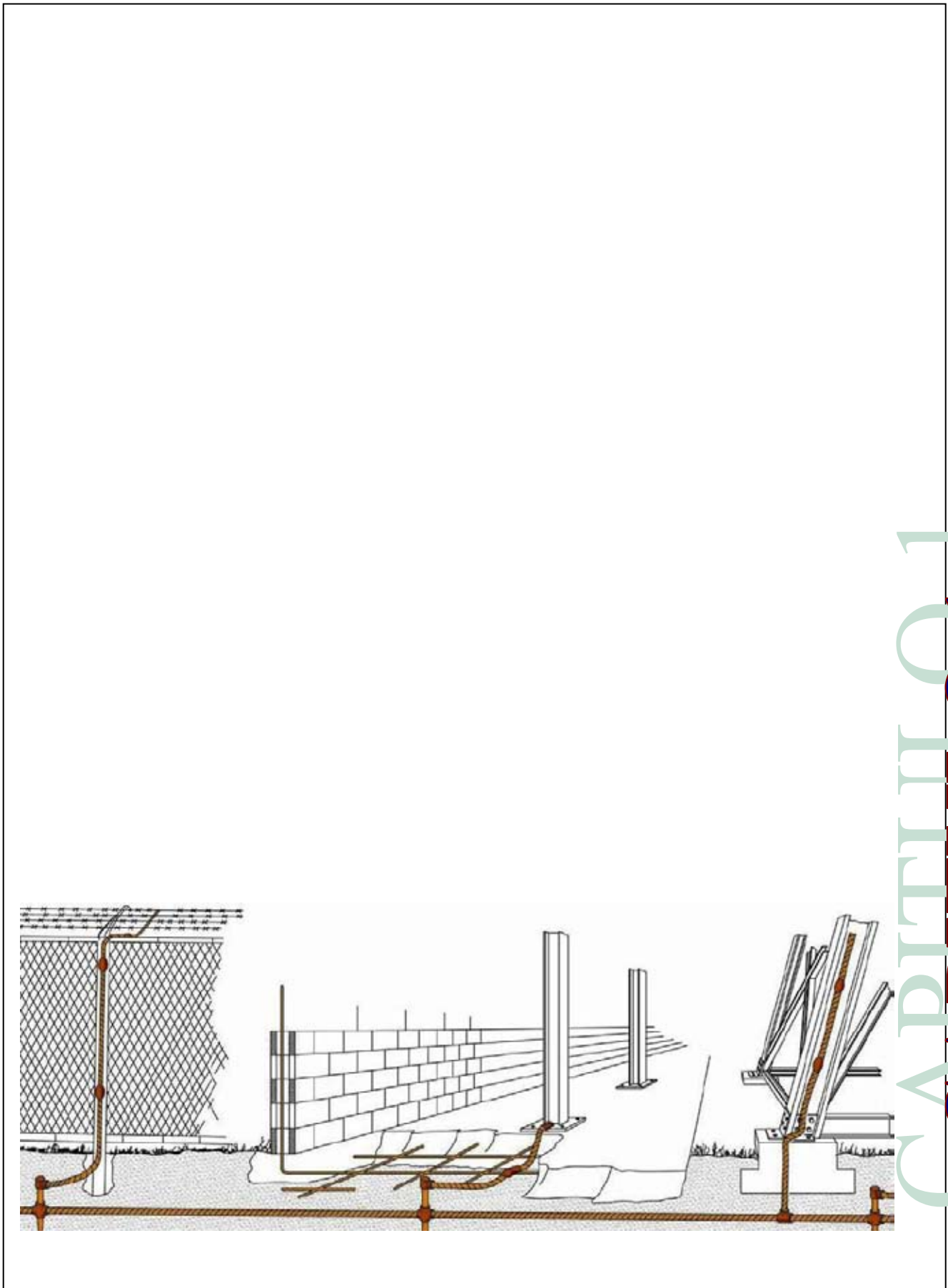


CAPITULO 01



# FABRICANTE DE SISTEMAS COMPONIBLES DE SOPORTERIA



**MATERIALES:**  
ACERO GALVANIZADO  
ALUMINIO  
ACERO INOXIDABLE

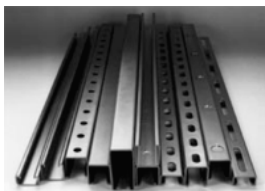


**VARIEDAD DE PERFILES:**

SOLIDOS  
PERFORADOS CON HUECOS REDONDOS  
PERFORADOS CON HUECOS ALARGADOS  
PARA EMPOTRAR EN CONCRETO  
COMBINACIONES DE DOS PERFILES  
COMBINACIONES DE TRES PERFILES



**AMPLIA GAMA DE ACCESORIOS:**  
ABRAZADERAS MOROCHAS PARA CONDUITS



SOPORTES A PERFILES  
SOPORTES A PARED  
OMEGAS  
UNIONES PLANAS  
UNIONES EN ANGULOS  
UNIONES EN CRUZ  
UNIONES EN TEE  
TUERCAS CON RESORTE  
BASES PARA FIJACION A TECHO O PISO  
PIE DE AMIGOS  
TORNILLERIA  
OTROS

Solicite su manual de sistemas componibles de soportes **GEDISTRUT**

# CONTENIDO CAPITULO 1

## *Puesta a tierra*

Objetivos del sistema de puesta a tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 1
Definiciones y conceptos básicos	Capítulo 1 Sección 1 - 1
Tierra de Protección	Capítulo 1 Sección 1 - 1
Tierra de Servicio	Capítulo 1 Sección 1 - 1
Tierra de Referencia	Capítulo 1 Sección 1 - 1
Electrodo de Tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 1
Mallas de Tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 1
Conexión a Tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 1
Poner a Tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 1
Resistividad de un Terreno	Capítulo 1 Sección 1 - 1
Gradiente Superficial.	Capítulo 1 Sección 1 - 1
Diferencias entre la conexión de tierra y neutro	Capítulo 1 Sección 1 - 1
TIPOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA	Capítulo 1 Sección 1 - 2
Puesta a tierra para sistemas eléctricos.	Capítulo 1 Sección 1 - 2
Puesta a tierra de los equipos eléctricos.	Capítulo 1 Sección 1 - 2
Puesta a tierra en señales electrónicas.	Capítulo 1 Sección 1 - 2
Puesta a tierra de protección electrónica	Capítulo 1 Sección 1 - 2
Puesta a tierra de protección atmosférica	Capítulo 1 Sección 1 - 2
Puesta a tierra de protección electrostática.	Capítulo 1 Sección 1 - 3
Puesta a tierra para sistemas eléctricos.	Capítulo 1 Sección 1 - 3
Puesta a tierra de protección	Capítulo 1 Sección 1 - 3
Puesta a tierra provisoria	Capítulo 1 Sección 1 - 3
Mediciones de tierras	Capítulo 1 Sección 1 - 3
Constitución del terreno	Capítulo 1 Sección 1 - 4
La tierra y la resistividad del terreno	Capítulo 1 Sección 1 - 4
Efectos de la humedad y temperatura sobre la resistividad del terreno	Capítulo 1 Sección 1 - 4
Efectos de la humedad y sales disueltas sobre la resistividad del terreno	Capítulo 1 Sección 1 - 4
Efectos de la temperatura sobre la resistividad del terreno	Capítulo 1 Sección 1 - 5
Efectos del tipo de suelo sobre la resistividad del terreno	Capítulo 1 Sección 1 - 5
Efectos de las variaciones estacionales sobre la resistividad del terreno	Capítulo 1 Sección 1 - 6
Medición de la resistividad del terreno	Capítulo 1 Sección 1 - 6
Tipo de prueba	Capítulo 1 Sección 1 - 6
Tipo de aparato	Capítulo 1 Sección 1 - 6
Lugar físico	Capítulo 1 Sección 1 - 7
Métodos de prueba básicos para medición de la resistencia a tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 7
Método de caída de potencia	Capítulo 1 Sección 1 - 7
Método de dos puntos	Capítulo 1 Sección 1 - 8
Método de cuatro terminales	Capítulo 1 Sección 1 - 9
Métodos involucrados en la prueba de resistencia de tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 9
Tensión de paso	Capítulo 1 Sección 1 - 10
Tensión de contacto	Capítulo 1 Sección 1 - 11
Efectos fisiológicos del pasaje de la corriente por el cuerpo Humano	Capítulo 1 Sección 1 - 11
A) Umbral de sensibilidad	Capítulo 1 Sección 1 - 11
B) Umbral de no soltar.	Capítulo 1 Sección 1 - 11
C) Muerte aparente.	Capítulo 1 Sección 1 - 11
D) Fibrilación ventricular y su umbral.	Capítulo 1 Sección 1 - 12
Valores recomendados por normas	Capítulo 1 Sección 1 - 12
Valores recomendados en código eléctrico nacional.	Capítulo 1 Sección 1 - 12

# CONTENIDO CAPITULO 1

Valores recomendados por la IEEE 142-1991.	Capítulo 1 Sección 1 - 12
Naturaleza de un electrodo a tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 12
Resistencia del electrodo	Capítulo 1 Sección 1 - 12
Resistencia de contacto del electrodo a tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 12
Resistencia de la tierra circundante	Capítulo 1 Sección 1 - 13
Tubería metálica de agua enterrada	Capítulo 1 Sección 1 - 13
Estructura metálica del edificio	Capítulo 1 Sección 1 - 13
Electrodos de concreto armado	Capítulo 1 Sección 1 - 13
Anillo de tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 13
Electrodos especialmente contruidos	Capítulo 1 Sección 1 - 13
Electrodo de varilla o tubería	Capítulo 1 Sección 1 - 13
Electrodo de placa	Capítulo 1 Sección 1 - 14
Estructura metálicas enterradas	Capítulo 1 Sección 1 - 14
Electrodos para puesta a tierra en radio frecuencia	Capítulo 1 Sección 1 - 14
Barra equipotencial	Capítulo 1 Sección 1 - 14
Electrodos de puesta a tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 15
Electrodos de plancha	Capítulo 1 Sección 1 - 15
Electrodos de canastillos	Capítulo 1 Sección 1 - 15
Electrodos de barras	Capítulo 1 Sección 1 - 15
Conductores de puesta a tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 15
Construcción de tierras	Capítulo 1 Sección 1 - 15
Número de electrodos	Capítulo 1 Sección 1 - 16
Un sistema de puesta a tierra debe ser integral	Capítulo 1 Sección 1 - 16
La falta de normativa y las variables del medio anulan los sistemas de puesta a tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 17
¿Como se debe seleccionar un sistema de puesta a tierra?	Capítulo 1 Sección 1 - 17
Orden de importancia	Capítulo 1 Sección 1 - 17
Sistema integral	Capítulo 1 Sección 1 - 17
Aplicaciones	Capítulo 1 Sección 1 - 17
Cálculo del sistema	Capítulo 1 Sección 1 - 17
Medición y control de las instalaciones de tierras	Capítulo 1 Sección 1 - 17
Conexión a tierra de protección	Capítulo 1 Sección 1 - 17
Condiciones de ejecución de una conexión a tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 17
Métodos para reducir la resistencia de puesta a tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 18
Tratamiento químico del suelo	Capítulo 1 Sección 1 - 18
Materiales de aceptables baja resistividad	Capítulo 1 Sección 1 - 19
Bentonita	Capítulo 1 Sección 1 - 19
Marconita	Capítulo 1 Sección 1 - 19
Yeso	Capítulo 1 Sección 1 - 19
Efecto del tamaño del electrodo	Capítulo 1 Sección 1 - 19
Efecto del largo del electrodo	Capítulo 1 Sección 1 - 19
Efecto del diámetro del electrodo	Capítulo 1 Sección 1 - 20
Uso de electrodos múltiples	Capítulo 1 Sección 1 - 20
Como elegir el punto más oportuno para enterrar dispersores	Capítulo 1 Sección 1 - 21
Electrodos de puesta a tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 22
Dimensiones mínimas de los electrodos de puesta a tierra	Capítulo 1 Sección 1 - 22
Instalación de electrodos	Capítulo 1 Sección 1 - 22
Procedimiento general	Capítulo 1 Sección 1 - 22
<i>Soldadura exotérmica</i>	
Soldadura exotérmica	Capítulo 1 - Sección 2 - 1

# CONTENIDO CAPITULO 1

¿Que significa exotermico?	Capítulo 1 - Sección 2 - 1
¿Que es una reacción exotérmica?	Capítulo 1 - Sección 2 - 1
Conexiones exotérmicas	Capítulo 1 - Sección 2 - 1
Ventajas de la soldadura exotérmica	Capítulo 1 - Sección 2 - 1
Ventajas económicas	Capítulo 1 - Sección 2 - 2
Ventajas técnicas	Capítulo 1 - Sección 2 - 2
Desventajas de la soldadura exotérmica	Capítulo 1 - Sección 2 - 2
Aplicaciones de la soldadura exotérmica	Capítulo 1 - Sección 2 - 2
Comparación entre sistemas de conexión	Capítulo 1 - Sección 2 - 3
Materiales y equipos para puesta a tierra	Capítulo 1 - Sección 2 - 4
Moldes para soldaduras exotérmicas	Capítulo 1 - Sección 2 - 4
Barras de acero recubiertas de cobre	Capítulo 1 - Sección 2 - 5
<b>PROCESO DE UNA SOLDADURA EXOTERMICA</b>	Capítulo 1 - Sección 2 - 6
Preparación de los materiales y equipos para una soldadura exotérmica	Capítulo 1 - Sección 2 - 7
Preparación de los conductores y cables	Capítulo 1 - Sección 2 - 7
Preparación del molde de grafito	Capítulo 1 - Sección 2 - 7
Preparación de las barras copperweld	Capítulo 1 - Sección 2 - 8
Preparación de las barras de cobre	Capítulo 1 - Sección 2 - 8
Preparación de las superficies de acero	Capítulo 1 - Sección 2 - 8
<b>NORMATIVAS PARA SOLDADURAS EXOTERMICAS</b>	Capítulo 1 - Sección 2 - 8

# PUESTA A TIERRA

La importancia de entender el comportamiento de la electricidad y cuales son sus aplicaciones, hoy en día es un hecho que todas las personas se ven involucradas de cualquier modo con electricidad tanto en sus casas como en el trabajo.

Nos enfocaremos solo a una parte muy importante de las protecciones de electricidad como son las protecciones de puesta a tierra.

Como veremos mas adelante existen normas que regulan la importancia de la puesta a tierra y tienen por misión entregar parámetros a los usuarios para asegurar una buena puesta a tierra. También se conocerán conceptos básicos como son los términos y lenguaje de ésta parte de la electricidad.

Sabiendo la importancia de la puesta a tierra de protección y de servicio, es que a existido la importancia de mejorar las puestas a tierra debido que influye mucho las condiciones climáticas, y en todo momento se entiende que una puesta a tierra varia tanto por aspectos del terreno y las condiciones propia que constituyen un problema para medir y obtener una buena puesta a tierra.

Esto es por nombrar algunas condiciones de dificultad que se encuentra en la realidad. Debido a lo antes mencionado es que surge la necesidad de crear mejores puestas a tierra y mejores instrumentos que midan la tierra en donde se va a instalar una puesta a tierra.

## Objetivos del sistema de puesta a tierra:

- Habilitar la conexión a tierra en sistemas con neutro a tierra.
- Proporcionar el punto de descarga para las carcasas, armazón o instalaciones.
- Asegurar que las partes sin corriente, tales como armazones de los equipos, estén siempre a potencial de tierra, a un en el caso de fallar en el aislamiento.
- Proporcionar un medio eficaz de descargar los alimentadores o equipos antes de proceder en ellos a trabajos de mantenimiento.

Una eficiente conexión a tierra tiene mucha importancia por ser responsable de la preservación de la vida humana, maquinarias, aparatos y líneas de gran valor. Muy importante es insistir y exigir a una instalación a tierra, eficaz y adecuada a su servicio para seguridad, buen trabajo y preservación.

Al estudiar una instalación a tierra es necesario conocer las características de la línea, la intensidad y tensión a la que puesta ser usada. Conocer el funcionamiento de los electrodos en sus resistencias al paso de la corriente eléctrica.

## Definiciones y conceptos básicos

**Tierra de Protección.** Los sistemas eléctricos se conectan a tierra con el fin de limitar la tensión que pudiera aparecer en ellos, por estar expuestos a descargas atmosféricas, por interconexión en casos de fallas con sistemas de conexiones superiores, o bien, para limitar el potencial máximo con respecta a tierra, producto por la tensión nominal del sistema. Este tipo de conexión se denominará Tierra de Servicio.

**Tierra de Servicio.** Los equipos eléctricos se conectan a tierra para evitar que la carcasa o cubierta metálica de ellos represente un potencial respecto de tierra que pueda significar un peligro para el operario u usuario del equipo. Este tipo de conexión a tierra se denominará Tierra de Protección.

**Tierra de Referencia.** Se entiende por tierra de referencia a la tierra que se le asigna potencial.

**Electrodo de Tierra.** Se entiende por electrodo de tierra a un conductor (cable, barra, tubo, placa, etc.) enterrado en contacto directo con la tierra o sumergido en agua que este en contacto con la tierra.

**Mallas de Tierra.** Es un conjunto de electrodos unidos eléctricamente entre sí.

**Conexión a Tierra.** Es la conexión eléctrica entre una malla o electrodo en tierra y una parte exterior. Las partes de conexiones a tierra no aisladas y enterradas, se consideran como parte de la malla de electrodo.

**Poner a Tierra.** Cuando un equipo o instalación está conectado eléctricamente a una malla o electrodo a tierra.

**Resistividad de un Terreno.** Es la relación entre la tensión de la malla con respecto a tierra de referencia y la corriente que pasa a tierra a través de la malla.

**Gradiente Superficial.** Es la diferencia de potencial que existe entre dos puntos de la superficie del terreno o del agua, distante entre sí en 1 m.

## Diferencias entre la conexión de tierra y neutro

Un error común en la conexión de un equipo o en la transmisión de tensión en un conducto es la confusión entre tierra (GND) y neutro (N). Aunque idealmente estos dos terminan conectados en algún punto a tierra, la función de cada uno es muy distinta. El cable de neutro es el encargado de la transmisión de corriente y el conductor de tierra es una seguridad primaria de los equipos contra el shock eléctrico. Identificarlos como si cumplieran la misma función seria anular la seguridad de

tierra contra el shock eléctrico. En el hipotético caso se tome el neutro y tierra como la misma cosa, cuando el cable de tierra se corte o interrumpa, la carcasa de los equipos que estén conectados a esta tierra-neutro tendrá el potencial de línea y así toda persona o ser que tenga contacto con ello estará expuesta a una descarga eléctrica.

**TIPOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA**

De acuerdo a su aplicación los sistemas de puesta a tierra son:

- Puesta a tierra para sistemas eléctricos.*
- Puesta a tierra de los equipos eléctricos.*
- Puesta a tierra en señales electrónicas.*
- Puesta a tierra de protección electrónica*
- Puesta a tierra de protección atmosférica*

**Puesta a tierra para sistemas eléctricos.** El propósito de aterrar los sistemas eléctricos es limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos. Esto se realiza mediante un conductor apropiado a la corriente de falla a tierra total del sistema, como parte del sistema eléctrico conectado al planeta tierra.

**Puesta a tierra de los equipos eléctricos.** Su propósito es eliminar los potenciales de toque que pudieran poner en peligro la vida y las propiedades, de forma que operen las protecciones por sobrecorriente de los equipos.

Utilizado para conectar a tierra todos los elementos de la instalación que en condiciones normales de operación no están sujetos a tensiones, pero que pueden tener diferencia de potencial con respecto a tierra a causa de fallas accidentales en los circuitos eléctricos, así como los puntos de la instalación eléctrica en los que es necesario establecer una conexión a tierra para dar mayor seguridad, mejor funcionamiento y regularidad en la operación y en fin, todos los elementos sujetos a corrientes eléctricas importantes de corto circuito y sobretensiones en condiciones de falla.

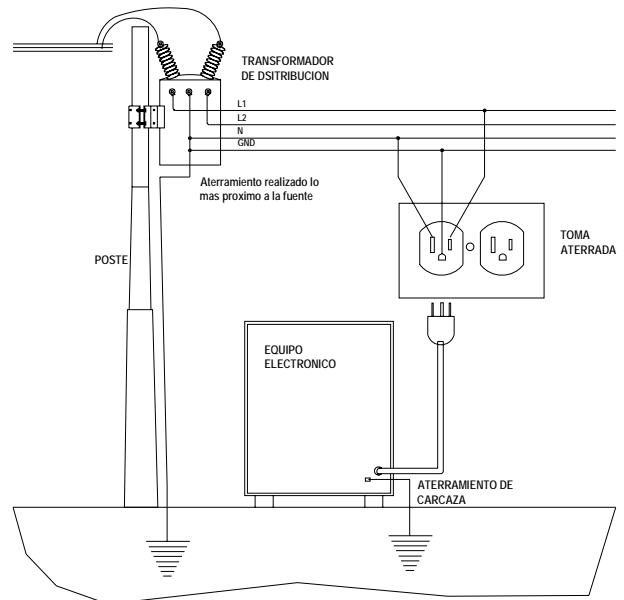
Generalmente la resistencia a tierra en cualquier punto del sistema, no debe ser mayor a 10 Ohms. Para la conexión a tierra de los equipos, se instalan en los edificios, una barra de cobre electrolítico de dimensiones adecuadas, instaladas a unos 60 cm sobre el nivel de piso con una leyenda indicativa, que es de uso exclusivo para el sistema de fuerza en las concentraciones de tableros de cada piso.

**Puesta a tierra en señales electrónicas.** Para evitar la contaminación con señales en frecuencias diferentes a la deseada. Se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero o a tierra.

**Puesta a tierra de protección electrónica.** Para evitar la destrucción de los elementos semiconductores por sobre voltajes, se colocan dispositivos de protección de forma de limitar los picos de sobré tensión conectados entre los conductores activos y tierra.

La puesta a tierra de los equipos electrónicos y de control, consta de una serie de electrodos instalados remotamente al edificio. En el interior se instala una barra de cobre electrolítico de dimensiones adecuadas montada a 2.60 metros sobre nivel de piso terminado con una leyenda indicativa, que es de uso exclusivo para el sistema de electrónica.

La resistencia a tierra máxima en este sistema debe ser de unos 2 Ohms, cuando no se alcanza la resistencia deseada, se instala algún elemento químico para reducir la resistividad del terreno y alcanzar así, la resistencia a tierra requerida.



**Figura 1**  
Puesta a tierra de equipo electrónico

**Puesta a tierra de protección atmosférica.** Como su nombre lo indica, se destina para drenar a tierra las corrientes producidas por descargas atmosféricas (RAYOS) sin mayores daños a personas y propiedades. Se logra con una malla metálica igualadora de potencial conectada al planeta tierra que cubre los equipos o edificios a proteger o se conforma con electrodos tipo copperweld y cable tipo pararrayos de cobre Clase 1 de 27 hilos.

La distancia del edificio con respecto al sitio donde se entierre el electrodo, no debe ser inferior a 2,50 metros y debe quedar totalmente aislado de los sistemas de tierras para fuerza y para electrónica.

La resistencia a tierra en cualquier punto del sistema, no debe ser mayor a 10 ohms, para lo cual en caso

necesario, se implementarán arreglos de electrodos en Delta y/o un agregado de elementos químicos para reducir la resistividad del terreno, recomendados por el CEN en el artículo 250-83.

**Puesta a tierra de protección electrostática.** Sirve para neutralizar las cargas electrostáticas producidas en los materiales dieléctricos. Se logra uniendo todas las partes metálicas y dieléctricas, utilizando el planeta tierra como referencia de voltaje cero.

Como pudo apreciar anteriormente cada sistema de tierras debe cerrar únicamente el circuito eléctrico que le corresponde.

#### **Puesta a tierra para sistemas eléctricos.**

Los sistemas eléctricos se conectan a tierra con el fin de limitar la tensión que pudiera aparecer en ellos, por estar expuestos a descargas atmosféricas, por interconexión en casos de fallas con sistemas de conexiones superiores, o bien, para limitar el potencial máximo con respecto a tierra, producto por la tensión nominal del sistema. Este tipo de conexión se denominará Tierra de Servicio.

Se conectarán a tierra los elementos de la instalación necesarios como ser:

- Los neutros de los transformadores, que lo precisan en instalaciones o redes con neutro a tierra de forma directa o a través de resistencias o bobinas.
- El neutro de los alternadores y otros aparatos o equipos que lo precisen.
- Los circuitos de baja tensión de transformadores de medida.
- Los limitadores, descargadores, autoválvulas, pararrayos, para eliminación de sobretensiones o descargas atmosféricas.
- Los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra.

#### **PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN**

Los equipos eléctricos se conectan a tierra para evitar que la carcasa o cubierta metálica de ellos represente un potencial respecto de tierra que pueda significar un peligro para el operario u usuario del equipo. Este tipo de conexión a tierra se denominará Tierra de Protección.

La posibilidad de que ciertas partes de una instalación, que normalmente están sin tensión, puede quedar con una tensión con respecto a la tierra por fallas de aislamiento, se debe evitar conectando todas las partes metálicas con las que pueda una persona entrar en contacto y que no debe estar normalmente con tensión.

Según la presente norma, se entiende por tierra de protección la puesta a tierra de toda pieza conductora que no forma parte del circuito, pero que en condiciones de falla puede quedar energizada.

Se pondrán a tierra las partes metálicas de una instalación que no estén en tensión normalmente pero que puedan estarlo a consecuencia de averías, accidentes, descargas atmosféricas o sobretensiones.

Salvo se indique lo contrario, se pondrán a tierra los siguientes elementos:

- Los chasis y bastidores de aparatos de maniobra.
- Los envolventes de los conjuntos de armarios metálicos.
- Las puertas metálicas de los locales.
- Las vallas y cercas metálicas.
- Las columnas, soportes y pórticos.
- Las estructuras y armaduras metálicas de los edificios que contengan instalaciones de alta tensión.
- Los blindajes metálicos de los cables.
- Las tuberías y conductos metálicos.
- Las carcasas de transformadores, generadores, motores y otras máquinas.
- Hilos de guardia o cables de tierra de las líneas aéreas.

En todos los casos donde el conductor de puesta a tierra se encuentre en vías de circulación de personas u animales ajenas a la instalación deberá contar con protección mecánica, evitándose en lo posible el uso de tubos de material de buena permeabilidad magnética.

#### **Puesta a Tierra provisoria.**

Cuando se establece tierra provisoria para trabajar en líneas o equipos, debe tener presente que, en general, las Tierras de tirabuzón o la de las estructuras, son tierra de alta resistencia y, por lo tanto, se producen fuertes elevaciones de potencial al circular corriente en ellas.

Cuando se ejecutan trabajos de estructuras metálicas conectadas al punto de trabajo para evitar diferencias de potencial. Siempre que el trabajo se ejecute una desconexión operando un equipo o abriendo un puente, debe tenerse en cuenta la posibilidad de alimentación desde cualquiera de los lados debe, por lo tanto, colocarse puesta a tierra en cada lado del o los puntos de apertura de los circuitos.

#### **MEDICIONES DE TIERRAS**

Las características eléctricas del terreno en el cual se entierran los electrodos de una instalación de tierra es la principal causa de las indeterminaciones que se presentan en el estudio de una instalación.

A los efectos del comportamiento eléctricos del terreno nos interesa su resistividad, más ésta depende de la naturaleza química de la humedad presente, de la temperatura y de otras causas. No se puede pensar de un tratamiento analítico del problema sin antes considerar un gran número de variables y valoraciones, las cuales dadas las diversas cualidades del terreno, no son de segura determinación.



Podemos aconsejar que el mejor método de afrontar esta situación sea proceder por la vía experimental y de efectuar una serie de mediciones sistemáticas en todas las posibles condiciones.

Se procede a medidas sistemáticas de la resistencia total de instalación de tierra o se busca la resistencia deseada, aumentando el número de electrodos, la profundidad del entierro o con otro medio que la practica lo aconseje, se trata de llegar a un valor inferior al máximo, que permita contener el potencial de tierra entre valores adecuados no peligrosos.

**Constitución del terreno.**

La química del terreno, la cantidad y la calidad de las sales minerales en el contenido pueden influir de modo notable en su resistividad. Los terrenos lluviosos o arcillosos con acentuadas capas de humos, son aquellos que presentan las resistividades más bajas y adicionalmente las menores variaciones en el tiempo.

Los terrenos arenosos, pedregosos y rocosos presentan resistividad muy elevada y varían sus características en el tiempo, según la temperatura y la humedad, en límites muy amplios.

En la tabla 1 siguiente están expuestos los valores de la resistividad de los materiales más importantes que construyen los terrenos.

Tabla 1. Resistividad de algunos tipos de materiales interesantes a las instalaciones eléctricas.		
TERRENO	RESISTENCIA (OHM) 5/8 X 1.5 m	RESISTIVIDAD OHM X CM3
	PROM. M/N MAX.	PROM. M/N MAX.
Relleno, ceniza, escoria, desechos de salmuera.	14 3.5 42	2.370
Arcilla, pizarra, suelo pedregoso, marga.	24 2 98	4.060 340
FUDEM con proporciones variables de arena y ripio.	93 6 800	15.800 1.000 135.000
Ripio, arena, piedras con pequeñas cantidades de arcilla, marga.	554 35 2.700	94.000 59.000 458.000

Los materiales que tienen los más altos valores de resistividad se pueden considerar como aislante, y los materiales que tengan los más bajos valores de resistividad como conductores no presentando problemas de dimensionamiento de los electrodos, mientras que sí originan problemas de protección personal. Así se desprende de esta tabla que un sistema de tierra que sería completamente adecuado en terrenos de arcillas, puede ser casi inservible en terrenos arenosos. También se ha observado que muestras de tierra de la misma

clase, pero de diferentes lugares tienen distinta resistividad, la que puede variar hasta por un factor de 200 a 300%. De esto se concluye que el problema de tierra está estrictamente relacionado con el tipo particular de tierra en el cual debe efectuarse la conexión a tierra.

**LA TIERRA Y LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO**

Como hemos comentado previamente el término “resistividad de tierra” expresado en centímetros ohm es una variable básica que afecta la resistencia a tierra de un sistema de electrodos. Pero se encontró que el valor real de la resistividad de la tierra no necesita medirse para verificar la resistencia de tierra del electrodo.

Las mediciones de resistividad de tierra pueden emplearse convenientemente para prospecto geofísico. Las mediciones también pueden emplearse para determinar la profundidad de la roca. Las mediciones de la resistividad de la tierra también son útiles para encontrar la mejor ubicación y profundidad para electrodos de baja resistencia.

Tales estudios se realizan, cuando se van a construir unidades eléctricas nuevas tales como: estación generadora, subestación, torre de transmisión y central telefónica. Finalmente, se puede utilizar la resistividad de la tierra para indicar el grado de corrosión que se espera en tuberías subterráneas de agua, petróleo, gas, etc.

**TIENEN EFECTOS LA HUMEDAD Y TEMPERATURA SOBRE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.**

Indudablemente que sí, la resistividad del terreno esta muy influenciada primordialmente por la humedad y en menor medida no menos importante por su temperatura, son tan significativos estos efectos, que la resistencia del terreno disminuye con el aumento de la humedad y con el incremento de la temperatura.

El conocimiento de la acción de la humedad y temperatura sobre la resistencia del electrodo para puesta a tierra resulta indispensable para que una instalación de tierra conserve en el tiempo sus características.

**EFFECTOS DE LA HUMEDAD Y SALES DISUELTAS SOBRE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO**

Para los efectos prácticos el resultado de la resistencia por la acción de la humedad y la temperatura nos obliga a mantener presente oportunos coeficientes para la determinación de la resistencia que debemos asignar a los electrodos con el fin de un buen funcionamiento en las instalaciones a tierra. Se podría omitir el factor de temperatura, para no efectuar tanto la influencia de la humedad en el terreno.

Otra causa de imprecisión en el conocimiento de la resistencia del terreno es la variación de valores de esta magnitud, cuando se pasa de capas superficiales o capas profundas, sobre todo, cuando se usa el electrodo cilíndrico de distinta naturaleza y resistividad.

Las variaciones de resistividad con la profundidad puede ser modificada debido a los estados de humedad del terreno, cuando por ejemplo, después de un larga periodo de sequía, un temporal humedece la capa superficial del terreno, dejando seca la capa inferior, la mayor parte de la corriente que eventualmente se distribuye hacia los dispersores, eligiendo un camino de menos resistencia, influirá únicamente la capa superficial, creando alrededor de los dispersores peligrosas gradientes superficiales.

En el terreno, la conducción de corriente es principalmente electrolítica. Por tanto, la cantidad de humedad y el contenido de sales del terreno afectan radicalmente su resistividad. La cantidad de agua en el terreno varía, por supuesto, con el clima, época del año, la naturaleza del subsuelo y la profundidad del manto freático permanente.

En la **Tabla 2 Efecto de la humedad en la resistividad del Terreno**, se exhiben los efectos típicos del agua sobre el terreno, en ella se puede observar que al estar secos en ambos tipos de terreno las resistividades son alrededor de 1000 Mega ohm-cm, siendo buenos aislantes. Con un contenido de humedad del 30%, sin embargo, se aprecia un decrecimiento drástico en la resistividad del terreno que se puede determinar por un factor de alrededor de 100,000 veces del valor original.

TABLA 2 Efecto de la humedad en la resistividad del Terreno		
CONTENIDO DE HUMEDAD % POR PESO RESISTIVIDAD OHM-CM	TERRENO SUPERFICIAL	ARCILLA ARENOSA
0.0	1,000 x 10 <sup>6</sup>	1,000 x 10 <sup>6</sup>
2.5	250,000	150,000.0
5.0	165,000	43,000
10	53,000	22,000
15	21,000	13,000
20	12,000	10,000
30	10,000	8,000

Tenga presente que el agua pura tiene una resistividad infinitamente alta. Las sales presentes en forma natural en el terreno o disueltas en agua, bajan la resistividad del terreno.

Si analizamos en forma análoga a la humedad, los efectos que causan las sales en el terreno, podemos percibir que basta con una pequeña cantidad de una sal para reducir la resistividad del terreno de manera significativa, observen la tabla 3 Efecto del la sal en la resistividad del terreno.

En ella para un 0% de sal la resistividad es de unos 10,7 Kilo ohm-cm, se aprecia un decrecimiento drástico en la resistividad del terreno que se puede determinar por un factor de alrededor de 1000 veces del valor original cuando el terreno tiene un porcentaje del 20%. Este

efecto puede ser útil para proporcionar un buen electrodo de baja resistencia, en lugar de un sistema de electrodos elaborado y caro.

TABLA 3 Efecto del la sal en la resistividad del terreno	
% DE SAL AGREGADA POR PESO DE HUMEDAD	RESISTIVIDAD OHM-CM
0.0	10,700
0.1	1,800
1.0	460
5.0	190
10	130
20	100

**EFFECTOS DE LA TEMPERATURA SOBRE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.**

No se ha recopilado mucha información sobre los efectos de la temperatura. Dos hechos conducen a la conclusión lógica de que un incremento en la temperatura disminuirá la resistividad:

- (1) El agua presente en el terreno principalmente determina la resistividad
- (2) Un incremento en la temperatura disminuye notoriamente la resistividad del agua.

Los resultados que se muestran en la Tabla 4 Efecto de la Temperatura en la Resistividad del Terreno confirman estos hechos. Observe que cuando se congela el agua en el terreno, la resistividad salta en forma apreciable; el hielo tiene una resistividad alta.

Note también que la resistividad continúa aumentando conforme baja la temperatura por debajo del punto de congelación. Se podría tener un valor realmente alto en los polos terrestres. En la tabla 4, note que una caída de temperatura de 54 grados (de 68°F a 14°F) ocasiona un aumento de 50 veces en resistividad.

TABLA 4 Efecto de la Temperatura en la Resistividad del Terreno		
TEMPERATURA		RESISTIVIDAD OHM-CM
C	F	
20	68	7,200
10	50	9,900
0 0 -5	32 (agua)	13,800
	32 (hielo)	30,000
	23	79,000
-15	14	330,000

**EFFECTOS DEL TIPO DE SUELO SOBRE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.**

Ya se trate de un suelo mayormente arcilloso o muy arenoso, la resistividad de la tierra puede cambiar mucho.

No es fácil definir exactamente a un suelo dado; la arcilla puede cubrir a una amplia variedad de suelos de tal manera que no podemos decir que cualquier suelo dado tiene una resistividad de tantos ohms-cm acompañando las Tablas 5 y 6 desde dos libros de referencia diferentes se muestra el amplio rango en valores.

Nótese también la variedad de valores para los mismos tipos generales de suelos.

TABLA 5 RESISTIVIDAD DE DIFERENTES SUELOS			
SUELO	RESISTIVIDAD OHM - CM		
	promedio	MIN	MAX
Rellenos de cenizas, partículas de madera quemadas, desperdicios de agua salada	2,370	590	7,000
Arcilla, rocas de arcilla endurecida, plantas gomosas, suelos ricos compuestos especialmente de arcilla arena y materia orgánica	4,060	340	16,300
Los mismos pero con proporciones variables de arena y grava	15,800	1,020	135,000
Grava, arena, piedras con un poco de arcilla o suelos ricos compuestos especialmente de arcilla arena y materia orgánica	94,000	59,000	458,000

TABLA 6 RESISTIVIDAD DE DIFERENTES SUELOS	
SUELO	RESISTIVIDAD OHM - CM
Suelos de superficie, suelos ricos compuestos especialmente de arcilla, arena y materia orgánica, etc	100-5,000
Arcilla	200-10,000
Arena y grava	5,000-100,000
Caliza superficial	10,000 -1,000,000
Caliza.	500-400,000
Rocas de arcilla endurecida	500-10,000
Arenisca.	2,000-200,000
Granitos, basaltos, etc	100,000
Partículas de rocas formadas de capas de cuarzo, mica, etc.	5,000-50,000
Rocas duras dispuestas en capas delgadas, etc	1,000-10,000

**EFFECTOS DE LAS VARIACIONES ESTACIONALES SOBRE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.**

Hemos visto los efectos de la temperatura, la humedad y el contenido de sales en la resistividad del terreno.

Es lógico, por tanto, que la resistividad del terreno variará considerablemente en las diferentes épocas del año. Esto es particularmente cierto en aquellos lugares donde hay variaciones extremas de temperatura, lluvia, temporadas secas y otras variaciones estacionales.

De todo el análisis precedente, se puede ver que la resistividad del terreno es una cantidad muy variable. Si

se desea saber cual es su valor en un lugar dado en cierta época del año, la única manera segura es medirla.

Cuando se utiliza este valor para trabajos de sondeo, el cambio en el valor, ocasionado por cambios en la naturaleza del subsuelo, es el asunto importante; de las variaciones en resistividad se pueden obtener resultados de sondeo importantes.

Otra razón principal de interesarse en la resistividad del terreno es para el diseño de sistemas de electrodos para sistemas eléctricos de potencia, pararrayos y así sucesivamente.

La resistencia del terreno varía directamente con su resistividad y es útil para conocer que factores afecten la resistividad.

**MEDICION DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO**

La medición de resistencia a tierra de electrodos es una técnica que requiere conocer aparte del método de medición, algunos factores que afectan los resultados de las mediciones, y que son:

- El tipo de prueba.
- El tipo de aparato empleado.
- El lugar físico de las puntas o electrodos de prueba

**Tipo de prueba.** Existen dos métodos de prueba básicos, los demás son variaciones de éstas. Aunque muy parecidas, los resultados de las mediciones no son exactamente los mismos. Los métodos son:

- Método de caída de potencial o de Tres Puntos, también denominado 62%
- Método Directo o de Dos Puntos.

Todos los métodos para medir la resistividad de las conexiones a tierra se asemejan por que en todos se necesitan dos conexiones de tierra auxiliares y de referencia, precisándose además una fuente adecuada de corriente y la exactitud del resultado esta en función de la ubicación de las tierras auxiliares o de referencia con respecto a la tierra que se desea medir.

**Tipo de aparato.** No todos los aparatos de medición de resistencia a tierra trabajan de la misma manera. Existen diferencias muy marcadas en el tipo de corriente empleada. A manera de ilustrar estas diferencias, los aparatos más utilizados en nuestro medio son el Vibroground y el Megger de tierras. Ambos emplean corriente alterna para la medición pero el primero a una frecuencia de 25 Hz, el último a 133 Hz. Y los voltajes en circuito abierto son respectivamente de 120 y 22 Volts.

Cuando se calibran estos instrumentos contra resistencias patrón, ambos dan la misma lectura. En campo, las lecturas pueden variar por la impedancia del terreno a esas distintas frecuencias.

En el mercado también existen aparatos de medición de tipo gancho como se aprecian en la figura 3.



Figura 3  
Medidor de tierra tipo gancho

Estos tienen las siguientes limitaciones:

- ❑ Dependen de que las conexiones del sistema de tierras estén bien hechas para obtener buenos resultados, porque cualquier resistencia en serie afecta la lectura.
- ❑ En electrodos de mallas industriales donde por inducción electromagnética se pueden obtener más de 2 Amperes en los conductores de puesta a tierra, el aparato no puede ser usado. Por otra parte, este tipo de aparato es muy útil donde se toman lecturas con frecuencia a los sistemas de tierras frecuentemente, ya que puede ser empleado en lugares donde se requiere tomar lecturas con los equipos energizados permanentemente, o con electrodos inaccesibles.

**Lugar físico.** Los electrodos de los instrumentos de medición pueden ser colocadas en todas direcciones como a una inmensidad de distancias entre ellas. Aunque es el mismo punto de medida, las lecturas no son idénticas; a veces ni en terrenos vírgenes debido a la presencia de corrientes de agua o de capas de distinta resistividad.

En los terrenos industriales es aún mayor la diferencia debido a la presencia de objetos metálicos enterrados como tuberías, cabillas de construcción, canalizaciones eléctricas, etc.

**METODOS DE PRUEBA BASICOS PARA MEDICION 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.

**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 4. 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 4. 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.

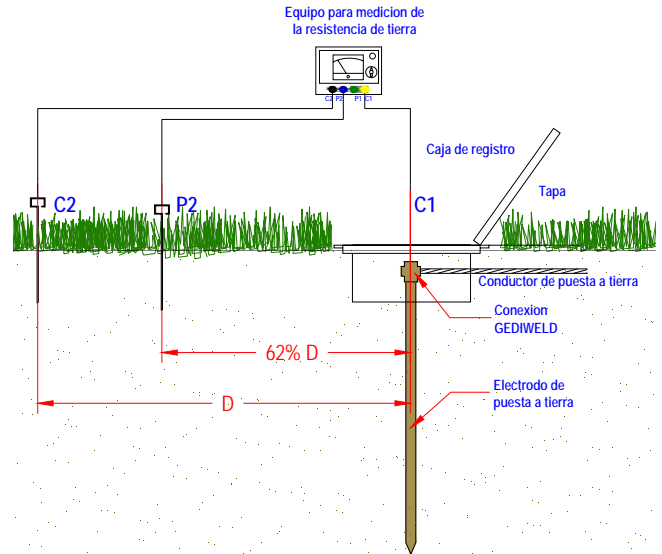


Figura 4  
Prueba de resistencia de la tierra por el método de Caída de Potencial o de Tres Terminales

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 4 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 4. 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.

### 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 5 Prueba de Resistencia de Tierra Método Directo o Dos Terminales.

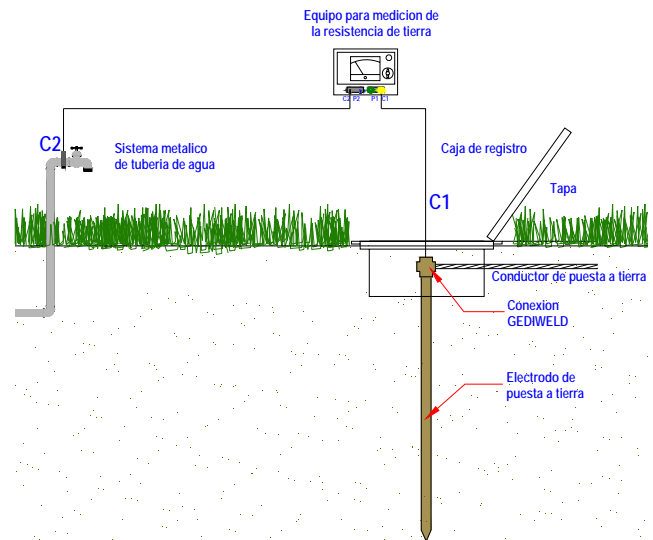


Figura 5  
Prueba de Resistencia de Tierra Método Directo o Dos Terminales

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.

- 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.

**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 6. 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

- ρ es la resistividad promedio del suelo a la profundidad A en ohm-cm,
- π es la constante 3.1416
- A es la distancia entre los electrodos en cm,
- R es la lectura del instrumento MEGGER en ohms.

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:

- Convertir los 1,2 metros o 4 pies en centímetros para obtener A en la fórmula:  $4 \times 12 \times 2.54 \text{ cm} = 122 \text{ cm}$
- 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.

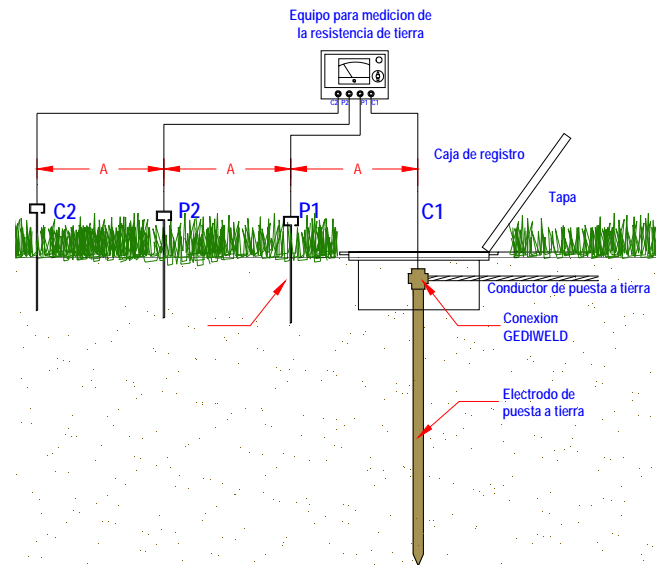


Figura 6  
Método de medición de la resistencia de tierra cuatro terminales

**METODOS 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:

- ρ 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 7(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 7(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 mas cerca de la varilla 3 en varios puntos entre las varillas 1 y 2, preferiblemente en línea recta se puede obtener una serie de lecturas de voltaje.

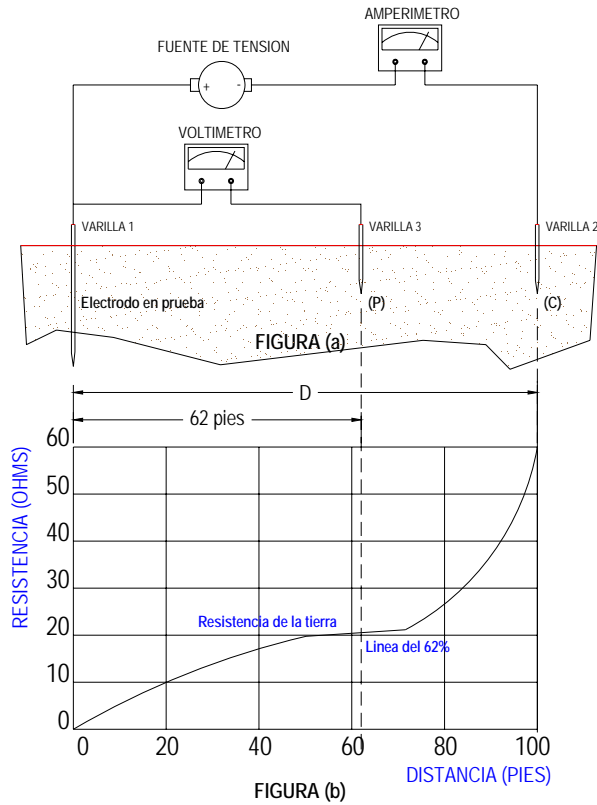


Figura 7

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 7(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 7(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 7(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 ultimo, 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.

**Tensión de paso.**

Según las normativas de la IEEE 81, "la Tensión de Paso es la diferencia de potencial entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por una distancia de un metro, en la dirección del gradiente de potencial máximo".

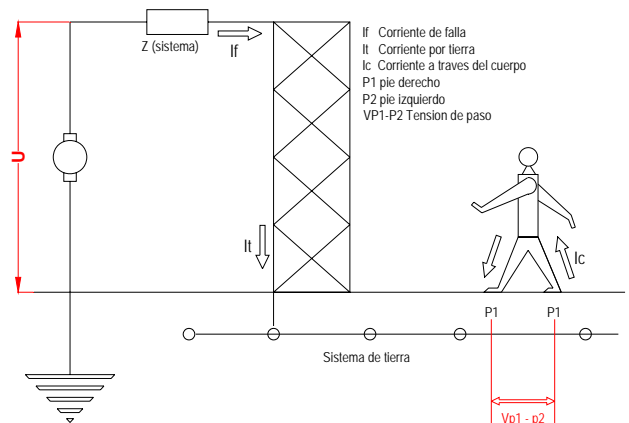


Figura 8  
Tensión de paso

Cabe recordar que bajo circunstancias de falla, la circulación de una corriente (I), por una toma de tierra, sitúa a ésta a una tensión (U<sub>0</sub>), denominada de “puesta a tierra”, en relación con un punto lejano, de potencial cero, definiendo el cociente (U<sub>0</sub>/I) la resistencia (R), de la toma de tierra, que tal como se verá más adelante, interviene como elemento de cálculo de la corriente que circula ( de la cual depende el comportamiento de las protecciones) y de la propia tensión (U<sub>0</sub>).

El gradiente de potencial en una región coincide, prácticamente, con el valor más elevado que puede alcanzar una “tensión de paso”, que adquiere evidentemente, sus valores más elevados, en las proximidades inmediatas de los electrodos de tierra. La tensión de paso (U<sub>p</sub>) es una fracción de la tensión de puesta a tierra (U<sub>0</sub>).

Deberá considerarse que, cuando las dimensiones de la toma de tierra son pequeñas, respecto a su distancia (x), del lugar considerado, el gradiente de tensión en ese lugar no depende más que de (x) y de (I).

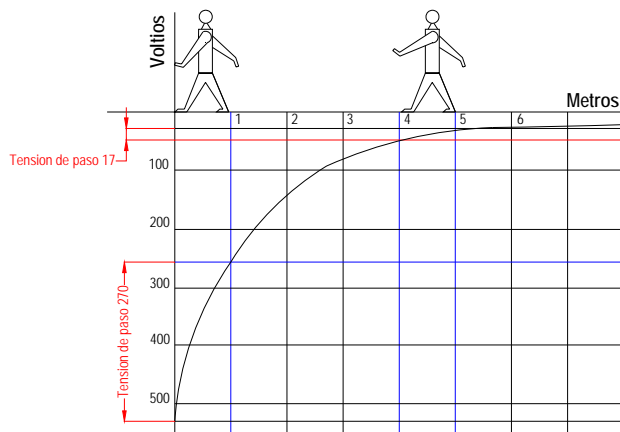


Figura 9  
Tensión de paso

En terreno Homogéneo, de resistividad (ρ) tiene por expresión:

$$G_x = 0.16 \rho \cdot I / X^2 \text{ (V/m)}$$

Por ejemplo, si circula una corriente de 5000 A por una toma de tierra en el terreno con una resistividad de 500 Ω. m, el gradiente a 50 m del centro de la puesta a tierra será igual a 160 V/m.

*Nota: Para un electrodo vertical, o jabalina, la tensión a 1 m, puede alcanzar la mitad o las ¾ partes de la tensión total, (U<sub>0</sub>).*

*Teniendo en cuenta las posibles prolongaciones horizontales de las estructuras, debe contemplarse que el cuerpo pueda shuntar la parte más grande de la tensión del electrodo.*

**Tensión de contacto.**

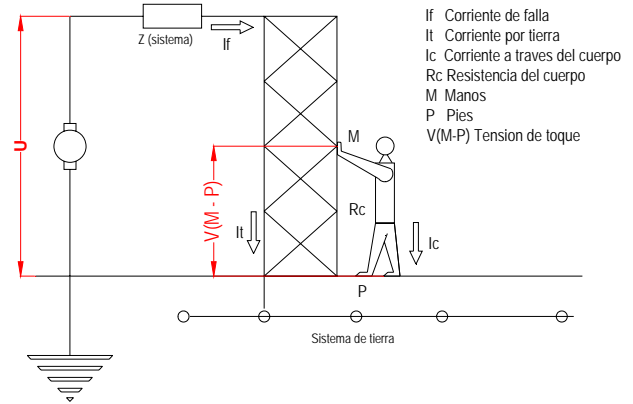


Figura 10  
Tensión de contacto o de toque

La normativa IEEE 81: define la tensión de contacto o de toque como sigue; “La tensión de contacto es la diferencia de potencial entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia igual a la distancia horizontal máxima que pueda alcanzar una persona, o sea , aproximadamente, 1 metro”. Ver figura 10.

$$U_x = 0,16 \rho I/X$$

**Efectos fisiológicos del pasaje de la corriente por el cuerpo Humano:**

**A) Umbral de sensibilidad.**

El establecimiento de los límites a partir de los cuales la corriente eléctrica resulta peligrosa presenta notables dificultades. Puede dar idea de ello las dispersiones que aparecen en la determinación del umbral de sensibilidad sobre el paso de la corriente eléctrica, definido como el valor de la intensidad mínima que percibe una persona al hacer circular una corriente de mano a mano. Mientras que algunos detectan la corriente con intensidad de 0,5 mA, otros no empiezan a percibir su paso hasta que ésta no alcanza valores cercanos a los 2 mA..

**B) Umbral de no soltar.**

Este fenómeno tiene lugar por la excitación de nervios y músculos flexores bajo la acción de la corriente eléctrica, de forma que al quedar contraídos, inhabilitan al individuo a dejar el conductor, toda vez que los extensores son menos potentes que los flexores. Por estudios realizados se ha comprobado que el sexo es una variable influyente.

**C) Muerte aparente.**

Cuando el nivel de intensidad se eleva por encima del umbral de no soltar, se afectan grandes funciones fisiológicas, como la respiración y la circulación. En efecto para una intensidad del orden de 20 a 30 mA, la contracción muscular puede difundirse y alcanzar los músculos respiratorios (intercostales, pectorales y diafragma), originando una parada circulatoria (central o



periférica), que ocasiona una asfixia con cianosis, para desembocar prontamente, en un estado de muerte aparente y en una parada circulatoria.

Si el accidentado se sustrae rápidamente de la corriente y se le proporciona una asistencia respiratoria (antes que sobrevenga la parada cardíaca, y en consecuencia, las lesiones anóxicas del encéfalo) estos fenómenos son reversibles.

#### D) Fibrilación ventricular y su umbral.

Desgraciadamente, no sucede lo mismo cuando el estado de muerte aparente se debe a una fibrilación ventricular. Esta situación está caracterizada por una contracción anárquica y asincrónica de cada una de las fibras del miocárdio, lo que se traduce, velozmente, en una parada circulatoria, y una anóxia que alcanza primero al cerebro, y después al mismo corazón.

Existe una proporcionalidad (según estudios estadísticos realizados por Dalziel) entre el peso corporal, y la intensidad necesaria para la fibrilación situándose este umbral de 70 a 100 mA.

Este umbral, es variable con las condiciones del sujeto, con los parámetros del accidente (tensión y tipo de contacto), pero fundamentalmente con:

- ❑ Trayectoria seguida de la corriente.
- ❑ El valor de la resistencia del organismo.
- ❑ El tiempo de paso, y la amplitud de la corriente.
- ❑ Otro parámetro influyente a considerar, es la frecuencia de la corriente, los umbrales son netamente más elevados cuando se trata de corriente continua. Entre 10 y 1000 Hz, los umbrales son poco modificables, pero se elevan rápidamente cuando la frecuencia aumenta.

#### VALORES RECOMENDADOS POR NORMAS

##### Valores recomendados en código eléctrico nacional.

El Código Eléctrico Nacional, Sección 250-84 establece que a un solo electrodo con resistencia a tierra mayor que 25 ohms debe aumentarse un electrodo adicional.

**Es recomendable que las tierras con un solo electrodo se prueben al momento de su instalación y en forma periódica posteriormente.**

La recomendación anterior es en letras resaltadas debido a su importancia. La resistencia a tierra puede variar con los cambios en el clima y la temperatura. Tales cambios pueden ser considerables. Un electrodo de tierra que fue bueno o de baja resistencia cuando se instaló, puede dejar de serlo; para asegurarse, debe ser revisado periódicamente.

No podemos decirle cual debe ser el valor máximo de la resistencia a tierra. Para sistemas específicos, en lugares definidos, las especificaciones se ajustan frecuentemente. Algunos requieren 5 ohms como máximo; otros no

aceptan mas de 3 ohms. En algunos casos, se requieren resistencias tan bajas como una fracción de ohm.

#### Valores recomendados por la IEEE 142-1991.

La normativa IEEE 142 de 1991 establece lo siguiente:

- ❑ Para grandes subestaciones, estaciones de generación y líneas de transmisión, el valor debe ser de 1 ohm.
- ❑ Para subestaciones de plantas industriales, edificios y grandes instalaciones comerciales, el valor debe estar entre 1 y 5 ohm.
- ❑ Para un electrodo simple, el valor debe ser 25 ohm.

#### NATURALEZA DE UN ELECTRODO A TIERRA

La resistencia a la corriente a través de un electrodo de puesta tierra realmente tiene tres componentes como se puede observar en la Figura 11 a continuación:

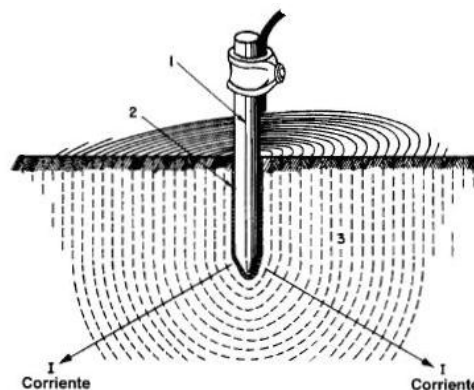


Figura 11

Componentes de la resistencia de tierra en un electrodo de tierra

1. Resistencia del electrodo por sí mismo y las conexiones a el.
2. Resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo colindante a el.
3. Resistencia de la tierra circundante.

#### Resistencia del electrodo.

Varillas, tubos, masas de metal, estructuras y otros dispositivos son empleados comúnmente para conexiones a tierra. Estas normalmente son de tamaño o sección transversal suficiente que su resistencia es una parte despreciable de la resistencia total.

#### Resistencia de contacto del electrodo a tierra.

Es mucho menor de lo que se puede pensar. Si el electrodo esta libre de pintura o grasa, y la tierra esta compacta firmemente, se ha demostrado que la resistencia de contacto es despreciable. La oxidación en un electrodo de hierro tiene poco o ningún efecto; el óxido de hierro esta prontamente impregnado con agua y tiene menor resistencia que la mayoría de los suelos. Pero si un tubo de hierro se ha oxidado lo suficiente, la parte debajo de la rajadura no es tan efectiva como una parte del electrodo de tierra.

**Resistencia de la tierra circundante.**

Un electrodo hincado en la tierra de resistividad uniforme radia corriente en todas direcciones. Piense en el electrodo como si estuviera rodeado por capas de tierra, todas de igual espesor, para captar la idea observe la Figura 7.

**Tubería metálica de agua enterrada.**

Para que una tubería de agua pueda usarse como electrodo de puesta a tierra, debe reunir los siguientes requisitos:

- Por lo menos tener 3 m en contacto directo con la tierra.
- Eléctricamente continua hasta el punto de conexión, puenteando el medidor del agua, si está colocado en una posición intermedia.

La única desventaja de su uso es que debe complementarse con un electrodo adicional, de cualquiera de los tipos mencionados arriba.

En el futuro la tendencia será eliminar las tuberías de agua como electrodos principales, a causa del uso cada vez mayor de equipos electrónicos cuya corriente de fuga a tierra tiene componentes en corriente continua, lo que induce corrosión galvánica en las tuberías.

No confundir este tipo de electrodo, con el requerimiento del artículo del CEN 250-80a, de conectar los sistemas interiores de tuberías para agua al puente de unión principal o a los electrodos de puesta a tierra, de acuerdo con la tabla 250-94, con el fin de poner a tierra los equipos.

**Estructura metálica del edificio.**

La estructura metálica de los edificios puede ser usada, siempre que esté bien puesta a tierra, esto es, que su impedancia a tierra sea baja.

Para que sea baja la impedancia, se deben unir las columnas a las partes metálicas de la cimentación con conductores según los calibres de los conductores de puesta a tierra del CEN 250-94 y, en caso de haber sellos formados por películas plásticas, se deben puentear éstos.

**Electrodos de concreto armado.**

En las estructuras nuevas, el concreto armado puede ser utilizado como electrodo principal. El CEN en la sección 250-81c establece que un electrodo empotrado en concreto como mínimo 5 cm, debe constar de una o mas barras de 6 metros de largo y deben ser barras de acero de no menos de 12,7 mm de diámetro localizado en y cerca del fondo de un cimiento o zapata.

El concreto tiene una estructura química alcalina y una composición que atrae y retiene humedad. La combinación de estas características permite al concreto exhibir una resistividad consistentemente de unos 30

ohm-m. Los electrodos de concreto tienen una resistencia a tierra mayor o igual que las varillas de cobre de un tamaño compatible, siempre que estén en contacto con suelos con resistividad de 50 ohm-m o menor.

Pruebas indican que la resistencia típica a tierra de una base para columna de anclaje medida en los pernos es de alrededor de 50 ohms, sin usar métodos especiales. De ahí que la resistencia efectiva de un edificio de estructura metálica con veintitantas columnas en paralelo es de menos de 5 ohms, siempre y cuando se asegure que la estructura esté conectada a las varillas. Para ello, se suelda por métodos de fusión un cable de acero a las varillas, mismo que se conectará a su respectiva columna.

**Anillo de tierra.**

Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor al calibre 2 AWG y de longitud no menor a 6 m enterrado a una profundidad de 800 mm y, que rodee al edificio o estructura.

Estos anillos de tierras se emplean frecuentemente circundando una fábrica o un sitio de comunicaciones, para proveer un plano equipotencial alrededor de edificios y equipos.

**ELECTRODOS ESPECIALMENTE CONSTRUIDOS.**

Cuando no se dispone de alguno de los electrodos mencionados en el punto anterior, el CEN en la sección 250-83 establece que se puedan usar uno o mas de los electrodos siguientes:

- a) De Varilla o Tubería.
- b) Electrodos de Placa.
- c) Estructuras metálicas Subterráneas

**Electrodos de varilla o tubería.**

De acuerdo con la sección 250-83c del CEN los electrodos de varilla y tubo, no deben tener menos de 2,40 m de longitud y adicionalmente deben instalarse de tal modo que por lo menos 2,40 m de su longitud esté en contacto con la tierra.

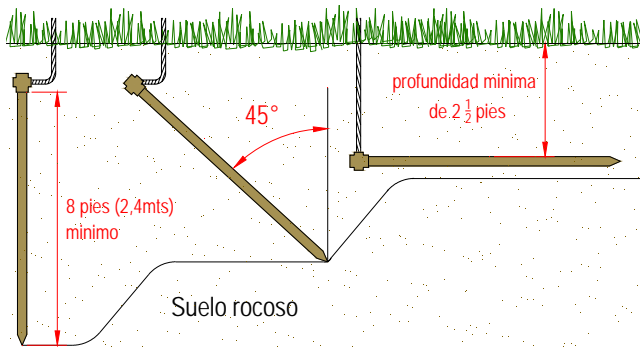
Las varillas de metales no ferrosos deben estar aprobadas y tener un diámetro no inferior a 13 mm y las demás de por lo menos 16 mm. Las tuberías deben tener un diámetro no inferior a 19 mm y si son de hierro, deben tener una protección contra corrosión en su superficie.

Las varillas de acero con un recubrimiento de cobre de 10 milésimas dura un promedio de 35 años en un suelo promedio, si tiene un recubrimiento de 13 milésimas dura hasta 45 años. En cambio, una varilla de acero galvanizado tiene una vida estimada de 15 años. Estos electrodos se aplican al suelo mediante percusión hasta que alcanzan la profundidad adecuada. En caso de terrenos rocosos, las varillas no pueden meterse de esa

manera; debido a que se doblan o solamente no pueden entrar.

Ocasionalmente se han presentado casos donde las varillas han sido retornadas hacia la superficie después de haber tratado de clavarlas en terrenos rocosos.

Cuando la roca está a menos de 2,40 metros, estos electrodos pueden meterse en diagonal hasta con un ángulo de 45 grados de la vertical. Pero, si no es este el caso, se deben enterrar horizontales en una trinchera abierta para el caso a 0,8 metros (2 1/2 pies) de profundidad por lo menos, ver figura 12.



FORMAS DE INSTALACION DE ELECTRODOS

Figura 12  
Formas de instalacion de electrodos de tierra

La resistencia de contacto de una varilla está dada por la fórmula de Dwight del M.I.T.

$$R = \frac{\rho}{2 * \pi * L} * [\ln(4L / a) - 1]$$

De donde:

- p es la resistividad del terreno en ohm - cm
- L es el largo de la varilla en cm
- a es el diámetro de la varilla en cm

La fórmula de Dwight para el caso de varilla enterrada en doble capa de tierra:

$$R = \frac{\rho_0}{2 * \pi * L} * (\ln a_1 - \ln a_0) + \frac{\rho_1}{2 * \pi * L} * [\ln(4L) - 1 - \ln a_1]$$

Donde:

- p0 es la resistividad del terreno adjunto en ohm-cm
- p1 es la resistividad del terreno circundante en ohm-cm
- L es el largo de la varilla en cm
- a0 es el diámetro de la varilla en cm
- a1 es el diámetro del terreno adjunto a la varilla en cm

**Electrodos de placa.**

Los electrodos de placa no deberán tener menos de 0,2 metros cuadrados de superficie en contacto con el suelo. Están formados por planchas de superficies no inferior a los 0.5 m x 1 m y 4 mm de espesor si son de acero, o de 1,5 mm de espesor si son de cobre. Es recomendable enterrar estas placas verticalmente.

**Estructuras metálicas enterradas.**

El CEN menciona la puesta a tierra mediante sistemas de tuberías o tanques enterrados. Pero, puede ser cualquier clase de estructura metálica subterránea.

**ELECTRODOS PARA PUESTA A TIERRA EN RADIO FRECUENCIA**

Para torres de radiodifusión, se emplean cables en configuración estrella (radiales) para su puesta a tierra. Se ha encontrado más efectivo tener conectados los cables en un punto que tener múltiples anillos rodeando el sitio. Esos cables radiales pueden ser menores a 30 m de largo si el suelo es adecuado. Los cables dispersan la energía de las descargas muy eficientemente. Como la corriente se divide en proporciones iguales en los cables radiales, entre más cables, menor corriente los circula. Una baja corriente es más fácil de disipar y tendrá menor impacto en la elevación del potencial de tierra del sistema.

**Barra de equipotencial.**

La barra equipotencial es el área donde terminan todas las conexiones a tierra provenientes de los equipos, guías, etc. Físicamente es una barra de cobre con huecos que permiten soportar conexiones del tipo doble ojo. Ver figura 13.



Figura 13  
Barra equipotencial

En exteriores, es necesaria una barra equipotencial colocada en el punto donde las guías entren al shelter, edificio, área, etc. Esta barra debe ubicarse lo más cerca posible a la ventana de acceso de manera que permita la conexión de las líneas de transmisión que se encuentren en la parte superior de la misma. Esta barra estará conectada a un punto de tierra del anillo exterior con un conductor # 2 AWG o mayor de cobre que posea una chaqueta de color verde, además de ir por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde.

Cada conexión a la barra de tierra debe estar cubierta en los puntos de contacto con grasa antioxidante y no se debe colocar más de un conector en cada hueco de la barra. En caso de que no exista espacio disponible en la existente, se debe colocar otra barra la cual debe estar eléctricamente conectada al anillo exterior y a la barra principal mediante un conductor de cobre calibre # 2 AWG o mayor.

Esta barra debe estar aislada mediante accesorios que no permitan que exista continuidad eléctrica entre ella y su soporte. El largo de la barra varía en función del número de conexiones que se estiman realizar y posibles expansiones, por lo general, las barras instaladas en exteriores tienen una longitud de 20 lo que permite un total de 14 conexiones (doble ojo); este tamaño puede

variar dependiendo del tamaño del shelter y la cantidad de equipos que van a alojar. Las barras expuestas a la intemperie, al igual que las conexiones a las mismas, deben ser protegidas contra la corrosión cubriéndolas con grasa, evitando así que los agentes corrosivos la afecten. Las barras en exteriores deben estar ubicadas en función a los siguientes criterios:

- ❑ En caso de utilizar monopolios (bases tubulares) siempre debe existir una barra de tierra ubicada en la parte inferior del mismo.
- ❑ En caso de utilizar torres, deben existir barras de tierra ubicadas según:
  1. Siempre debe existir una barra de tierra en la parte superior de la torre a 3 m del tope.
  2. Siempre debe existir una barra de tierra al final del recorrido vertical ubicada a 1 metro de la transición del recorrido horizontal.
  3. Para torres comprendidas entre los 40 y 90 metros debe existir una barra de tierra adicional ubicada en el medio del recorrido vertical
  4. Para torres mayores a 90 metros deben existir 2 barras de tierra adicionales ubicadas de manera tal que exista una separación equidistante entre las 4 barras existentes.
  5. Siempre debe existir una barra de tierra ubicada en la ventana de acceso de la caseta.
  6. Cuando existan recorridos horizontales mayores a 45 m deben existir barras de tierra adicionales ubicadas aproximadamente cada 25 m.

**Electrodos de puesta a tierra.**

Quando se tienen disponible un sistema metálico subterráneo de agua. Se recomienda utilizarlo efectivamente sobre cualquier otro sistema, como electrodo de tierra, siempre que tenga enterrada una longitud mínima de 15 m. En casos de no existir un sistema de distribución de agua podrá adoptarse cualquiera de las soluciones siguientes:

**Electrodos de canastillos.**

Formados por un enrollado de alambre de cobre sección mínima número 8 AWG (8,37 mm<sup>2</sup>). Con una superficie equivalente a la de los electrodos de placa.

**Electrodos de barras.**

Formados por tuberías de acero galvanizados de una pulgada de diámetro y un largo mínimo de 2.5 m; o tuberías de cobre 5/8 e igual largo.

Los electrodos deben instalarse enterrados a una profundidad en que se asegura un nivel de humedad permanente. Al enterrarlos deberán estar totalmente limpios y en caso de ser necesario, más de uno deberá estar separado entre sí, por lo menos 6 m. La resistencia obtenida de un electrodo de tierra no debe exceder de 2 ohm. En caso que un electrodo no cumpla esta condición, deberán ponerse tantos electrodos como sea necesario para alcanzar este valor. Se recomienda medir inmediatamente los valores de resistencia de tierra.

**Conductores de puesta a tierra.**

El conductor de puesta a tierra debe ser de cobre u otro material resistente a la corrosión, puede ser macizo o prensado, aislado o desnudo, no debe tener en toda su longitud ningún empalme o unión excepto si se trata de barra bus. Si el conductor no es de cobre la resistencia mecánica y la resistencia óhmica por unidad de longitud deben ser equitativamente a la de este.

Para secciones iguales o superiores al número 4 AWG se puede fijar el conductor de tierra directamente sobre la superficie en la cual va colocada, sin utilizar aisladores. No necesita tener protecciones a menos que esté expuesto a fuertes daños mecánicos. Los conductores número 6 AWG, pueden tenderse sin daños mecánicos.

Sección nominal de los conductores activos. m/m <sup>2</sup>	Sección nominal de los conductores de protección. m/m <sup>2</sup>
1.5	1.5
2.54	1.5
4	2.5
6	4
10	6
16	6
25	10
35	10
50	16
70	16
95 hasta 185	25
240 hasta 300	35
400 o más.	50

Para todas las secciones inferiores al número 6 AWG, los conductores deben ir protegidos por conductos. Se podrá emplear la misma canalización de los conductores de alimentación del circuito para llevar el conducto de tierra.

La sección para los conductores de tierra de servicio o conductores de tierra común en instalaciones inferiores, no debe ser inferior al valor dado en la tabla 7 anterior.

Sección nominal de conductor de Acometida. m/m <sup>2</sup> .	Sección nominal de conductor de ducto de tierra de protección. m/m <sup>2</sup> .
Hasta 6	4
Entre 10 y 25	10
Entre 35 y 70	16
Entre 95 y 120	35
Entre 150 y 240	50
Entre 300 y 400	70

**CONSTRUCCIÓN DE TIERRAS.**

Tanto la tierra de protección como de servicio, estarán formadas por electrodos y un cable de bajada, cuyo largo

será tal que permita efectuar la conexión a la altura del neutro de la red.

La distancia entre los electrodos de la tierra de protección y la de servicio debe ser de 20 m; como mínimo para poder asegurar que la tensión que pueda aparecer en la primera no conduzca elevación de tensión en el neutro de la baja tensión.

El electrodo deberá ser indistintamente del tipo de canastillo o de la varilla. El electrodo de canastillo deberá ser formado por un conductor de cobre continuo sin uniones de ningún tipo y que se prolongara construyendo el conductor de bajada. El electrodo de varilla estará formado por un tubo de cobre de 3/4" con una barra interior de hierro redondo de 5/8" soldados entre sí y su largo podrá ser de 3 o 6 m. El cable de baja se conectara al electrodo mediante soldadura de bronce.

Se empleará electrodo de canastillos o de varillas según el tipo, de terreno. En suelos pedregosos o rocosos resultara más fácil la instalación del electrodo de canastillo, en cambio en terrenos arenosos, de caja vegetal profunda, arcillosos, es recomendable el empleo de varilla. Cabe consignar que el electrodo más eficaz es el de 6 m enterrado a su totalidad.

Para la instalación del electrodo de varillas se hará una perforación, utilizando las herramientas más adecuadas, de tal manera que permita hacer la perforación más profunda.

#### Número de electrodos.

El electrodo deberá estar a una distancia mínima de 1 m del poste y preferiblemente en suelo no removido. Si el pavimento u otro inconveniente del terreno no lo permite, se podrá en el caso del electrodo de varilla, enterrarlo inclinado; esto es de importancia ya que el valor de la resistencia varia considerablemente por la presencia del poste.

Normalmente, un solo electrodo resulta insuficiente para lograr valores de resistencia admisibles no superiores a 25 ohm, esto obliga a incrementar su número. Los electrodos adicionales deben estar a una distancia mínima de 3 m entre sí y dentro de lo posible en línea recta, empalmándose a través de un cable de conexión común de cobre calibre 3 AWG. La unión de este cable con el de bajada a la toma de tierra se hará a través de un conector o de soldadura exotérmica preferiblemente, conectando ambos conductores.

Para determinar el número de electrodos adicionales, se procederá a instalar la toma de tierra y medir su resistencia. Si este valor excede del máximo de 25 ohms, se deberá multiplicar en forma separada su valor por cada uno de los siguientes factores 0,6 ; 0,44 y 0,36 hasta lograr una cifra igual o inferior a 25 ohms. El factor que de este valor nos indicara el número de electrodos

adicionales, por ejemplo, si el valor medido es de 60 ohms, aplicando los factores tenemos:

$$60 \times 0.6 = 36 \cdot$$

$$60 \times 0.44 = 26.4 \cdot$$

$$60 \times 0.36 = 21.6$$

De donde obtenemos que será necesario emplear 3 electrodos adicionales. En caso de no ser posible la instalación en línea recta de los electrodos, se dispondrán formando cuadrados, rectángulos o triángulos, teniendo en cuenta que siempre se debe formar un anillo cerrado con el cable de conexión.

Las indicaciones dadas más adelante, sobre la manera de instalación de electrodos, no son absolutamente rígidas y deberán adecuarse a las exigencias del terreno, quedando a criterio su instalación y cuidando de obtener el valor requerido a un costo razonable.

El valor máximo de 25 ohms resulta importante en el caso de las tierras de protección y en la tierra de servicio de empresas eléctricas en que el neutro de la red de baja tensión forme parte de un sistema aislado.

Como primero para lograr valores de tierra que no sobrepasen el valor máximo admisible en los presupuestos, se consulta la instalación de tierra con un total de 3 electrodos. Esto no significa que al instalar la tierra se utilicen obligadamente 3 electrodos, sino que se instalarán los necesarios conforme a lo antes indicado.

#### Un sistema de puesta a tierra debe ser integral.

Es decir, tener un sistema desintegrado o los conocidos sistemas de tierra aislada, es tan malo como no tener un sistema de tierras, por que en el evento de una descarga atmosférica, se desarrollan tensiones inducidas prácticamente en todas las instalaciones, y es cuando surgen daños que van desde paros de operación en los sistemas, averías en equipos, hasta daños al personal.

Pero siempre se suelen buscar otras causas, puesto que se tiene algún sistema de puesta a tierra.

Es aquí donde se aprecia que es más costoso corregir los daños, que invertir en una instalación segura y garantizada. Por ello, en la práctica, se tienen los índices mas altos por falla atribuibles a las descargas atmosféricas que a cualquier otra causa; provocando con ello enormes cantidades de pérdidas. Sin embargo, hoy todavía se trabaja con sistemas de tierra que tienen tecnológicamente hablando, mas de 200 años de antigüedad, cuando se sabe que en la actualidad se tiene un vertiginoso cambio tecnológico cada día.

Por todo ello, es de importancia capital, instrumentar un sistema que asegure que no se tengan todas estas fallas o accidentes, que impactan en mayor o menor grado sobre la productividad de las industrias.

### La falta a la normativa y las variables del medio anulan a los sistemas de puesta a tierra.

Las malas prácticas o incumplimiento de normativas es el más frecuente de los problemas; sea el caso de las tierras aisladas o de sistemas incompletos donde no se ha incluido un pararrayos, o erróneamente se tiene aislado del resto de los sistemas, creyendo que ofrece mayor seguridad, o también, sea el caso de sistemas sin o con mal cálculo; con selección de calibres de cable inapropiados. A menudo también se tienen sistemas donde el medio presenta variables tales como: terreno heterogéneo, alta resistividad, cambios de temperatura, falta de humedad, falta de mantenimiento, uso excesivo de químicos, falta de terreno y creación de bajo factor de aprovechamiento (agrupamiento) o en su caso, errores de medición del sistema; son causas que limitan o anulan incluso la seguridad del sistema de puesta a tierra. Así que, ante problemas de velocidades de transmisión, por ejemplo, el último sitio donde se buscan las causas es en el sistema de puesta a tierra, más bien por eliminación de probabilidades que por certeza del problema.

### ¿Como se debe seleccionar un sistema de puesta a tierra?

1. **Orden de importancia.** Se debe conceder la máxima importancia a la seguridad del personal. Ante una pequeña descarga incluso pequeña existe la posibilidad de muerte, pues solo se requieren 100 milivolts y 100 miliamperes bajo ciertas condiciones para que cualquiera sufra un electrocutamiento letal.
2. **Sistema integral.** El sistema debe ser Integral, es decir, se debe perseguir firmemente tener el mismo potencial de referencia en toda la planta. Esto significa que cuando se presentara una elevación de tensión ante una descarga, consecuentemente "toda la referencia" sería la misma para todo personal y equipo.
3. **Aplicaciones.** Del punto anterior deriva que se requieran tierra para el neutro; tierra de cero lógico, tierra para masas, tierra de pararrayos; y tierra eléctrica en tableros. De modo que aunque se mencionan distintas tierras, en realidad se trata de que todas estas necesidades imperativas de tierra, estén en la misma referencia. Pero esto tiene otra consecuencia, todos los electrodos del sistema de tierra, también deben estar interconectados; deben formar un solo sistema de tierras. Es un error tremendo creer que sea conveniente tener tierras aisladas; "ninguna" norma reconocida avala esa recomendación.
4. **Cálculo del sistema.** Un sistema de puesta a tierra que cumpla con las normas, debe ser calculado para disipar todo tipo de descargas, puesto que debe soportar descargas atmosféricas, también debe ser capaz de soportar las fallas de subestación de potencia. Adicionalmente, el sistema debe prevenir las tensiones de toque y de paso de riesgo para el personal. Los calibres de los cables de interconexión deben ser calculados para conducir con seguridad las

corrientes esperadas, de acuerdo a cada aplicación. Y finalmente, la razón del título de este boletín: Se debe calcular la capacidad de corriente del sistema, tanto en nivel como en tiempo. Esto quiere decir que se debe diferenciar entre los tiempos de descarga por corto circuito atribuible exclusivamente al sistema eléctrico, y a descargas de origen atmosférico. El primero, es por conducción y tiende a cerrar hacia la fuente de generación, con niveles muy inferiores y tiempos mucho mayores (del orden de mili segundos); en el segundo caso, es por radiación puesto que la fuente es la nube, y los niveles son muy superiores pero los tiempos mucho mas breves ( del orden de 50 micro segundos)

### Medición y control de las instalaciones de tierras.

Es necesario controlar la resistencia de una puesta a tierra, en el curso de su instalación y también en el futuro, para asegurarse que tal instalación quede eficiente en el tiempo. Todas las normas prescriben medir la resistencia de una instalación antes de ponerla en servicio, sucesivamente, debe ser controlada en forma periódica. En el caso de que sucedan accidentes, debe hacerse una revisión minuciosa en la instalación de tierra.

### Conexiones a tierra de protección:

Deberán conectarse a tierra de protección toda parte metálica al descubierto, que forma parte de un equipo que no transporte corriente, pero que tenga posibilidades de ser recorrida por una corriente, debe ser puesta a tierra. Se exceptuarán de esta exigencia los siguientes casos:

- Cubiertas de interruptores o disyuntores accesibles exclusivamente a personal calificado.
- Armaduras metálicas de dispositivos calentados eléctricamente, aprobados por el laboratorio de superintendencia, para el uso de dichas condiciones, siempre que esta armadura esté convenientemente aislada de tierra. Métodos portátiles que funcionen a menos de 100 w.
- Equipos eléctricos alimentados a través de transformadores de aislamiento.

Deberán conectarse a tierra de protección, los siguientes equipos no eléctricos:

- Armaduras y rieles de grúas accionadas eléctricamente.
- Los cables de tracción de ascensores eléctricos.
- Todo otro equipo similar.

### Condiciones y ejecución de una conexión a tierra.

Una conexión a tierra debe ofrecer una trayectoria continua y permanente, debe tener una capacidad de transporte suficiente como para tolerar la corriente de falla más alta que pueda producir en el punto protegido y debe tener una impedancia lo suficiente baja como para limitar los potenciales respecto a tierra dentro de límites

de seguridad y facilitar el accionamiento de los elementos de protección.

Se considerarán puesta a tierra, las cajas, armarios o partes metálicas del equipo fijo, si est conectadas de esta forma, pueden ponerse a tierra por medio de una de las formas siguientes:

A través de un conductor de puesta a tierra tendido con los conductores del circuito; de este conductor puede ser desnudo, pero si es aislado, el aislamiento debe ser de color verde normal.

Por medio de un conexión a tierra independiente. Los equipos montados sobre estructuras metálicas conectadas a tierra, se consideraran a tierra siempre que la estructura sea estrictamente continua. Los equipos portátiles o equipos domésticos enchufables serán conectados a tierra a través de los enchufes machos de tres clavijas, de los cuales uno ara contacto con el terminal de tierra de los enchufes hembras. Se puede utilizar el conductor de tierra de servicio para conectar el bastidor, caja metálica del equipo de medida y caja metálica de tableros adyacentes a él.

#### MÉTODOS PARA REDUCIR LA RESISTENCIA DE TIERRA.

Cuando la resistividad del terreno es muy elevada, y en donde los electrodos no pueden enterrarse profundamente debido a rocas se utilizan diversos métodos para mejorar las condiciones. En general todos los métodos tratan de crear una mejor conductividad en las primeras capas o cilindros de tierra que rodean al electrodo, en donde la superficie conductora es pequeña. El tratamiento también es beneficioso al independizar el valor de resistencia obtenida de las variaciones climáticas.

El artículo 250-84 del CEN permite para los sistemas con un electrodo único que conste de una varilla, tubería o placa, que no tiene una resistencia a tierra de 25 ohms o menos, que se complemente con electrodos adicionales separados por lo menos una distancia de 1,83 m entre sí. En la práctica, cuando encuentra que la resistencia de su electrodo a tierra no es suficientemente baja, Los métodos más comunes para mejorarla son:

- a) Usando una varilla de mayor diámetro.
- b) Usando electrodos más largas
- c) Colocando dos, tres o más electrodos en paralelo
- d) Electrodos profundos
- e) Reducción de la resistividad del suelo tratando químicamente el terreno.
- f) Agregado de sales simples.
- g) Agregado de coque.
- h) Aporte de sales "gel".
- i) Inyección de bentonita.
- j) Inyección de resinas sintéticas.

La necesidad de tratar el terreno, previamente, donde se instalará un electrodo ha sido y es todavía tema de

discusión. Los métodos principales usados para mejorar la resistividad del terreno alrededor de los electrodos son:

Humedecer con agua y sales minerales (cloruro de sodio o sulfato de cobre, sulfato de magnesio), en la fosa que circula el electrodo. Es difícil afirmar hasta donde se manifiestan los beneficios de las sales introducidas en la solución y dónde donde empiezan los beneficios debido al aumento de la humedad del terreno. En la elección de las sales hay que tener presente los fenómenos de corrosión que pueden presentar la superficie del electrodo, siendo dañino y costoso, resultado perjudicial el hecho de bajar la resistencia.

Volcar en una zanja larga alrededor del electrodo, discreta cantidad de sales minerales. El agua de lluvia disuelve paulatinamente estas sales, llevándolas hacia la profundidad, lo que provoca un mejoramiento de la resistencia del electrodo, por tiempo más o menos largo. La duración de éste sistema son evidentemente más largos que el método anterior, presentando también peligro de corrosión. Rodear el dispensor de carbón vegetal triturado. Este método se puede aplicar con el electrodo de plancha. Si bien mantienen los efectos en el tiempo, presenta los mismos inconvenientes de corrosión.

En resumen por el hecho de bajar la resistencia del terreno, incurrimos en el peligro de corrosión de los electrodos por efectos de testamento previos del terreno.

#### Tratamiento químico del suelo

El tratamiento químico del suelo es un buen modo para mejorar la resistencia a tierra cuando no se pueden enterrar más profundamente los electrodos de tierra (a causa de roca dura subyacente, por ejemplo.)

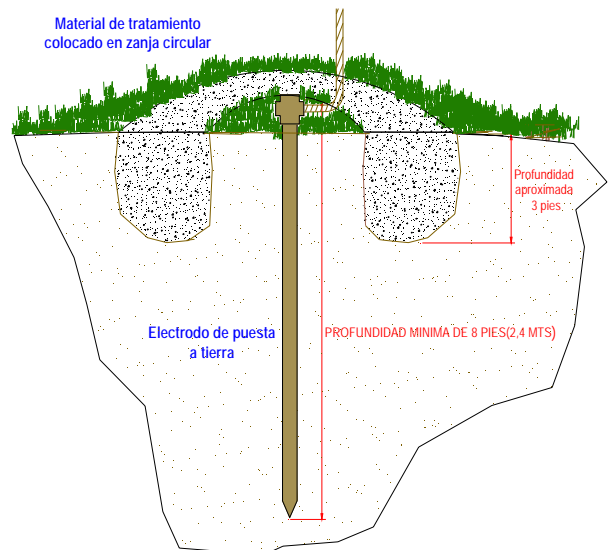


Figura 14  
Método de trincheras para la preparación del terreno

Esta más allá del objetivo de este manual recomendar los mejores químicos de tratamiento para todas las situaciones. Tiene que considerar el posible efecto

corrosivo en el electrodo. El sulfato de magnesio, sulfato de cobre, y sal de roca ordinaria son materiales no corrosivos adecuados. El sulfato de magnesio es menos corrosivo, pero la sal de roca es más barata y hace el trabajo si se aplica en una zanja excavada alrededor del electrodo ver figura 14

El tratamiento químico no es un modo permanente de mejorar su resistencia a tierra. Los químicos son deslavados gradualmente por la lluvia y drenaje natural a través del suelo. Dependiendo de la porosidad y la cantidad de lluvia, el periodo de reemplazo varía. Pueden pasar varios años antes que sea necesario otro tratamiento.

El tratamiento químico también tiene la ventaja de reducir la variación estacional en la resistencia que resulta del mojado periódico y secado del suelo. Sin embargo, solo debe considerarse este método cuando los electrodos múltiples o profundos no sean prácticos.

#### **Materiales aceptables de baja resistividad**

Como se mencionó previamente, la tierra tamizada fina o tierra de moldeo normalmente es un material de relleno apropiado para rodear el electrodo enterrado. Para situaciones especiales, hay diversos materiales, como los siguientes:

**Bentonita.** Es una arcilla color pardo, de formación natural, que es levemente ácida, con un pH de 10,5. Puede absorber casi cinco veces su peso de agua y de este modo, expandirse hasta treinta veces su volumen seco. Su nombre químico es montmorillonita sódica. En terreno, puede absorber humedad del suelo circundante y ésta es la principal razón para usarla, ya que esta propiedad ayuda a estabilizar la impedancia del electrodo a lo largo del año. Tiene baja resistividad aproximadamente 5 ohm - metro y no es corrosiva.

Bajo condiciones extremadamente secas, la mezcla puede resquebrajarse ofreciendo así poco contacto con el electrodo. La Bentonita es de carácter tixotrópica y por lo tanto se encuentra en forma de gel en estado inerte.

La Bentonita se usa más a menudo como material de relleno al enterrar barras profundas. Se compacta fácilmente y se adhiere fuertemente.

**Marconita.** Es esencialmente un concreto conductor en el cual un agregado carbonáceo reemplaza el agregado normal usado en la mezcla del concreto. Tiene algunas propiedades similares a la bentonita, es decir, provoca poca corrosión con ciertos metales y tiene baja resistividad. Fue desarrollada como un proceso que se inició en 1962 cuando ingenieros de Marconi descubrieron un material que conducía por movimiento de electrones más bien que de iones. Contiene una forma cristalina de carbón y el material global tiene bajo contenido de sulfato y cloruro.

Se ha declarado que hay algo de corrosión de materiales ferrosos y de cobre mientras la Marconita está en forma ligosa, pero también se ha sugerido que forma una capa protectora delgada. Cuando el concreto ha fraguado, se dice que la corrosión cesa. Idealmente, en el punto de ingreso a la estructura Marconita, el metal debe pintarse con bitumen o una pintura bitumástica para prevenir la corrosión en ese punto. El aluminio, el acero galvanizado o con una capa de estaño, no deben instalarse en Marconita.

Cuando la Marconita se mezcla con concreto, su resistividad puede bajar tanto como a 0,1 ohm-metro. Mantiene su humedad aún bajo condiciones muy secas, de modo que ha sido usada en los climas más cálidos como una alternativa a la Bentonita.

Su aplicación se centra para encerrar electrodos en perforaciones o espacios en el interior de rocas. También es probable que los espacios se llenen parcialmente con otros materiales tales como concreto para reducir la cantidad de material patentado que se requiera.

Normalmente se considera que la Marconita tiene una resistividad de 2 ohm-metro. También se usa la Marconita algunas veces para piso antiestático y apantallamiento electromagnético.

**Yeso.** Ocasionalmente, el sulfato de calcio (yeso) se usa como material de relleno, ya sea solo o mezclado con Bentonita o con el suelo natural del área. Tiene baja solubilidad, por lo tanto no se desprende fácilmente lavándolo y tiene baja resistividad (aproximadamente 5-10 ohm-metro en una solución saturada). Es virtualmente neutro, con un valor de pH entre 6,2 y 6,9.

Se presenta en la naturaleza en forma natural, de modo que su uso generalmente no provoca dificultades ambientales. Se asegura que no causa corrosión con el cobre, aunque algunas veces el pequeño contenido de SOS ha causado preocupación por su impacto en estructuras de concreto y fundaciones (cimientos). Es relativamente barato y normalmente se mezcla con el terreno para formar un relleno alrededor del electrodo de tierra.

Se asegura que ayuda a mantener una resistividad relativamente baja durante un largo periodo de tiempo, en áreas donde las sales existentes en la vecindad se disuelvan rápido por movimiento de agua. Sin embargo, el hecho de que el material no se disuelva fácilmente moderará los beneficios obtenidos, ya que no penetrará difundiendo en la tierra. Esto significa que el efecto beneficioso estará localizado digamos en una área excavada en torno a un electrodo enterrado.

#### **Efecto del tamaño del electrodo.**

*Efectos por el largo del electrodo.* Como se puede sospechar, enterrando un electrodo largo más dentro de



la tierra, decrece materialmente su resistencia. En general, doblar la longitud de la varilla reduce la resistencia aproximadamente en un 40%.

La curva de la Figura.15 *Efecto del largo del electrodo en la resistencia a tierra*, muestra este efecto por ejemplo, observe que una jabalina enterrada dos pies tiene una resistencia de 88 ohms, mientras que la misma jabalina enterrada el doble tiene una resistencia de alrededor de 50 ohms.

Empleando la regla de reducción a 40%,  $88 \times 0.4 = 35$  ohms de reducción. Una varilla de 4 pies de profundidad, por este calculo tendría una resistencia de  $88 - 35 = 53$  ohms comparándose muy cercanamente a los valores de la curva.

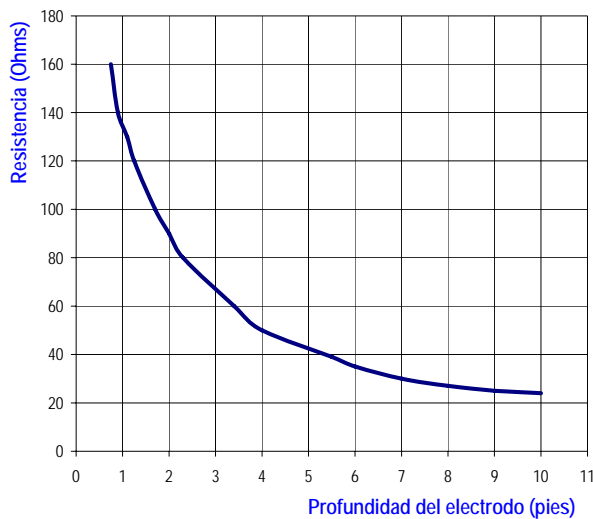


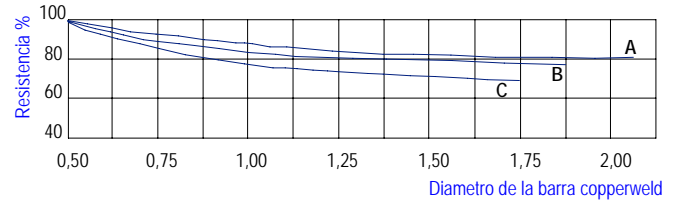
Figura 15  
Efecto del largo del electrodo en la resistencia a tierra

**Efectos por el diámetro del electrodo.** Partiendo del mismo principio estudiado del efecto del largo del electrodo, también podría pensarse que incrementando el diámetro del mismo disminuye la resistencia. En realidad lo hace, pero en muy poca medida si los comparamos. El aumento del diámetro del electrodo que es lo que comúnmente se hace, no disminuye proporcionalmente la resistencia eléctrica del electrodo.

Principalmente es el suelo que rodea la jabalina el que determina la resistencia. Los ensayos en este tema han demostrado que la diferencia de resistencia obtenida entre las jabalinas disponibles comercialmente es despreciable. Para la misma profundidad, doblar el diámetro de la barra copperweld o jabalina reduce la resistencia solo 10%.

La figura 16 *Efecto del diámetro del electrodo en la resistencia a tierra* muestra esta relación. Por ejemplo, una jabalina de 5/8 de pulgada de diámetro tiene una resistencia de 6.33 ohms, si aumentamos su diámetro a 1-1/4 pulgada la resistencia disminuye solo a 5.6 ohms. Es decir un 10%

mientras que el peso el cual determina el precio es el doble. Por esta razón, normalmente solo considere incrementar el diámetro de la varilla si tiene que enterarla en terrenos duros.



A - Ensayos del Bureau of Standards  
B - Promedio de ensayos Underwriters Laboratories of Chicago  
C - Promedio de ensayos Underwriters Laboratories of Pittsburgh

Figura 16  
Efecto del diámetro del electrodo en la resistencia a tierra

Por lo tanto la determinación del diámetro de la jabalina depende de la resistencia mecánica del terreno.

Es importante que la jabalina tenga buena resistencia mecánica para lograr un fácil hincado sin problemas de pandeo y una eficaz protección contra la corrosión para tener una gran duración.

Las jabalinas tipo copperweld tienen una resistencia a la rotura de 50 kg./mm<sup>2</sup> y una gruesa capa de cobre. Como dato ilustrativo en la mayoría de los terrenos se pueden hincar sin problemas jabalinas de 1/2"x3 mts., para terrenos más duros es aconsejable 5/8" ò 3/4" dependiendo del mismo.

**Uso de electrodos múltiples.** Cuando enterramos dos electrodos bien espaciados en la tierra, estos proporcionan caminos paralelos. Son en efecto, dos resistencias en paralelo. No obstante, la regla para dos resistencias en la paralelo no se aplica exactamente; esto significa que la resistencia resultante no es la mitad de la resistencia de un electrodo individual, esto suponiendo que sean del mismo diámetro y largo.

Realmente, la reducción de dos electrodos de igual resistencia es próxima al 40%. Si se emplean tres electrodos la reducción es cercana al 60%, y si se utilizan cuatro será alrededor del 66%.

Como se puede apreciar en la **Figura 17 Resultados obtenidos del uso de electrodos múltiples** en la medida en que vamos adicionando barras copperweld al terreno la resistencia disminuye en los porcentajes que se indican.

Cuando se emplean múltiples electrodos, estos deben espaciarse más que la longitud de su inmersión. Existen razones teóricas para esto, pero solo necesita referirse a las curvas tales como las de la Figura 17.

Por ejemplo, si tiene dos electrodos en paralelo y un espaciamiento de 10 pies, la resistencia se disminuye

aproximadamente en un 40%. Si el espaciamento se incrementa al doble la reducción es aproximadamente 50%.

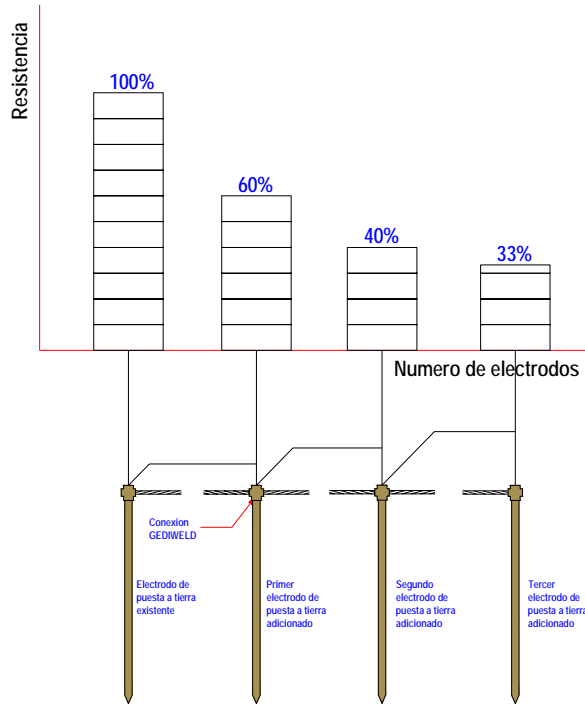


Figura 17

Resultados obtenidos del uso de electrodos múltiples

### Cómo elegir el punto más oportuno para enterrar dispersores:

Se debe elegir los lugares que presenten menor resistividad. El terreno lluvioso es el mejor, buscando preferentemente capas de humus profundas, preferir zonas vegetadas, las que mantienen muy bien la humedad.

En terrenos ondulados es preferible enterrar los dispersores en zonas de depresión. Preferir zonas de embalses de aguas de lluvias o de desagües, se pueden crear desagües artificiales hacia los lugares donde se encuentran enterrados los dispersores.

Un buen electrodo de tierra de baja resistencia depende de un terreno de baja resistividad en un punto en el que se puedan enterrar los electrodos.

Existen dos maneras para seleccionar el lugar las cuales son:

1. Enterrar varillas en varios lugares a las profundidades que se requieran y probar su resistencia mientras se entierran.
2. Medir la resistividad del terreno antes de enterrar las varillas de tierra.

Luego calcular el número y la longitud de las varillas requeridas. Para obtener un electrodo de baja resistencia

Elaborado por Ing. Gregor Rojas

en un lugar desfavorable, disponga líneas rectas separadas entre sí unos 3 metros (10 pies), que cubran el área en cuestión.

En la figura 18 se puede observar una cuadrícula conformada por filas identificadas por letras mayúsculas A, B, C, D ... y columnas por minúsculas a, b, c, d ... de cuadrados con lados iguales, estos lados son de 3 metros. Es recomendable hacer marcas en el terreno con pintura o estacas.

Concluida la cuadrícula, entierre las cuatro puntas o electrodos del equipo de medida separadas entre sí 3 metros o en las marcas previamente dimensionadas, pero a una profundidad no mayor de 15 cm (6 pulgadas), a lo largo de la primera fila o fila A en los puntos a-b-c-d de las columnas respectivamente, como se muestra en la figura 18. Mida la resistencia R entre las estacas b y c, usando el método descrito para resistividad del terreno.

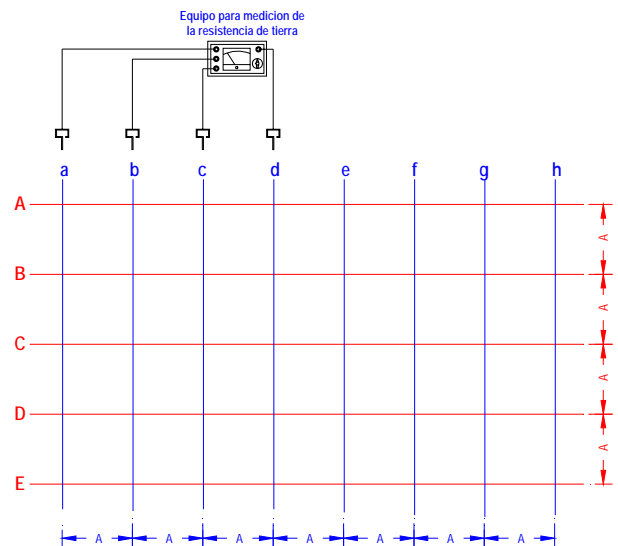


Figura 18

Método para determinar el mejor lugar de un electrodo de tierra

El lugar que dé la lectura más baja en el probador de tierra MEGGER es el más deseable.

Luego cambie las estacas a lo largo de la línea en cuestión a los puntos b-c-d-e, c-d-e-f y así sucesivamente como se aprecia en la figura 18 y pruebe hasta que se haya cubierto la fila completa. En seguida, pase a la siguiente fila y repita el proceso anterior hasta haber cubierto el área seleccionada.

El lugar que dé el valor más bajo para R tiene la resistencia específica menor para el terreno a la profundidad seleccionada de 3 metros (10 pies). Ese punto le dará el lugar, más conveniente deseado, para el mejor electrodo de tierra.

Para resultados afectados por la resistividad promedio del terreno a una profundidad de 6 metros, repita el sondeo

con líneas separadas entre sí 6 metros (20 pies) y con estacas espaciadas entre sí 6 metros. Tales sondeos no llevan mucho tiempo y se amortizarán en el aseguramiento de un buen sistema de tierras.

### ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA.

Los electrodos de puesta a tierra estarán formados por materiales metálicos en forma de varillas, cables, chapas, perfiles, que presenten una elevada resistencia a la corrosión por sí mismos, o mediante una protección adicional. En este último caso se tendrá especial cuidado de no dañar el recubrimiento de protección durante el hincado. Si se utilizasen otros materiales habrá de justificarse su empleo. Los electrodos podrán disponerse de las siguientes formas:

- a) Jabalinas hincadas en el terreno, constituidas por tubos, barras u otros perfiles, que podrán estar formados por elementos empalmables.
- b) Varillas, barras o cables enterrados, dispuestos en forma radial, mallada, anular.
- c) Placas o chapas enterradas.

### DIMENSIONES MÍNIMAS DE LOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA.

1. Las dimensiones de las jabalinas se ajustarán a las especificaciones siguientes:
  - Las varillas de cobre o acero recubierta de cobre, no serán de un diámetro inferior a 14 mm.
  - Los tubos de cobre o acero recubiertos de cobre no serán de un diámetro inferior a 30 mm ni de un espesor de pared inferior a 3 mm.
  - Los perfiles de acero no serán de un espesor inferior a 5 mm ni de una sección inferior a 350 mm<sup>2</sup>.
2. Los conductores enterrados, sean de varilla, cable o planchuela, deberán ser de cobre o de acero recubierto de cobre y deberán tener una sección mínima de 35 mm<sup>2</sup>. El espesor mínimo de las planchuelas y el diámetro mínimo de los alambres de los cables no será inferior a 2 mm en el caso de cobre, y 3 mm en el caso de acero recubierto de cobre.
3. Las placas o chapas deberán ser de cobre o de acero recubierto de cobre y tendrán un espesor mínimo de 2 mm.
4. En el caso de suelos en los que pueda producirse una corrosión particularmente importante, solo se admitirá el uso de materiales de cobre.
5. Para el cálculo de la sección de los electrodos se remite a lo indicado en el capítulo de "Líneas de Tierra".

### INSTALACIONES DE ELECTRODOS

En la elección del tipo de electrodos, así como su forma de colocación y de su emplazamiento, se tendrán presentes las características generales de la instalación

eléctrica, del terreno, el riesgo potencial para las personas y los bienes.

Se procurará utilizar las capas de tierra más conductoras, haciéndose la colocación de electrodos con el mayor cuidado posible en cuanto a la compactación del terreno. Se deberá tener presente la influencia de las heladas para determinar la profundidad de la instalación teniendo esta un mínimo de 25 cm de profundidad.

### PROCEDIMIENTO GENERAL

Como se ha establecido el procedimiento de cálculo que se realice debe contener lo establecido en la Guía IEEE-80 o equivalente, por lo que en términos generales deberá contemplar como mínimo los siguientes pasos:

1. Investigación de las características de resistividad y homogeneidad del suelo.
2. Determinación, teniendo especialmente en cuenta la información suministrada por el Distribuidor a estos efectos, de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo correspondiente de eliminación del defecto de acuerdo al sistema de protecciones que prevea.
3. Diseño preliminar de la instalación de tierra.
4. Cálculo de la resistencia del sistema de tierra.
5. Cálculo de las tensiones de paso y toque que corresponde en el exterior de la instalación.
6. Cálculo de las tensiones de paso y de toque en el interior de la instalación.
7. Comprobar que las tensiones de paso y toque calculadas en 5 y 6 son inferiores a los valores máximos admisibles de acuerdo a los tiempos determinados en 2.
8. Investigación de las tensiones transferibles al exterior por tuberías, raíles, vallas, conductores de neutro, blindajes de cables, circuitos de señalización y de cualquier punto potencialmente peligroso y estudio de las formas de eliminación o reducción.
9. Corrección y ajuste del diseño inicial hasta obtener el definitivo.
10. Dimensionado definitivo de la instalación de tierra en función de la intensidad que circula en el defecto y de su tiempo de duración.
11. Realización de la memoria de cálculo, planos y diagramas que deberán quedar contenidas en la Memoria del Proyecto.

# Soldadura exotérmica

## SOLDADURA EXOTERMICA

Uno de los principales problemas de los sistemas de puesta a tierra, ha sido siempre el incremento de la resistencia de contacto por causa de empalmes defectuosos que se dan entre conductores, conductores y barras copperweld, o entre conductores y superficies.

El incremento de la resistencia por estas uniones se acrecienta en sólo pocos meses (5 ó 6), en un 60% o más debido a las sulfataciones que se produce por el paso de corriente a través de estos empalmes.

Para estos problemas de conexiones se han investigado distintas soluciones, siendo la más óptima las soldaduras exotérmicas con un sin número de ventajas que veremos mas adelante.

El primer uso conocido de la exotérmica data de finales de 1800 en Alemania, en donde se utilizo una base de óxido de hierro mezclado con aluminio como su agente reductor, que se utilizaba para fabricar troqueles o repararlos. Posteriormente en los USA fue empleado para la reparación de moldes de forja.

La primera aplicación no ferrosa conocida, fue desarrollada en 1938 por el Dr. Charles Cadwell, del Case Institute of Technology y luego patentada por esta compañía. A este proceso se le llamó CADWELD en honor al Dr. Cadwell, de allí que coloquialmente se llame a la soldadura exotérmica soldadura CADWELD.

### ¿QUE SIGNIFICA EXOTERMICO?

Exotérmico es un término químico que describe una reacción química que desprende calor a medida que se lleva a cabo la reacción.

### ¿QUE ES UNA REACCION EXOTERMICA?

Es una reacción química en la cual la energía es liberada. El prefijo *exo* significa salida y *térmico* significa calor o energía. Por lo tanto, se denomina reacción exotérmica a cualquier reacción química en la cual se desprende calor. Se da principalmente en las reacciones de oxidación.

Las reacciones exotérmicas, en relación a los metales, son la reducción de un metal u óxido metálico por otro metal más reactivo, por lo general el aluminio. Los materiales que componen los productos de soldaduras e ignición son mezclas de diversas granulómemas.

Después de la ignición se produce una reacción exotérmica que resultan en metales fundidos con temperaturas que alcanzan sobre los 2200 °C y en consecuencia la liberación de humo localizado.

La temperatura de ignición es superior a 450 °C, para el polvo de ignición y de 900 °C para el polvo de soldadura. Iniciada la ignición el proceso culmina en unos 30 segundos. Tiempo suficiente para completar la reacción química y para que el material fundido se solidifique.

Un ejemplo cotidiano de una reacción exotérica es la combustión de la gasolina en el interior de los cilindros del motor de nuestros automóviles.

La reacción contraria a la exotérmica se le denomina endotérmica.

## CONEXIONES EXOTERMICAS

Las conexiones eléctricas por soldado exotérmico es un proceso en el que se hace un empalme eléctrico al verter una aleación súper calentada de cobre fundido en el interior de un recinto en el cual se encuentran alojados los conductores a ser unidos.

Esta aleación de cobre fundido, contenida y controlada dentro de un molde de grafito especialmente diseñado para este fin, hace que los conductores se fundan. Una vez enfriados, los conductores se encuentran empalmados mediante una soldadura de fusión.

El metal fundido se crea por una reacción química entre el aluminio y el óxido de cobre. El proceso usa partículas de aluminio finamente divididas a medida que el agente reductor con el óxido de cobre produce la siguiente reacción química:



Esta reacción genera una excesiva cantidad de calor, por naturaleza los metales fundidos generalmente alcanzan temperaturas de aproximadamente 2200 °C.

**¡RECUERDE!** Estos materiales no son explosivos.

## VENTAJAS DE LA SOLDADURA EXOTERMICA

Cuando se realizan conexiones eléctricas mediante soldadura exotérmica y son efectuadas debidamente, presentarán propiedades eléctricas muy similares a las conexiones soldadas.

Debido a que este proceso es una soldadura molecular cuyo material utilizado tiene el mismo punto de fusión del cobre y cuando la soldadura esta terminada su sección transversal es dos veces mayor que la de los conductores que están siendo empalmados, esto nos ofrece grandes ventajas tanto económicas así como técnicas.

## VENTAJAS ECONOMICAS

1. Bajos costos en los materiales requeridos para una conexión exotérmica en comparación con otros medios de conexión.
2. La reacción es realizada dentro de un molde de grafito, que generalmente permite la realización de más de 50 conexiones.
3. Las conexiones exotérmicas proporcionan mayor seguridad por lo tanto menos supervisión.
4. No requieren de mantenimiento asociado al bajo costo del material utilizado.
5. El material utilizado para la realización de la conexión tiene una durabilidad igual o mayor a los otros materiales conectados.
6. Las conexiones son permanentes debido a que son soldadas alcanzando que no se deterioren con el tiempo
7. Se requiere un entrenamiento mínimo para hacer una conexión, lo que evita mano de obra especializada.
8. Las herramientas y materiales para efectuar la conexión es ligera y portátil.
9. La calidad de las conexiones se puede revisar por simple inspección visual, sin requerir de ningún instrumento.

## VENTAJAS TECNICAS

1. Las conexiones exotérmicas poseen “ampacidad” (capacidad de conducción de corriente) mayor o igual a los conductores que la integran.
2. La capacidad de corriente de la conexión es equivalente a la del cable o conductor.
3. Las conexiones no son dañadas cuando se producen altas irrupciones o picos de corriente. *(Pruebas realizadas demostraron que corrientes elevadas como las de cortocircuito fundieron el conductor y no la conexión exotérmica)*
4. Las conexiones no se deshacen ni sufren corrosión en la parte de la soldadura, independientemente del ambiente en que se destinan.
5. La conexión no se puede aflojar o desajustar debido a que es una unión molecular permanente.
6. Como la conexión exotérmica se transforma en una parte integrante del conductor, esto evita que se presenten problemas por insuficiencia de superficie de contacto o puntos de concentración de presiones.
7. Las conexiones son permanentes debido a que son soldadas alcanzando que no se deterioren con el tiempo.
8. Las conexiones exotérmicas no son afectadas por la corrosión de la misma forma que el cobre.
9. No se requiere de una fuente de energía externa o generación de calor para forjar la conexión.
10. Las soldaduras exotérmicas se pueden utilizar para empalmar materiales de cobre, aleaciones de cobre, acero revestido con cobre, acero de diferentes aleaciones incluyendo el inoxidable entre otros.
11. Como la reacción se consume en pocos segundos, la cantidad de calor aplicada a los conductores o

superficie es inferior a aquella aplicada con otros métodos de soldadura. *(Este aspecto es importante, en conexiones de conductores aislados o tubos de pared fina).*

## DESVENTAJAS DE LA CONEXION EXOTÉRMICA

En la mayoría de los casos, el costo asociado de las conexiones exotérmicas es mayor que otros medios similares de conexión debido a lo largo del proceso, a los diversos requerimientos moldes y a la potencial paralización ocasionada por lo impredecible del clima o por las condiciones de humedad imperantes en el área de trabajo.

Otras desventajas se relacionan a las herramientas requeridas para completar un soldado exotérmico. No obstante, todos los métodos para efectuar conexiones eléctricas requieren de herramientas específicas y sus correspondientes accesorios, así como el cumplimiento de condiciones propias para poder realizar una conexión adecuada. Es la confiabilidad de la conexión lo que se debe medir en una relación de costo beneficio.

Entre las desventajas que presenta este método se encuentran:

1. Las condiciones climáticas inciden directamente en la realización del proceso y pueden posponer el trabajo en sitio durante días.
2. El calor excesivo generado durante la reacción requiere de supervisión debido a los riesgos inherentes de seguridad para el personal.
3. Se requiere de aditamento de seguridad para los operarios, tales como: lentes de seguridad guantes u otros accesorios de protección.
4. Los materiales deben almacenarse en lugares secos, ya que están sujetos a daños por humedad o por calor.
5. Se requieren horas hombres adicionales para la preparación previa a una conexión, esto se debe a la necesidad de limpieza, precalentamiento de moldes, etc.
6. Debido al recocido del conductor, las conexiones exotérmicas no se pueden usar en aplicaciones bajo tracción.
7. El calor intenso generado durante el proceso puede dañar el aislamiento del conductor cuando este esta presente.
8. Una instalación típica con soldadura exotérmica tarda más tiempo con respecto a otros métodos.

## APLICACIONES DE LA SOLDADURA EXOTERMICA

La soldadura exotérmica tiene gran variedad de usos Y aplicaciones tanto en el área eléctrica así como en otras actividades. En el área eléctrica su principal aplicación esta en la interconexión de conductores y se circunscribe a las conexiones entre:

- Cable a cable
- Cable a barra copperweld para puesta a tierra
- Cable a barras rectangulares de cobre o aluminio
- Cable a superficies metálicas
- Cable a rieles ferroviarios
- Cable a cabillas utilizadas en la construcción
- Barra a barra rectangular de cobre o aluminio
- Barra copperweld a barra copperweld
- Barra rectangular a superficie metálica
- Otra aplicación en la industria ferrocarrilera eléctrica, es la soldadura de los conductores del circuito eléctrico de retorno a los rieles.
- Conexiones mediante soldadura exotérmica para empalmar el "tercer riel" en las líneas de tránsito ferrocarrilero pesado.
- Las conexiones mediante soldadura exotérmica también se utilizan para conexiones subterráneas aisladas de alto voltaje.
- Las Conexiones mediante soldadura exotérmica también se emplean en aplicaciones industriales para soldar barras de cobre o de aluminio.

En otras áreas su aplicaron ha sido:

- Desde sus inicios en 1938 se función para soldar uniones señalizadoras de aleación de cobre a los rieles en líneas ferroviarias.
- Para mediados de 1940, fue utilizado para soldar alambres protectores catódicos a las tuberías.
- En tuberías de transporte de gas y petróleo a alta presión para mayores detalles ver la norma ASME B31.4 y B31.8
- Para reparaciones de matriceria y troqueles
- Para rellenos de piezas metálicas
- Otras

### COMPARACION ENTRE SISTEMAS DE CONEXION

Cuando comparamos los sistemas existentes para realizar conexiones eléctricas debemos realizar el análisis desde un punto de vista técnico, es importante destacar que el sistema de soldadura exotérmica surge como necesidad de mejorar los distintos tipos de conexiones existentes, como ya hemos tratado la soldadura exotérmica produce una unión o conexión, de rendimiento superior a la de los conectores mecánicos a presión y contacto, conexiones de superficie a superficie, o a las conexiones mediante abrazaderas.

Debido a su unión molecular, la conexión mediante soldadura exotérmica no se aflojará, desajustara o se corroerá, aportando así que no se incremente la resistencia del empalme, durante toda la vida útil de la misma, aún bajo las peores condiciones de operación.

Gracias a las múltiples ventajas que presentan los empalmes mediante soldadura exotérmica, la tendencia de hoy en día es hacia el reemplazo de los métodos alternativos que proveen menor calidad y por lo general mayor precio.

Entre los métodos alternativos existentes para realizar conexiones eléctricas a la soldadura exotérmica se encuentran:

1. Método por abrazaderas
2. Conectores atornillados
3. Conectores sujetos con pernos
4. Conectores sujetos por engarce
5. Conectores a compresión

Estos métodos nos permiten efectuar conexiones a superficies metálicas planas o circulares, entre conductores o entre conductores y barras, de acuerdo a la necesidad.



En todos los métodos anteriormente enunciados el operador debe infringir un determinado torque o apriete a los tornillos o pernos para realizar el ajuste pertinente, no obstante, de la precisión de este ajuste depende la calidad de la conexión, si el operador no realiza el trabajo con la herramienta adecuada la conexión dará problemas a futuro.

El tamaño de un conductor para un sistema de puesta a tierra se basa en la magnitud y duración máxima de la corriente de falla disponible y por supuesto del método de conexión que se utilice.

En la normativa *Lineamientos para la seguridad en la toma a tierra de corriente alterna en subestaciones* de la IEEE Std 80-1988, se utiliza una fórmula de fusión como base para la selección del tamaño mínimo del conector, para evitar su fusión (derretimiento) cuando se hagan presentes las fallas. Esta fórmula se puede simplificar hasta expresarla como sigue:

$$A - K \times I, / S$$

En donde:

- A = Tamaño del conductor en mils circulares
- K = Constante
- I = Corriente de falla RMS en amperes
- S = Tiempo de falla en segundos.

Tomando como base una temperatura ambiente estándar de 40°C.

TABLA VALORES DE LA CONSTANTE "K"			
TEMP máxima	COBRE S.D	Aleación de cobre DSA 40%	Aleación de cobre DSA 30%
1083°C	7,01	10,46	12,04
450°C	9,18	13,74	15,87
350°C	10,10	15,13	17,46
250°C	11,65	17,47	20,17

De la normativa Std 80-1986 de la IEEE, hemos tomado las temperaturas listadas para cada material que aparecen en la tabla anterior, las mismas se especifican para ser utilizadas en las distintas alternativas de conexiones:

TABLA VALORES DE TEMPERATURA	
Conectores a presión	250 a 350°C*
Conectores por abrazaderas	450°C
Conexiones soldadas exotérmicamente	1083°C

\* Salvo aquellas que han sido probadas y aprobadas según los requisitos IEEE Std 837-1989.

TABLA DE TAMAÑOS RELATIVOS DEL CONDUCTOR				
conductor	Conexiones con soldadura exotérmica	Conexiones con abrazaderas	Conexiones a presión	
			Temperatura 250 °C	Temperatura 350 °C
		+31%	+41%	+66%
normal	normal	normal	normal	normal

Para comprender lo antes expuesto observemos el siguiente ejemplo:

Supongamos que requerimos un conductor que pueda soportar 25 Kamp durante 2 segundos de falla, para este ejemplo en la tabla a continuación colocaremos los resultados calculados y el calibre comercial.

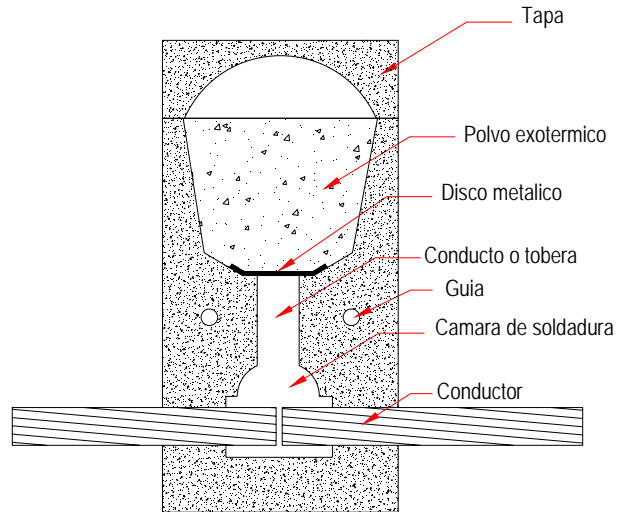
Es importante destacar que el calibre comercial es el tamaño del cable que al final instalaremos.

EJEMPLO DE APLICACION		
TIPO DE CONEXIÓN UTILIZADA	Calibre de conductor Kcmil	
	Calculado	Comercial
Soldadura exotérmica	246	250
Abrazaderas	322	350
A presión ( temperatura 250°C)	357	350
A presión ( temperatura 350°C)	408	400

## Materiales y equipos para puesta a tierra

### MOLDES PARA SOLDADURAS EXOTERMICAS

La reacción exotérmica de cobre, se lleva a cabo en un molde especialmente diseñado y fabricado en grafito de alta calidad, en la figura se pueden observar las partes que conforman este molde.



El molde esta compuesto por las siguientes partes:

- Placa de características e identificación fabricante
- Tapa del molde
- Crisol o cámara de reacción para almacenar los materiales que reaccionan.
- Conducto o tobera de colada que conecta el crisol o cámara de reacción con la cavidad de soldado.
- Cavidad de soldado o cámara de soldadura donde se alojaran los conductores o materiales a soldar.
- Orificios para la colocación de los alicates de manipulación del molde.

El molde esta planteado para permite un libre flujo del metal fundido a todas las secciones del crisol. De igual forma el crisol esta diseñado para permitir una remoción sencilla del molde de la unión terminada para incrementar su vida útil. Esta vida útil del molde tiene un promedio de unas 50 operaciones dependiendo de los cuidados y el mantenimiento que reciba.

En un molde el máximo esfuerzo mecánico se localiza en los orificios por donde se colocan los cables, debido a que, en cada unión, se utilizan conductores que se consideran redondos, se golpean las esquinas con las puntas del conductor, etc.

En muchas ocasiones, el operador utiliza conductores o cables reciclados de cobre con alto grado de oxidación o impurezas para sus sistemas de puesta a tierra. Debido a

la oxidación tan avanzada, en la mayoría de los casos no es posible llevar a cabo una buena limpieza. Por lo que el uso de los moldes normales bajo estas circunstancias nos daría resultados no muy satisfactorios. Para estos casos, se recomienda el uso de moldes para servicio pesado o rudo, los cuales utilizan un cartucho de soldadura metálica con mayor contenido que el empleado en el molde normal para una misma aplicación.

El calor de la reacción con estos moldes no se incrementa pero si se prolonga por un período mayor, permitiendo que se quemen todos los vestigios de oxidación que no fueron removidos. La unión que se obtiene es por supuesto de mayor tamaño que la de un molde normal.

Se puede tener la impresión que la corriente de falla teórica calculada para el sistema de puesta a tierra pueda ser un poco más elevada de la calculada y por ende opte por emplear moldes para servicio pesado en lugar de los normales de forma de conseguir una masa mayor de metal en la conexión. Esto no es necesario, las pruebas en laboratorios han demostrado que se funde el conductor y no la conexión realizada con moldes normales, por lo tanto esta aplicación solo incrementaría el costo de la misma.

Tampoco debe especularse que el uso de un molde normal como un molde para servicio pesado es posible simplemente manipulando cartuchos de soldadura exotérmica más grandes.

Para incrementar la vida útil de los moldes, se pueden instalar desde la fábrica, platos de refuerzo en los orificios destinados al ingreso de los conductores o cables. Estos pueden ser suministrados en todos los moldes para cables de 70 mm<sup>2</sup> y mayores.

### BARRAS DE ACERO RECUBIERTAS DE COBRE

Los primeros sistemas de puesta a tierra se realizaron con barras de cobre puro, sin embargo, presentaban inconvenientes al momento de clavar o querer enterrar las varillas, ya que el cobre al no tener una suficiente resistencia mecánica, se deformaba, sin lograr la penetración requerida en el suelo. Para solventar esta situación la marca copperweld americana, patentó la varilla que en la actualidad lleva su nombre, que consiste en una varilla de acero de alta calidad recubierta de una capa o película de cobre, obteniendo resultados muy satisfactorios tanto en resistencia mecánica como en conductividad, esta barra esta basada en el efecto pelicular de la corriente ya que las corrientes de disipación por el efecto conocido como pelicular, tienden a circular por la superficie de los conductores en este caso la barra o mas concretamente por la película de cobre que la recubre.

Esta varilla es una de las más usadas, ya que es de bajo costo de material. Este tipo de electrodo tiene

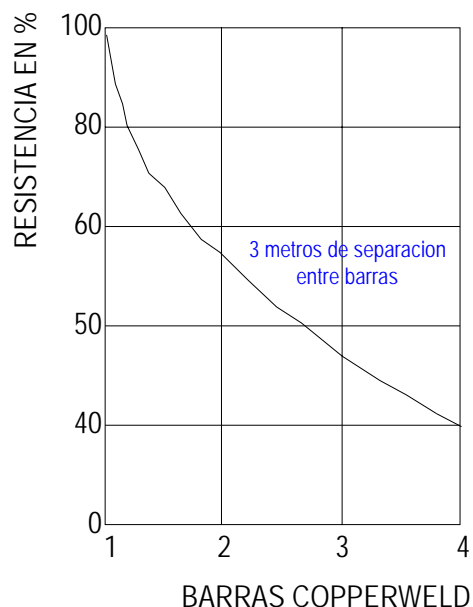
generalmente una longitud de 3.05 metros y un diámetro de 16 milímetros. Esta varilla se debe enterrar en forma vertical y a una profundidad de por lo menos 2.4 metros, esto por norma. También por norma se acepta que la varilla vaya enterrada en forma horizontal, siempre y cuando sea en una zanja de mínimo 80cm de profundidad, pero no es muy recomendable. La barra copperweld no tiene mucha superficie de contacto, pero gracias a su longitud, le es posible un contacto con capas de tierra húmedas, donde se obtiene un bajo valor de resistencia.

Además de lo difícil de clavar las barras de puro cobre en un terreno duro, su costo en relación a una barra de acero recubierta e cobre tipo copperweld tiene una proporción aproximada de 3 a 1.

Como las tierras con baja resistencia son muchas veces difíciles de obtener. El uso de barras copperweld enterradas en el suelo constituye el medio más conveniente de obtener una conexión apropiada a tierra. La forma como sean dispuestas y la cantidad de barras enterradas van en función del tamaño de la estación y de la naturaleza de su suelo.

Los mejores suelos para una malla de tierra son los húmedos y pantanosos y le siguen en calidad la arcilla o el barro arcilloso. Por el contrario, la arena y los suelos arenosos son de alta resistencia y hacen más difícil obtener conexiones de baja resistencia.

Para lograr una resistencia baja el numero de barras colocadas es fundamental Lo ideal es enterrar 4 barras copperweld preferentemente de 5/8" y 2.4m de longitud.



Variación de la resistencia del suelo con el número de barras



En la figura anterior se puede apreciar los valores de resistencia de un suelo en función de la cantidad de barras enterradas.

Otra práctica utilizada para mejorar la resistencia que presenta el suelo es tratar convenientemente el mismo, no con los métodos tradicionales que consiste en agregar sal y carbón, ya que con esto se forman fácilmente sulfato de cobre y la barra copperweld se estropeará fácilmente.

Actualmente en el mercado del ramo se puede adquirir productos químicos para tratamientos del suelo que no deterioran la barra copperweld. Adicionalmente se obtiene mejorar suelos que presentan valores de resistencias medidas de 30 ohmios, reduciéndolos a menos de 5 ohmios.

**PROCESO DE UNA SOLDADURA EXOTERMICA**

El proceso de conexiones exotérmicas se caracteriza por su simplicidad y eficacia, siendo recomendado para la soldadura de cobre, cobre acero y acero acero. No requiere fuente externa de energía, ya que utiliza altas temperaturas resultantes de la reacción química de los materiales utilizados.

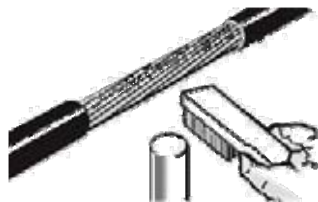
Es ideal para utilizar en le campo porque además de ser un equipo liviano y portátil garantiza una conexión perfecta, rápida, permanente eximiendo manutención y mano de obra especializada.

La reacción se lleva a cabo en el crisol o cámara de reacción en donde estarán almacenados los materiales que reaccionan, separada del conducto o tobera por medio de un disco de metal que se derrite y permite que el metal de soldadura fundido corra hacia abajo, pasando a través del conducto o tobera hacia la cavidad de soldado o cámara de soldadura, donde se encuentran alojados los conductores o materiales a soldar.

El metal de soldadura derretido funde los extremos de los conductores o materiales a soldar y se solidifica rápidamente, creando la conexión soldada.

A continuación se presenta la secuencia o pasos a seguir para lograr un buen empalme entre conductores eléctricos.

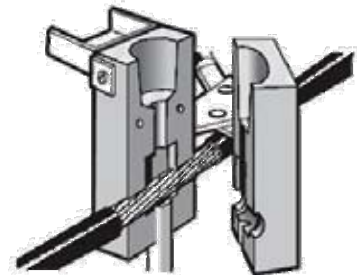
**Paso 1** Si el cable dispone de aislamiento, eliminarlo en una longitud de 15 cm. Utilizando la herramienta apropiada, cepillar las partes metálicas a soldar para eliminar todo resto de óxido o suciedad



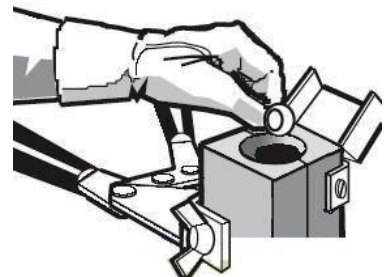
**Paso 2** Antes de realizar la primera soldadura, es imprescindible precalentar el molde con una llama durante unos minutos. De esta forma, se eliminará cualquier humedad existente en el molde y se evitarán las soldaduras porosas.



**Paso 3** Abrir el molde separando los mangos del alicate. Para la colocación de los cables. Barras u otros elementos a soldar dentro del molde, sigan el instructivo de cada caso y/o consulte al personal técnico de GEDISA.



**Paso 4** Cerrar el alicate del molde y bloquearlo en dicha posición para evitar fugas de metal fundido durante el proceso de soldadura. Colocar el disco metálico adecuado con la parte cónica hacia abajo en el fondo de la tolva de forma que pueda obturar el orificio de colada.



**Paso 5** Abrir el cartucho recomendado para el tipo de conexión a realizar y vaciar el contenido de polvo para soldadura en el crisol o cámara de reacción del molde.

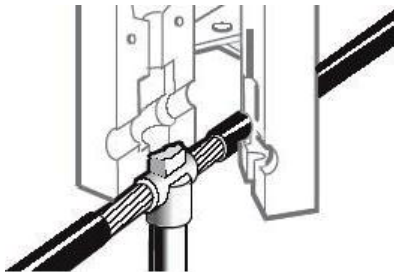


**Paso 6** Cerrar la tapa del molde. Accionar el fósforo ignitor e introducirlo a la cámara de reacción del molde.

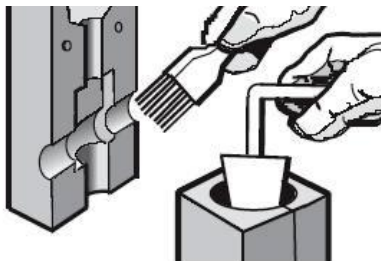
Esperar unos momentos mientras se desarrolla la reacción provocada por la reducción del óxido de cobre por el aluminio.



- Paso 7** Esperar unos minutos antes de proceder a abrir el molde. Abrir completamente para poder extraer la soldadura. Durante esta operación tenga un especial cuidado en no dañar el molde de grafito.



- Paso 4** Elimine la escoria de la tolva, del orificio de colada y la tapa del molde con el rascador de moldes. Limpiar los restos de suciedad de la cámara de soldadura con una brocha. Si el molde se mantiene todavía caliente, puede hacer una nueva soldadura sin precalentarlo.



## Preparación de los materiales y equipos para una soldadura exotérmica

### PREPARACION DE CONDUCTORES O CABLES

A pesar de que todos los elementos que integran una conexión eléctrica son importantes, los conductores o cables revisten un especial cuidado, para conseguir una perfecta soldadura el cable o conductor deberá estar perfectamente limpio, seco y conformado. Conformado se refiere a su forma geométrica circular, que no este deformado.

Un cable húmedo, recubierto de barro, polvo o con vestigios de suciedad provocará una soldadura porosa y proyecciones de metal fundido fuera del molde.

Para eliminar a humedad que pudiera estar presente en los conductores se deberá secar mediante una llama que pueda ser regulada emanada de un equipo adecuado para este fin.

Para eliminar los restos de barro o polvo cepillar los conductores siguiendo la línea de sus hilos teniendo cuidado de no desentorcharlos.

Muchas veces nos encontramos cables tratados con aceite o grasa en su proceso de instalación o por cualquier otra razón, en este caso se deberán limpiar con un desengrasante preferentemente un disolvente que seque rápidamente y sin dejar residuos. En casos extremos calentar el cable con una llama hasta eliminar totalmente la grasa o aceite.

Cuando se emplea cables reciclados o hayan estado expuestos a la intemperie generalmente presentan oxidación o rasgos de la misma. En estos casos los cables se deben pulir con un cepillo metálico hasta eliminar cualquier vestigio de óxido.

Una de las causas del deterioro de los moldes de grafito lo generan los cables mal cortados o con deformaciones en su geometría, debido a que impedirán el cierre correcto del molde, provocando fugas de metal fundido y el esfuerzo para el cierre se concentra solo en zonas del molde que tienden a perder su configuración.

### PREPARACION DEL MOLDE DE GRAFITO

La humedad en el molde provocará una soldadura porosa; por tanto deberá estar completamente seco en el momento de realizar cualquier soldadura.

Antes de realizar la primera soldadura, se calentará el molde hasta que su temperatura no pueda soportarse al tacto, Para eliminar a humedad que pudiera estar presente en el molde se deberá secar mediante una llama que pueda ser regulada emanada de un equipo adecuado para este fin o quemando un cartucho, en este ultimo, se deberá realizar con cuidado de no dañar la tenaza o alicate que se emplea ara su cierre.

Se debe tener precaución en la ejecución del proceso para no encender materiales inflamables que puedan estar cercanos al área. De igual forma, los moldes húmedos pueden producir una reacción explosiva debido a la rápida vaporización de la humedad. El excesivo calor en los moldes también los expone a daños por fuego.

Para las soldaduras sucesivas, el calor desarrollado entre cada aplicación mantendrá el molde a la temperatura correcta, si el intervalo entre ellas fuese prolongado y provocase el descenso la temperatura, deberá reiniciarse el proceso precalentando el molde. Esto sobre todo en zonas de alta humedad.

## PREPARACION DE LAS BARRAS COPPERWELD

El extremo de la barra copperweld sobre el cual se realice la soldadura, deberá estar perfectamente limpio, seco y exento de deformaciones al igual que lo indicado para los cables.

Una barra recubierta de barro, polvo o con vestigios de suciedad en la zona por donde se realizará la conexión, provocará una soldadura porosa y proyecciones de metal fundido fuera del molde.

Para eliminar los restos de barro o polvo se deberá cepillar la zona de conexión de la barra hasta que quede pulida y libre de cualquier vestigio de impurezas.

Para evitar el deterioro de los moldes de grafita por barras copperweld con deformaciones en su geometría debido a que son golpeadas generalmente por el extremo por donde se realizara la conexión, es recomendable practicar un corte en la sección afectada siempre que sea posible o la deformación sea muy pronunciada.

Recuerde que estas deformaciones impedirán el cierre correcto del molde, provocando fugas de metal fundido y el esfuerzo para el cierre se concentre en zonas del molde que tienden a perder su configuración.

## PREPARACION DE LA BARRAS DE COBRE

Cuando se trate de barras rectangulares o pletinas de cobres, la superficie deberá estar libre de toda suciedad o grasa, seca y plana.

En caso de que la superficie este con residuos de grasa o suciedad, para limpiarse se puede recurrir a distintos métodos para remover estas impurezas, tales como: el pulidora, cepillado manual, frotación por pliegos de lija, entre otros.

Para eliminar a humedad que pudiera estar presente en la superficie se deberá secar mediante una llama que pueda ser regulada de un equipo adecuado para este fin.

## PREPARACION DE LAS SUPERFICIES DE ACERO

La superficie deberá estar libre de óxido, seca y plana. En caso de que la superficie este oxidada, con residuos de pintura, grasa o suciedad, para limpiarse se puede recurrir a distintos métodos para remover estas impurezas, tales como: el esmeril eléctrico, cepillado manual, frotación por pliegos de lija, entre otros.

Para eliminar a humedad que pudiera estar presente en la superficie metálica se deberá secar mediante una llama que pueda ser regulada emanada de un equipo adecuado para este fin.

Para las superficies galvanizadas se debe eliminar parte de la capa de zinc hasta llegar al metal.

## NORMATIVAS PARA SOLDADURAS EXOTERMICAS

La primera norma a consultar sobre conexiones a través de soldadura exotérmica es por supuesto el CEN (Código Eléctrico Nacional). Según la Sección 250, el uso de soldaduras exotérmicas se permite para varias aplicaciones.

La mención de soldadura exotérmica se hizo necesaria puesto que el código normalmente permite sólo los medios de toma a tierra que estén listados. Ya que la soldadura exotérmica no puede incluirse en tal lista, se menciona la misma por su nombre para garantizar la aprobación de los inspectores locales.

Estas disposiciones se pueden observar en las secciones 250-81, 250-91, 250-113 y 250-115.

Esta norma establece que las conexiones exotérmicas, instaladas adecuadamente, equivalen al propio conductor. Además explica que otros conductores deben ser prorrateados o calificados según pruebas esbozadas en IEEE Std 837-1989. Otras partes de IEEE Std 80 también hacen referencia a las conexiones exotérmicas para el sistema de toma a tierra.