralela y perpendicularmente con espaciamiento adecuado y formando retículas cuadradas. El cable que forma el perímetro debe ser continuo, encerrando toda el área en que se encuentra el equipo eléctrico. Tres componentes constituyen la resistencia de la malla a tierra:
 - La resistencia del conductor que conecta los equipos a la malla.
 - La resistencia de contacto entre la malla y el terreno.
 - La resistencia del terreno donde se ubica la malla.

Los elementos que la conforman son:

- Una o más varillas enterradas.



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

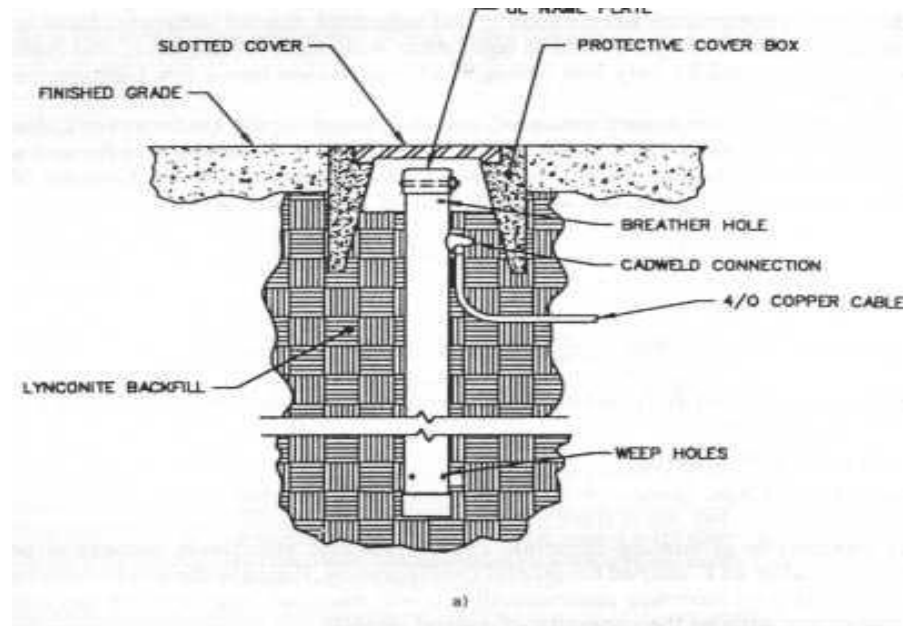
- Conductores conectados horizontalmente formando diversas configuraciones.
- Reticulado instalado en forma horizontal que puede o no tener varillas conectadas en forma vertical en algunos puntos.
- En cruces de conductores de la malla, deben conectarse con soldadura exotérmica entre sí.

- **Compuestos químicos.**

- El problema principal para obtener una baja resistencia en un terreno de alta resistividad es el material de contacto con el electrodo y la compactación que recibe al rellenar el agujero.
- El relleno ideal debería cumplir lo siguiente:
 - Compactarse fácilmente.
 - No ser corrosivo.
 - Buen conductor eléctrico.

INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

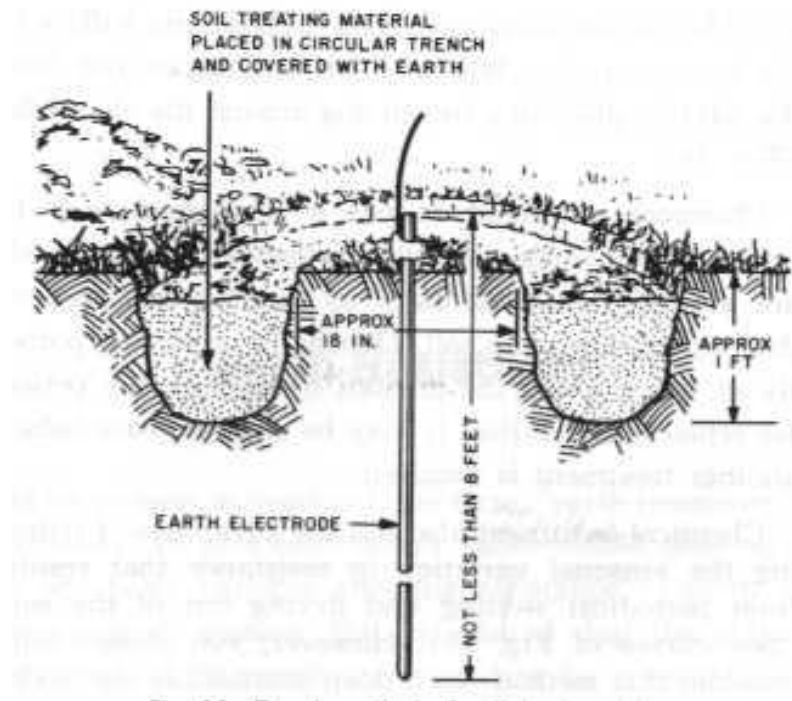
- Para lograr esto existen compuestos como:
 - La bentonita: arcilla de montmorilinita (silicato de aluminio). Tiene una resistividad de $2,5 \Omega \cdot m$ con humedad del 300%.
 - Sulfato de magnesio.
 - Sulfato de cobre.
- En la gráfica, se observa un primer método. En un registro se colocan unos 30 cm de los compuestos.



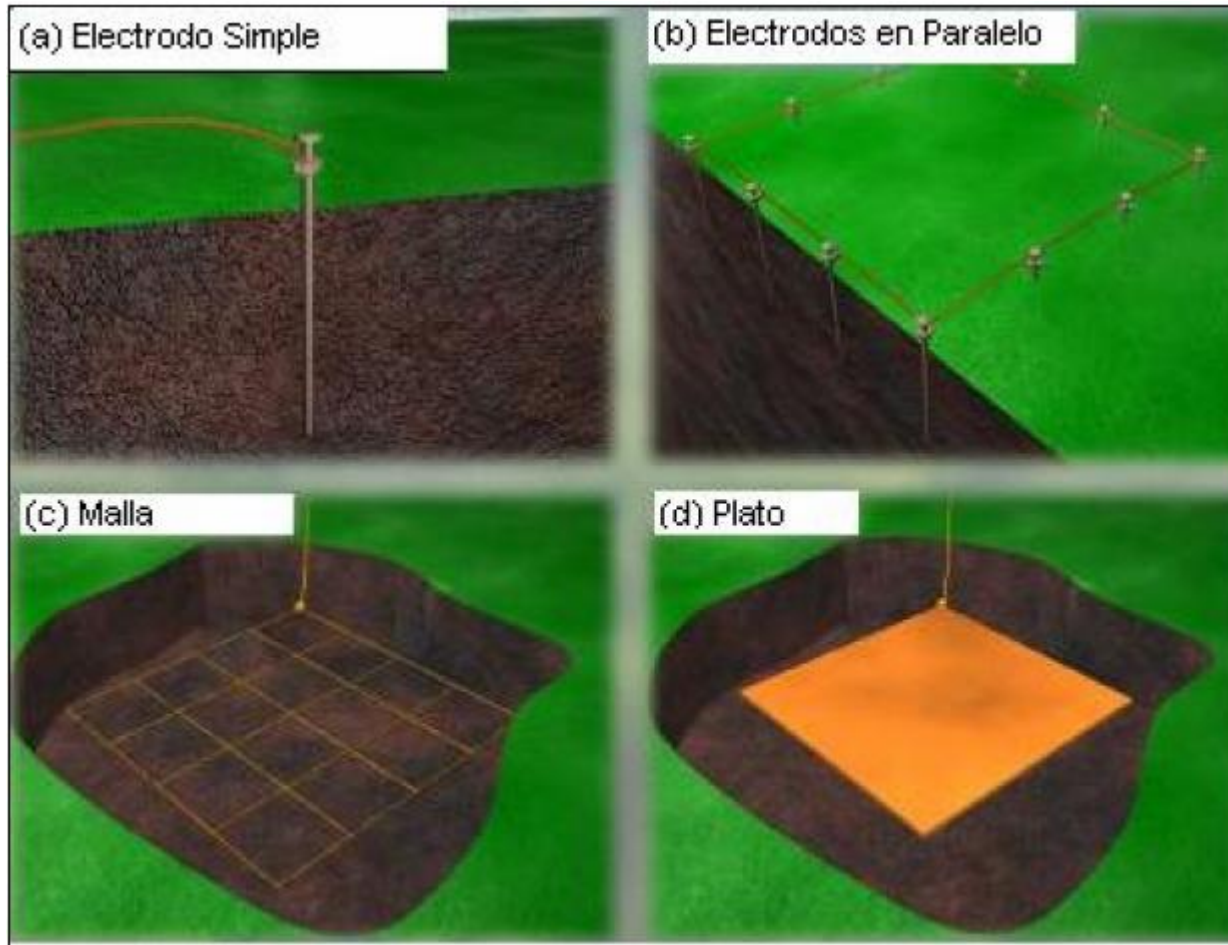


INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

- Otro método es excavar una zanja alrededor de la varilla y llenarla con unos 20 o 40 Kg de compuestos, diluyendo con agua.
- El mantenimiento es menos frecuente con el tiempo



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA



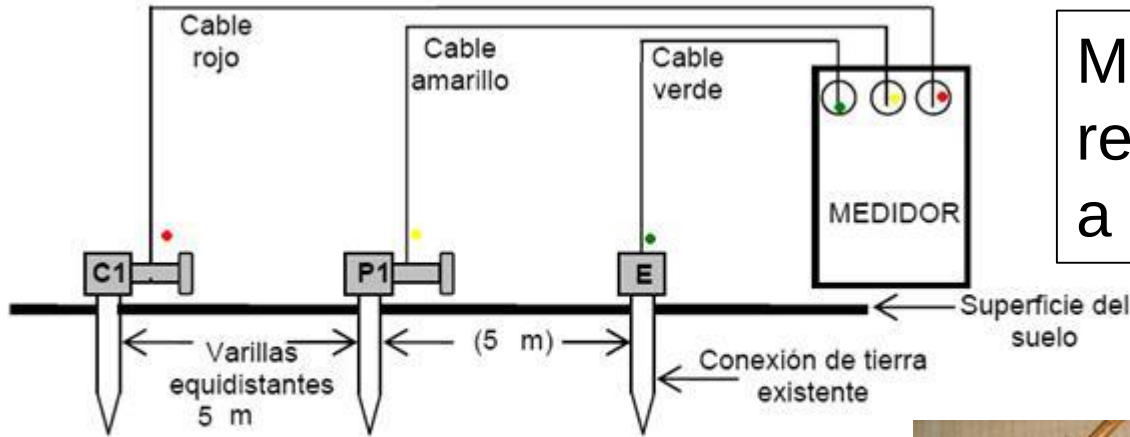


INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

- **Mediciones.**

- El equipo para realizar las mediciones de resistencia a tierra se llama ***Telurómetro***.
- Se basa en el método de compensación. Funciona con batería, que lleva un transformador de relación 1:1.
- Dispone de dos pequeños electrodos que se entierran en el suelo (1 de potencial y 1 de corriente), además de la toma de tierra que se medirá.
- Estos electrodos (sondas) deben estar separadas unos 5m entre sí, para evitar influencias entre ellas
- Las mediciones se deben hacer a una frecuencia diferente a la industrial, para evitar interferencias con otras corrientes que no pertenezcan al equipo (500 a 1200 Hz)

INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA



Medición de la resistencia de puesta a tierra.

Telurómetro





INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

• Medición de tierra.

- Un buen SPAT comienza con la selección del lugar y las mediciones del suelo.
- Localizando el área con más baja resistividad.
- Luego de la instalación, se debe verificar que su valor corresponda con el de diseño.
- Se recomienda realizar controles periódicos para detectar variaciones en los valores.
- Como en la tierra existen elementos de metal, tubería subterránea, etc., que pueden distorsionar la medición, se recomienda hacer pruebas en diferentes orientaciones.
- En algunas ocasiones, se deben utilizar diferentes métodos de medición.



INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

- **Método de los tres puntos.**

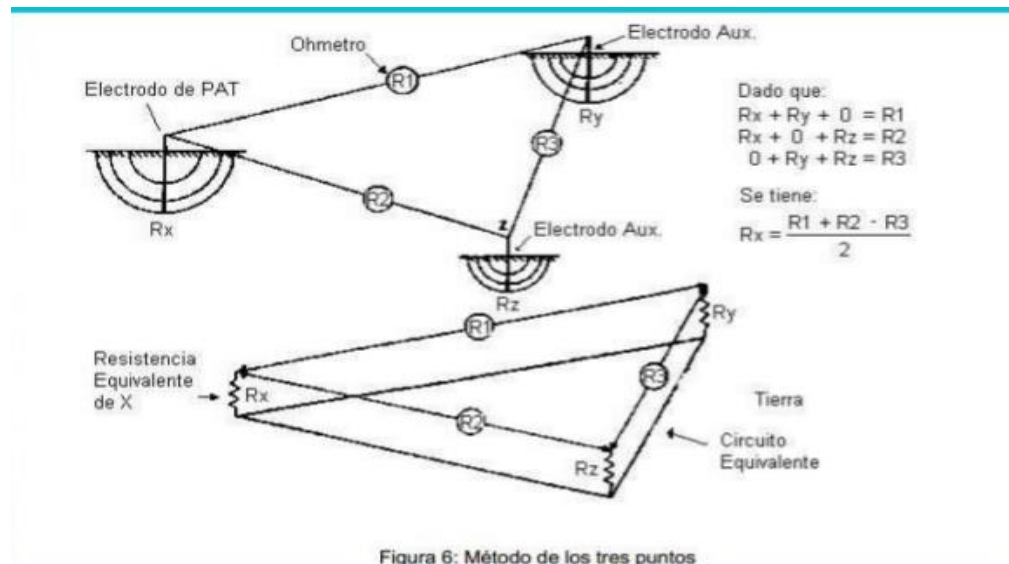
- Recibe el nombre de Puente de Nippold.
- Requiere de dos tomas auxiliares de tierra (R_2 y R_3) y la toma bajo ensayo (R_1).
- Se miden las resistencias R_{1-2} , R_{2-3} y R_{1-3} , comprendidas entre cada par de tomas, utilizando preferentemente un puente de C.A. Donde, $R_{1-2} = R_1 + R_2$, $R_{2-3} = R_2 + R_3$ y $R_{1-3} = R_1 + R_3$, entonces:

$$R_1 = \frac{R_{1-2} + R_{1-3} - R_{2-3}}{2}$$

- Se recomienda que los electrodos auxiliares sean del mismo orden de la resistencia que se desea medir.

INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

- Si la resistencia de los electrodos auxiliares es mayor que la toma de tierra bajo ensayo, se recomienda colocar los electrodos a una gran distancia entre sí, para minimizar los errores en la medición.



- [Video](#)

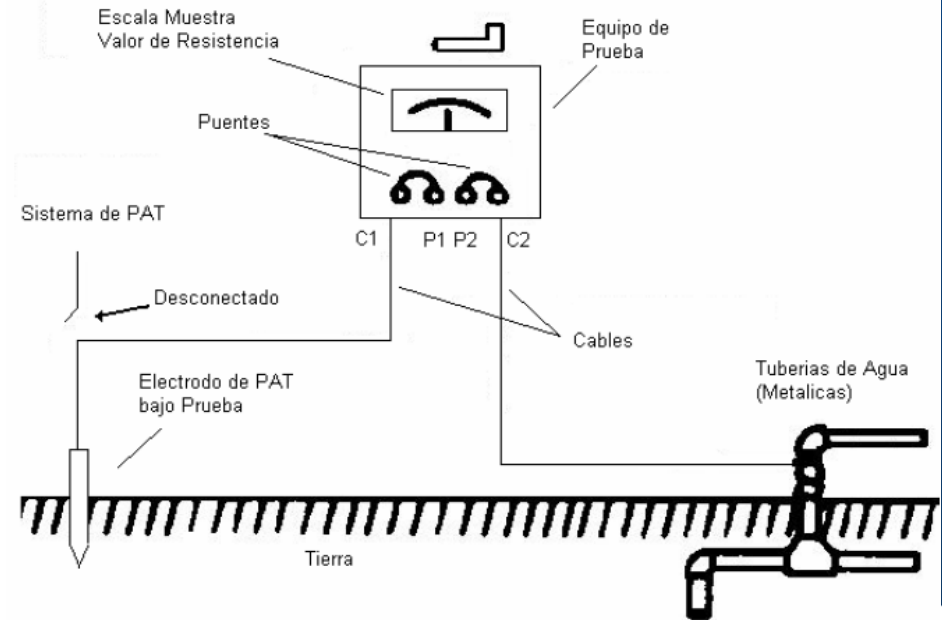
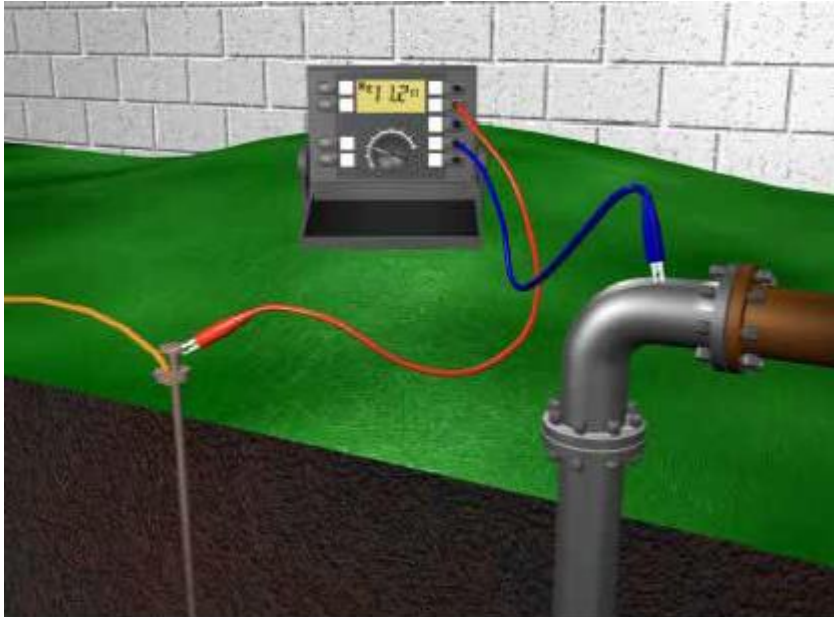


INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

- **Método de los dos puntos.**

- Se mide la resistencia total de la toma de tierra que se está probando y otro electrodo auxiliar.
- El valor medido está sujeto a errores cuando se miden resistencias pequeñas.
- Se utiliza para determinar la resistencia de un electrodo simple en un área residencial.
- Utiliza las tuberías metálicas de agua (electrodo auxiliar).
- Inconvenientes:
 - Pueden presentarse tuberías plásticas.
 - No se conoce el recorrido de las tuberías.
 - Puede llevar a errores si se intenta medir la resistencia de un electrodo de pocos ohmios.

INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA





INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

- **Método de la caída de tensión.**

- Consiste en inyectar corriente a través de la toma de tierra a medir y por un electrodo de corriente auxiliar, suficientemente alejado.
- Posteriormente, se entierra otro electrodo auxiliar de tensión a la mitad (variante 62%) de los otros dos.
- Se mide el potencial o tensión en el electrodo auxiliar de tensión.
- Conocidos los valores de tensión y corriente, se aplica la ley de Ohm y se calcula la R.
- Los 3 electrodos se mantienen en línea recta y se va corriendo el electrodo de tensión hacia el electrodo de corriente para hacer sucesivas mediciones.



INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

- Se gráfica (distancia vs. resistencia) cada uno de los puntos de medición, la curva tiende a nivelarse en un determinado valor.
- Es adecuado para casi todos los tipos de mediciones de resistencia de puestas a tierra.
- **Pasos para realizar la medición.**
 - Desconectar del SPAT todos los componentes.
 - Conectar el equipo de medición a la barra o electrodo a medir.
 - Colocar el electrodo de corriente a una distancia conocida de la barra o electrodo a medir.
 - Realizar varias mediciones de resistencia para diferentes distancias del electrodo de potencial, sin mover el electrodo de corriente (los tres deben estar en línea recta).
 - Graficar la curva obtenida de R vs. d



INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

- Se puede utilizar una tabla como la siguiente:

Distancia del electrodo de corriente al electrodo bajo estudio (m)	Distancia del electrodo de Potencial al electrodo bajo prueba (m)	Resistencia Medida (Ohm)

- **Ubicación de los electrodos de prueba.**
 - No hay un método para determinar la distancia entre el electrodo de tierra y el de corriente.
 - Por las condiciones variables del suelo.



INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

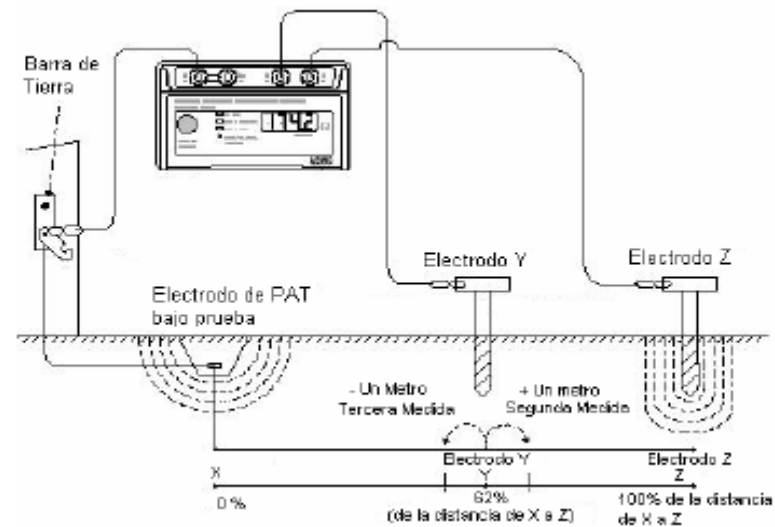
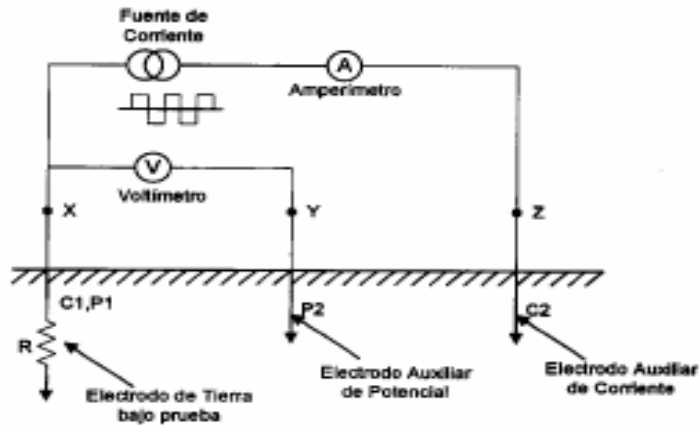
- Basados en pruebas, se utiliza una distancia igual a 4 o 5 veces la longitud máxima del electrodo bajo prueba (otros recomiendan 10 veces).
- En el caso de un área pequeña o un electrodo simple, se puede colocar el electrodo de corriente a 30 m del electrodo a medir. El electrodo de potencial se coloca en la mitad de los dos.
- En cuanto a la distancia óptima para el electrodo de potencial para hallar el punto de estabilización de la curva, se tiene que generalmente es el 62% de la distancia entre el electrodo a medir y el electrodo de corriente (Método del 62%).
- En la siguiente tabla se pueden observar las distancias aproximadas recomendadas para ubicar los electrodos de corriente y potencial, cuando la prueba se realiza con un electrodo simple de 2.54 cm de diámetro,



INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

Distancia aproximada a los electrodos auxiliares usando el método del 62%		
Profundidad del electrodo bajo Prueba (X, C1 o E) (m)	Distancia al electrodo De potencial (Y, P2 o S) (m)	Distancia al electrodo De corriente (Z, C2 o H) (m)
1,83	13,72	21,95
2,44	15,24	24,38
3,05	16,76	26,82
3,66	18,29	29,26
5,49	21,64	35,05
6,10	22,56	36,58
9,14	26,21	42,67

INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA





INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

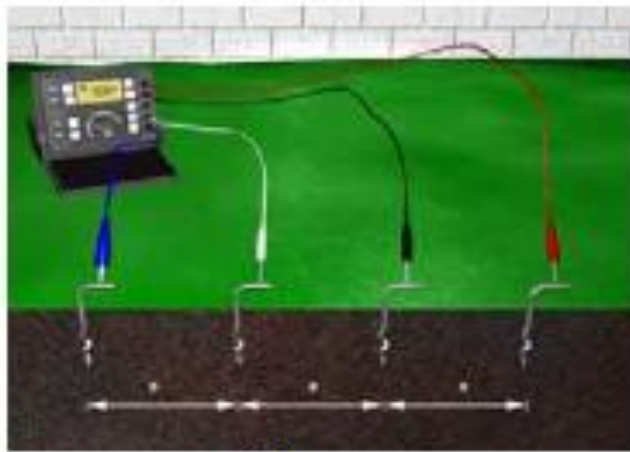
- **Método de los cuatro puntos.**

- Conocido como el método Wenner.
- Es el método más seguro para medir la resistividad promedio de volúmenes extensos de suelos naturales.
- Se clavan 4 electrodos pequeños en el suelo en línea recta con la misma distancia entre ellos (a) y una profundidad (b) que no supere 1/10 parte de (a), preferiblemente 1/20.
- Se inyecta corriente por los electrodos de corriente (2). Se mide la tensión entre los electrodos de potencial (2). Se calcula la resistencia y la resistividad del terreno:

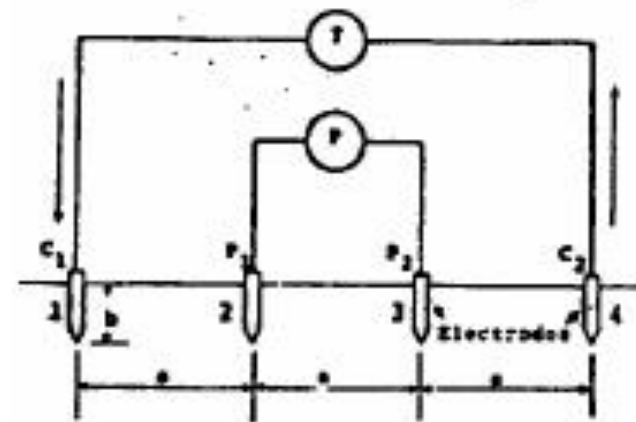
$$\rho = 2\pi \cdot A \cdot R, \text{ si } b \ll a$$

INSTALACIONES DE PUESTAS A TIERRA

- ρ : Resistividad promedio a la profundidad, b. [$\Omega \cdot \text{Cm}$]
- a: distancia entre los electrodos [cm]
- R: resistencia medida por el megóhmtero [Ω].
- Se recomienda realizar varias veces la medición, cambiando el eje de los electrodos 90° . Cambiando la profundidad y distancia de los electrodos.



(a)



(b)



GRACIAS