



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---



**FACULTA DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

**“NORMA DE CONSTRUCCIÓN PARA EL SISTEMA DE TIERRA EN  
ACERO PARA UNA RADIOBASE DE TELEFONÍA CELULAR.”**

**TESIS  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA:**

**CALDERÓN ALVARADO JORGE ANTONIO  
MERCADO HERNÁNDEZ DARÍO ARAMIS**

**ASESOR: ING. DÁMASO VELÁZQUEZ VELÁZQUEZ**

**Bosques de Aragón, Estado de Mexico, Octubre de 2013.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**“NORMA DE CONSTRUCCIÓN PARA EL SISTEMA DE TIERRA EN ACERO PARA UNA RADIOBASE DE TELEFONÍA CELULAR.”**

<b>Índice</b>	<b>1</b>
<b>Objetivo</b>	<b>3</b>
<b>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo 1 Conceptos de sistema de puesta a tierra</b>	<b>6</b>
1.1 Puesta a tierra	7
1.1.1 Definiciones y conceptos básicos	8
1.1.2 Diferencias entre la conexión de tierra y neutro	9
1.2 Tipos de sistemas de puesta a tierra	9
1.2.1 Puesta a tierra para sistemas eléctricos	10
1.2.2 Puesta a tierra de los equipos eléctricos.	10
1.2.3 1Puesta a tierra en señales electrónicas	11
1.2.4 Puesta a tierra de protección electrónica	11
1.2.5 Puesta a tierra de protección atmosférica	12
1.2.6 Puesta a tierra de protección electrostática	14
1.2.7 Puesta a tierra para sistemas eléctricos	14
1.3 Puesta a tierra de protección	15
1.3.1 Puesta a Tierra provisoria	16
1.4 Mediciones de tierras	17
1.4.1 Constitución del terreno	17
1.5 Tipos de puesta a tierra	18
1.5.1 Varillas clavadas y tuberías de agua	18
1.5.2 Pozos químicos y cimientos “UFER”	19
1.5.3 Tubos electrolíticas	20
1.5.4 Diseño de una sola varilla vertical roceso de diseño	21
1.5.5	22
<b>Capítulo 2 Resistividad de la tierra</b>	<b>23</b>
2.1 Resistividad de la Tierra	23
2.1.1 Medidas de Resistividad de la Tierra	27
2.1.2 Electroodos de Tierra	29
2.1.3 Efecto del Tamaño del electrodo de toma de tierra y de la profundidad sobre la distancia	32
2.1.4 Principio de prueba de Resistencia de tierra	33
2.1.5 Posición de los Electroodos auxiliares en medidas	34
2.1.6 Midiendo la Resistencia de los Electroodos de Tierra (Método 62%)	36
2.1.7 Sistema de Electroodos múltiples	40
2.2 Medida de Resistencia de Tierra de Pinza	46
2.2.1 Medidas en el Campo Típicas	48
2.2.2 Entrada o Medidor de Servicio	50
2.2.3 Transformador Montado en Plataforma	51
<b>Capítulo 3 Tierra física y conductores de protección.</b>	<b>53</b>
3.1 Conductores de tierra	54
3.1.2 Conductores de protección (PE)	55
3.1.3 Secciones mínimas del conductor PE	56
3.1.4 Objetivos de una puesta a tierra	58
3.2 Puesta a tierra de Protección y Puesta a tierra funcional	59
3.3 Tensión de toque y Tensión de paso	61
3.4 Resistencia de la puesta a tierra	64
3.4.1 Cálculo de la resistencia de una puesta a tierra	64
3.4.2 Jabalina vertical	65
3.4.3 Jabalinas alineadas	71
3.4.4 Jabalinas dispuestas en circunferencia	73
3.4.5 Jabalinas dispuestas en triángulo	74
3.4.6 Jabalinas profundas	75

**“NORMA DE CONSTRUCCIÓN PARA EL SISTEMA DE TIERRA EN ACERO PARA UNA RADIOBASE DE TELEFONÍA CELULAR.”**

3.4.7	Conductor horizontal dispuesto linealmente	76
3.4.8	Conductores horizontales en otras disposiciones	77
3.5	Medida de la resistencia de una puesta a tierra	79
<b>Capítulo 4 Puesta a tierra y acometida eléctrica para una radiobase de telefonía celular</b>		<b>82</b>
4.1	Norma de construcción para el sistema de tierra en acero	82
4.2	Procedimiento de instalación del pararrayos y su conexión a puesta a tierra	84
4.2.1	Bajante de pararrayo	87
4.2.2	Conexiones de puesta a tierra	87
4.2.3	Instalación del electrodo modelo 380 Fe	88
4.2.4	Proceso de hincado de los electrodos	89
4.2.5	Proceso de armado e instalación de los registros.	92
4.3	Conexión del cable de acero al electrodo de puesta a tierra 380 FE	93
4.4	Conformado de malla tierras	95
4.4.1	Instalación de la malla de tierras con electrodos Fe	96
4.4.2	Conexión del cable al tubo de acero galvanizado	99
4.5	Derivaciones de la malla de tierra	100
4.5.1	Conexión de las derivaciones a la malla de tierras	
4.5.2	Conexión del otro extremo del cable aislado para realizar la unión a la estructura.	102
4.6	Instalación de barras de acero BT-2G 12C en torre	104
4.6.1	Armado y fijación de barras de tierra BT-2G 12C	104
4.7	Conexiones del sistema de tierra en interiores.	108
4.7.1	En salas ubicadas en el interior de los sitios, se instalará un solo tipo de barra	108
4.8	Aislador para cable vertical.	109
4.9	Conexiones en los anillos exteriores	113
<b>Conclusiones</b>		<b>115</b>
<b>Anexo 1 Artículo 250-puesta a tierra</b>		<b>116</b>
<b>Bibliografía</b>		<b>146</b>

## **OBJETIVO**

### **“APLICAR LA NORMA DE CONSTRUCCIÓN PARA EL SISTEMA DE TIERRA EN ACERO PARA UNA RADIOBASE DE TELEFONÍA CELULAR.”**

Los objetivos generales de una puesta a tierra son:

- Permitir la descarga a tierra de una corriente de falla a tierra
- Mantener los potenciales producidos por las corrientes de falla dentro de los límites de seguridad y/o asegurar la actuación de los sistemas de protección en el tiempo adecuado, de vista de la seguridad de las personas y del equipamiento.
- Mantener un potencial de referencia en algún punto del sistema eléctrico o electrónico.

## **Introducción**

El trabajo de tesis se realiza con la finalidad de contar con una referencia que enmarque la norma de los sistemas de tierras para las diferentes instalaciones de radiobases, y tener un soporte de cómo se debe referir a tierra los equipos que en ella se instalen.

Los sistemas de tierras, fundamentalmente es uno de los principales problemas por los cuales se producen daños en equipos de radiofrecuencia, transmisión, rectificadores etc. En presencia de corrientes transitorias de falla, corrientes electrostáticas y de descargas atmosféricas, estas últimas una de las más destructivas por su dimensión.

Debemos estar conscientes de que de una década a la fecha los equipos han estado cambiando considerablemente en cuanto a sus dimensiones y en cuanto a su configuración, haciéndolos cada día más sensibles a las fluctuaciones del servicio eléctrico y sobre todo a disturbios de corrientes no deseables a través de ellos. Por dar un ejemplo un circuito de una pulgada cuadrada en la actualidad contiene más de mil partes en su interior por lo que esto nos da una idea de lo sensible que son estos dispositivos.

La puesta a tierra de los equipos se realiza con la finalidad de mantener a un potencial de cero la partes metálicas “no conductoras de corriente” para que en condiciones de falla no se produzcan corrientes no deseadas a través de ellos, cabe mencionar que el sistema de tierras conduce corrientes solo en casos de falla y para garantizar el buen funcionamiento del sistema de tierras se debe contar con un sistema de baja impedancia capaz de conducir a tierra cualquier corriente no deseada.

Todos los conceptos involucrados en un sistema a tierras y sus conexiones a los equipos han sido reglamentados y normalizados durante muchos años, por lo que

no podemos tomar a ligera cada sistema de tierras que se construya como uno más, tenemos que estar conscientes que se trata de un sistema de seguridad para el personal y el equipo, por lo que debemos darle la importancia que se merece, para ello podemos apoyarnos en la secretaria de energía, norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (utilización). Actual que en su artículo 250 trata todo lo relacionado a la puesta a tierra. **Anexo 1**

Uno de los aspectos principales para la protección contra sobre tensiones y fallas a tierra en cualquier instalación, es la de contar con una red de tierras adecuada en la cual se conecte el neutro de la acometida, los apartarrayos, estructuras metálicas, gabinetes de los equipos y todas las partes metálicas que deban estar a potencial de tierra.

La conexión a tierra facilita también la operación instantánea de los dispositivos de protección contra sobre corriente en caso de fallas a tierra. Una instalación eléctrica que carezca en lo absoluto de un sistema de tierras puede funcionar correctamente en condiciones normales pero cuando estas condiciones normales se vean alteradas por fallas de cortocircuito, será entonces cuando se lamentará el no tenerlo.

En términos generales, podemos decir que la o las puestas a tierra de una instalación eléctrica deberán diseñarse y ejecutarse para satisfacer las prescripciones de seguridad, y los requerimientos funcionales de las instalaciones.

## **CAPÍTULO 1**

### **CONCEPTOS DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**

Los sistemas de puesta a tierra, normalmente son ignorados, hasta que se presentan alteraciones de operación en nuestros equipos. Estos pueden manifestarse en diferentes formas, desde problemas molestos y constantes hasta problemas serios. Un problema constante puede ser la aparición persistente de ruido en los circuitos electrónicos. Un problema serio, puede ser debido a una descarga eléctrica.

El objetivo principal de contar con un sistema de puesta a tierra de baja impedancia dentro de la radio bases, repetidores, MSC y MTX es con el fin de brindar:

- Seguridad al personal
- Protección al equipo
- Operación del equipo Reducción del ruido

Un buen sistema de tierra puede proveer al personal seguridad al mantener una mínima diferencia de potencial entre bastidores, gabinetes y cualquier otro conductor para minimizar la posibilidad de un daño por descarga eléctrica.

La protección del equipo se logra al proveer trayectorias adecuadas para las corrientes de falla a fin de que los dispositivos de protección de sobrecorriente funcionen eficazmente, evitando con esto daños al equipo y riesgos e incendios.

Al proporcionar una referencia a tierra igual a todo lo largo del plano de tierra, puede esperarse una operación más confiable del equipo, ayudando también a la reducción de ruido en los circuitos de comunicación, al asegurar una baja impedancia entre puntos de tierra a lo largo del área del sistema.



## 1.1 Puesta a tierra

La importancia de entender el comportamiento de la electricidad y cuáles 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 se verá más 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.

Conociendo la importancia de la puesta a tierra de protección y de servicio, es que ha 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.

El sistema de puesta a tierra deberá comprender.

- 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, aun 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.

#### **1.1.1 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 respecto 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.

### 1.1.2 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 sería 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.

### 1.2 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

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

El propósito de aterrizar 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.

### **1.2.2 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.

### **1.2.3 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.

### **1.2.4 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 1.1

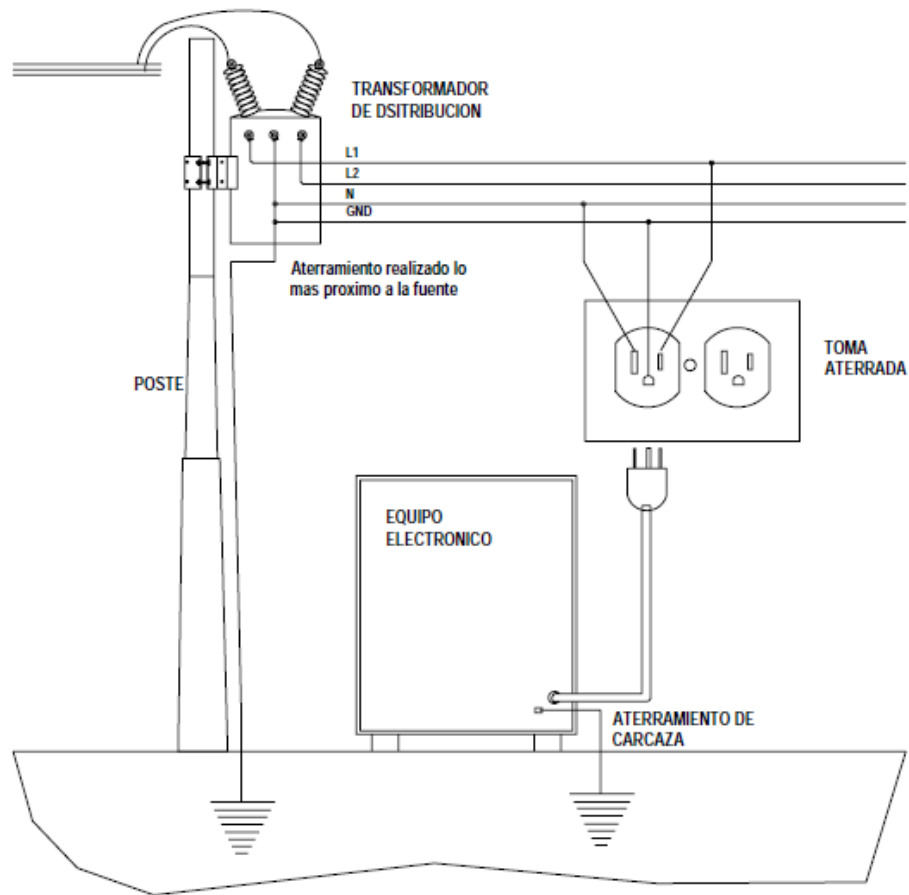


Figura 1.1 Puesta a tierra de equipo electrónico.

### 1.2.5 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 la NOM-001-SEDE-2005 en el artículo 250-83.

- **Barras de tierra Copperweld**, La barra de los sistemas para aterramiento son de acero y la capa de cobre que poseen en su superficie la protegen contra la corrosión. Por su composición, estas barras aseguran un buen desempeño durante el proceso de instalación, evitando que la barra se doble o agriete al ser sometida al esfuerzo mecánico de enterramiento.

Se comercializan en combinaciones de roscadas o no, en longitudes de 2,4 metros y están provistas de accesorios que facilitan su instalación, tales como acoples, sufrideras, sistemas de anclaje, etc.

Para puestas a tierra de sistemas eléctricos, las barras tipo copperweld de acero con revestimiento de cobre para enterrado directo han reemplazado prácticamente a todos los otros métodos y materiales hasta ahora conocidos.

Las razones más importantes son:

- Económicas para instalar
- Seguridad en las instalaciones eléctricas
- Fáciles de inspeccionar y controlar

Tienen como ventaja adicional, disminuir fácilmente la resistencia eléctrica a tierra; mediante la adición de más barras en paralelo, el empleo de barras acopladas o en última instancia, el tratamiento químico del terreno. Los electrodos de cobre macizo no son adecuados para ser clavados profundamente, o incluso a una pequeña en terrenos duros sin que se produzcan deformaciones o torceduras.

- ***Ante estos inconvenientes surge como solución el desarrollo de los electrodos con núcleo de acero*** revestidos de cobre.

Estos electrodos son mucho más económicos que los macizos de puro cobre y pueden enterrarse a profundidad. No obstante, dependiendo la calidad del electrodo la cubierta de estos puede presentar desgaste o deslizarse durante el enterrado. Una vez dañada la capa de cobre, la integridad del electrodo queda afectada.

Las barras tipo copperweld poseen una sólida e inseparable capa exterior de cobre que las protege contra la corrosión y les da una excelente conductividad. Esta capa forma un sólo cuerpo con su alma de acero de alta resistencia. El acero da la rigidez necesaria, para que puedan ser clavadas fácilmente con un martillo liviano o con cualquier otro método conveniente

#### **1.2.6 Puesta a tierra de protección electrostática.**

Sirve para neutralizar las cargas electroestáticas 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.

#### **1.2.7 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 respecta 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, auto válvulas, pararrayos, para eliminación de sobretensiones o descargas atmosféricas.
- Los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra.

### **1.3 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.

### **1.3.1 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.

## **1.4 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 práctica lo aconseje, se trata de llegar a un valor inferior al máximo, que permita contener el potencial de tierra entre valores adecuados no peligrosos.

### **1.4.1 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 1.1 siguiente están expuestos los valores de la resistividad de los materiales más importantes que construyen los terrenos

**Tabla 1.1 Resistividad de algunos tipos de materiales 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

## 1.5 Tipos de puesta a tierra

Hay varios tipos de sistemas de puesta a tierra usados en la industria hoy. Algunos de los más comunes incluyen las varillas o jabalinas, tuberías de agua, pozos químicos, cimientos Ufer y electrodos electrolíticos.

Cada uno es examinado brevemente.

### 1.5.1 Varillas clavadas y tuberías de agua

Las varillas clavadas son normalmente barras de acero revestido con cobre que se clavan a la tierra. Son baratos y típicamente de un largo de 3 metros con un diámetro de 1.59 cm. Las varillas clavadas son usadas como parte de los sistemas de red o como equipo aislado. Algunas de las desventajas de usar las varillas de accionamiento incluyen lo siguiente:

- Son fácilmente afectadas por el ambiente, envejecimiento, temperatura y humedad.
- Su resistencia aumenta constantemente con los años.
- Son fácilmente dañados durante la instalación. Los rasguños exponen el material de acero del metal al ambiente, lo que lo hace susceptible al ataque de corrosión.
- Son baratas y son adecuadas por un corto tiempo en condiciones buenas de suelo, sin embargo, a largo plazo fallará.

Las tuberías de agua o red de agua son usadas como electrodos de tierra. Estas son algunas desventajas de usar las tuberías de agua:

- Son difíciles de probar e imposibles de mantener. La inserción de plástico o anillos destruyen la integridad del circuito.
- Las tuberías de agua fría producen una condensación que alienta la corrosión.

Las tuberías de agua no deben nunca usarse como un solo elemento de aterramiento. Son elementos de puesta a tierra poco fiable que puede ser destruida por una simple actualización de tuberías. En lugar de esto, las tuberías de agua deben ser usadas en conjunción con las varillas de accionamiento o un sistema de tierra de red en cumplimiento con las normas.

### **1.5.2 Pozos químicos y cimientos “UFER”**

Los pozos químicos son pozos de tierra los cuales se llena con químicos altamente conductivos y se conectan a sistemas de puesta a tierra con varillas de cobre. Muchos químicos pasados de moda, como el sulfato de cobre o sulfato de magnesio son usualmente dañinos para el ambiente y están restringidos por leyes ambientales.

Los cimientos Ufer consisten de redes de cable de cobre que son incorporados dentro de los cimientos de concreto del edificio durante la construcción. Un

ingeniero de apellido Ufer inventó este sistema. También puede ser que hace conexión eléctrica a los fierros empotrados en los cimientos. Los cimientos Ufer son imposibles de probar y mantener ya que el conductor, típicamente de 16mm<sup>2</sup> cable trenzado, desaparecen en el fundamento. Como resultado, el tiempo y la eliminación gradual de la humedad pueden cambiar en integridad del fundamento o resistencia de tierra.

### **1.5.3 Tubos electrolíticas**

Los tubos electrolíticos son tubos de 100% de cobre (o de acero inoxidable) llenados con sales de tierra naturales. El tubo está colocado en un relleno de bentonita para

- 1) proteger el cobre para décadas de vida útil;
- 2) poner más contacto con el suelo. Para ser efectivos, los tubos electrolíticos “activas” deben tener agujeros perforados cerca de la parte superior y en la parte inferior. Los agujeros cerca de la parte superior actúan como “agujeros de ventilación” y permiten la entrada del aire. Las sales higroscópicas en el tubo absorben la humedad del aire y forman una solución electrolítico. Esta solución es entonces depositada en el suelo de material de relleno a través de los agujeros en la parte inferior creando una raíces electrolíticos.

Las raíces electrolíticos producidas disminuyen la resistencia del terreno mediante la ionización del suelo circundante.

Esta solución crea raíces electrolíticos que disipan la corriente eléctrica. El tubo electrolítico activa nunca necesita ser recargada o rellenada con sales como en la mayoría de los sistemas químicos. Esto permite que sea libre de mantenimiento. Otra ventaja es la habilidad de ionizar las sales a una temperatura congelante de la humedad, permitiendo al sistema ser efectivo en condiciones de “congelamiento”.

Cuando estos tipos de sistemas son instalados, un pozo es augurado en el suelo. El tubo es luego ubicado en el pozo que se llena con bentonita – a neutro, neutro pH arcilla. Esto hace que los tubos electrolíticos confiables ya que están protegidas del ambiente de suelo corrosivo y no son tan propensos al ataque de corrosión, lo que es un problema con las varillas y otros sistemas. Figura 1.2

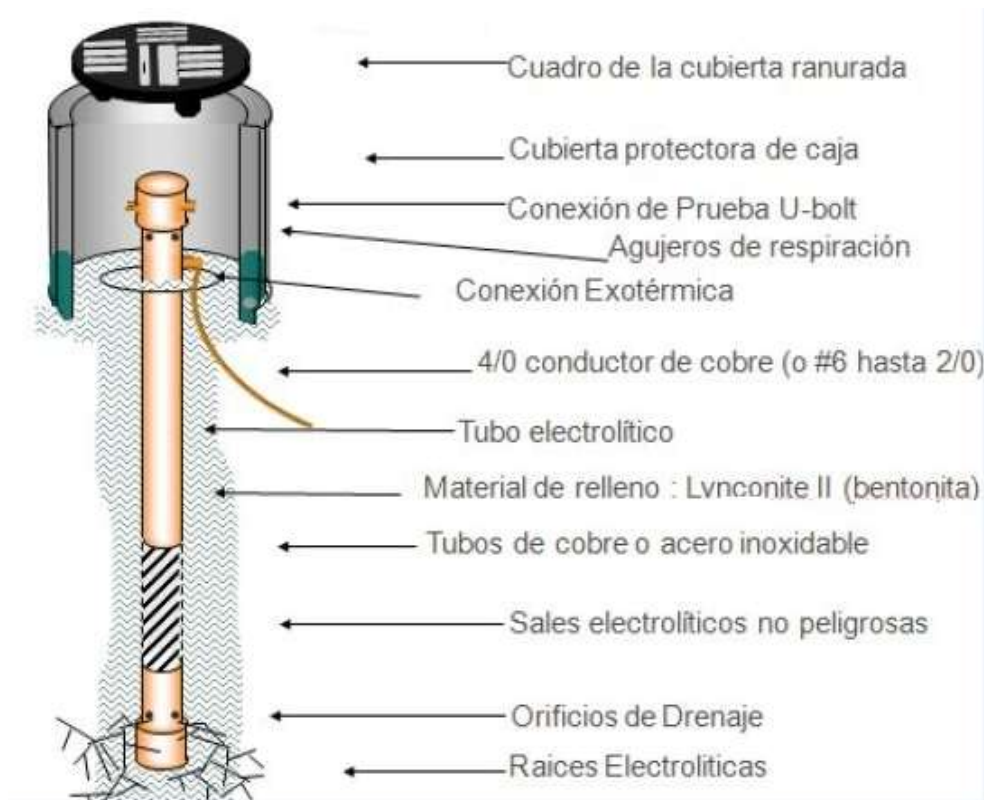


Figura 1.2 Sistema de aterramiento XPT (Tubo Recto)

#### 1.5.4 Proceso de diseño

El proceso de diseño para un sistema de puesta a tierra comienza con un estudio del área de instalación. El estudio debe incluir un análisis de la resistividad del suelo a varias profundidades, planes de sitio relevante, un análisis topográfico y una base simple si está disponible. Estos datos indicarán cualquier barrera física como una roca, un suelo con alta resistividad o tuberías subterráneas. Una vez

que la información es obtenida, un diseño puede ser iniciado. Nuestra discusión comenzará con los escenarios más simples y ecuaciones.

### **1.5.5 Diseño de una sola varilla vertical**

La resistencia a tierra para un solo electrodo, tales como la vara impulsada o la vara electrolítico, pueden ser calculados con la siguiente fórmula:

$$R = [\rho/2\pi L] \times [\ln(4L/r) - 1]$$

R=Resistencia (ohmios)

$\rho$  = Resistividad del suelo en ohm-centímetros

L=Longitud de la varilla (cm)

r =Radio de la varilla (cm)

ln = es el logaritmo natural

En el diseño de puesta a tierra hay muchas configuraciones geométricas a considerar cuando se está calculando la resistencia, ejemplo, curvas de 90° y la longitud del conductor. Las fórmulas para diferentes configuraciones de puesta a tierra pueden ser encontradas en el estándar 142 de IEEE Libro Verde.

Varios arreglos diferentes pueden ser explorados hasta que la resistencia deseada se alcance.

El cálculo para una un sistema de acero para una radiobase se explicara en el capítulo 4



## CAPÍTULO 2 RESISTIVIDAD DE LA TIERRA

En estos tiempos en el que los cambios de los avances tecnológicos se suceden rápidamente, una buena toma de tierra es más importante que nunca para prevenir daños costosos y el tiempo de inactividad debido a interrupciones de servicio y la mala protección causada por una toma de tierra pobre. Los sistemas de toma de tierra le ofrecen protección de los fenómenos naturales como el relámpago descargando el sistema de corriente, protegiendo al personal de ser heridos y a los componentes de los sistemas de ser dañados. En sistemas de potencia eléctrica con toma de tierra con retorno, la toma de tierra le ayuda a asegurar una rápida operación de la protección de los relés proporcionando caminos de fallos de baja resistencia en casos de cambios potenciales no habituales debidos a fallos

### 2.1 Resistividad de la Tierra

- **Efectos de la resistividad de la tierra en la resistencia de electrodos de tierra.** la resistividad de la tierra el factor clave que determina cuál será la resistencia de un electrodo de toma de tierra, y a que profundidad debe ser enterrada para obtener una resistencia de tierra baja. La resistividad de la tierra varía ampliamente a través del mundo y cambia con las estaciones. La resistividad de la tierra es determinada en gran parte por su contenido de electrolitos, que consisten de humedad, minerales y sales disueltas Una tierra seca posee una alta resistividad si contiene sales no solubles, tabla 2.1

**Tabla 2.1 Resistividad de la tierra**

Tierra	Resistividad (aprox.), $\Omega$ -cm		
	Min.	Promedio	Máx.
Cenizas, cinders, salmuera, desperdicio	590	2,370	7,000
Arcilla, barro, lodo firme	340	4,060	16,300
Mismo anterior, solo con mayor proporción de arena y grava	1,020	15,800	135,000
Grava, arena, piedras con un poco de arcilla o suelo firme	59,000	94,000	458,000

- **Factores que Afectan la Resistividad de la Tierra.** Dos muestras de tierra, cuando secadas completamente, pueden de hecho convertirse en muy buenos aislantes teniendo una resistividad en exceso de 109 ohmio centímetros. La resistividad de la muestra de tierra cambia muy rápidamente hasta que se llega a un aproximadamente a un 20% o más de contenido de humedad, Tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Factores que Afectan la Resistividad de la Tierra.**

Contenido de Humedad % por peso	Resistividad $\Omega$ - cm	
	Suelo-sup.	Suelo firme arenosa
0	>10 <sup>9</sup>	>10 <sup>9</sup>
2.5	250,000	150,000
5	165,000	43,000
10	53,000	18,500
15	19,000	10,500
20	12,000	6,300
30	6,400	4,200

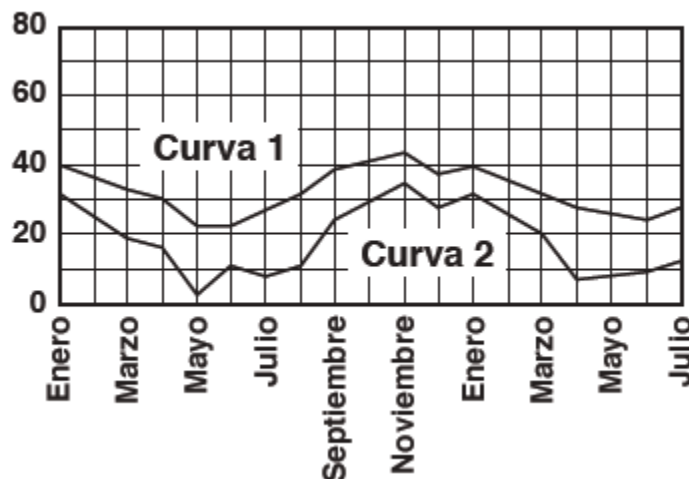
La resistividad de la tierra es también influenciada por la temperatura. La tabla 2.3 muestra la variación de la resistividad de marga arenosa, conteniendo 15.2% de humedad, con cambios de temperatura desde 20° a 15°C. En esta escala de temperatura la resistividad varía desde 7200 a 330,000 ohmios-centímetros.

**Tabla 2.3 resistividad de la tierra es también influenciada por la temperatura**

Temperatura		Resistividad Ohmio-cm
C	F	
20	68	7,200
10	50	9,900
0	32 (agua)	13,800
0	32 (hielo)	30,000
-5	23	79,000
-15	14	330,000

Dado que la resistividad de la tierra está directamente relacionada con el contenido de humedad y la temperatura, es razonable asumir que la resistencia de cualquier sistema de toma de tierra variará a través de las diferentes estaciones del año. Tales variaciones son mostradas en la tabla 2.4. Ya que tanto la temperatura como el contenido de humedad más estables a mayores distancias por debajo de la corteza de la tierra, es coherente que un sistema de toma de tierra, para ser más efectivo siempre, debería ser construido con la barra de tierra enterrada a una distancia considerable por debajo de la corteza de la tierra. Los mejores resultados son obtenidos si la barra de tierra alcanza la tabla de agua.

**Tabla 2.4 Toma de tierras a través de las diferentes estaciones del año**



Variación de temporada de la resistencia de tierra con un electrodo de tubo 3/4" pulgada en tierra de arcilla con piedras. La profundidad del electrodo en la tierra es 3 pies para Curva 1, y 10 pies para Curva 2

En algunas localidades, la resistividad de la tierra es tan alta que una toma de tierra de baja resistencia puede ser obtenida sólo a alto coste y con un sistema de toma de tierra elaborado.

En tales situaciones, puede ser económico usar un sistema de barra de tierra de tamaño limitado y para reducir la resistividad de tierra incrementando periódicamente el contenido químico soluble de la tierra. La tabla 2.5 muestra la

reducción substancial en resistividad de marga arenosa conseguida por un incremento del contenido de sal química.

**Tabla 2.5 Efecto de contenido de sal sobre la resistividad de la tierra**

(Marga arenosa, contenido de humedad, 15% por peso, Temperatura, 17°C)	
Sal Añadida (% por peso de humedad)	Resistividad (Ohmio – centimetro)
0	10,700
0.1	1,800
1.0	460
5	190
10	130
20	100

Tierra tratada químicamente está también sujeta a una variación de resistividad considerable con cambios de temperatura, como se ve en la tabla 2.6. Si se emplea tratamiento con sal, es necesario usar barras de tierra que resistirán corrosión química.

**Tabla 2.6 Efecto de temperatura sobre La resistividad de la tierra de la tierra que contiene sal<sup>1</sup>.**

(Marga arenosa, 20% humedad, Sal 5% del peso de la humedad)	
Temperatura (Grados C)	Resistividad (Ohmio-centimetro)
20	110
10	142
0	190
-5	312
-13	1,440

<sup>1</sup> Tal como sulfato de cobre, carbonato de sodio, y otros. Las sales deben aprobadas por EPA (Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos) o por la agencia estatal local antes de ser usadas. <http://www.epa.gov/espanol/leyes/>

### 2.1.1 Medidas de Resistividad de la Tierra

(Medidas de 4-puntos)

Las medidas de resistividad son de dos tipos; el método de 2-puntos y el de 4-puntos.

El método de 2-puntos es simplemente la resistencia medida entre dos puntos. Para la mayoría de aplicaciones el método más preciso el de 4-puntos que es usado en el Modelos de Probador de Tierra 4610, 4620, 4630 o 6470. El método de 4-puntos, Figura 2.1, como el nombre implica, requiere la inserción de cuatro electrodos a la misma distancia y en línea en el área de pruebas. Una corriente conocida desde un generador de corriente constante es pasada por los electrodos de fuera. La caída de potencial (una función de la resistencia) es entonces medida a través de los dos electrodos interiores.

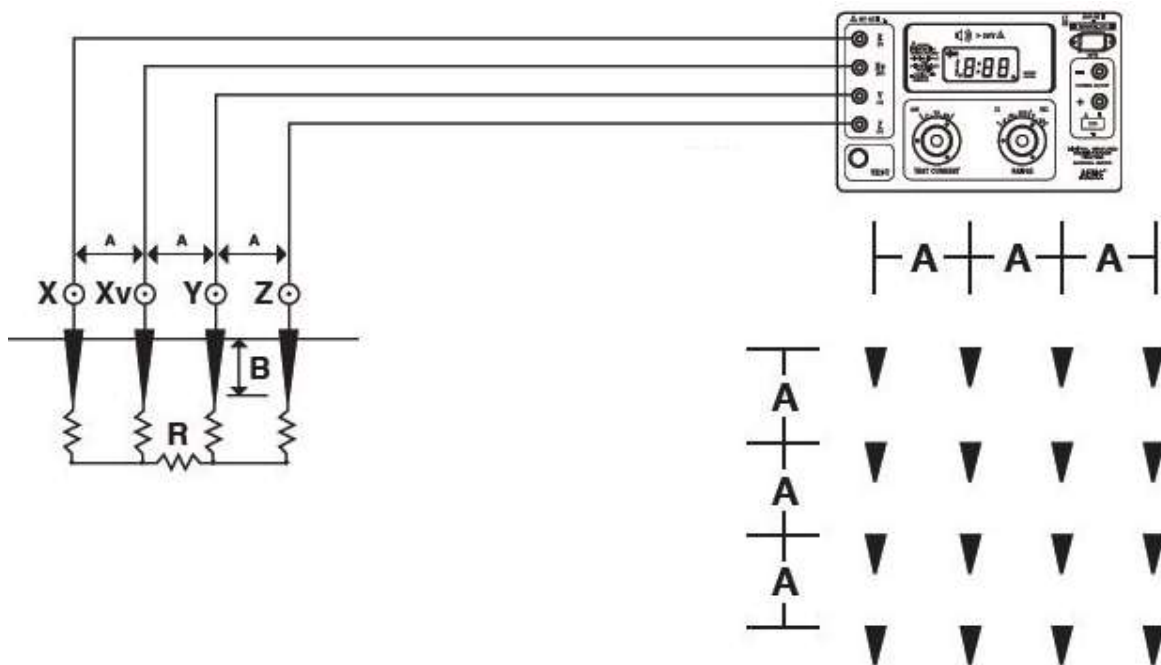


Figura 2.1 método de 2-puntos y el de 4-puntos.

Utilizar pies en lugar de cm:

$$2\pi \times (\text{conversion from cm a pies}) = (2) (3.14) (12) (2.54) = 191.5$$

Si  $A > 20 B$ , la fórmula se transforma en:

$\rho = 2\pi AR$  (con A en cm)

$\rho = 191.5 AR$  (con A en pies)

$\rho =$  Resistividad de la tierra (ohmio – cm)

Dónde:

A = distancia entre los electrodos en centímetros

B = profundidad del electrodo en centímetros

El valor para ser utilizado por  $\rho$  es el promedio de la resistividad de tierra a una profundidad equivalente a la distancia “A” entre dos electrodos.

Dado un pedazo de terreno considerable en el que determinar la resistividad óptima de la tierra un poco de intuición es necesaria. Asumiendo que el objetivo es baja resistividad, se debería dar preferencia a un área conteniendo marga húmeda en contra de un área seca y arenosa. Se debe también considerar la profundidad a la que la resistividad es requerida.

### *Ejemplo*

Después de inspeccionarla, el área investigada ha sido reducida a un trozo de tierra de aproximadamente 75 pies cuadrados ( $7m^2$ ).

Asumiendo que usted necesita determinar la resistividad a una profundidad de 15 pies (450cm). Entonces la distancia “A” entre los electrodos debe ser equivalente a la profundidad a la que la resistividad promedio debe ser determinada (15 pies, o 450cm). Usando la fórmula Wenner más simplificada ( $\rho = 2\pi AR$ ), la profundidad del electrodo de entonces ser una vigésima ( $1/20$ ) parte del espacio entre electrodos o  $8-7/8$ " (22.5cm).

Distribuya los electrodos en un diseño de cuadrícula y conectelos con el instrumento como es mostrado en la Figura 2.1. Proceda de la forma siguiente:

- Quite el enlace puntal entre X y Xv (C1, P1)
- Conecte las cuatro barras auxiliares (Figura 2.1)

Por ejemplo, si la lectura es  $R = 15$

$\rho$  (resistividad) =  $2\pi \times A \times R$

A (distancia entre electrodos) = 450cm

$\rho = 6.28 \times 15 \times 450 = 42,390 \Omega\text{-cm}$

### 2.1.2 Electrodo de Tierra

El término “tierra” es definido como una conexión conductora por la que un circuito o equipo es conectado con la tierra. La conexión es usada para establecer y mantener lo más preciso posible el potencial de la tierra en el circuito o equipo conectado a él.

Una “**tierra**” consiste de un conductor de toma de tierra, un conector de enlace, su(s) electrodo(s) de toma de tierra, y el suelo en contacto con el electrodo.

“**Toma de tierra**” tiene varias aplicaciones de protección. Para fenómenos naturales tales como relámpagos, toma de tierras son usadas para descargar el sistema de corriente antes que el personal pueda resultar herido o componentes del sistema puedan ser dañados. Para potenciales ajenos debidos a fallos en sistemas de potencia eléctrica con vueltas de tierra, tomas de tierra ayudan a asegurar un rápido funcionamiento de los relevos protectivos al proporcionar caminos de baja resistencia para la corriente de fallida.

Esto permite la eliminación del potencial ajeno tan rápidamente como sea posible. La toma de tierra debería drenar el potencial ajeno antes que haya heridos entre el personal y que la potencia o el sistema de comunicaciones sea dañado.

Lo idóneo, para mantener un potencial de referencia para seguridad del instrumento, para protección en contra de electricidad estática y para limitar el sistema a un voltaje de marco para seguridad del operario, la resistencia de tierra debería ser cero ohmios.

En realidad, como describiremos más adelante en el texto, este valor no puede ser obtenido. Ultimo, pero no menos importante, una resistencia de tierra baja es esencial para cumplir los estándares de seguridad NEC®, OSHA<sup>2</sup> y otros.

La Figura 2.2 muestra una barra de toma de tierra. La resistencia del electrodo posee los componentes siguientes:

- A) La resistencia del metal y de la conexión a este
- B) La resistencia de contacto de la tierra de alrededor al electrodo
- C) La resistencia en la tierra de alrededor a flujo de corriente o resistividad de tierra que es a menudo el factor más significativo.

Más específicamente:

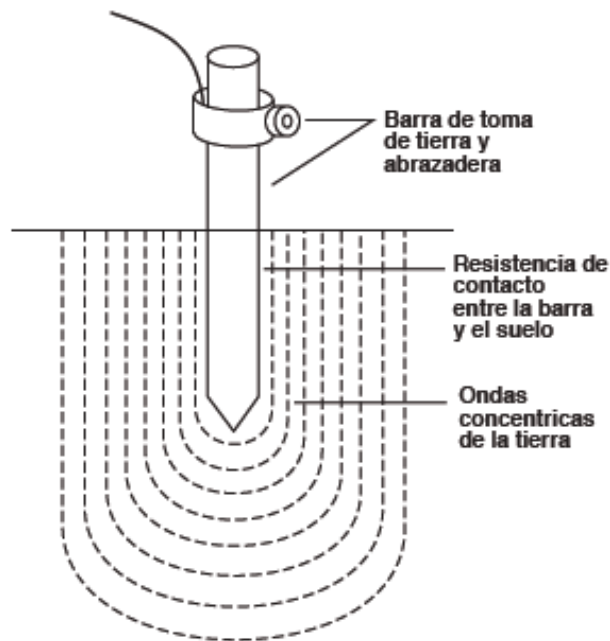
- A) Electrodo de toma de tierra están normalmente hechos de un metal muy conductor (cobre o chapado de cobre) con secciones transversales adecuadas de manera que la resistencia total es insignificante.
- B) El Instituto nacional de standard y tecnología ha demostrado que la resistencia entre el electrodo y la tierra del alrededor es insignificante si el electrodo no tiene pintura, grasa, u otras capas, y si la tierra está firmemente compactada.

---

<sup>2</sup> **Estándares de OSHA** Siempre que sea posible, OSHA promulga estándares de consenso nacional o estándares federales establecidos como estándares de seguridad. Las disposiciones obligatorias (es decir, la palabra la palabra implica obligación) de los estándares, incorporados por referencia, tienen el mismo vigor y efecto que los estándares enumerados en la Parte 1910. Por ejemplo, el estándar de consenso nacional NFPA 70 se lista como un documento de referencia en el Apéndice A de la subparte S-Eléctricos de la Parte 1910 de 29 CFR. NFPA 70 es un estándar voluntario desarrollado por la National Fire Protection Association (NFPA). NFPA 70 se conoce también como el Código Eléctrico Nacional (NEC). Por incorporación, todos los requisitos obligatorios del NEC son obligatorios del OSHA. <http://www.ab.com/es/epub/catalogs/3377539/5866177/3378076/7131355/Est-ndares-de-los-EE-UU.html>



C) El único componente que queda es la resistencia de la tierra del alrededor. El electrodo puede ser visto como envuelto por capas concéntricas de tierra, todas del mismo grosor. Como más cercana la capa al electrodo, más pequeña es su superficie; así pues, más grande es su resistencia. Como más lejanas las capas estén del electrodo, mayor es la superficie de la capa; así pues menor es su resistencia. Eventualmente, añadir capas a una distancia del electrodo de la toma de tierra ya no afectará de forma notable la resistencia total de la tierra de alrededor del electrodo. La distancia a la que este efecto ocurre es llamada el área de resistencia efectiva y es directamente dependiente de la profundidad del electrodo de toma de tierra.



La Figura 2.2 muestra una barra de toma de tierra

### 2.1.3 Efecto del Tamaño del electrodo de toma de tierra y de la profundidad sobre la distancia

**Tamaño:** Incrementando el diámetro de la barra no reduce materialmente su resistencia. Doblar el diámetro reduce la resistencia por menos de 10%. Figura 2.3

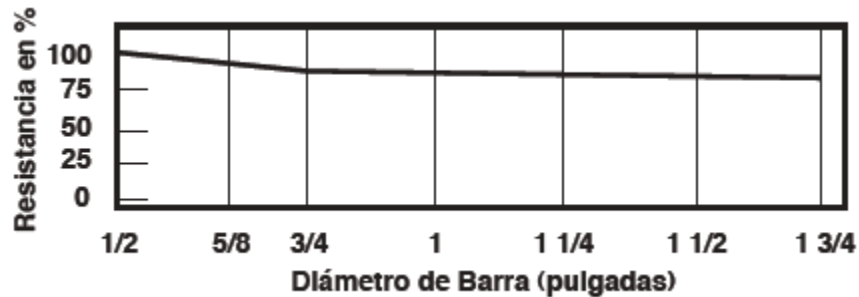


Figura 2.3 Efecto del tamaño del electrodo

**Profundidad:** Cuando una barra de toma de tierra es enterrada más profundamente bajo tierra, su resistencia es reducida sustancialmente. En general, doblando la longitud de la barra reduce la resistencia por un 40% adicional, Figura 2.4. El NEC 2005, 250.52 (A)(5) requiere un mínimo de 8 ft (2.4m) a estar en contacto con la tierra. La más común es una barra cilíndrica de 10ft (3m) que cumple con el código de NEC. Un diámetro mínimo de 5/8 pulgadas (1.59cm) es requerido para barras de acero y 1/2 pulgada (1.27cm) para barras de cobre o de acero chapado de cobre (NEC 2005, 250.52). Los diámetros prácticos mínimos por limitaciones de enterrado para barras de 10 ft (3m) son:

- 1/2 pulgada (1.27cm) en tierra promedio
- 5/8 pulgadas (1.59cm) en tierra húmeda
- 3/4 pulgadas (1.91cm) en tierra dura o para profundidades de enterrado de más de 10 pies

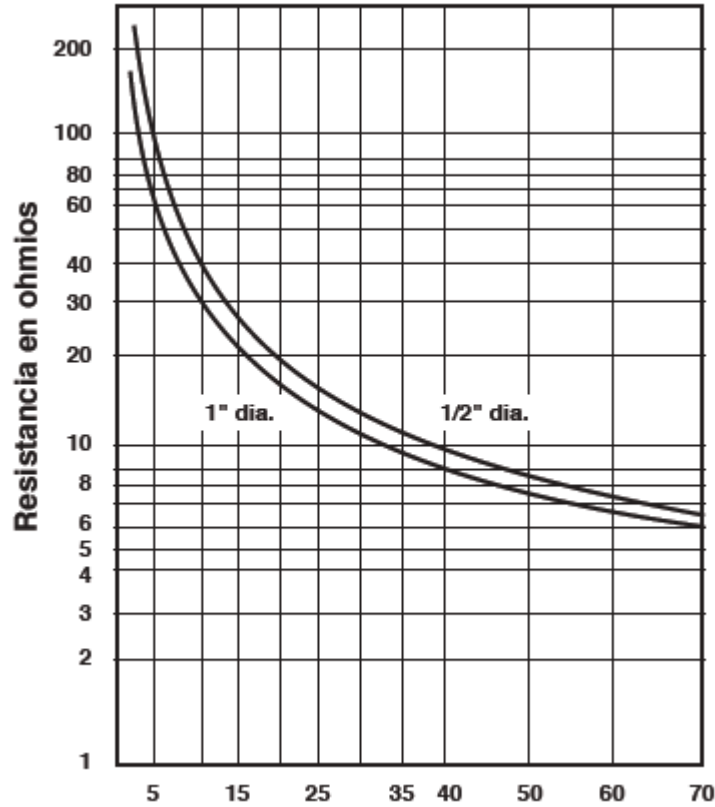


Figura 2.4 Profundidad de enterramiento en pies resistencia de tierra contra profundidad de barra de toma de tierra

### 2.1.4 Principio de prueba de Resistencia de tierra

(Caída de Potencial — Medida de 3-puntos)

La diferencia de potencial entre las barras X y Y es medida por un multímetro, y el flujo de corriente entre las barras X y Z es medido por un amperímetro. (Nota: X, Y y Z pueden ser llamados X, P y C en un probador de 3-puntos o C1, P2 y C2 en un probador de 4-puntos.) (Vea la Figura 2,5.)

Por la Ley de Ohm  $E = RI$  o  $R = E/I$ , podemos obtener la resistencia R del electrodo de tierra. Si  $E = 20V$  y  $I = 1A$ , entonces

$$R = \frac{E}{I} = \frac{20}{1} = 20$$

No es necesario realizar todas las medidas cuando se usa un probador de tierra. El probador de tierra medirá directamente al generar su propia corriente y mostrando la resistencia del electrodo de tierra.

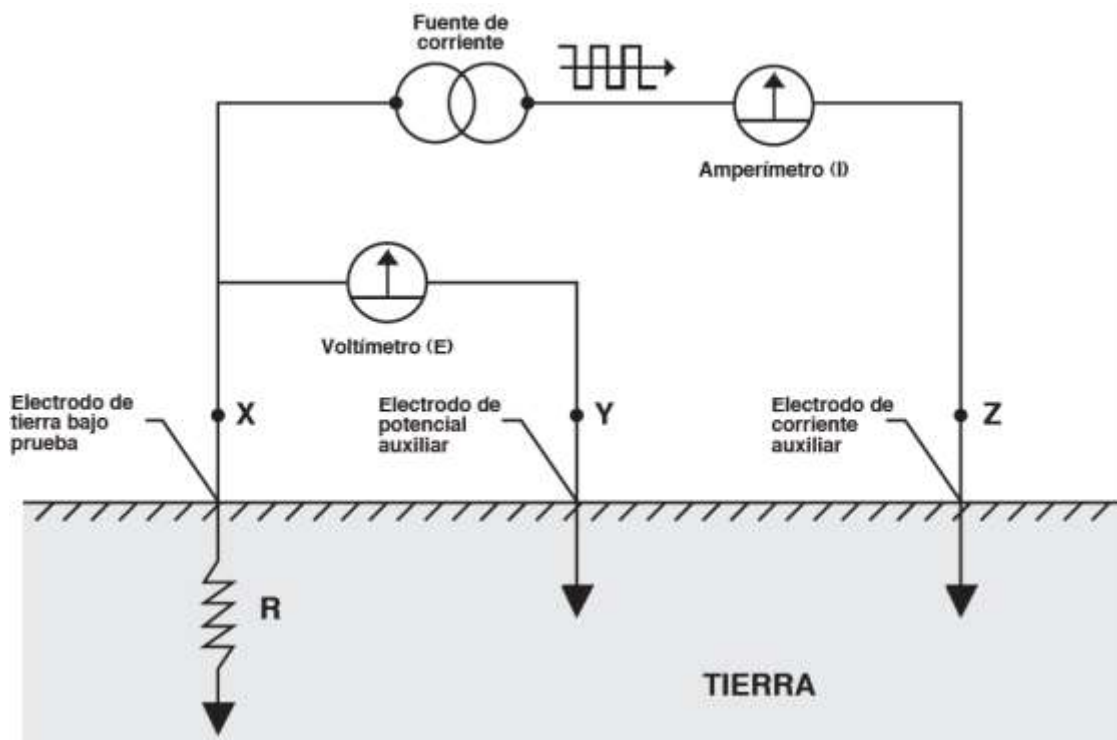


Figura 2.5 Principio de prueba de resistencia de tierra

### 2.1.5 Posición de los Electrodo auxiliares en medidas

El objetivo en medir de forma precisa la resistencia a tierra es colocar el electrodo de corriente auxiliar Z suficientemente lejos del electrodo de tierra bajo prueba de manera que el electrodo de potencial auxiliar Y esté fuera de las áreas de resistencia efectiva del electrodo de tierra y del electrodo de corriente auxiliar. La mejor manera de descubrir si la barra de potencial auxiliar Y está fuera de las áreas de resistencia efectiva es moverla entre X y Z y tomar una lectura en cada sitio. Figura 2.6

Si la barra de potencial auxiliar Y está en un área de resistencia efectiva (o en las dos se sobrepone, como en la Figura 2.6, al desplazarla las lecturas tomadas variarán notablemente de valor. Bajo estas condiciones, no se puede determinar un valor exacto para la resistencia de tierra.

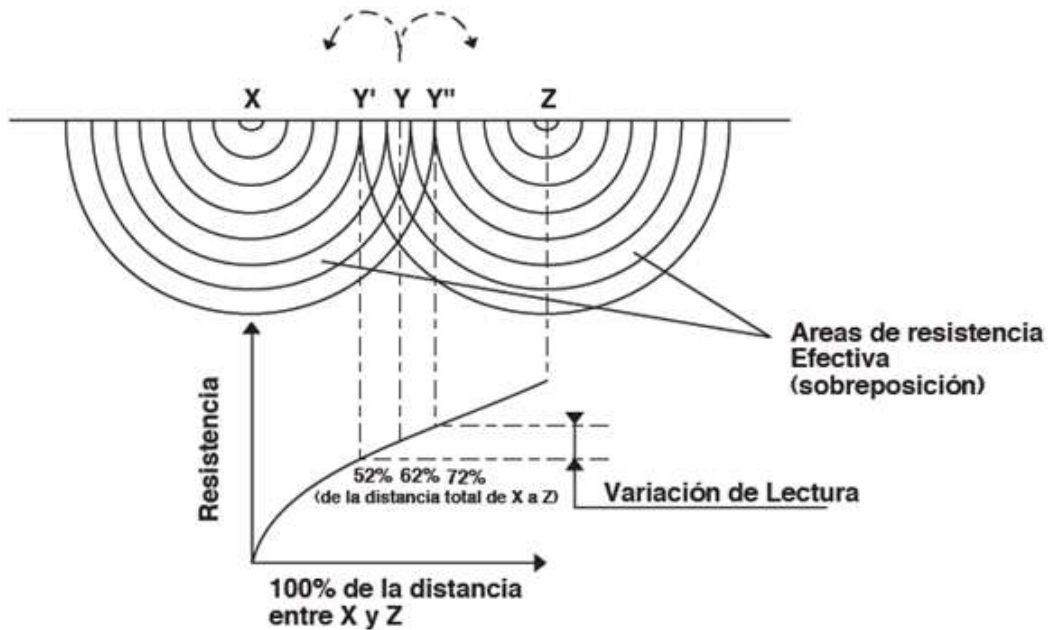


Figura 2.6 Posición de los Electrodo auxiliares en medidas

Por otra parte, si la barra de potencial auxiliar Y está situada fuera de las áreas de resistencia efectiva (Figura 2.7), cuando Y es movida arriba y abajo la variación de la lectura es mínima.

Las lecturas tomadas deberían estar relativamente cerca las unas de las otras, y son los mejores valores para la resistencia a tierra de la tierra X. Las lecturas deberían ser dibujadas para asegurar que caen en una región "plateau" como se muestra en la Figura 2.7. La región es a menudo llamada el "área 62%".

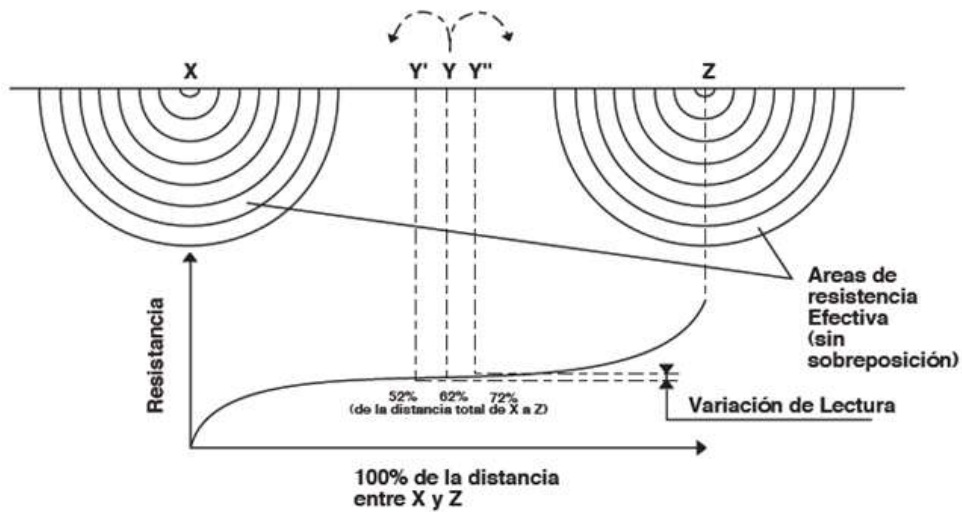


Figura 2.7 Lecturas

### 2.1.6 Midiendo la Resistencia de los Electrodo de Tierra (Método 62%)

El Método 62% ha sido adoptado después de consideración gráfica y después de haberlo probado. Es el método más preciso pero está limitado por el hecho que *la tierra probada es una sola unidad*. Este método es aplicable sólo cuando los tres electrodos están en línea recta y la tierra es un sólo electrodo, tubo, o placa, etc., como en la Figura 2.8

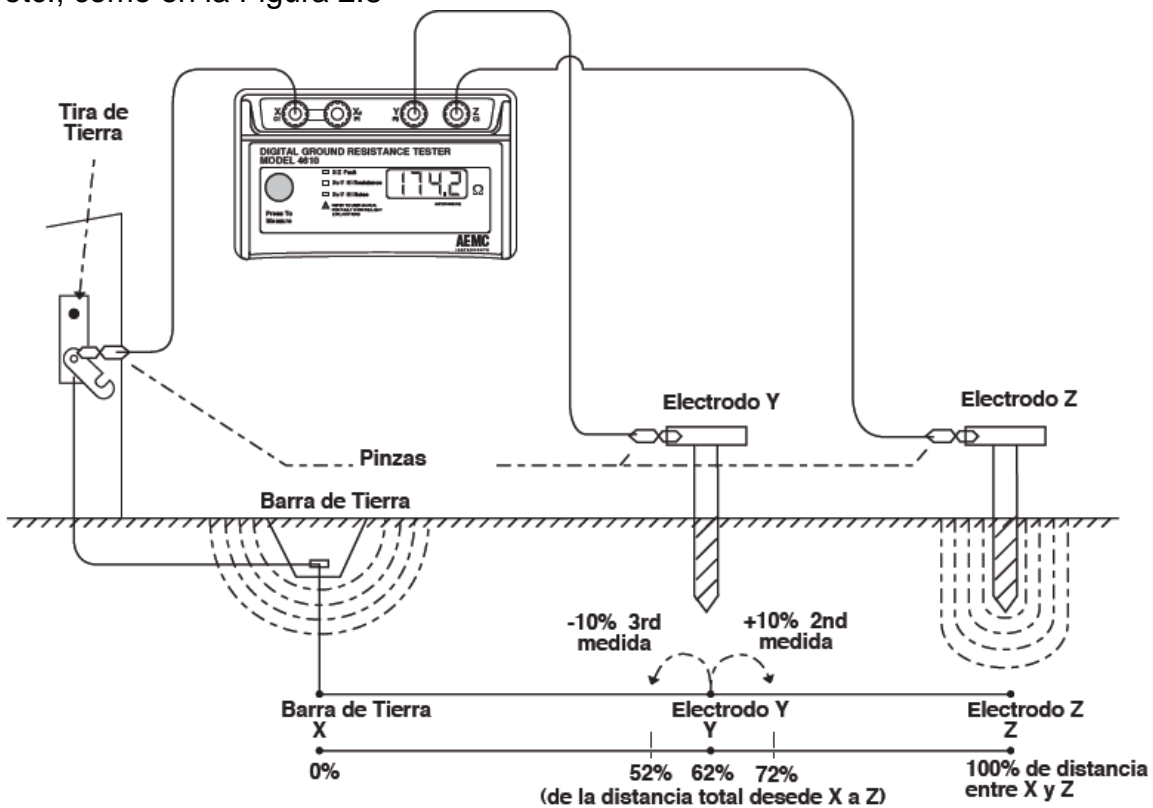


Figura 2.8 (Método 62%)

Considere la Figura 2.9 que muestra las áreas de resistencia efectiva (capas concéntricas del electrodo de tierra X y del electrodo de corriente auxiliar Z. Las áreas de resistencia se superponen. Si se tomaran lecturas moviendo el electrodo de potencia auxiliar Y hacia X o Z, las diferencias entre lecturas serían enormes y uno no podría obtener una lectura dentro de una banda de tolerancia razonable.

Las áreas sensitivas se superponen y actúan constantemente para incrementar la resistencia a medida que Y es alejada de X.

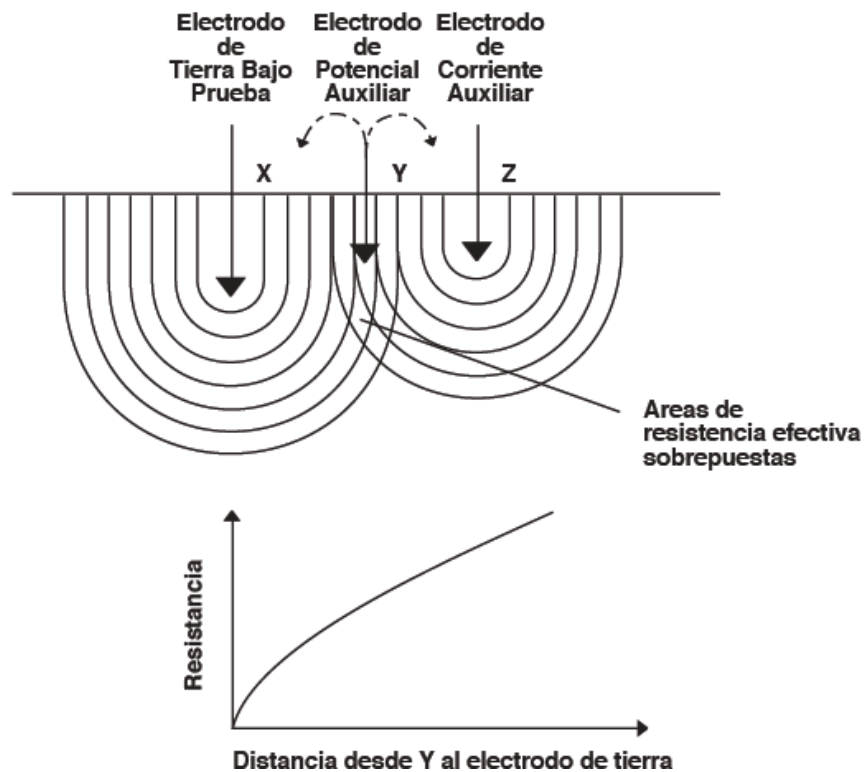


Figura 2.9 Áreas de resistencia efectiva (capas concéntricas del electrodo de tierra X y del electrodo de corriente auxiliar Z)

Ahora considere la Figura 2.10, donde los electrodos X y Z están suficientemente distanciados de manera que las áreas de resistencia efectiva no se superponen. Si dibujamos la resistencia medida descubrimos que las medidas se contrarrestan cuando Y es colocado a un 62% de la distancia desde X a Y, y que las lecturas en cualquier lado del sitio inicial de Y son muy probables de estar dentro de la banda

de tolerancia establecida. Esta banda de tolerancia es definida por el usuario y es expresada como un porcentaje de la lectura inicial:  $\pm 2\%$ ,  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ , etc.

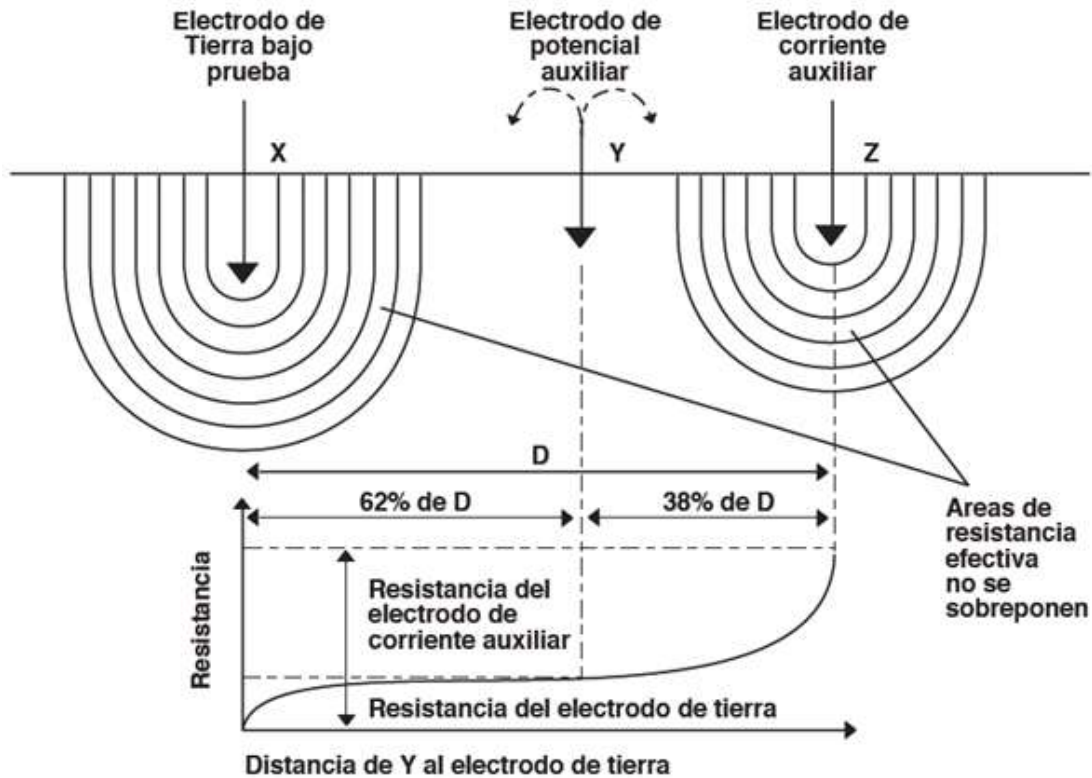


Figura 2.10 los electrodos X y Z están suficientemente distanciados de manera que las áreas de resistencia efectiva no se superponen.

#### *Distancia entre Electrodo Auxiliares*

No se puede dar una distancia específica entre X y Z, ya que esta distancia es relativa al diámetro del electrodo probado, su longitud, la homogeneidad de la tierra probada, y especialmente, las áreas de resistencia efectiva. Sin embargo, una distancia aproximada puede ser determinada desde la tabla siguiente que es dada para una tierra homogénea y para un electrodo de 1" de diámetro. (Para un diámetro de 1/2", reduzca la distancia un 10%; para un diámetro de 2" aumente la distancia un 10%; para un diámetro de 1/2", reduzca la distancia un 10%.)



**Tabla 2.7 Distancia aproximada a los electrodos auxiliares usando el método 62%**

Profundidad enterrado	Distancia a Y	Distancia a Z
6 ft	45 ft	72 ft
8 ft	50 ft	80 ft
10 ft	55 ft	88 ft
12 ft	60 ft	96 ft
18 ft	71 ft	115 ft
20 ft	74 ft	120 ft
30 ft	86 ft	140 ft

*Distancia entre Múltiples Barras*

Varios electrodos en paralelo proporcionan una resistencia menor al suelo que un sólo electrodo. Instalaciones de alta capacidad requieren una resistencia de toma de tierra baja. Varias barras son usadas para proporcionar esta resistencia.

Una segunda barra no proporciona una resistencia total de la mitad de la de una sola barra a menos que las dos estén varias barras de distancia aparte. Para conseguir la resistencia de toma de tierra coloque varias barras separadas por una barra de distancia en línea, en un círculo, triángulo hueco, o cuadrado. La resistencia equivalente puede ser calculada dividiendo por el número de barras y multiplicando por el factor X (mostrado abajo). Consideraciones adicionales sobre potenciales de paso y de toque deberían ser corregidos por la geometría.

**Tabla 2.8 Multiplicando factores para varias barras**

Número de Baras	X
2	1.16
3	1.29
4	1.36
8	1.68
12	1.80
16	1.92
20	2.00
24	2.16

Colocar barras adicionales dentro de la periferia de una forma no reducirá la resistencia de tierra por debajo de la de las barras periféricas solas.

### 2.1.7 Sistema de Electrodo múltiples

Un electrodo de tierra enterrado es un medio económico y simple de hacer un buen sistema de toma de tierra, pero algunas veces una sólo barra no proporciona una resistencia suficientemente baja, y varios electrodos de tierra serán enterrados y conectados en paralelo con un cable.

Muy a menudo, cuando dos, tres o cuatro electrodos de tierra son usados, son enterrados en línea recta; cuando cuatro o más son usados, una configuración de cuadrado hueco es usada y los electrodos de tierra son aún conectados en paralelo y están igualmente distanciados (Figura 2.11).

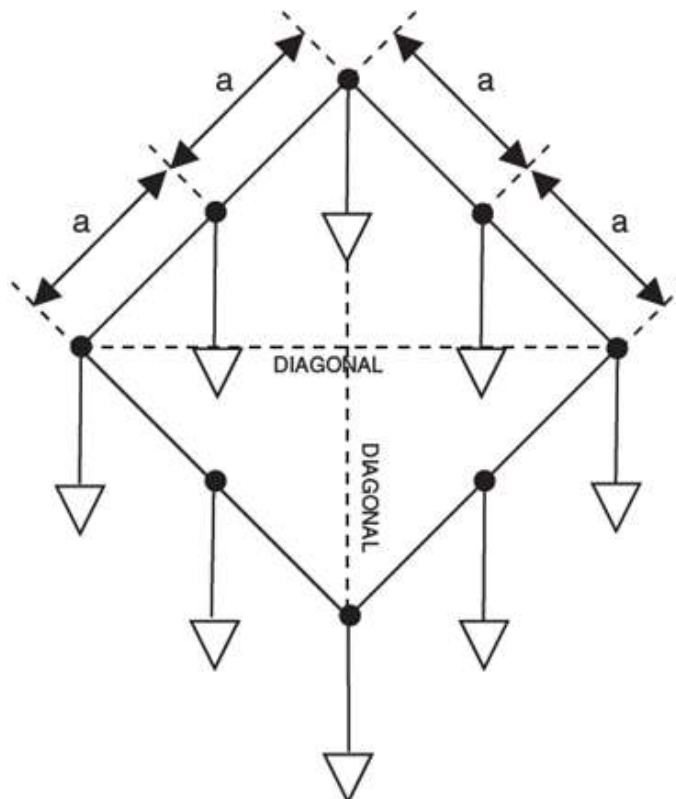


Figura 2.11 Sistema de Electrodo múltiples.

En sistemas de electrodos múltiples, el método 62% de distancia entre electrodos ya no puede ser aplicado directamente.

La distancia entre los electrodos auxiliares está ahora basada en la distancia de cuadrícula mínima (es decir, en un cuadrado, la diagonal; en una línea, la longitud total. Por ejemplo, un cuadrado con un lado de 20 pies tendrá una diagonal de aproximadamente 28 pies).

**Tabla 2.9 sistema de electrodos múltiples**

<b>Sistema de Electrodos Múltiples</b>		
<b>Distancia de Cuad. Máx</b>	<b>Distancia a Y</b>	<b>Distancia a Z</b>
6 pies	78 pies	125 pies
8 pies	87 pies	140 pies
10 pies	100 pies	160 pies
12 pies	105 pies	170 pies
14 pies	118 pies	190 pies
16 pies	124 pies	200 pies
18 pies	130 pies	210 pies
20 pies	136 pies	220 pies
30 pies	161 pies	260 pies
40 pies	186 pies	300 pies
50 pies	211 pies	340 pies
60 pies	230 pies	370 pies
80 pies	273 pies	440 pies
100 pies	310 pies	500 pies
120 pies	341 pies	550 pies
140 pies	372 pies	600 pies
160 pies	390 pies	630 pies
180 pies	434 pies	700 pies
200 pies	453 pies	730 pies

- **Ruido excesivo.** puede interferir con las pruebas debido a los largos cables usados para realizar una prueba de caída de potencial. Un voltímetro puede ser utilizado para identificar este problema. Conecte los cables “X”, “Y” y “Z” a los electrodos auxiliares como para una prueba de resistencia de tierra estándar. Use el voltímetro para probar el voltaje a través de las terminales “X” y “Z” (Figura 2.12).

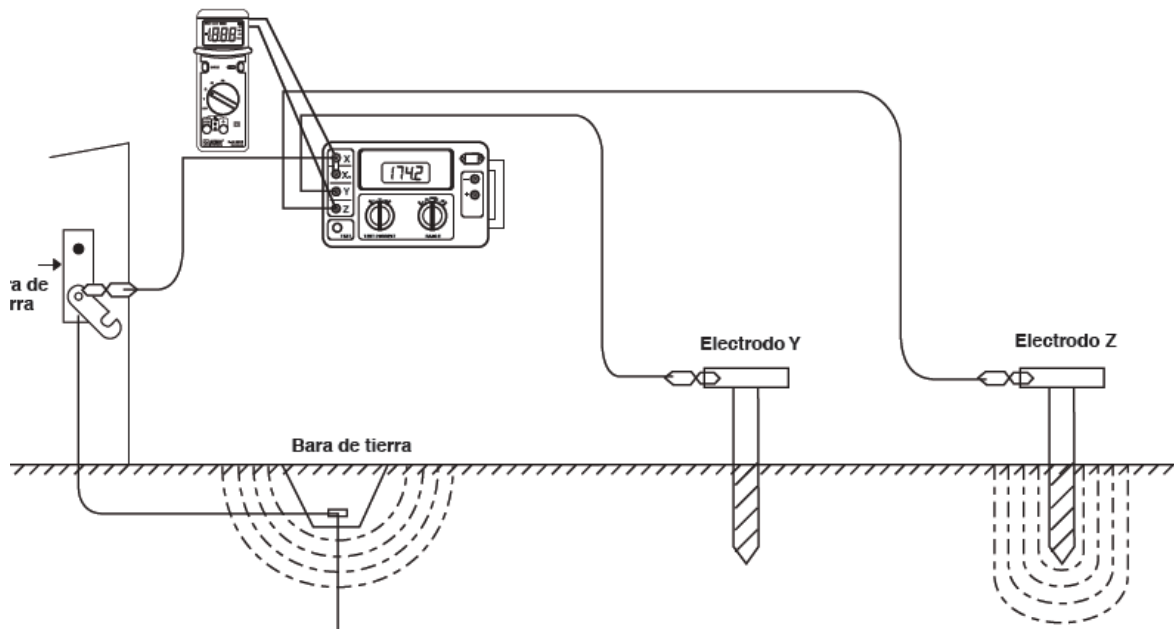


Figura 2.12 Ruido excesivo

La lectura del voltaje debería estar dentro de las tolerancias de voltaje superfluos aceptables para su probador de tierra. Si el voltaje excede este valor, pruebe las técnicas siguientes:

- A) Trence los cables auxiliares juntos. Esto a menudo tiene el efecto de cancelar los voltajes de modo común entre estos dos conductores, Figura 2.13.

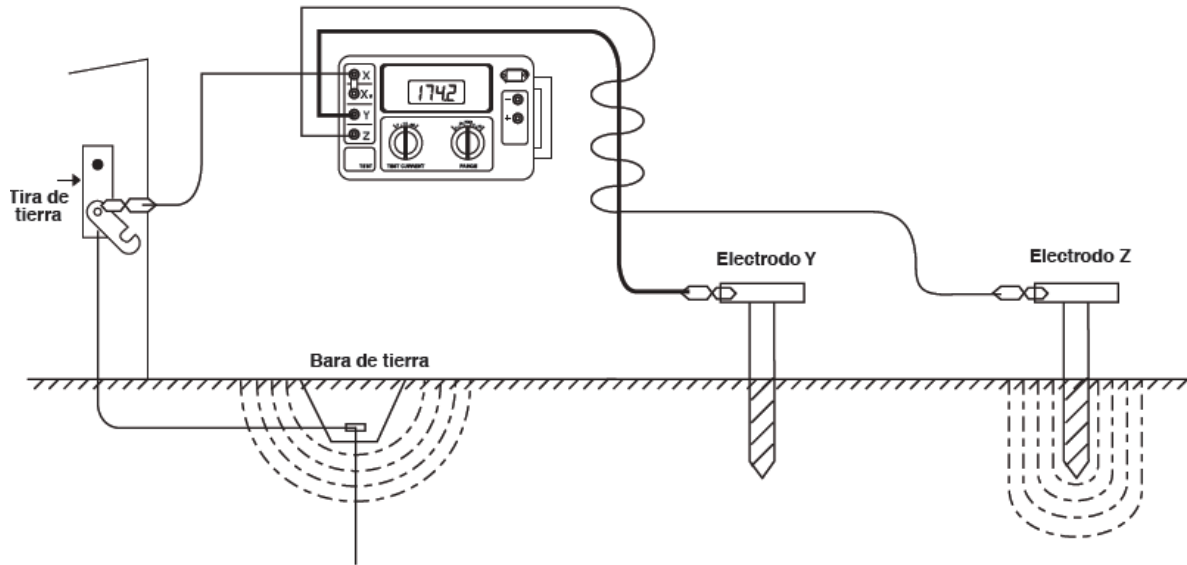


Figura 2.13 lectura del voltaje.

B) Si el método previo fracasa, intente cambiar la alineación de los cables auxiliares de manera que no estén en paralelo con las líneas de potencia por encima o por debajo tierra (Figura 2.14).

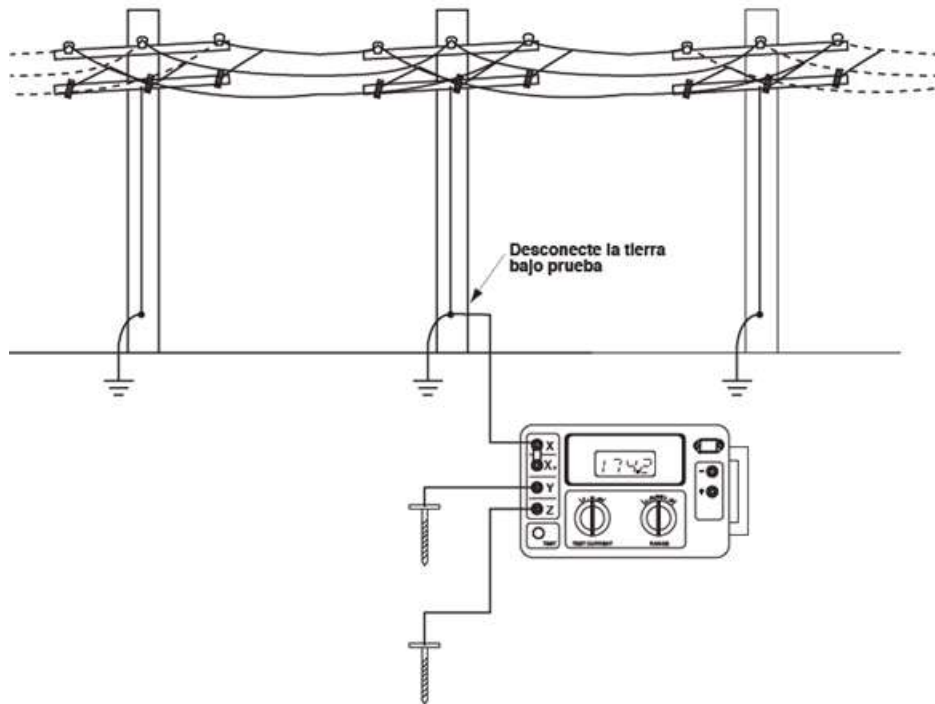


Figura 2.14 Cambio de alineación de cables

C) Si todavía no se ha obtenido un valor de voltaje bajo satisfactorio, puede ser que se necesite usar cables protegidos. El blindaje actúa para proteger el conductor interno capturando el voltaje y drenándolo a la tierra (Figura 2.15).

1. Separe los blindajes a los electrodos auxiliares.
2. Conecte los tres blindajes juntos en (pero no al) el instrumento.
3. Conecte con tierra de forma sólida el blindaje restante a la toma de tierra bajo prueba.

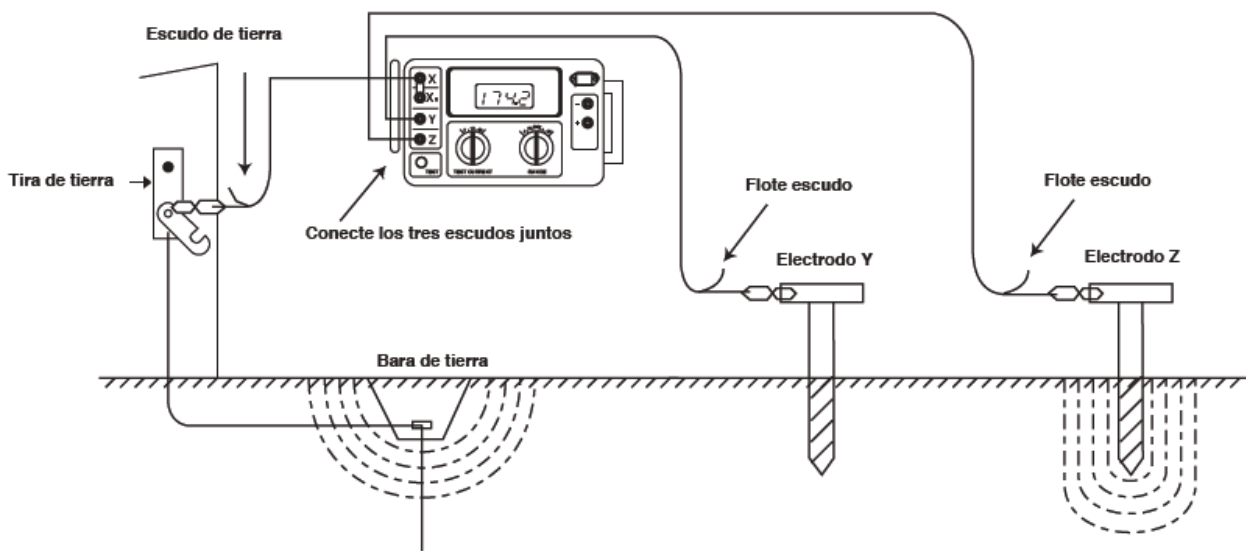


Figura 2.15 Uso de cables protegidos

- **Resistencia de barra auxiliar excesiva** La función inherente de un probador de tierra de caída de potencial es entrar una corriente constante dentro de la tierra y medir la caída de voltaje a través de electrodos auxiliares. Una resistencia excesiva de uno o de los dos electrodos auxiliares puede inhibir esta función. Esto es causado por una alta resistividad de la tierra o por un mal contacto entre el electrodo auxiliar y la tierra de alrededor Figura 2.16. Para asegurar un buen contacto con la tierra, comprima la tierra que está directamente alrededor del electrodo

auxiliar para eliminar bolsas de aire formadas al insertar la barra. Si la resistividad de la tierra es el problema, vierta agua alrededor de los electrodos auxiliares. Esto reduce la resistencia de contacto del electrodo auxiliar sin afectar las medidas.

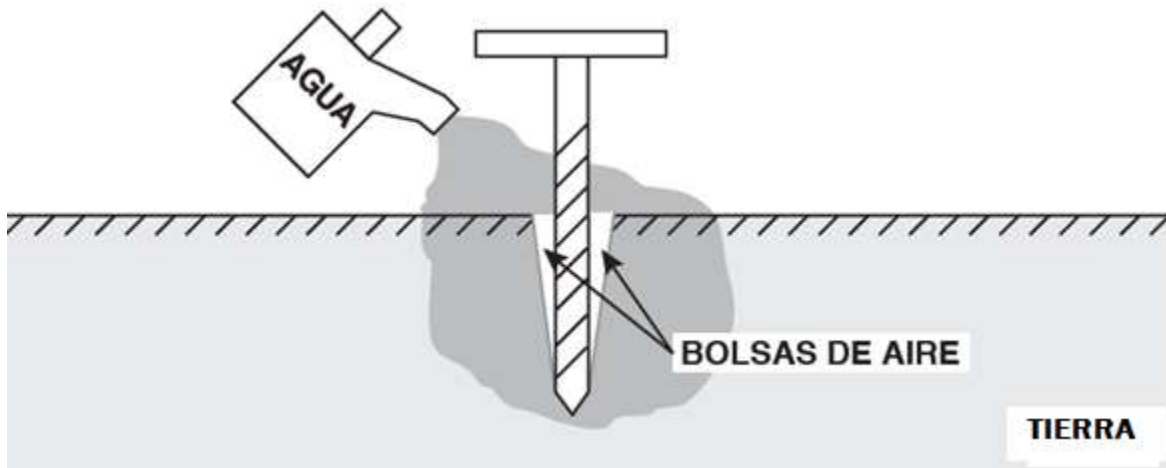


Figura 2.16 Resistencia de barra auxiliar excesiva

- **Capa de Alquitrán o de cemento.** A veces una prueba debe ser realizada sobre una barra de toma de tierra que está rodeada por una capa de alquitrán o de cemento, donde electrodos auxiliares no pueden ser enterrados fácilmente. En estos casos, rejillas metálicas y agua pueden ser usadas para reemplazar los electrodos auxiliares, como es mostrado en la Figura 2.16.

Colocar las rejillas sobre el suelo a la misma distancia de la barra de tierra bajo prueba como pondría los electrodos auxiliares en una prueba de caída de potencial estándar.

Verter agua sobre las rejillas y permita que se empapen. Estas rejillas ahora realizarán la misma función que realizarían los electrodos auxiliares enterrados.

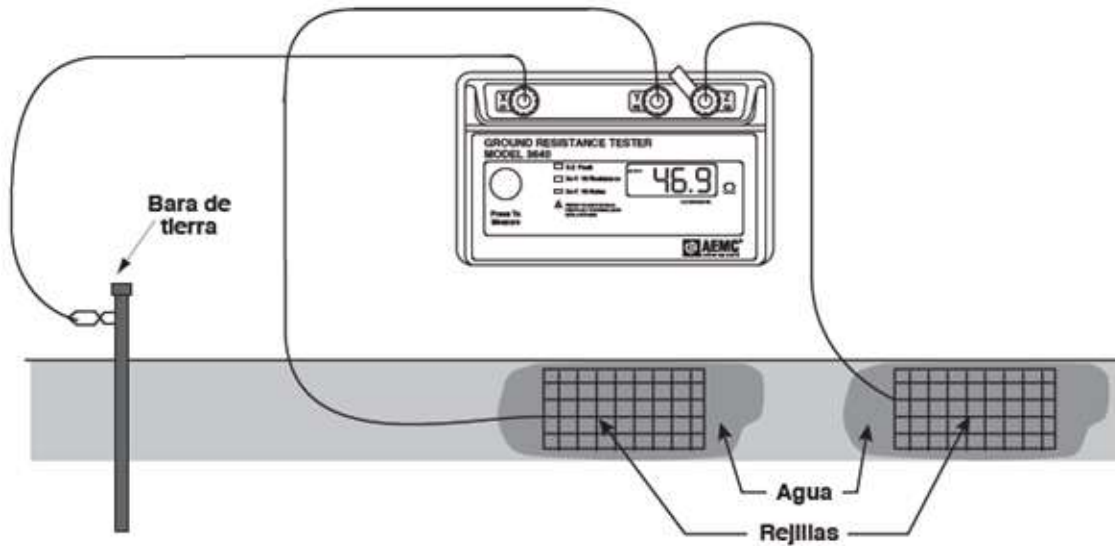


Figura 2.16 Capa de Alquitrán o de cemento

**2.2 Medida de Resistencia de Tierra de Pinza** Este método de medida es innovador y único. Ofrece la habilidad de medir la resistencia sin desconectar la toma de tierra. Este tipo de medida también ofrece la ventaja de incluir las resistencias de enlace con la tierra y de conexión de toma de tierra total.

- **Principio de Funcionamiento**, Normalmente, un sistema de toma de tierra de línea de distribución común puede ser simulado como un circuito básico simple como se muestra en la Figura 2.18 o un circuito equivalente, mostrado en la Figura 2.21 (Pág. 50). Si un voltaje **E** es aplicado a cualquier punto de toma de tierra medido **R<sub>x</sub>** a través de un transformador especial, la corriente **I** circula a través del circuito, estableciendo así la siguiente ecuación

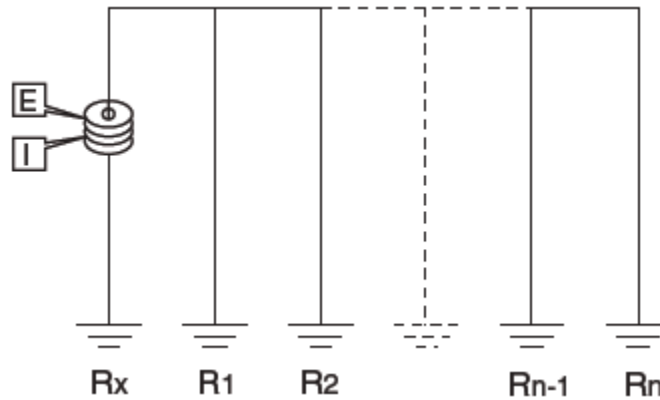
$$E/I = R_x + \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}} \quad \text{Ec. 2.1}$$



Donde, normalmente

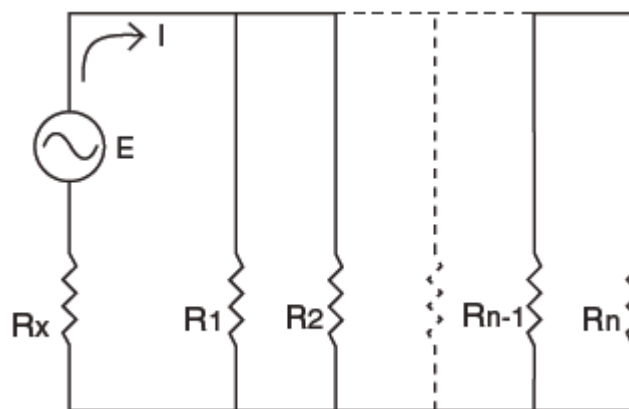
$$R_x \gg \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}}$$

**Ec. 2.2**



**Figura 2.17**

Así pues, se establece que  $E/I = R_x$ . Si  $I$  es detectada con  $E$  constante, la resistencia del punto de toma de tierra medida puede ser obtenida. Refiérase otra vez a las Figuras 2.17 y 2.18.



**Figura 2.18**

La corriente es alimentada al transformador especial a través de un amplificador de potencia desde un oscilador de voltaje constante de 2.4kHz. Esta corriente es detectada por un CT de detección. Sólo la señal de frecuencia 2.4 kHz es amplificada por un amplificador de filtro. Esto ocurre antes de la conversión A/D y después de rectificación síncrona. Es entonces mostrada en el LCD.

El amplificador de filtro es usado para cortar tanto la corriente de tierra a frecuencia comercial como el ruido de alta frecuencia. El voltaje es detectado por cables bobinados alrededor el CT de inyección que es entonces ampliado, rectificado y comparado por un comparador de nivel. Si la pinza no está cerrada adecuadamente, un anunciador de “pinza abierta” aparece en el LCD.

## **2.2.1 Medidas en el Campo Típicas**

### *Transformador Montado en un Poste*

Quite cualquier montura que cubra el conductor de tierra, y proporcione espacio suficiente para las pinzas que deben de ser capaces de cerrar con facilidad alrededor del conductor.

Las pinzas pueden ser colocadas alrededor de la barra de tierra en sí. La pinza debe ser colocada de forma que las pinzas estén en un camino eléctrico desde el neutral del sistema o cable de tierra a la(s) barra(s) de toma de tierra dependiendo del circuito.

Seleccione la escala de corriente “A”. Pince el conductor de tierra y mida la corriente de tierra. La escala de corriente máxima es 30A. Si la corriente de tierra excede 5A, las medidas de resistencia de tierra no son posibles. No siga adelante con las medidas. En su lugar, quite el probador del circuito, anotando el lugar para mantenimiento, y continúe al próximo sitio de prueba.

Después de anotar la corriente de tierra, seleccione la escala de resistencia de tierra “ $\Omega$ ” y mida la resistencia directamente. La lectura que usted mida con el

indica la resistencia no sólo de la barra, pero también de la conexión al neutral del sistema y todas las conexiones de enlace entre el neutral y la barra.

Nota que en la Figura 2.19 hay una placa inferior y una barra de tierra. En este tipo de circuitos, el instrumento debe ser colocado por encima del enlace de manera que las dos tomas de tierra son incluidas en la prueba. Para futuras referencias anote la fecha, la lectura en ohmios, la lectura de corriente y el número de punto.

Reemplazar cualquier montura que haya sacado del conductor.

Una lectura alta indica uno o más de lo siguiente:

- A) una barra de tierra pobre
- B) un conductor con toma de tierra abierta
- C) enlaces de alta resistencia en la barra o empalmes en el conductor; busque enterrados tapas inferiores divididas, pinzas y conexiones martilladas.

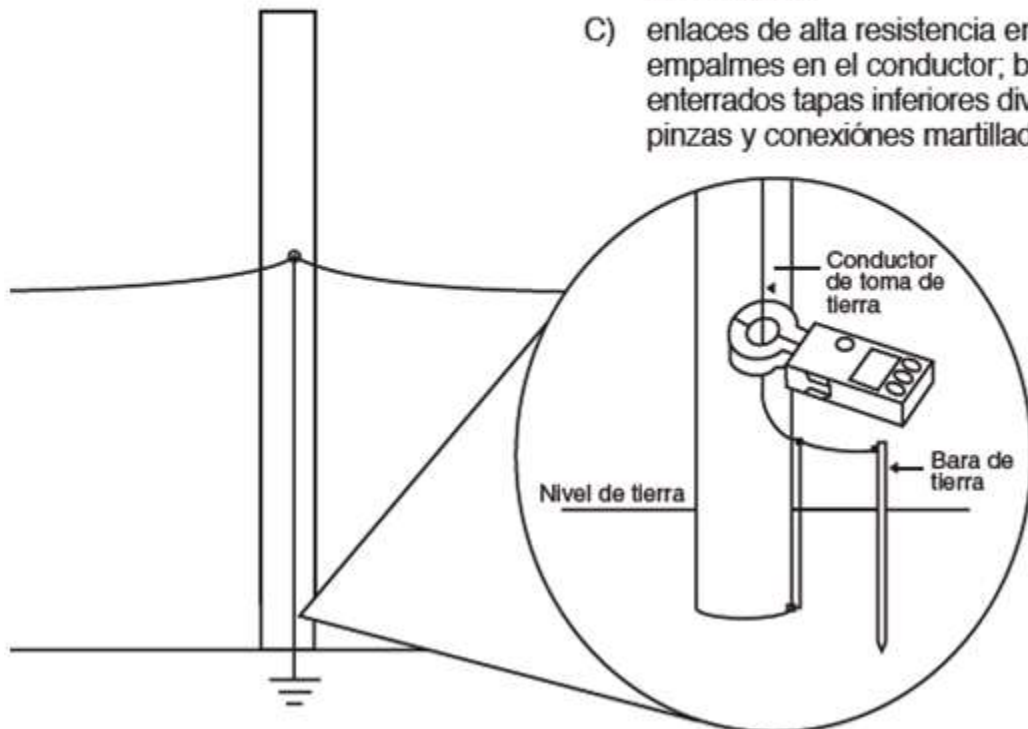


Figura 2.19 Lectura alta.

### 2.2.2 Entrada o Medidor de Servicio

Siga básicamente el mismo procedimiento del primer ejemplo. Nota que la Figura 2.20 muestra la posibilidad de varias barras de tierra, y en la Figura 2.21 las barras de tierra han sido reemplazadas con una tubería de agua como toma de tierra. Usted puede también tener los dos tipos actuando como toma de tierra. En estos casos, es necesario hacer las medidas entre el neutral de servicio y los dos puntos de toma de tierra.

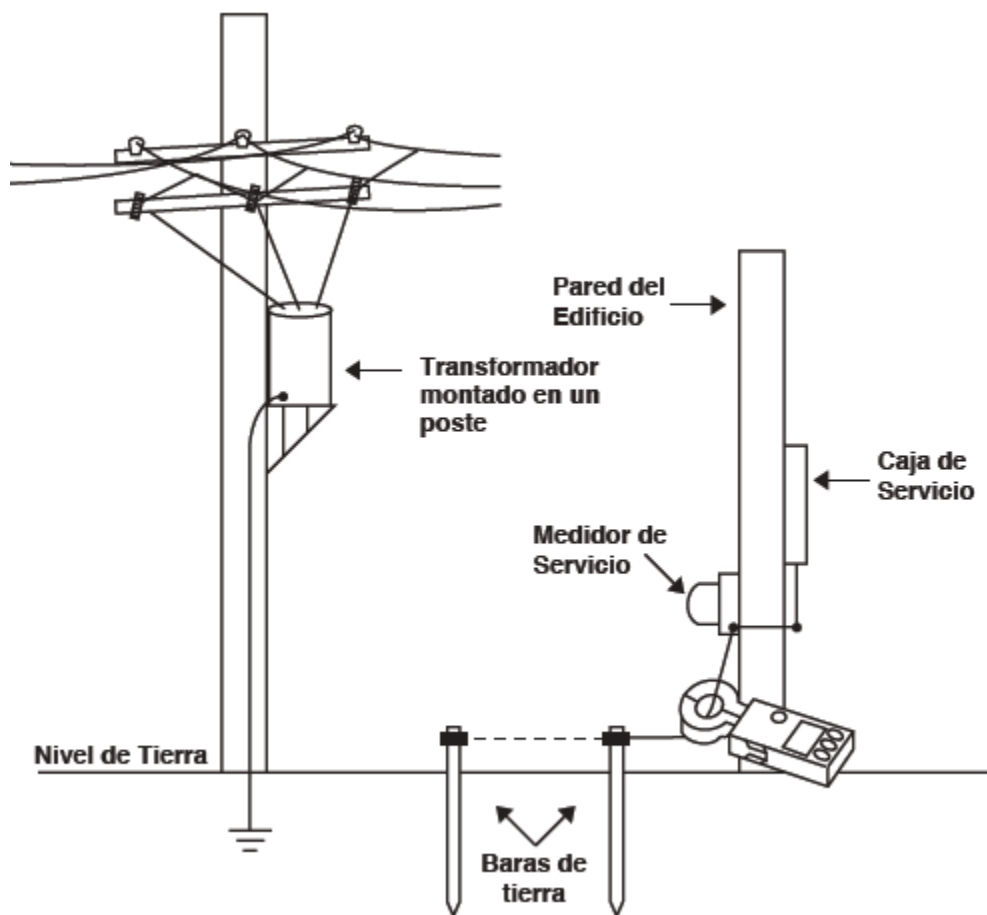
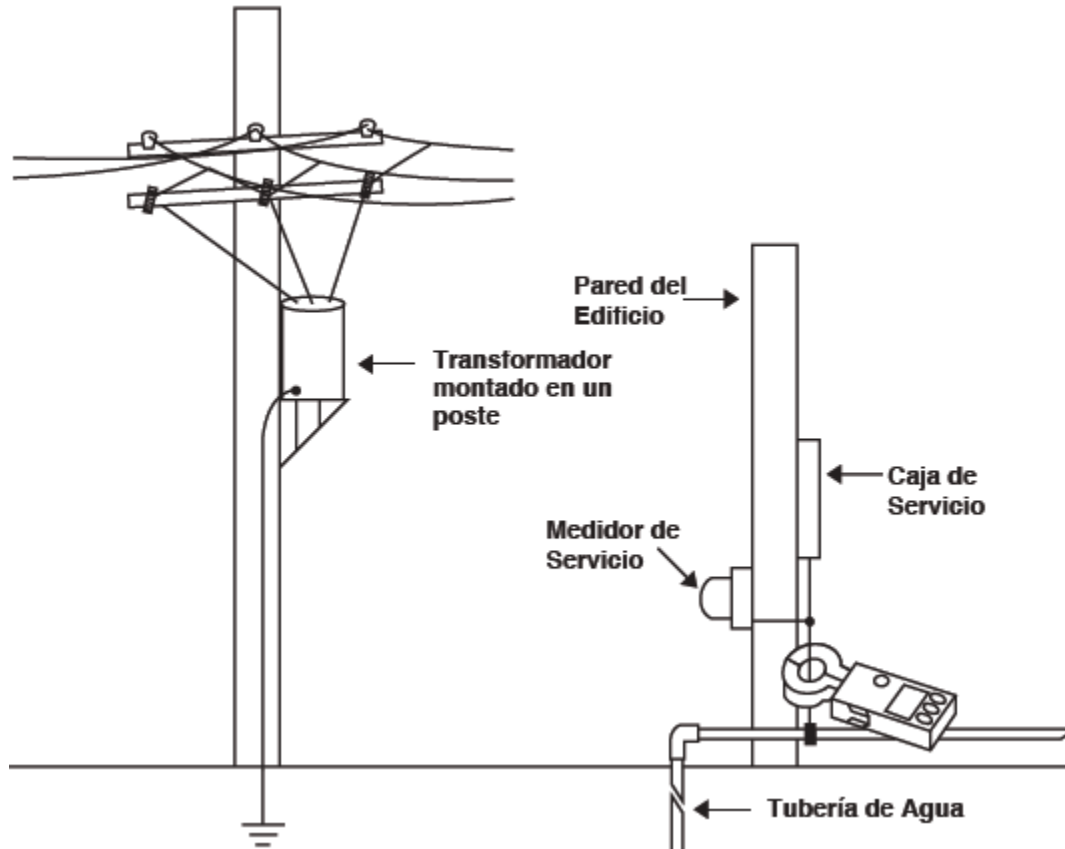


Figura 2.20 Varias barras de tierra.



Figuras 2.21 Barras de tierra han sido reemplazadas con una tubería de agua como toma de tierra.

### 2.2.3 Transformador Montado en Plataforma

Nunca abra el recinto del transformador. Son propiedad de la compañía eléctrica.

Esta prueba es sólo para expertos en alto voltaje.

Siga todos los requerimientos de seguridad, ya que está presente un voltaje peligrosamente alto. Localice y numere todas las barras (normalmente sólo una barra está presente). Si las barras de tierra están dentro del recinto, refiérase a la Figura 2.22 y si están fuera del recinto, refiérase a la Figura 2.22. Si una sola barra es hallada dentro del recinto, la medida debería ser tomada en el conductor justo

antes de la unión con la barra de tierra. A menudo, más de un conductor de tierra está atado a esta pinza, haciendo un bucle hacia el recinto o el neutral.

En muchos casos, la mejor lectura puede ser obtenida al pinzar el equipo de medición sobre la barra de tierra en sí, por debajo del punto donde los conductores de tierra están unidos a la barra, de manera que usted estará midiendo el circuito de tierra. Se debe tener cuidado al buscar un conductor un sólo un camino de retorno al neutral.

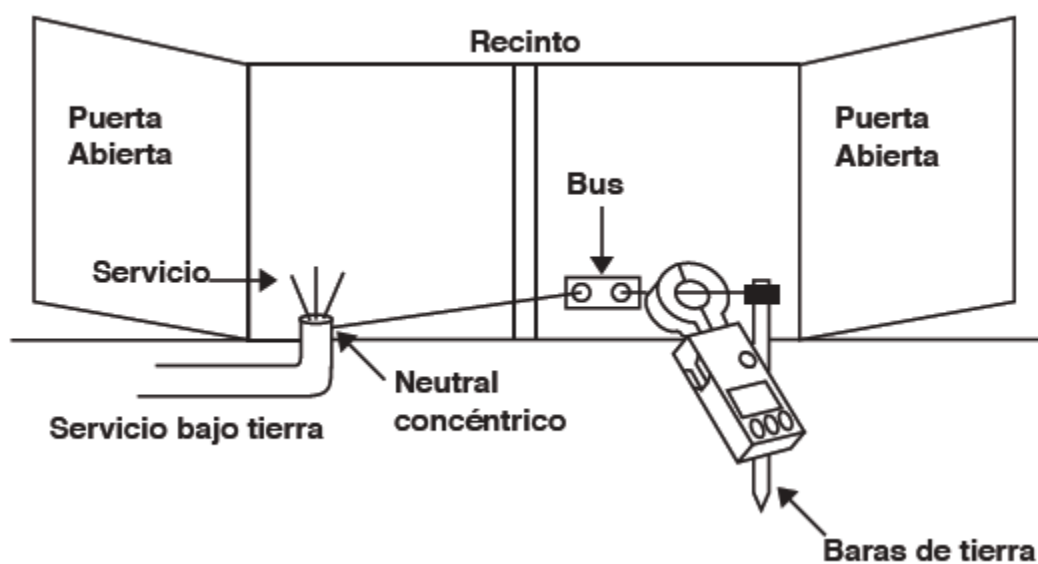


Figura 2.22 Transformador montado en plataforma.

## **CAPÍTULO 3**

### **TIERRA FÍSICA Y CONDUCTORES DE PROTECCIÓN**

Los materiales y dimensiones de los electrodos de tierra que integran una toma de tierra, son aquellos que soportan la corrosión y tienen una adecuada resistencia mecánica.

Los materiales y tipos de electrodos de tierra de uso común, son:

Tipos de electrodos de tierra:

- Cintas (pletinas) o conductor desnudo multifilar,
- caños o barras (picas o jabalinas),
- placas.

Materiales:

- Cobre,
- Acero galvanizado en caliente,
- Acero inoxidable,
- Acero con recubrimiento de cobre

Como se desprende de la definición de toma de tierra, estos electrodos de tierra pueden ser utilizados como electrodos individuales o utilizarse distintos electrodos eléctricamente conectados entre sí para la ejecución de una toma de tierra.

Se recomienda la utilización de electrodos del mismo material, para evitar problemas de corrosión por par galvánico.

Las dimensiones mínimas de los electrodos están establecidas en el Reglamento de UTE<sup>1</sup> (Reglamento de baja tensión) , y se indican algunas a continuación:

---

<sup>1</sup> [http://www.ute.com.uy/servicios\\_cliente/firmas\\_instaladoras/reglamento.htm](http://www.ute.com.uy/servicios_cliente/firmas_instaladoras/reglamento.htm)

**Tabla 3.1 dimensiones mínimas de los electrodos**

<b>Electrodo</b>	<b>Diámetro/Sección</b>	<b>Largo</b>	<b>Superficie</b>	<b>Espesor</b>
Placa de cobre			0.5 m <sup>2</sup>	2 mm
Barra de cobre	14 mm	2 m		
Conductor desnudo multifilar	35 mm <sup>2</sup>			
Cinta o pletina de cobre	35 mm <sup>2</sup>			2 mm
Cable de acero galvanizado	95 mm <sup>2</sup> - cada alambre 2.5 mm <sup>2</sup>			

Las canalizaciones metálicas de otros servicios (agua, gas, calefacción central), etc. no deben ser utilizadas como electrodos de tierra, pero si debe realizarse su conexión equipotencial a la barra principal de tierra.

### **3.1 Conductores de tierra**

El Reglamento de Baja Tensión de UTE le llama Conductor de enlace con tierra y establece como sección mínima para el mismo 35 mm<sup>2</sup> en cobre, a menos que la línea repartidora sea de menor sección, en cuyo caso será de la misma sección que los conductores de fase.

En toda instalación debe preverse un borne o barra principal de tierra, para la conexión de los siguientes conductores:

- Conductores de tierra.
- Conductores de protección que no estén conectados a este terminal a través de otros conductores de protección.
- Conductores de conexión equipotencial principal.

La conexión al borne principal de tierra, debe realizarse de forma de poder desconectarse individualmente cada conductor conectado al mismo. Esta conexión además se realiza de forma que su remoción solo debe ser posible por medio de una herramienta.



En algún caso puede ser necesario instalar más de un borne o barra principal de tierra para realizar las conexiones indicadas. En este caso los conductores de tierra se conectan todos a la misma toma de tierra.

### **3.1.2 Conductores de protección (PE)**

- Todo circuito debe incluir el conductor de protección, ya que el mismo provee la conexión a tierra de todas las masas de la instalación.
- Los mismos conducen las corrientes de falla de aislación, entre un conductor de fase y una masa, a través del neutro de la fuente.
- El conductor PE es conectado a otro conductor PE o al borne principal de tierra de la instalación, y este a los electrodos de tierra a través del conductor de tierra.
- Los conductores de protección deben ser aislados e identificados con los colores verde/amarillo y deben estar protegidos contra daños mecánicos y químicos.

Como conductores de protección pueden utilizarse:

- Conductores aislados formando parte de cables multipolares;
- Conductores aislados agrupados con otros cables;
- Conductores aislados separados.

No se permite usar como conductores de protección, elementos conductores extraños, como por ejemplo:

- Cañerías de agua;
- Cañerías que contengan gases o líquidos inflamables;
- Soportes de canalizaciones.
- El conductor PE no debe incluir ningún medio de desconexión, asegurando la continuidad del circuito de protección.
- Las partes conductoras que se conectan al conductor PE, no deben quedar conectadas en serie con dicho conductor.

En resumen cuando hablamos de conexión a tierra nos referimos a una ligazón metálica directa, sin dispositivo de protección, de sección suficiente, entre determinados elementos de la instalación (masas), y uno o un grupo de electrodos enterrados en el suelo.

### 3.1.3 Secciones mínimas del conductor PE

La sección de los conductores de protección se selecciona en función de la sección del conductor de fase de acuerdo a la Tabla indicada en a) o se calcula según la expresión indicada en b).

En ambos casos, deben tenerse en cuenta las secciones mínimas establecidas en el RBT:

Para conductores de protección con protección mecánica: 2 mm<sup>2</sup>

Para conductores sin protección mecánica: 4 mm<sup>2</sup>

- a) Relación entre las secciones de los conductores de protección y los conductores de fase

**Tabla 2.2 Relación entre las secciones de conductores**

Sección de los conductores de fase de la instalación $S$ (mm <sup>2</sup> )	Sección mínima de los conductores de protección $S_{PE}$ (mm <sup>2</sup> )
	Si el conductor de protección es del mismo material que el conductor de fase
$S \leq 16$	$S$
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$\frac{S}{2}$

Si la aplicación de la Tabla conduce a valores no normalizados, se utilizan los conductores que tengan la sección normalizada mayor más próxima.

- b) La sección de los conductores de protección no debe ser menor que el valor determinado por la siguiente expresión:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

**Ec. 3.1**

Donde,

**S** es la sección del conductor en mm<sup>2</sup>,

**I** es el valor eficaz en Amperios de la corriente de defecto a tierra, que puede circular por el conductor de protección,

**t** es el tiempo de funcionamiento del dispositivo de corte, en segundos,

**k** es un factor que depende del tipo de material del conductor de protección, del tipo de aislamiento y de las temperaturas inicial y final.

Esta expresión es aplicable para tiempos de desconexión que no excedan los 5s.

En las Tablas siguientes se dan los valores de k para las situaciones de instalación y materiales usuales.

**Tabla 2.3 Valores de k para los conductores de protección aislados que no forman parte de cables multipolares o no agrupados con otros cables**

Aislamiento del conductor	Temperatura (°C)		Material del conductor
	Inicial	Final	Cobre
PVC 70 °C (S ≤ 300 mm <sup>2</sup> )	30	160	Valores de k 143
PVC 70 °C (S > 300 mm <sup>2</sup> )	30	140	133
EPR o XLPE 90 °C	30	250	176

**Tabla 2.4 Valores de  $k$  para los conductores de protección que forman parte de un cable multipolar o agrupados con otros cables o conductores aislados.**

Aislamiento del conductor	Temperatura (°C)		Material del conductor
	Inicial	Final	Cobre
			Valores de $k$
PVC 70 °C ( $S \leq 300 \text{ mm}^2$ )	70	160	115
PVC 70 °C ( $S > 300 \text{ mm}^2$ )	70	140	103
EPR o XLPE 90 °C	90	250	143

Si la aplicación de la fórmula conduce a valores no normalizados, se utilizan los conductores que tengan la sección normalizada mayor más próxima.

### 3.1.4 Objetivos de una puesta a tierra

Los objetivos generales de una puesta a tierra son:

- Permitir la descarga a tierra de una corriente de falla a tierra
- Mantener los potenciales producidos por las corrientes de falla dentro de los límites de seguridad y/o asegurar la actuación de los sistemas de protección en el tiempo adecuado, de vista de la seguridad de las personas y del equipamiento.
- Mantener un potencial de referencia en algún punto del sistema eléctrico o electrónico.

En términos generales, podemos decir que la o las puestas a tierra de una instalación eléctrica deberán diseñarse y ejecutarse para satisfacer las prescripciones de seguridad, y los requerimientos funcionales de las instalaciones. En vista de lo anterior se definen dos tipos de puestas a tierra, las puestas a tierra funcionales y las puestas a tierra de protección.

### 3.2 Puesta a tierra de Protección y Puesta a tierra funcional

- **Puesta a tierra de protección** Es la puesta a tierra cuyo objetivo es proteger a las personas y animales contra los riesgos derivados de contactos con partes conductoras que, estando no sometidas normalmente a tensión, puedan estar sometidas a tensiones peligrosas como consecuencia de un defecto de aislamiento de la instalación (MASAS). Para lograr este objetivo de protección debe realizarse una puesta a tierra adecuada, y conectar a la misma todas las masas de la instalación.
- **Puesta a tierra funcional** Es la puesta a tierra cuyo objetivo es asegurar el correcto funcionamiento del equipamiento eléctrico y permitir un correcto y confiable funcionamiento de la instalación. Dependiendo de las características de la instalación, la puesta a tierra de protección y la funcional pueden ser independientes o en una misma puesta a tierra combinarse ambas funciones. En este último caso, en el diseño de la puesta a tierra debe darse prioridad a las prescripciones establecidas para la puesta a tierra de protección.

#### **Ejemplo:**

Consideramos una instalación alimentada en 400V de la red de distribución de baja tensión, en la que se produce una falla de aislamiento en un motor trifásico entre una fase y masa.

Distinguimos dos casos:

#### **Caso A: NO ESTA REALIZADA LA CONEXIÓN A TIERRA DE LA MASA DEL MOTOR**

En este caso la tensión de choque que queda establecida en la masa del motor será:

$$V_{ch} = V_N = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230V$$

Siendo  $V_{ch}$ : Tensión de choque Por lo que queda establecida una tensión de choque peligrosa para las personas.

**Caso B: ESTA REALIZADA LA CONEXIÓN DE LA MASA DEL MOTOR A LA PUESTA ATierra DE PROTECCIÓN**

En este caso la tensión de choque que aparece en la masa del motor será:

$$V_{ch} = R_T \times I_f = R_T \times \frac{V_N}{R_{TN} + R_T}$$

$$I_{ch} = \frac{V_{ch}}{R_h}$$

Siendo

$R_T$  Resistencia a de la puesta a tierra de protección

$R_{TN}$  Resistencia de la puesta a tierra del neutro

$R_h$  Resistencia del cuerpo humano

$I_{ch}$  Corriente de choque

Considerando  $R_{TN} = 5\Omega$ :

**Tabla 2.5**

$R_T (\Omega)$	$V_{ch} (V)$	$I_{ch} (mA)$
50	200	133
5	110	73
<b>1,47</b>	<b>50</b>	

De donde vemos que para que la tensión de choque llegue a un valor no peligroso, para ambientes secos (50V), se requeriría un valor de resistencia de la puesta a tierra de protección, de 1.47 $\Omega$ .

### 3.3 Tensión de toque y Tensión de paso

La tensión de toque y la tensión de paso son dos parámetros que se definen para el diseño de las puestas a tierra y están relacionados con la seguridad de las personas.

**Tensión de toque:** es la diferencia de potencial entre un punto del elemento conductor, situado al alcance de la mano de una persona y un punto en el suelo situado a 1m de la base de dicho elemento.

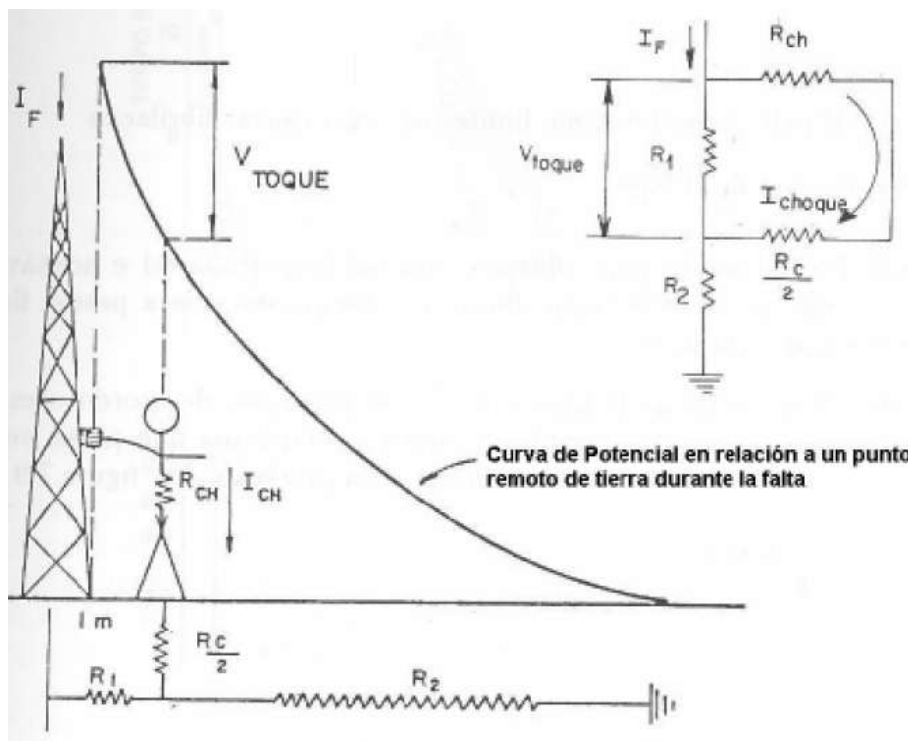


Figura 3.1 Tensión de choque.

Considerando el circuito equivalente de la Figura 3.1, se puede calcular:

$$V_{toque} = \left( R_{ch} + \frac{R_c}{2} \right) \times I_{choque} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Dónde:

$R_{ch}$  es la resistencia del cuerpo humano  $\cong 1000 \Omega$ ,

$R_c$  es la resistencia de contacto  $\cong 3r_s$

$r_s$  es la resistividad superficial del suelo

Luego considerando como corriente de choque máxima que no causa fibrilación ventricular, la definida por la ecuación de Dalziel:

$$I_{choque} = \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad \text{Ec. 3.3}$$

Donde  $t$  es el tiempo de permanencia del defecto en segundos, e  $I_{choque}$  se expresa en A.

La tensión de toque máxima generada por el defecto no debe producir una corriente de choque mayor a la limitada por dicha ecuación, y por tanto la tensión de toque máxima permitida será

$$V_{toque} = (1000 + 1,5 \times \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad \text{Ec. 3.4}$$

Luego la tensión máxima de un sistema de puesta a tierra puede calcularse como:

$$V_{\text{máximo del sistema de puesta a tierra}} = (R1 + R2) \times IF = RT \times IF \quad \text{Ec.3.5}$$

Y por lo tanto es razonable imponer que:

$$V_{\text{máximo del sistema de puesta a tierra}} < V_{\text{toque máxima}} \quad \text{Ec. 3.6}$$



**Tensión de paso:** es la diferencia de potencial existente entre los pies de una persona, separados 1m, cuando se encuentran sobre líneas de potencial diferentes.

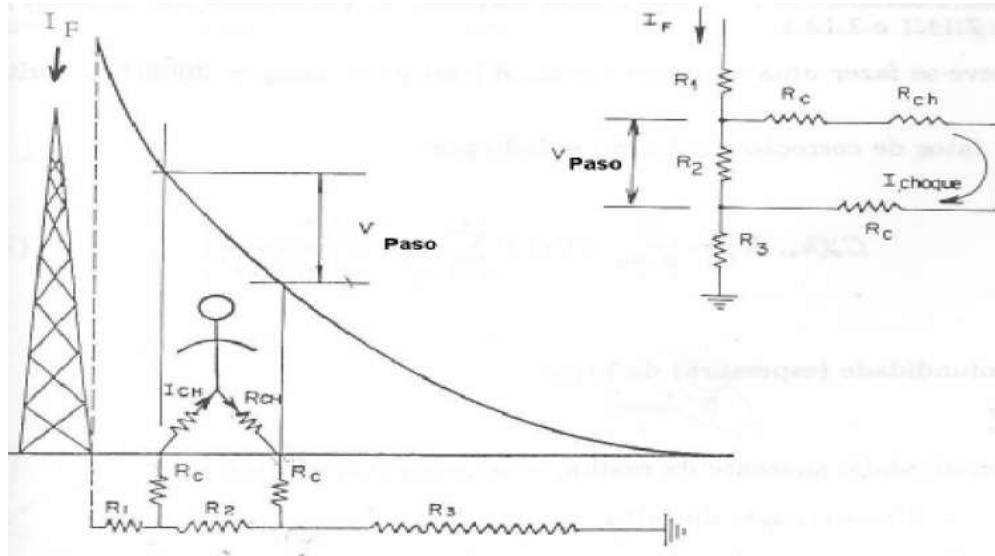


Figura 3.2 Tensión de paso

Considerando el circuito equivalente de la Figura 3.2, se puede calcular:

$$V_{paso} = (R_{ch} + 2 \times R_c) \times I_{choque} \quad \text{Ec. 3.7}$$

Luego la tensión de paso máxima generada por el defecto no debe producir una corriente de choque mayor a la limitada por la ecuación de Dalziel, y por tanto la tensión de toque máxima permitida será:

$$V_{toque} = (1000 + 6 \times \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad \text{Ec. 3.8}$$

Luego el voltaje máximo de un sistema de puesta a tierra puede calcularse como:

De la Ec. 3.5

$$V_{\text{m\u00e1ximo del sistema de puesta a tierra}} = (R_1 + R_2 + R_3) \times I_F = R_T \times I_F$$

Y por lo tanto es razonable imponer que:

$$V_{\text{m\u00e1ximo del sistema de puesta a tierra}} < V_{\text{toque m\u00e1ximo}}$$

### 3.4 Resistencia de la puesta a tierra

Pueden realizarse distintas combinaciones y disposiciones de electrodos para la ejecuci\u00f3n de una toma de tierra, las m\u00e1s comunes son:

- Jabalinas verticales alineadas o dispuestas en tri\u00e1ngulo o cuadrado.
- Conductores horizontales dispuestos linealmente, en circunferencia o en estrella

#### 3.4.1 C\u00e1lculo de la resistencia de una puesta a tierra

La resistencia el\u00e9ctrica de una toma de tierra depende de:

- La resistividad del suelo, que supondremos homog\u00e9neo.
- La disposici\u00f3n y tipo de electrodos que conforman la toma de tierra

Para todas las configuraciones puede expresarse como:

$$R_T = \rho \times f(g) \quad \text{Ec. 3.9}$$

Donde

$\rho$  = es la resistividad del suelo

$f(g)$  = es una expresi\u00f3n que tiene en cuenta la geometr\u00eda y dimensi\u00f3n de la puesta a tierra

La tabla 2.6 ilustra la variación de la resistividad del suelo para distintos tipos de suelo:

Naturaleza del suelo	Resistividad ( $\Omega\text{m}$ )
Suelos pantanosos, humus, lodo	5 a 100
Tierra de jardín húmedo (50% de humedad)	140
Tierra de jardín poco húmedo (20% de humedad)	480
Arcilla seca	1.500 a 5.000
Arcilla con 40% de humedad	80
Arcilla con 20% de humedad	330
Arena mojada	1.300
Arena seca	3.00 a 8.000
Calcáceo compacto	1.000 a 5.000
Granito	1.500 a 10.000

Son considerados “buenos conductores” los suelos con resistividad entre 50 y 100W.m.

A continuación se dan las fórmulas de cálculo de la resistencia de puesta a tierra para las configuraciones comunes.

### 3.4.2 Jabalina vertical

$$R_T = \frac{\rho}{2\pi L} \times Ln\left(\frac{4L}{d}\right) \quad \text{Ec. 3.10}$$

Dónde:

- $\rho$  Es la resistividad del suelo (W.m),
- $L$  Es la longitud de la jabalina (m),
- $d$  Es el diámetro equivalente de la jabalina (m)

De la expresión de la resistencia de puesta a tierra podemos observar que dicha resistencia disminuye si:

1. Aumenta el largo de la jabalina y/o
2. Aumenta el diámetro de la jabalina y/o
3. Baja la resistividad del suelo y/o
4. Se instalan jabalinas en paralelo

1. En la figura siguiente se muestra el efecto del largo de la jabalina en la resistencia de la puesta a tierra, para jabalinas de distintos diámetros, y un suelo homogéneo de  $100 \Omega \cdot m$

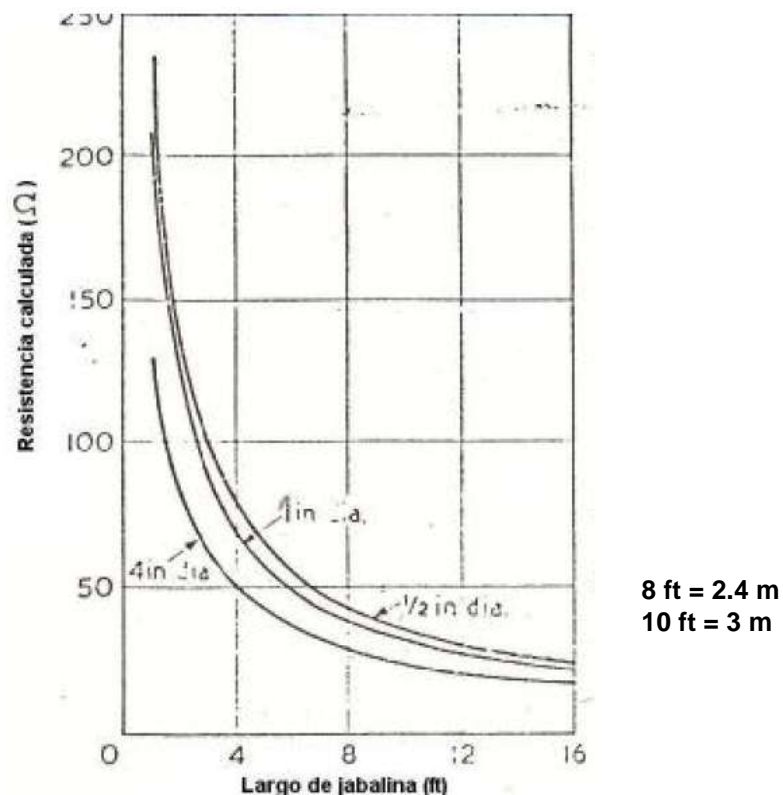


Figura 3.3 Efecto del largo de la jabalina en el cálculo de la resistencia para suelo uniforme con resistividad de  $1000 \Omega \cdot m$

Se observa que a partir de determinado valor (aprox. 2,4m), el aumento de longitud de la jabalina no produce efectos importantes sobre el valor de la resistencia de la puesta a tierra.

2. En la figura 3.4 se muestra la reducción de la resistencia de puesta a tierra de una jabalina en función del diámetro de la misma, para jabalinas de distintos diámetros y longitudes.

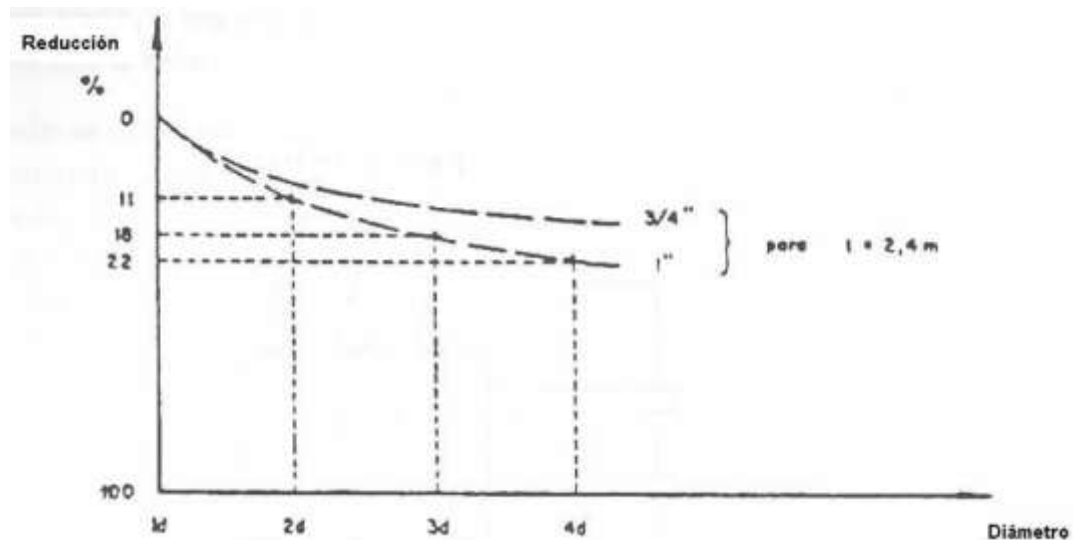


Figura 3.4 Reducción de la resistencia de puesta a tierra de una Jabalina en función del diámetro de la misma

Se observa que el aumento del diámetro de la jabalina produce una pequeña reducción, y a partir de determinado valor prácticamente no tiene influencia. En la práctica se utilizan los diámetros mínimos por razones de corrosión y resistencia mecánica.

3. La resistividad del suelo puede bajarse con el uso de geles conductores o bentonitas. Los geles que se utilicen deben tener las siguientes propiedades:

- Buena hidroscofia
- No ser corrosivo
- Baja resistividad eléctrica
- Químicamente estable
- No ser tóxico

- No causa daño a la naturaleza

En las figuras siguientes se muestra el comportamiento de la resistencia de una puesta a tierra en un suelo con y sin tratamiento, en función del tiempo.

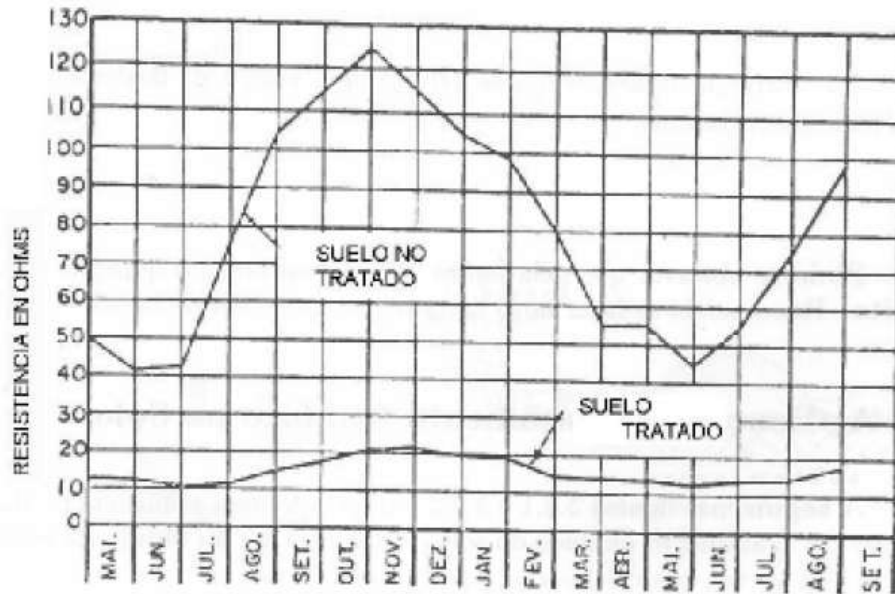


Figura 3.5 Tratamiento químico del suelo

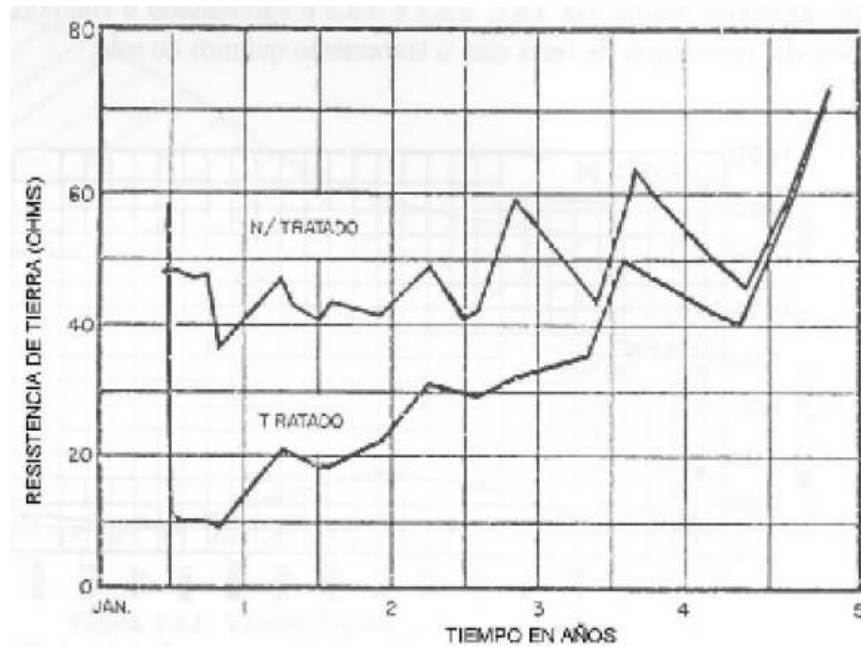


Figura 3.6 Variación de resistencia de tierra de jabalinas en suelos tratados y no tratados adyacentes

4. La instalación de jabalinas en paralelo disminuye sensiblemente el valor de la resistencia de la puesta a tierra pues aumenta la superficie de dispersión, baja la densidad de corriente y en consecuencia disminuye la resistencia de la puesta a tierra.

El cálculo de la resistencia de jabalinas en paralelo no sigue la ley simple del paralelo de resistencias eléctricas, cumpliéndose que:

$$\frac{R_{1j}}{2} < R_{2j} < R_{1j} \quad \text{Ec. 3.11}$$

Esto se debe a que en la zona de interferencia de las jabalinas, se produce un área del bloqueo del flujo de corriente correspondiente a cada jabalina, dando como resultado una mayor resistencia de puesta a tierra individual.

El aumento de la distancia de separación entre jabalinas disminuye el efecto de dicha interferencia, y mejora el rendimiento de la configuración. Se establece como separación mínima el largo de la jabalina.

En las figuras siguientes se muestran las superficies de dispersión de corriente (superficies equipotenciales) para una jabalina, la zona de interferencia y las superficies equipotenciales para dos jabalinas en paralelo.

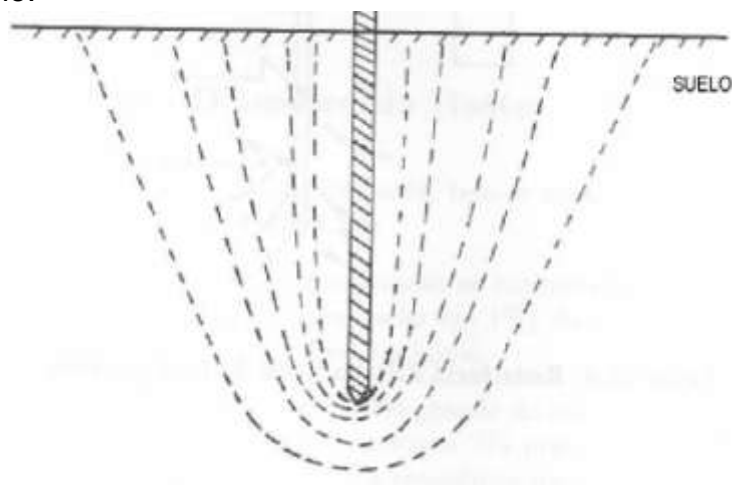


Figura 3.7 Superficie equipotencial de una jabalina.

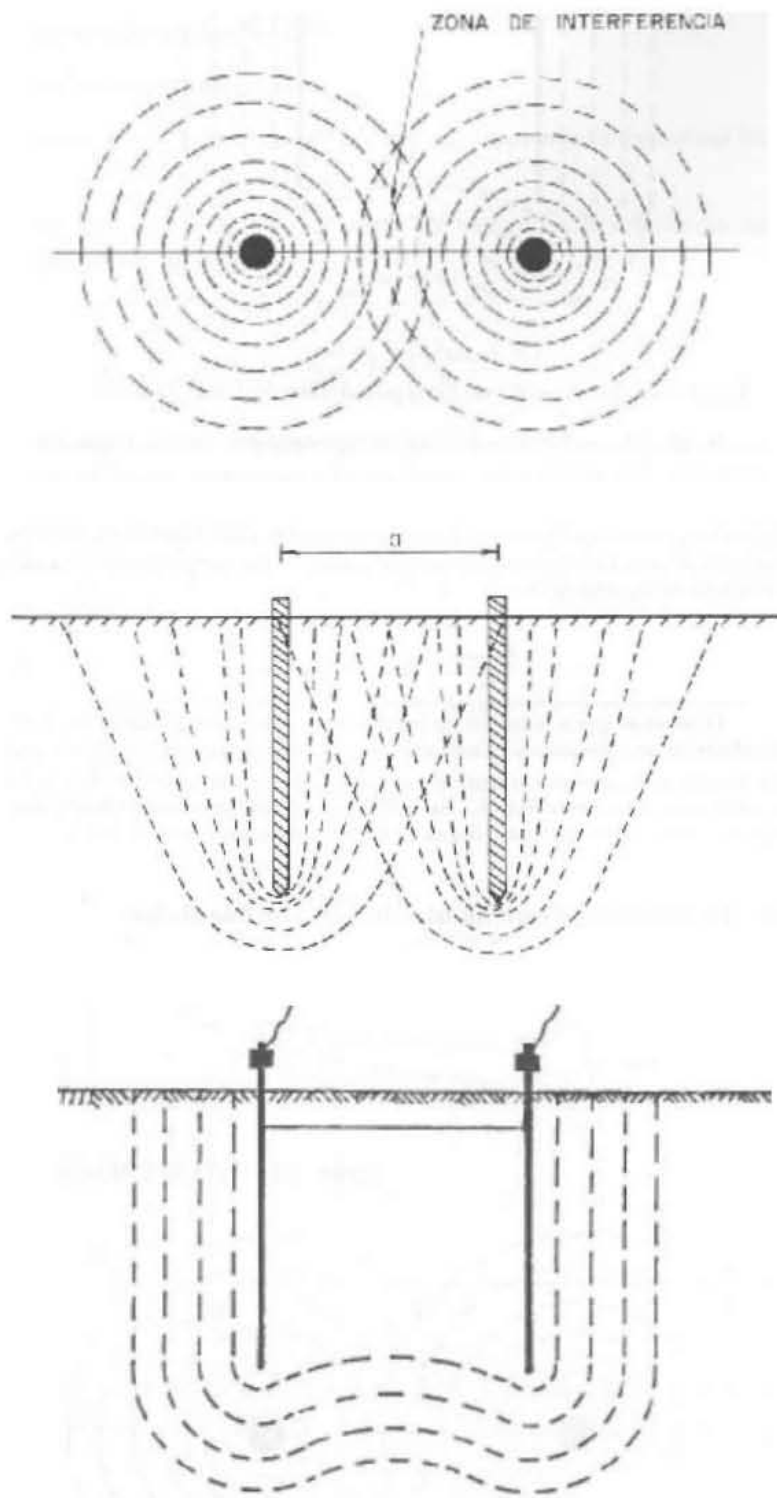


Figura 3.8 Zona de interferencia, superficie equipotencial de una jabalina.



Para el cálculo de la resistencia equivalente de jabalinas en paralelo, se define el índice de reducción  $K$  como:

$$R_{nj} = K \times R_{1j} \quad \text{Ec. 3.12}$$

Donde

$R_{1j}$  es la resistencia de puesta a tierra de una jabalina

$R_{nj}$  es la resistencia de puesta a tierra de  $n$  jabalinas

El valor de  $K$  es dado por medio de tablas o curvas para las distintas configuraciones, como ser jabalina alineada, jabalinas dispuestas en circunferencia, jabalinas dispuestas en triángulo, etc

### 3.4.3 Jabalinas alineadas

Las siguientes tablas dan valores del factor de reducción para jabalinas alineadas de distintas dimensiones, y para distintas separaciones entre jabalinas.

**Tabla 2.7 Factor de reducción**

ESPACIAMIENTOS Número de JABALINAS	$L = 2,4m$		$d = \frac{1}{2}''$		$R_{1 \text{ haste}} = 0,440\rho a$			
	2,5m		3m		4m		5m	
	$R_{eq}$ [ $\Omega$ ]	K	$R_{eq}$ [ $\Omega$ ]	K	$R_{eq}$ [ $\Omega$ ]	K	$R_{eq}$ [ $\Omega$ ]	K
2	0,248 $\rho a$	0,564	0,244 $\rho a$	0,555	0,239 $\rho a$	0,543	0,235 $\rho a$	0,535
3	0,178 $\rho a$	0,406	0,174 $\rho a$	0,395	0,168 $\rho a$	0,381	0,164 $\rho a$	0,372
4	0,141 $\rho a$	0,321	0,136 $\rho a$	0,310	0,130 $\rho a$	0,297	0,127 $\rho a$	0,288
5	0,118 $\rho a$	0,268	0,113 $\rho a$	0,258	0,107 $\rho a$	0,245	0,104 $\rho a$	0,236
6	0,102 $\rho a$	0,231	0,097 $\rho a$	0,221	0,092 $\rho a$	0,209	0,088 $\rho a$	0,201
7	0,090 $\rho a$	0,204	0,085 $\rho a$	0,195	0,080 $\rho a$	0,182	0,077 $\rho a$	0,175
8	0,080 $\rho a$	0,183	0,076 $\rho a$	0,174	0,071 $\rho a$	0,162	0,068 $\rho a$	0,155
9	0,073 $\rho a$	0,166	0,069 $\rho a$	0,157	0,064 $\rho a$	0,147	0,061 $\rho a$	0,140
10	0,067 $\rho a$	0,152	0,063 $\rho a$	0,144	0,059 $\rho a$	0,134	0,056 $\rho a$	0,127
11	0,062 $\rho a$	0,140	0,058 $\rho a$	0,133	0,054 $\rho a$	0,123	0,051 $\rho a$	0,117
12	0,057 $\rho a$	0,131	0,054 $\rho a$	0,123	0,050 $\rho a$	0,114	0,048 $\rho a$	0,108
13	0,054 $\rho a$	0,122	0,051 $\rho a$	0,115	0,047 $\rho a$	0,106	0,044 $\rho a$	0,101
14	0,051 $\rho a$	0,115	0,048 $\rho a$	0,108	0,044 $\rho a$	0,100	0,041 $\rho a$	0,094
15	0,048 $\rho a$	0,109	0,045 $\rho a$	0,102	0,041 $\rho a$	0,094	0,039 $\rho a$	0,089

Tabla 2.8

$L = 2m \quad d = 1'' \quad R_{1 \text{ Jabalina}} = 0,458\rho a$								
ESPACIAMIENTOS	2m		3m		4m		5m	
Número de JABALINAS	$R_{eq} [\Omega]$	K	$R_{eq} [\Omega]$	K	$R_{eq} [\Omega]$	K	$R_{eq} [\Omega]$	K
2	0,264 $\rho a$	0,577	0,254 $\rho a$	0,554	0,248 $\rho a$	0,542	0,244 $\rho a$	0,534
3	0,192 $\rho a$	0,420	0,180 $\rho a$	0,394	0,174 $\rho a$	0,380	0,170 $\rho a$	0,371
4	0,153 $\rho a$	0,335	0,142 $\rho a$	0,309	0,135 $\rho a$	0,296	0,131 $\rho a$	0,287
5	0,129 $\rho a$	0,281	0,117 $\rho a$	0,257	0,111 $\rho a$	0,243	0,108 $\rho a$	0,235
6	0,111 $\rho a$	0,243	0,101 $\rho a$	0,220	0,095 $\rho a$	0,207	0,091 $\rho a$	0,200
7	0,099 $\rho a$	0,215	0,088 $\rho a$	0,193	0,083 $\rho a$	0,181	0,080 $\rho a$	0,174
8	0,089 $\rho a$	0,194	0,079 $\rho a$	0,173	0,074 $\rho a$	0,161	0,071 $\rho a$	0,154
9	0,081 $\rho a$	0,176	0,071 $\rho a$	0,156	0,067 $\rho a$	0,145	0,064 $\rho a$	0,139
10	0,074 $\rho a$	0,162	0,065 $\rho a$	0,143	0,061 $\rho a$	0,133	0,058 $\rho a$	0,126
11	0,069 $\rho a$	0,150	0,060 $\rho a$	0,132	0,056 $\rho a$	0,122	0,053 $\rho a$	0,116
12	0,064 $\rho a$	0,140	0,056 $\rho a$	0,122	0,052 $\rho a$	0,113	0,049 $\rho a$	0,107
13	0,060 $\rho a$	0,131	0,052 $\rho a$	0,114	0,048 $\rho a$	0,105	0,046 $\rho a$	0,100
14	0,057 $\rho a$	0,124	0,049 $\rho a$	0,107	0,045 $\rho a$	0,099	0,043 $\rho a$	0,093
15	0,053 $\rho a$	0,117	0,046 $\rho a$	0,101	0,043 $\rho a$	0,093	0,040 $\rho a$	0,088

Tabla 2.9

$L = 3m \quad d = 1'' \quad R_{1 \text{ Jabalina}} = 0,327\rho a$						
ESPACIAMIENTOS	3m		4m		5m	
Número de JABALINAS	$R_{eq} [\Omega]$	K	$R_{eq} [\Omega]$	K	$R_{eq} [\Omega]$	K
2	0,187 $\rho a$	0,571	0,182 $\rho a$	0,556	0,178 $\rho a$	0,546
3	0,135 $\rho a$	0,414	0,129 $\rho a$	0,396	0,126 $\rho a$	0,385
4	0,108 $\rho a$	0,329	0,102 $\rho a$	0,312	0,098 $\rho a$	0,300
5	0,090 $\rho a$	0,276	0,085 $\rho a$	0,259	0,081 $\rho a$	0,248
6	0,078 $\rho a$	0,238	0,073 $\rho a$	0,222	0,069 $\rho a$	0,212
7	0,069 $\rho a$	0,211	0,064 $\rho a$	0,195	0,061 $\rho a$	0,185
8	0,062 $\rho a$	0,189	0,057 $\rho a$	0,175	0,054 $\rho a$	0,165
9	0,056 $\rho a$	0,172	0,052 $\rho a$	0,158	0,049 $\rho a$	0,149
10	0,052 $\rho a$	0,158	0,047 $\rho a$	0,145	0,045 $\rho a$	0,136
11	0,048 $\rho a$	0,146	0,044 $\rho a$	0,133	0,041 $\rho a$	0,125
12	0,044 $\rho a$	0,136	0,041 $\rho a$	0,124	0,038 $\rho a$	0,116
13	0,042 $\rho a$	0,128	0,038 $\rho a$	0,116	0,035 $\rho a$	0,109
14	0,039 $\rho a$	0,120	0,036 $\rho a$	0,109	0,033 $\rho a$	0,102
15	0,037 $\rho a$	0,113	0,034 $\rho a$	0,103	0,031 $\rho a$	0,096

Si se grafica la disminución de la resistencia equivalente de n jabalinas alineadas en función del número de jabalinas, se obtiene una curva como la que se muestra

en la figura siguiente, en la que puede verse que dicha disminución tiende a quedar constante a partir de  $n = 7$ .

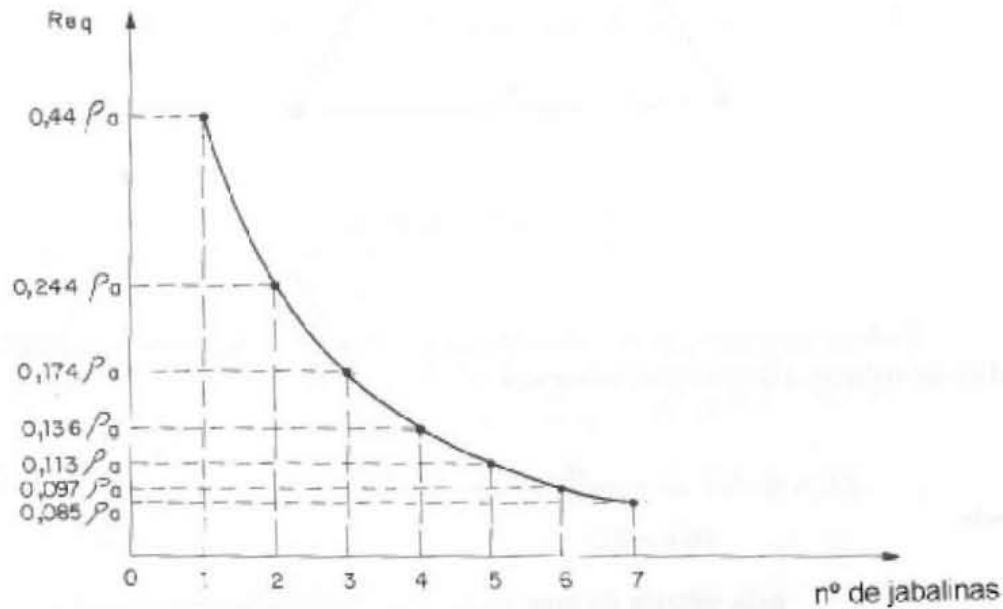


Figura 3.9 disminución de la resistencia equivalente de  $n$  jabalinas alineadas en función del número de jabalinas

A continuación se muestran las curvas correspondientes al índice de reducción para jabalinas dispuestas en circunferencia y jabalinas dispuestas en triángulo.

#### 3.4.4 Jabalinas dispuestas en circunferencia

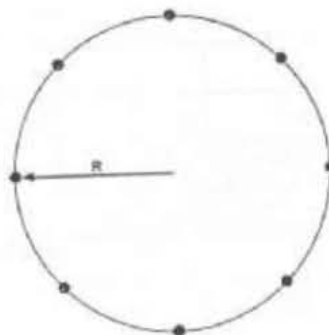


Figura 3.10 Jabalinas dispuestas en circunferencia.

Las curvas que se muestran a continuación corresponden a la distribución de  $n$  las jabalinas en una circunferencia de 9m de radio, para jabalinas de distintos diámetros (1" y ½ ") y longitudes (1.2m, 1.8, 2.4m y 3m).

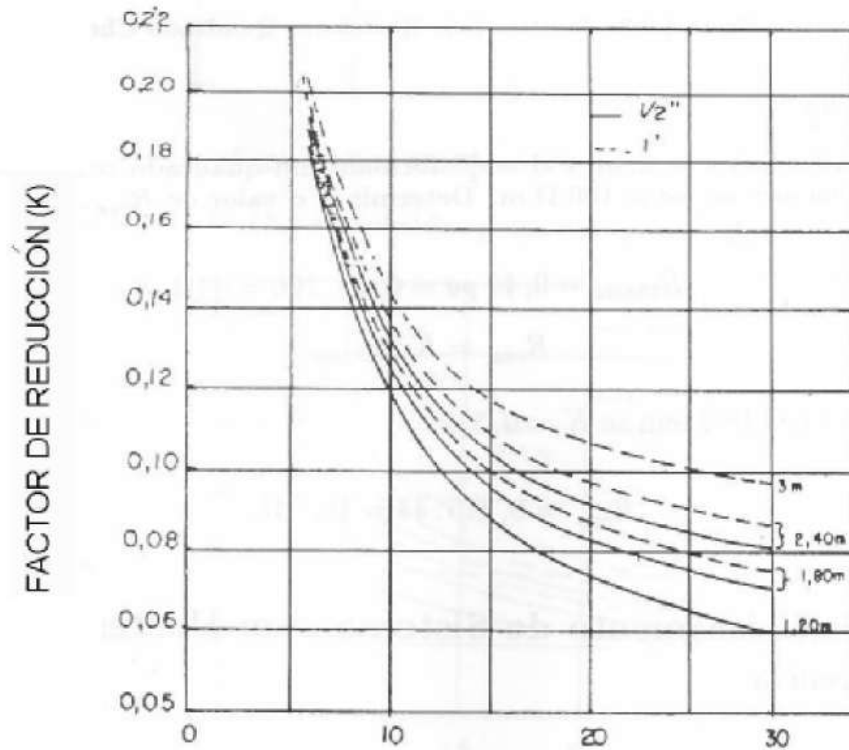


Figura 3.11 Número de jabalinas

### 3.4.5 Jabalinas dispuestas en triángulo

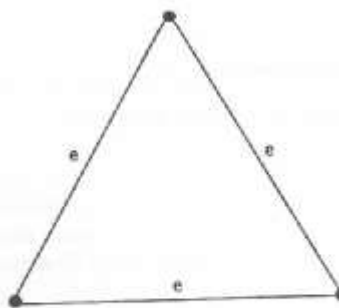


Figura 3.12 Jabalinas dispuestas en triángulo.

Las curvas que se muestran a continuación corresponden a la distribución de 3 jabalinas en triángulo, en función del espaciamiento, para jabalinas de distintos diámetros (1" y 1/2 ") y longitudes (1.2m, 1.8m, 2.4m y 3m).

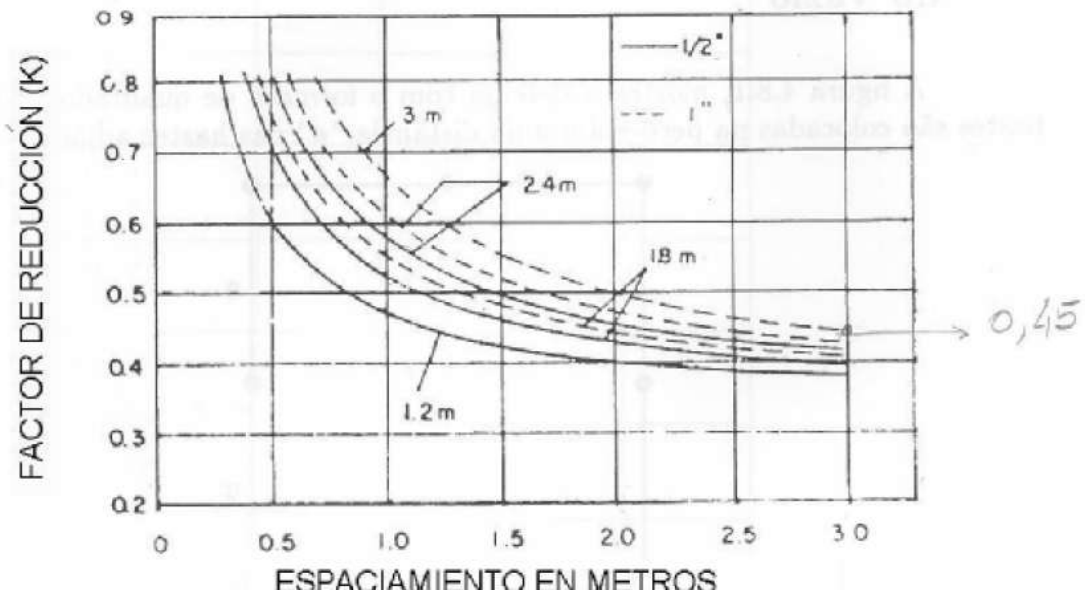


Figura 3.13 Curvas de distribución

### 3.4.6 Jabalinas profundas

Los factores que pueden influir en la disminución de la resistencia de puesta a tierra cuando se utilizan jabalinas de gran longitud, son los siguientes:

- El aumento de la longitud de la jabalina
- La existencia de capas de suelo más profundas de menor resistividad
- La presencia estable de agua a lo largo del año en las capas mas profundas.

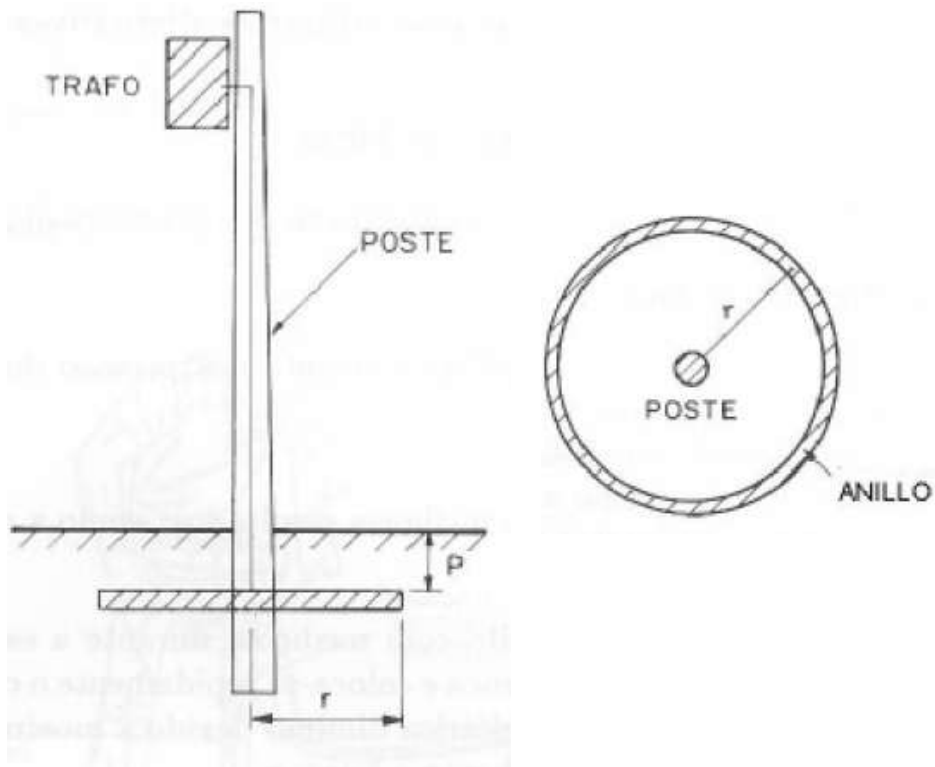


Figura 3.14 Conductor horizontal dispuesto en circunferencia.

$$R_T = \frac{\rho}{\pi^2 r} \times Ln \left( \frac{4r^2}{d \times p} \right) \quad \text{Ec.3.13}$$

**Dónde:**

$p$  es la profundidad a la que está enterrado el conductor (m),

$r$  es el radio de la circunferencia (m),

$d$  es el diámetro del círculo equivalente a la sección transversal del conductor (m).

### 3.4.7 Conductor horizontal dispuesto linealmente

$$R_T = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ Ln \left( \frac{2L^2}{r \times p} \right) - 2 + \frac{2p}{L} - \left( \frac{p}{L} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad \text{Ec.3.14}$$

Dónde:

$p$  es la profundidad a la que está enterrado el conductor (m),

$L$  es la longitud del conductor (m),

$r$  es el radio equivalente del conductor (m),

En general  $p \ll L$ , y los términos correspondientes a las potencias de  $p/L$  pueden despreciarse.

### 3.4.8 Conductores horizontales en otras disposiciones

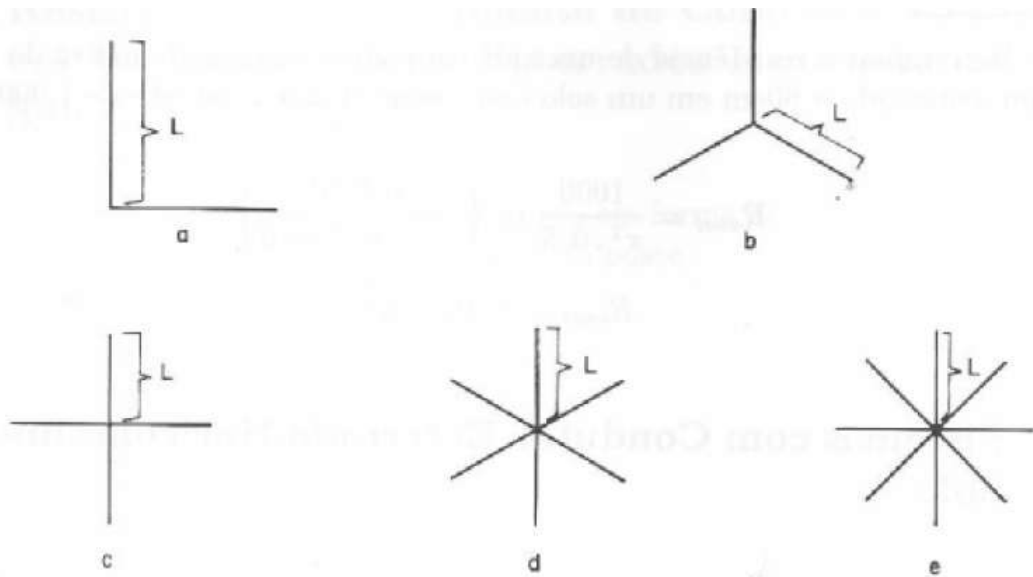


Figura 3.15 Conductores horizontales en otras disposiciones

a. Dos conductores horizontales dispuestos en ángulo recto

$$R_T = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{L^2}{2 \times r \times p} \right) - 0,2373 + 0,8584 \frac{p}{L} + 1,656 \left( \frac{p}{L} \right)^2 - 10,85 \left( \frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad \text{Ec. 3.15}$$

Dónde:

$p$  es la profundidad a la que está enterrado el conductor (m),

$L$  es la longitud de cada rama (m),

$r$  es el radio equivalente del conductor (m),

**b.** Tres conductores horizontales dispuestos en estrella

$$R_T = \frac{\rho}{3\pi L} \left[ \ln \left( \frac{L^2}{2 \times r \times p} \right) + 1,077 - 0,836 \frac{p}{L} + 3,808 \left( \frac{p}{L} \right)^2 - 13,824 \left( \frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad \text{Ec. 3.16}$$

**c.** Cuatro conductores horizontales dispuestos en estrella

$$R_T = \frac{\rho}{4\pi L} \left[ \ln \left( \frac{L^2}{2 \times r \times p} \right) + 2,912 - 4,284 \frac{p}{L} + 10,32 \left( \frac{p}{L} \right)^2 - 37,12 \left( \frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad \text{Ec. 3.17}$$

**d.** Seis conductores horizontales dispuestos en estrella

$$R_T = \frac{\rho}{6\pi L} \left[ \ln \left( \frac{L^2}{2 \times r \times p} \right) + 6,851 - 12,512 \frac{p}{L} + 28,128 \left( \frac{p}{L} \right)^2 - 125,4 \left( \frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad \text{Ec. 3.18}$$

**e.** Ocho conductores horizontales dispuestos en estrella

$$R_T = \frac{\rho}{8\pi L} \left[ \ln \left( \frac{L^2}{2 \times r \times p} \right) + 10,98 - 22,04 \frac{p}{L} + 52,16 \left( \frac{p}{L} \right)^2 - 299,52 \left( \frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad \text{Ec. 3.19}$$



### 3.5 Medida de la resistencia de una puesta a tierra

La medición de la resistencia de una puesta a tierra se realiza por el método volt - amperimétrico, haciendo circular una corriente entre la puesta a tierra cuya resistencia se desea medir y una pica de referencia, y midiendo la tensión entre el borne principal de tierra y una segunda pica de referencia ubicada fuera de la zona de influencia de la puesta a tierra.

Si consideramos dos jabalinas enterradas en el suelo y una fuente de corriente conectada a las mismas, la distribución de corriente es la mostrada en la figura 3.16.

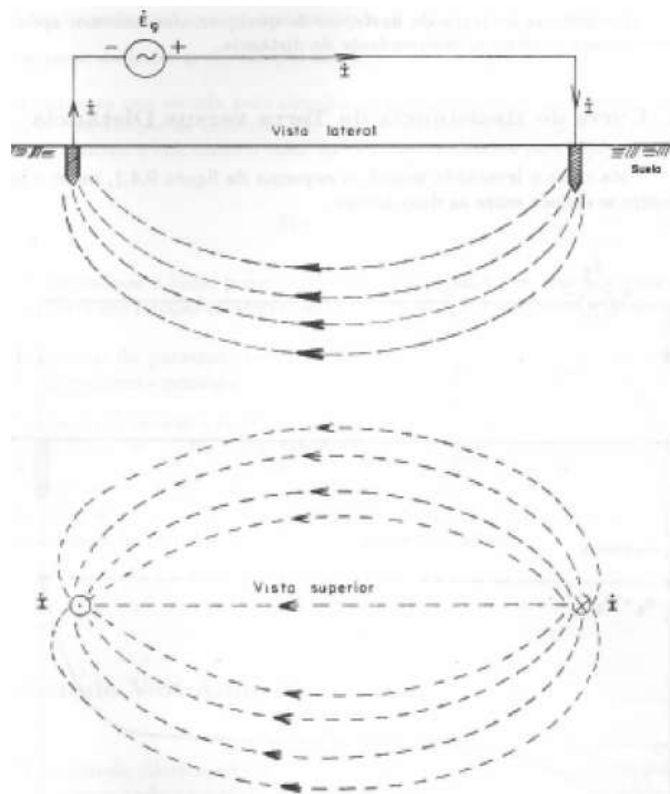


Figura 3.16 dos jabalinas enterradas en el suelo y una fuente de corriente conectada a las mismas.

Como se ve en la figura, la densidad de corriente es máxima junto a la jabalina, y disminuye a medida que nos alejamos de la misma, y podemos expresar la resistencia de la puesta a tierra

Como

$$R_T = \rho \sum_i \frac{\Delta x_i}{S_i}$$

Ec.3.20

Donde  $S_i$  es la superficie de una superficie equipotencial y  $\Delta x_i$  la distancia entre dos superficies equipotenciales que puede considerarse que tienen la misma superficie ( $S_j = S_{j+1}$ ).

Al aumentar la distancia a la jabalina las líneas de corriente divergen,  $S_i$  crece y la resistencia tiende a alcanzar un valor constante. Por lo que la resistencia de la puesta a tierra corresponde a la región del suelo donde las líneas de corriente convergen y luego se mantiene constante hasta que influye la segunda jabalina. Si se considera ahora el esquema de medición completa:

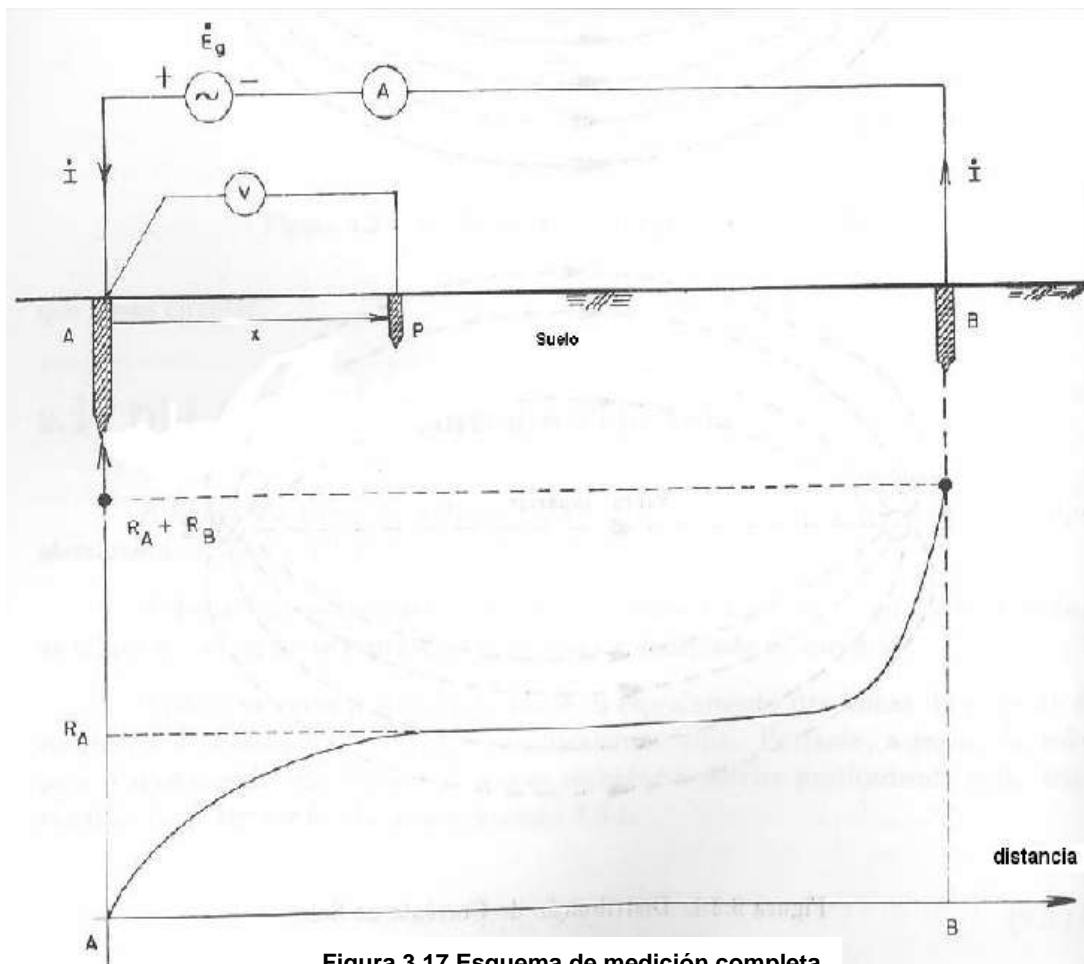


Figura 3.17 Esquema de medición completa

Dónde:

**A** es la puesta a tierra cuya resistencia se quiere medir,

**B** es la pica auxiliar de corriente, y

**P** es la pica auxiliar de tensión,

Se puede obtener la curva que se muestra en la figura, desplazando la pica auxiliar de tensión desde la puesta a tierra hacia la pica auxiliar de corriente, y considerando que la pica de tensión no altera la distribución de corriente. Donde  $R_A$  es el verdadero valor de la puesta a tierra y se encuentra aproximadamente en el 62% de la distancia entre A y B<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Puesta a tierra y conductores de protección  
[http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/iiee/Documentos/Teorico/Puesta\\_tierra.pdf](http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/iiee/Documentos/Teorico/Puesta_tierra.pdf)

## **CAPÍTULO 4**

### **PUESTA A TIERRA Y ACOMETIDA ELÉCTRICA PARA UNA RADIOBASE DE TELEFONÍA CELULAR**

A partir de que el precio de reventa del cobre en el mercado negro se ha incrementado considerablemente, esto ha provocado en forma alarmante que exista un alto índice de robo en nuestros repetidores y centrales telefónicas de los sistemas de tierras actualmente construidos con cobre, poniendo en riesgo la continuidad del servicio, el equipo y al propio personal contra descargas atmosféricas.

Ante esta situación los operadores telefónicos preocupada por la seguridad de sus instalaciones, de su personal y con la finalidad de disminuir el índice de robos del cobre (cable, barras, accesorios), se dio a la tarea de buscar soluciones para erradicar este problema, de tal manera que se evaluó un Sistema de Tierra con base en acero galvanizado, el cual cubre las siguientes cualidades:

#### **4.1 Norma de construcción para el sistema de tierra en acero**

- a) No es atractivo para el robo, ya que el precio de reventa de este material es muy bajo.
- b) El diseño antirrobo es tal que la desinstalación de sus componentes es realmente difícil.
- c) El sistema provee un medio seguro para proteger al personal y al equipo de los peligros de una descarga eléctrica bajo condiciones de falla (descargas atmosféricas y corto circuito).
- d) El sistema proporciona un circuito de mínima impedancia para la circulación de las corrientes de falla debidas a condiciones anormales de operación

Toda la ingeniería está sustentada en principios físicos y matemáticos, para la determinación de la sección transversal de los conductores; y uniones soldables

equivalentes al cobre. Su ingeniería está respaldada por Normas Internacionales como lo es la IEC 1024, la norma Británica BS 6651 y la norma Mexicana NMXJ549

En torres de microondas se recomienda instalar un pararrayos tipo dipolo, con un cono de protección de  $71^\circ$  con respecto a la vertical, instalado en un mástil de duraluminio de 2 pulgadas de diámetro x 3 m. de longitud. Figura 4.1.

Las partes principales del pararrayos son:

- 1) Mástil de 3m.
- 2) Elementos de aislamiento (cople adaptador) para la barra de descarga en la parte superior del mástil.
- 3) Conductor interno en el mástil.
- 4) Conector botaguas para cable de acero en el extremo inferior del mástil.
- 5) Arillo excitador.
- 6) Toroide.
- 7) Barra de descarga.

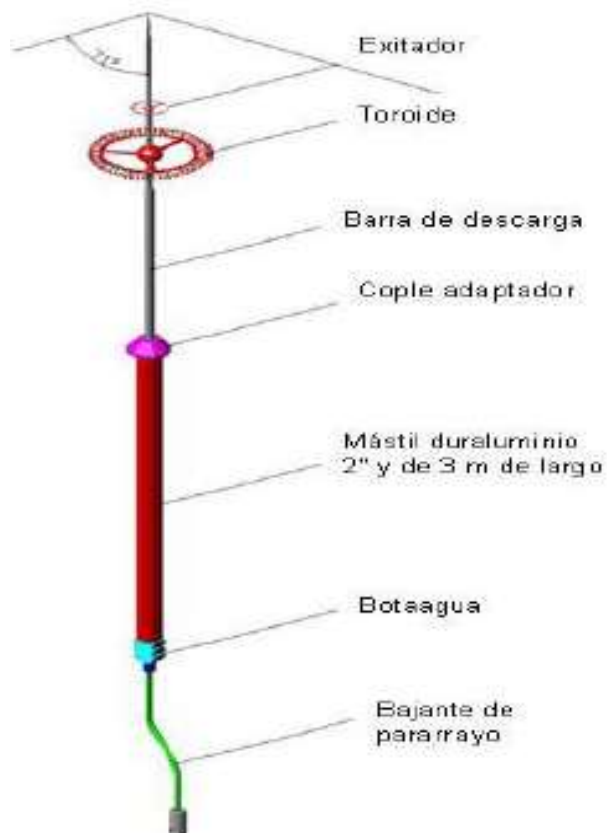


Figura 4.1 Partes principales de un pararrayos dipolo

## 4.2 Procedimiento de instalación del pararrayos y su conexión a puesta a tierra

- a) Armar la barra de descarga con el toroide excitador y arillo equipotencial, una vez armada, atornillar al cople con aislamiento en la parte superior del mástil.
- b) Colocar y fijar el mástil a la estructura, la parte plana del conector bota agua debe ser colocada hacia la estructura.
- c) Colocar y conectar el cable de acero de 5/8' en la parte inferior del mástil. Este cable se fija por medio de los opresores tipos Allen ubicados en el conector del mástil del pararrayos, posteriormente aplicar soldadura de arco eléctrico o soldadura de microalambre. El conector es galvanizado en frío y sellado con resina. Figura 4.2.

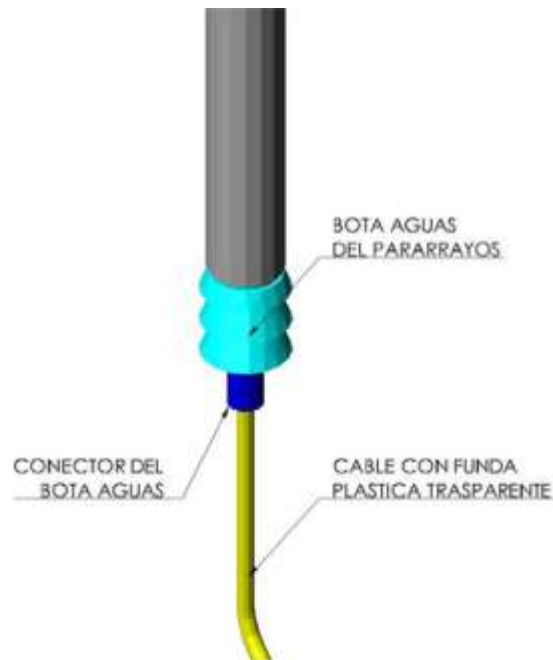


Figura 4.2 instalación del pararrayos y su conexión a puesta a tierra.

- d) La bajante de pararrayos debe ser con cable de 5/8', en un solo tramo continuo, desde el pararrayos hasta el sistema de tierra, conectándolo directamente a un electrodo 380 Fe del sistema de Tierra.

- **El electrodo 380 Fe** es un electrodo de alto desempeño construido en su totalidad en acero galvanizado. Los materiales de los cuales está conformado el electrodo Fe cumplen con las siguientes normas.
  - Norma Internacional IEC 61021-1.
  - Protección de Estructuras Contrae el Rayo. Parte1. Principios Generales.
  - Norma Australiana y Nueva Zelanda NZ/AS 1768-1991.
  - Norma Mexicana de Protección Contra Tormentas Eléctricas NMX J549.
- **Pasta:** La pasta de electrodo químico 300 mejora la conductividad eléctrica del cuerpo metálico al terreno además de proteger al electrodo de agentes corrosivos.
- **Caja de Conexión,** El electrodo 380 Fe cuenta con una caja de conexión de 8 x 8cm para cables de acero galvanizado de hasta 5/8' para el conformado de malla. ). Figura 4.3

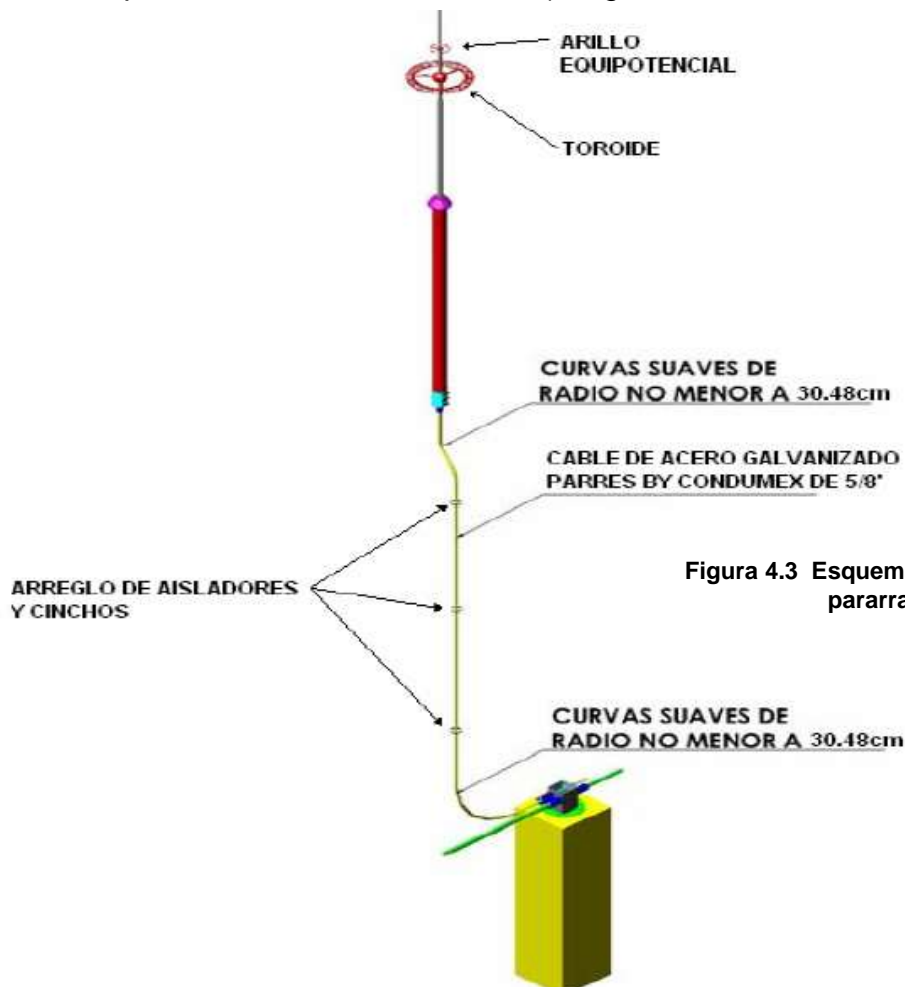


Figura 4.3 Esquema general de conexión del pararrayos con cable de acero.

- e) La bajante del pararrayos no debe tener curvas menores a 30.48 cm de radio, es decir debe ser lo más recto posible.
- f) El cable debe ser encauzado y sujetado a la torre o estructura utilizando el aislador AB 2G marca. Figura 4.4. El cable se sujeta al aislador mediante un cinturón de acero. Figura 4. 5.

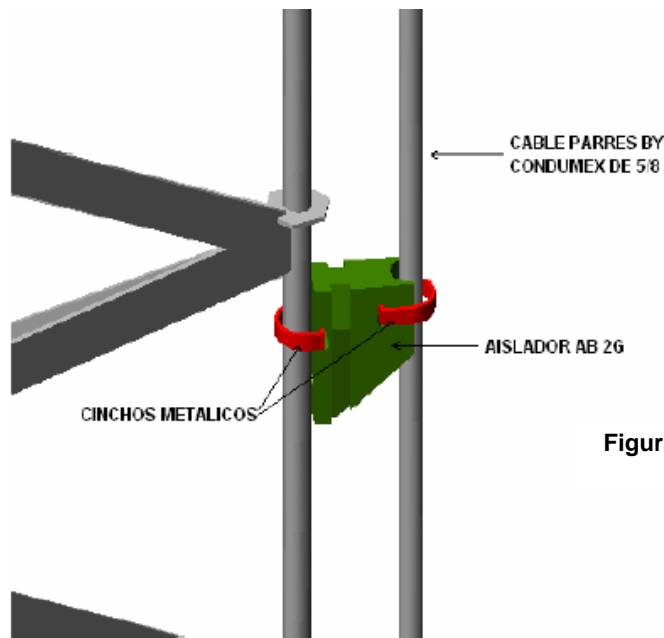


Figura 4.4 Sujeción del aislador a la estructura de la torre con cinturones metálicos

- g) El aislador AB 2G debe medir 84 mm de longitud en base mayor, 45 mm en la base menor, 52 mm de altura y 26 mm de ancho. Figura 4.5

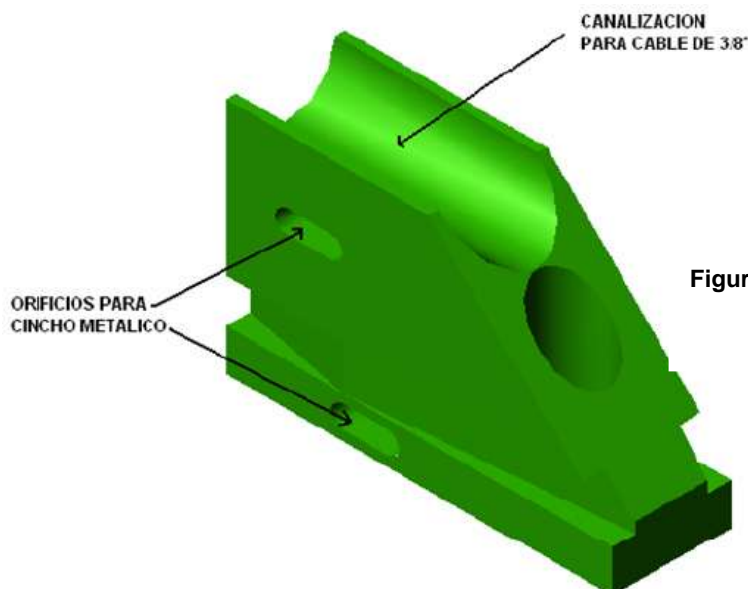


Figura 4.5 Aislador AB 2G, utilizado para sujetar el cable del pararrayos.



#### 4.2.1 Bajante de pararrayo

En las torres autoportadas que tengan perforaciones para barrenos en el primer tramo (3 mts) de la parte inferior de la torre, se debe sujetar el aislador AB-2G con tornillo de acero inoxidable de 5/16 pulgadas, rondana plana y de presión para amarrar la bajante del pararrayos sobre el aislador, tal como se muestra en la siguiente Figura 4.6. Después de instalar el aislador, se debe soldar el tornillo y la tuerca con unos puntos de soldadura



Figura 4.6 Modo de sujeción del cable del pararrayos

#### 4.2.2 Conexiones de puesta a tierra

- a) No se deben canalizar los cables de acero ni pintarlos con el objetivo de que se vea a simple vista que es acero y no cobre.
- b) En caso de que parte de la bajante del pararrayo baje por muro, se debe sujetar por medio de abrazadera tipo uña tropicalizada de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, taquete expansor y tornillo de 5/16 pulgadas. Figura 4.7.
- c) La bajante de pararrayos debe estar conectada y soldada directamente a un electrodo modelo 380 Fe; de acuerdo a los pasos mencionados en el punto 4.3.- Conexión del cable de acero al electrodo de puesta a tierra

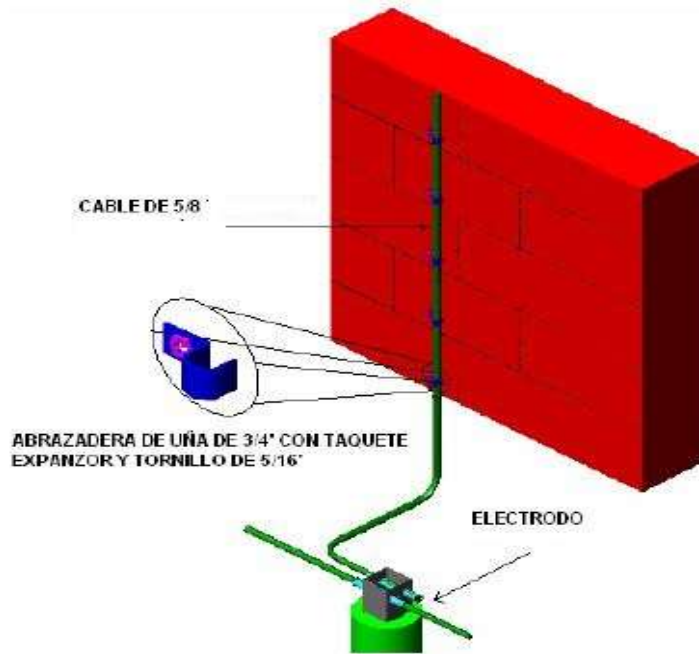


Figura 4.7 pararrayo bajante por muro

#### 4.2.3 Instalación del electrodo modelo 380 Fe

El electrodo de puesta a tierra 380 Fe, es un elemento que viene integrado con protección catódica para controlar los efectos de la corrosión, una terminal de prueba para menciones futuras (bono de medición) de cable de ¼ de pulgada, y un compactador para reducir la resistencia de puesta a tierra entre el electrodo y la excavación. Figura 4.8

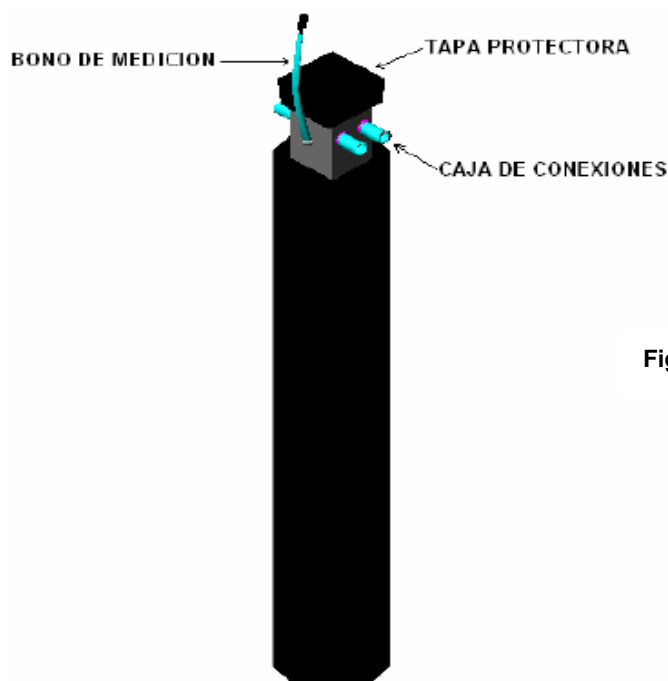


Figura 4.8 Electrodo 380 Fe

Para su colocación debe vigilarse que la posición del electrodo sea la correcta, verificando que los rotulados no estén invertidos.

Se debe planificar la construcción de la malla de tierras por el tipo de conexión que se tiene en los electrodos S 380 Fe, de tal forma que se puedan direccionar todas las conexiones de los tubos, así como las derivaciones de conexión hacia los electrodos para conformar una malla de tierras homogénea y simétrica. Ver los puntos 4.3.- Conexión del cable de acero al electrodo de puesta a tierra 380 Fe, 4.4 Conformado de Malla y el punto 5.5.- Derivaciones de la Malla de Tierra.

#### **4.2.4 Proceso de hincado de los electrodos**

- a)** Hacer una excavación en el terreno de 60 cm de diámetro por 160 cm de profundidad.
- b)** Colocar el electrodo cerca de la excavación y quitar la tapa de madera que viene en la parte superior del electrodo.
- c)** Sujetar firmemente el electrodo por medio de los flejes plásticos una vez retirada la tapa superior.
- d)** Colocar el electrodo 380 Fe, dentro de la excavación, verificando que el electrodo quede totalmente vertical y centrado en la excavación. Figura 4 9.
- e)** Instalar los electrodos en la posición correcta para poder orientarlos, corroborando que los rotulados no estén invertidos, la orientación está en función de las conexiones que se deban hacer en el mismo.
- f)** Instalar los electrodos que van en las esquinas en forma diagonal, procurando tener la conexión más próxima al tubo de acero galvanizado y que forman parte de la malla de tierras.
- g)** Tapar la parte superior del electrodo en donde se localiza la caja de conexión y los tubos de disparo.

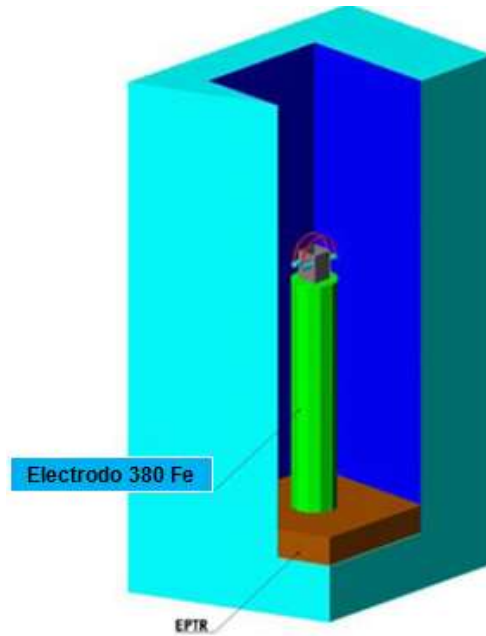


Figura 4.9 Hincado del electrodo 380 Fe

- h) Vaciar el acondicionador de tierras EP-TR previamente mezclado con agua, hasta lograr una mezcla homogénea alrededor del electrodo Figura 4.10
- i) En caso de que el volumen entre el electrodo y la excavación no sea ocupado en su totalidad, se debe agregar bultos de acondicionador de tierra EP-TR mezclados con agua y vertidos alrededor del electrodo hasta llenar  $\frac{3}{4}$  partes de la longitud del electrodo.



Figura 4.10 acondicionador de tierras EP-TR

- j) Cubrir con tierra negra o material propio del sitio sin piedra la parte restante del electrodo, hasta llegar al nivel donde queda descubierta la estructura metálica de la caja de conexiones. Nunca se debe enterrar la caja de disparos de conexión.
- k) Retirar la bolsa de plástico que cubre la caja de conexiones del electrodo.
- l) Quitar la tapa que cubre la caja de conexiones.
- m) Agregar aproximadamente un litro de agua dentro del contenedor del electrodo, y posteriormente vaciar el Gel para activar la protección catódica.

Figura 4.11.

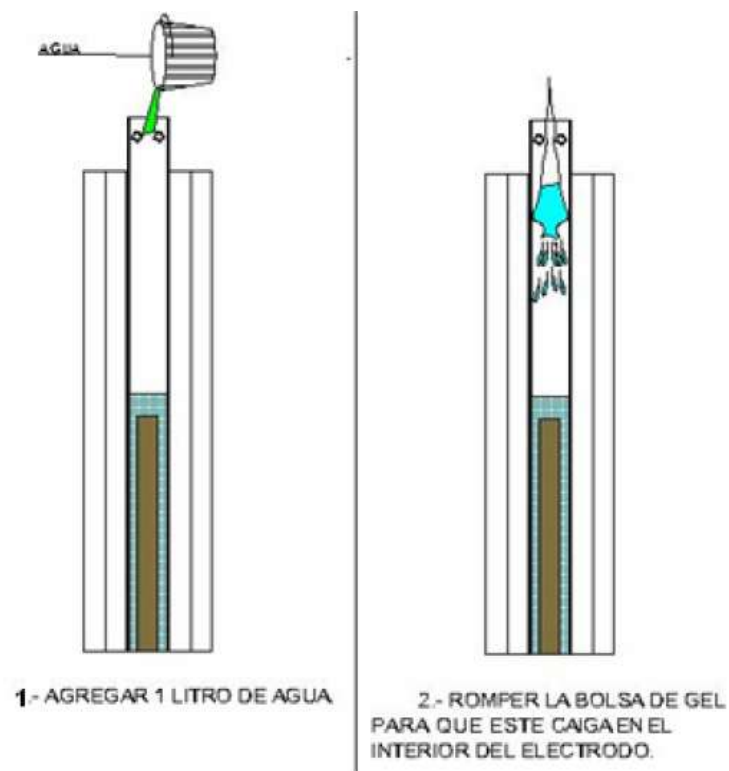


Figura 4.11 Colocación del agua y GEL al Electrodo 380 Fe

- n) Como parte de mantenimiento se debe agregar Gel a los electrodos, cada 3 años dependiendo de las condiciones climatológicas del sitio.
- o) Poner la tapa de la caja de conexiones del electrodo.

- p) Realizar las conexiones al electrodo y la conformación de la malla de acuerdo a los puntos 4.3- Conexión del cable de acero al electrodo de puesta a tierra 380 Fe y 4.4 Conformado de malla
- q) Dejar los registros de los electrodos de puesta a tierra en los sitios Telmex a nivel de piso terminado.
- r) Poner la tapa de la caja de conexiones del electrodo.
- s) Realizar las conexiones al electrodo y la conformación de la malla de acuerdo a los puntos **4.3** Conexión del cable de acero al electrodo de puesta a tierra 380 Fe y **4.4** Conformado de malla
- t) Dejar los registros de los electrodos de puesta a tierra en los sitios Telmex a nivel de piso terminado.

#### 4.2.5 Proceso de armado e instalación de los registros.

- a) Cortar un tubo de albañal de 12 pulgadas de diámetro y 60 cm de largo a partir de la parte de la campana del tubo, ranurarlo en las direcciones que marquen las trayectorias que salen o entran al electrodo. Figura 4.12

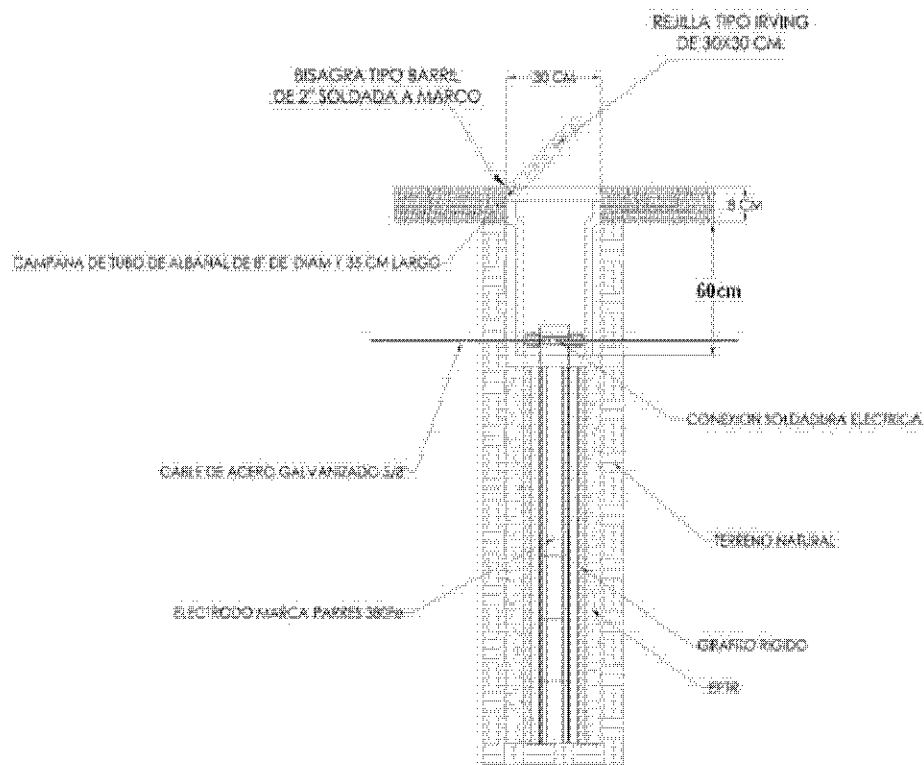


Figura 4.12 Armado e instalación de registros

- b) Colocar centrado el tubo albañal con respecto a la caja de conexión del electrodo y orientarlo de acuerdo a las ranuras hechas previamente, posteriormente se debe colocar la tapa de Neopreno en la campana del tubo de albañal.
- c) Rellenar con tierra alrededor del electrodo, compactándola hasta llegar a 8 cm Aproximadamente, antes del final de la campana del tubo de albañal.
- d) Colocar una rejilla tipo Irving sobre la campana del albañal y nivelarla con respecto al nivel de piso terminado.
- e) Colocar una cimbra de madera de 50 x 50 cm aproximadamente alrededor de la rejilla y colarla con concreto.
- f) Pintar la rejilla de los registros de los electodos 380 FE de color amarillo, con pintura de cromato de zinc amarillo.
- g) Rotular la rejilla con el símbolo de tierra en color negro.

### **4.3 Conexión del cable de acero al electrodo de puesta a tierra 380 FE**

La conexión del bajante del pararrayos se debe conectar directamente a un electrodo de puesta a tierra 380 Fe y estar interconectada a la malla de tierra, para tener una unión equipotencial.

Proceso de conexión del electrodo 380 Fe.

- a) Presentar el cable de acero aislado de 5/8 de pulgada previo a su colocación, verificando que su longitud alcance a conectar los elementos deseados, el cable bajante del pararrayos se debe instalar lo más recto posible al electrodo y su conexión.
- b) Retirar la tapa de la caja de conexión del electrodo 380 Fe, después de haber definido la trayectoria del cable de acero,
- c) Corroborar que el electrodo cuente con los cuatro capuchones, dispuestos para el cable de acero.
- d) Limpiar y secar el cable de acero, la ventana y la caja de conexión para aplicar la soldadura de arco eléctrico o microalambre.

- e) Verificar la longitud del cable e introducirlo por el centro de los tubos externos hacia la caja de conexión, atravesando la ventana de conexión por completo y colocarlo hasta la posición deseada previa a la soldadura.
- f) Correr los capuchones protectores de los disparos de los electrodos a través del cable, para no ser afectados por el calor generado de la soldadura Figura 4.13.

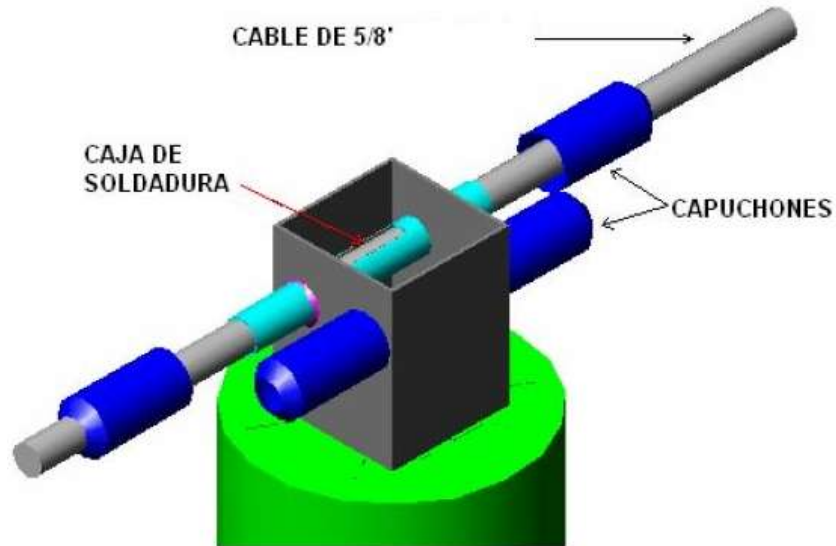


Figura 4.13 Caja de conexiones del Electrodo 380 Fe

- g) Soldar el cable en la ventana de conexión, con un cordón continuo y por todo el perímetro de la ventana, este cordón deberá tener como mínimo 9 mm de ancho.
- h) Retirar la escoria, producto de la soldadura y limpiar con cepillo de alambre.
- i) Galvanizar en frío el área de la ventana de conexión donde se realizó la soldadura y en los lugares que quedo expuesto el cable de acero. Ver figura 4.14.
- j) Mezclar la resina y aplicar uniformemente en toda la ventana de conexión, donde previamente se galvanizó en frío protegiendo así la soldadura.
- k) Regresar los capuchones a su posición original.



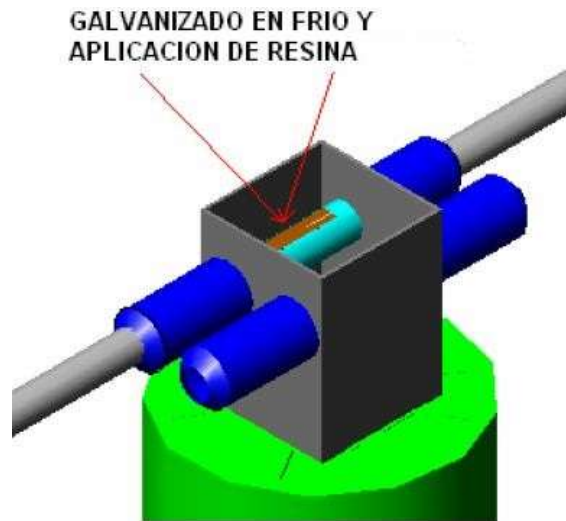


Figura 3.14 Caja de conexiones, galvanizado y aplicación de resina.

#### 4.4 Conformado de malla tierras

- a) Definir el área de la malla de tierras tomando en cuenta que la distancia de separación mínima entre electrodos debe ser de 3 m, así como la distribución de los electrodos a instalarse.
- b) Los tramos rectos de la malla son de tubo de agua galvanizado de  $\frac{3}{4}$  de pulgada y las conexiones a los electrodos son de cable de acero de  $\frac{5}{8}$  de pulgada.
- c) Instalar en un sitio el número de electrodos de acuerdo al estudio de resistividad y a la memoria de cálculo realizada para cada sitio.
- d) El tipo del terreno está clasificado en tres grupos, dependiendo del valor de la resistividad del terreno que se tenga, es el diámetro de excavación que se debe realizar para alojar el electrodo así como la cantidad de acondicionador de tierra EP-TR que se debe agregar, para llegar a un valor de resistencia de tierra requerido, tal como se ilustra en la siguiente Tabla 4.1.

**Tabla 4.1 Tipificado del terreno dependiendo del valor de la resistividad**

Resistividad del terreno	Tipo de terreno	Diámetro de excavación en metros	Bultos de 50 kg de EP-TR por electrodo
Menor a 200Ω	A	0.6	4
Menor a 500Ω	B	1.2	12
Menor a 1000Ω	C	2	34

- e) Los valores de resistencia de la malla de tierras de cada sitio se apegaran a la Norma y especificación del Sistema de Tierra para el operador telefonico correspondiente. Tabla 4.2.

**Tabla 4.2 Resistencia de la malla de tierra de acuerdo al tipo de instalación.**

Tipo de Instalación	Resistencia "R" (ohms)
Edificio Urbano y URL's	≤5
Edificio Rural, RMO, RAM, RFO	≤25
Planta Externa	≤50
Subestaciones	de 250kVA y 34.5kV ≤ 25 si 250kVA y 34.5kV ≤10

#### 4.4.1 Instalación de la malla de tierras con electrodos Fe

- a) Realizar la excavación a dónde van los electrodos y la cepa para la trayectoria del cableado para la malla de tierras.
- b) Realizar el proceso de hincado de los electrodos tal como se describe en el 4.2.5 Tomando en cuenta que los electrodos van orientados con un ángulo recto con respecto a la directriz de los lados involucrados. Figura 4.15
- c) La trayectoria de la curva del cable de acero galvanizado de 5/8" debe ser lo más recta posible, admitiéndose desviaciones con radios de curvatura mínimo de 30.48 cm (1'), Figura 4.15.

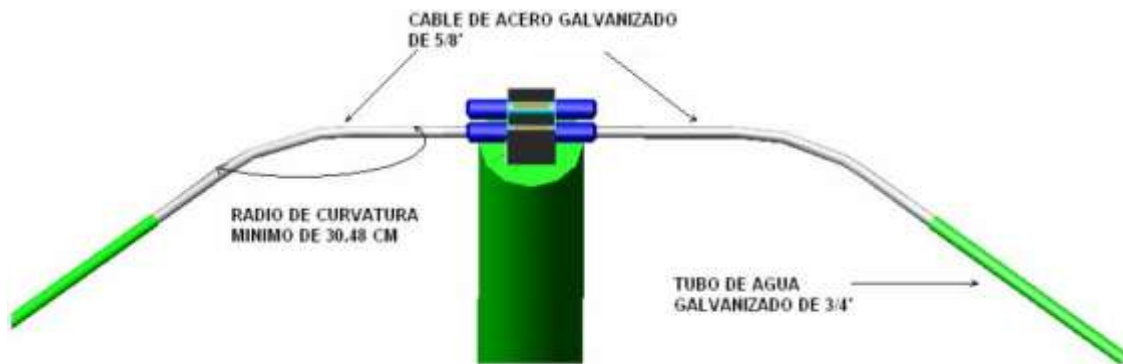


Figura 4.15 Conformado de malla con electrodo 380 Fe.

- d) Colocar el tubo galvanizado de  $\frac{3}{4}$ " sobre la cepa. En caso de llevar más de un tubo galvanizado por lado, se deben unir ambos con un cople de acero galvanizado de 1 pulgada por 5 cm de longitud.
- e) Soldar los tubos galvanizados de  $\frac{3}{4}$ " por toda su circunferencia antes de ser unidos a la malla de tierras, la unión de ambos tubos debe ser galvanizada en frío, sellada con resina Parres y cubierta con cinta auto-vulcanizada, figura 4.16

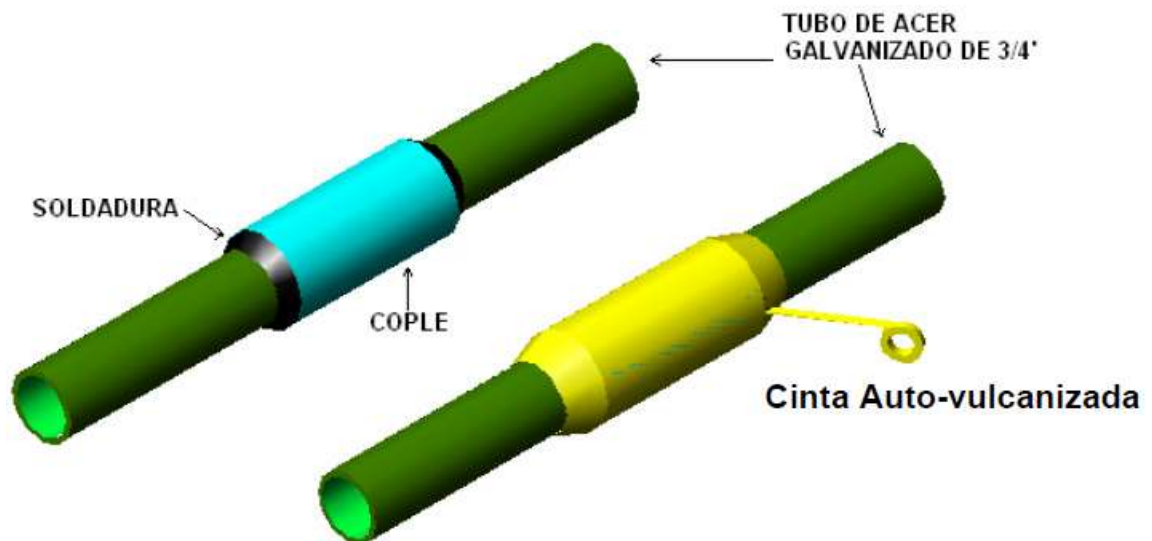


Figura 4.16 Unión de los tubos de acero galvanizado y aplicación de soldadura.

- f) Definir la longitud del cable por electrodo para realizar la conexión con el tubo galvanizado de  $\frac{3}{4}$ ", la longitud del cable no debe exceder un metro de longitud.
- g) Insertar el cable galvanizado de  $\frac{3}{4}$ " en las conexiones internas (con respecto al centro de la malla) del electrodo, de modo que queden dos colas de cable para preparar las conexiones con el tubo de acero galvanizado de  $\frac{3}{4}$  de pulgada en los extremos, posteriormente soldar, galvanizar en frío y aislar. (Ver incisos g, h, i, j del **punto 4.2 Procedimiento de instalación del pararrayos y su conexión a puesta a tierra**)

Las dos conexiones internas con respecto al centro de la malla, se interconectaran con el tubo galvanizado para la malla de tierras, dejando las exteriores para aterrizajes posteriores. Figura 4.17.

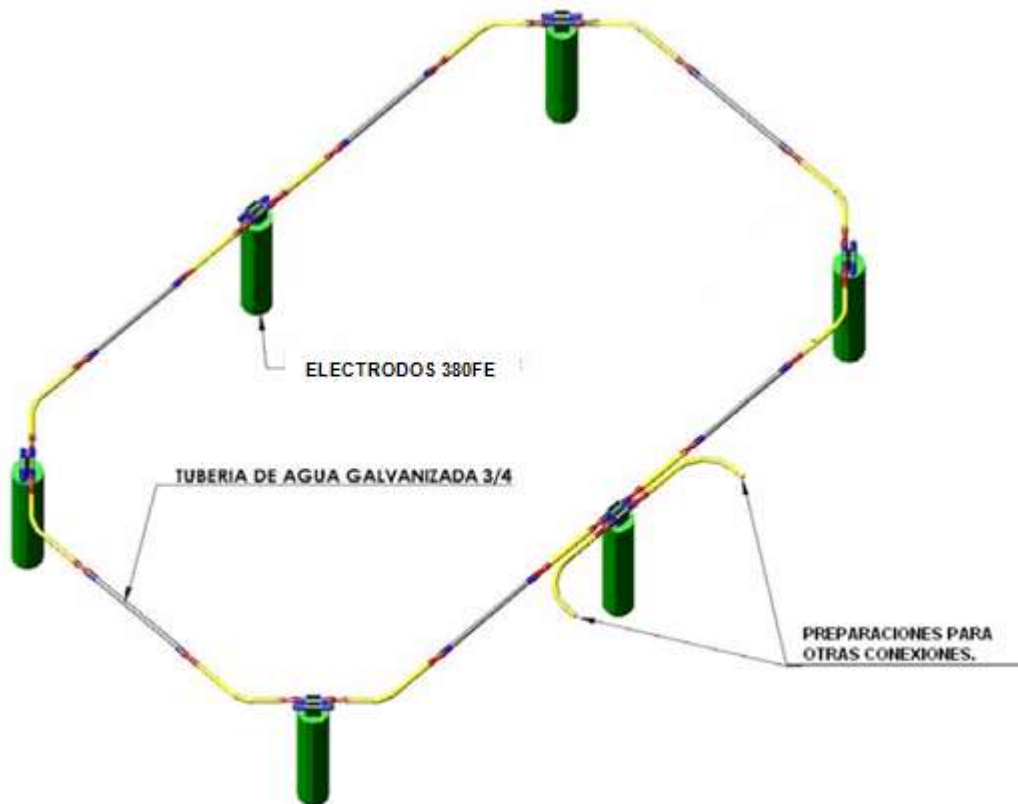


Figura 4.17 Conformado de malla con varios electrodos Parres 380 Fe.

#### **4.4.2.- Conexión del cable al tubo de acero galvanizado.**

- a) Realizar con el esmeril un par de cortes diametralmente opuestos en el tubo de acero galvanizado de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de 0.5 mm de ancho por 5 cm de largo.
- b) Quitar el forro al cable de acero 10 cm aproximadamente.
- c) Introducir el cable de acero dentro del tubo galvanizado por el lado en donde se realizaron los cortes.
- d) Presionar el tubo contra el cable.
- e) Soldar el cable de acero con el tubo galvanizado, por todo su perímetro con los cortes hechos en el paso.
- f) Retirar la escoria y limpiar con un cepillo de alambre,
- g) Galvanizar en frío toda el área donde aplico la soldadura.
- h) Aplicar resina en las zonas soldadas después de galvanizar en frío.
- i) Aplicar cinta auto-vulcanizada a manera de cubrir 3 pulgadas del cable de acero de  $\frac{5}{8}$  de pulgada y 3 pulgadas de tubo de acero galvanizado aproximadamente.

#### **4.5 Derivaciones de la malla de tierra**

- a) Conectar todas las estructuras metálicas como: camas de guías de onda, la torre, mástiles, equipos de aire acondicionado, portones, etc, a la malla de tierras, con la finalidad de conformar el plano de unión equipotencial, exigida para proteger al personal y a los equipos.
- b) Definir en el plano detallado del sistema de puesta a tierra, el número de electrodos, su ubicación, las trayectorias rectas que los interconectan y todas las derivaciones de la malla para la conexión de estructuras y la equipotencialidad en el sistema de tierras.
- c) Realizar la conexión de los electrodos como primera etapa y después las derivaciones para la conformación de la malla de tierras.

#### 4.5.1 Conexión de las derivaciones a la malla de tierras

- a) Medir la trayectoria que debe tener el cable de acero  $3/8$  de pulgada, para interconectar la malla al punto de aterrizaje, añadiendo 40 cm aproximadamente adicionales para las conexiones.
- b) Limar una ventana de 1.3 cm de ancho por 10 cm de longitud en el punto de conexión del cable de acero al tubo galvanizado de agua de  $3/4$  de pulgada y quitar las rebabas, asegurando que el área quede limpia y seca.
- c) Introducir el cable de acero sin aislamiento dentro de la ventana de conexión, dejando 20 cm aproximadamente adicionales dentro del tubo.

Figura 4.18.



Figura 3.18 Colocación del cable dentro del tubo de acero galvanizado

- d) Sujetar el cable de acero en paralelo al tubo galvanizado, verificando que la punta del cable este dentro del tubo 20 cm, posteriormente soldar alrededor de todo el perímetro de la ventana del tubo. Figura 4.19
- e) Retirar y cepillar la escoria, producto de la soldadura.



**Figura 4.19 Soldadura entre cable y tubo galvanizado.**

**f) Galvanizar en frío la soldadura. figura 4.20**



**Figura 4.20 Aplicación del galvanizado en frío a la soldadura cable tubo galvanizado**

**g) Sellar con resina Parres la superficie galvanizada. Figura 4.21.**



**Figura 4.21 Aplicación del Sellado de resina en la parte galvanizada.**

- h)** Aislar en forma independiente el cable y el tubo de acero de la parte más próxima a la soldadura, cubriendo uniformemente la parte soldada con cinta auto-vulcanizada. Figura 4.22 Con el proceso antes descrito la derivación de la malla está protegida



**Figura 4.22** Aislamiento del cable y el tubo galvanizado.

#### **4.5.2 Conexión del otro extremo del cable aislado para realizar la unión a la estructura.**

- a)** Después de colocar el cable por toda la trayectoria para unir la malla, se debe fijar el cable, para evitar accidentes al personal.
- b)** Mostrar la cola de cable sobre la superficie a soldar en cada extremo que se va a realizar la unión y verificar que no se tengan trayectorias con curvas menores a 30.48 cm
- c)** Colocar por fuera del cable de 3/8 pulgada, un tramo de funda termocontráctil color negro (para cable de 8 a 2 AWG) de 5 cm de longitud aproximadamente.
- d)** Limpiar la superficie que se va a soldar y el cable de cualquier escoria, óxido y pintura.
- e)** Colocar el cable de acero desnudo sobre la superficie a unir, con una longitud mínima de contacto de 7 cm y aplicar la soldadura en todo el perímetro del cable, con un cordón continuo y de 0.9 cm aproximadamente de espesor.



- f) Limpiar y retirar de escoria la soldadura.
- g) Galvanizar en frío la superficie de la unión soldada.
- h) Correr el tramo de funda termocontráctil y aplicar calor de forma homogénea, hasta obtener un sellado de la soldadura al cable uniendo el aislamiento transparente del cable.
- i) Aplicar resina de sellado, por arriba del galvanizado y en la parte superior de la funda termocontráctil, evitando así la entrada de agua por dentro del aislamiento Figura 4.23.
- j) Pintar o dejar el terminado de la superficie del mismo color que tenía originalmente, el aislamiento del cable no se debe pintar, con la finalidad de que se note a simple vista que es acero y no cobre.

Todo objeto metálico como lo son postes de las luminarias, postes de malla ciclónica y las patas de la torres, se conectaran a tierra mediante este método, a excepción de los equipos de aire acondicionado se aterrizaran utilizando una zapara ponchable, doble ojillo cañón largo para cable calibre 6 AWG.

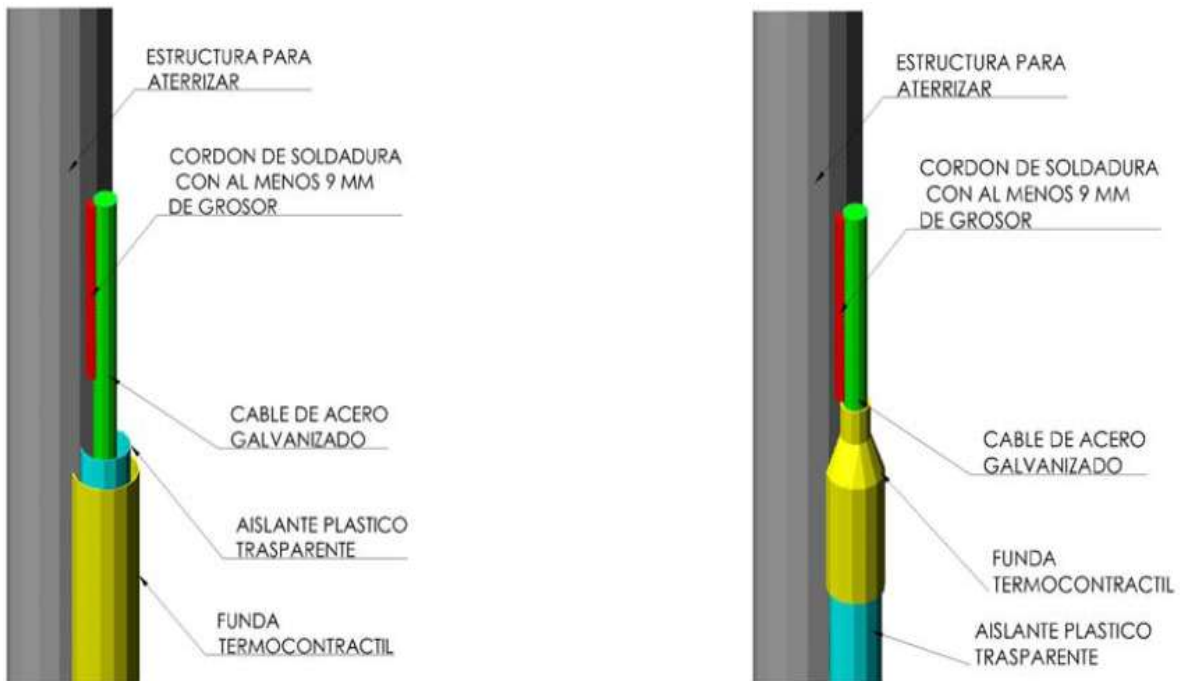


Figura 4.23 Soldado del cable de acero galvanizado y la estructura.

## 4.6 Instalación de barras de acero BT-2G 12C en torre

### 4.6.1 Armado y fijación de barras de tierra BT-2G 12C

Las barras de tierras “BT-2G 12C”, están diseñadas para sustituir las barras de cobre actuales, su diseño presenta grandes beneficios por su tipo de materiales, tiempo de vida, facilidad de instalación, aprovechamiento de los espacios, pero sobre todo, son elementos difíciles de hurtar, incluyendo los aisladores “AB-2G”, acrílico de seguridad, opresores y tornillería de fijación. La configuración de la barra BT-2G-12C es la siguiente.

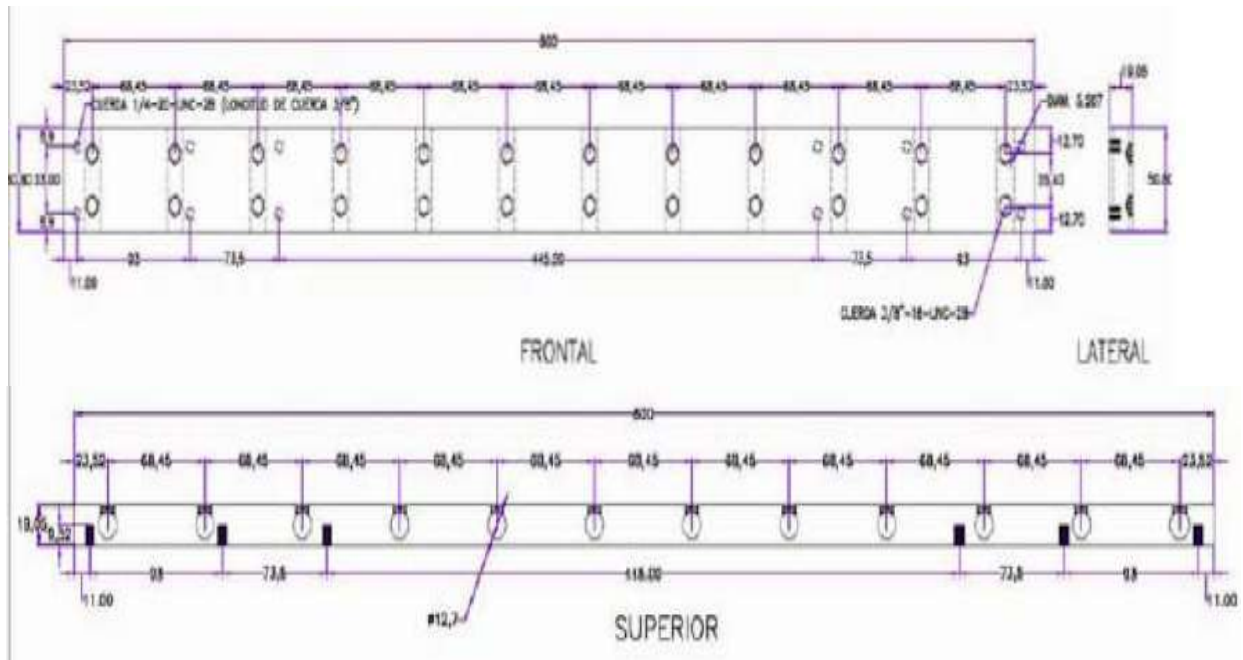


Figura 4.24 barras de tierras “BT-2G 12C

- La especificación de la barra de acero BT-2G 12C debe medir 800mm de largo, 50.8 mm de ancho y 19.05 mm de espesor, prebarrenada con 12 orificios de 12.7 mm de diámetro para cable de 3/8 de pulgada.
- La especificación de las barras de acero BT2G5C debe medir 120.5 mm de largo, 50.8 mm de ancho y 25.4 mm de espesor, prebarrenada con 5 orificios de 12.7 mm de diámetro para cable de 3/8.

- c) La especificación de las barras de acero BT2G8C debe medir 245.00 mm de largo, 50.8 mm de ancho y 25.4 mm de espesor, prebarrenada con 8 orificios de 12.7 mm de diámetro para cable de 3/8.
- d) La especificación de las barras de acero BT2G516C debe medir 120.5 mm de largo 101.6 mm de ancho y 19.05 mm de espesor, prebarrenada con 16 orificios de 12.7 mm de diámetro para cable de 3/8.
- e) Los aisladores de las barras de acero BT2G5C y BT2G8C ya vienen colocados listas para ser fijadas. Para las barras BT2G16C, BT2G9C y BT2G12C, sus aisladores se deslizan a la altura necesaria para su fijación dependiendo la distancia entre los barrotes donde se sujetara. Figura 4.25

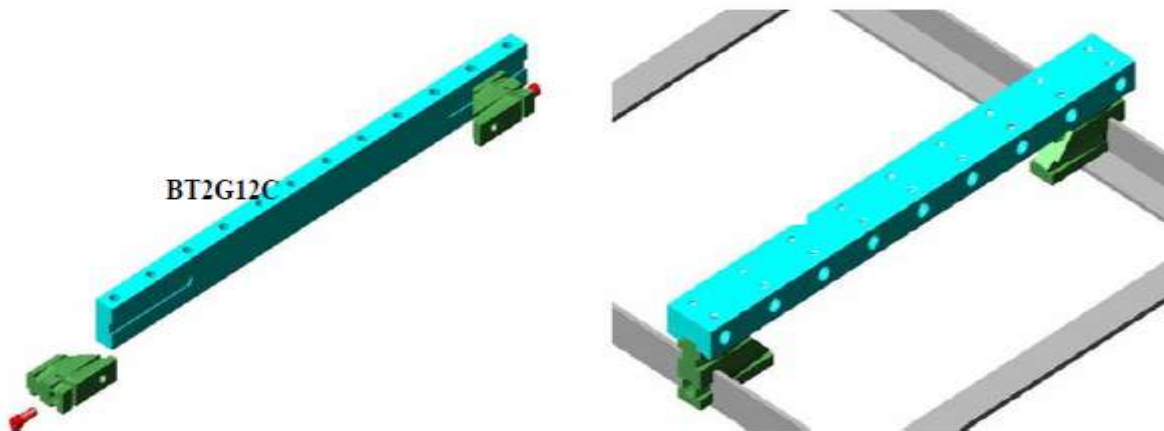


Figura 4.25 Barras de acero galvanizado BT2G12C con aisladores deslizables.

- f) En todas las torres de Telmex se deben instalar barras de acero BT-2G-12C
- g) El cable que interconecta a cada una de la barras deben bajar por el centro de la barra.
- h) Los cables de puesta a tierra se deben instalar en los orificios designados en la barra de acero y apretarlos mecánicamente con dos opresores tipo Allen de ¼ de pulgada, con un torque de 10 lbs-pie por conexión. (Nota: si las conexiones a aterrizar cuentan con terminales ponchables, cortarlas e insertar el cable desnudo en los orificios de las barras). Figura 4.26.
- i) Después de apretar cada conexión en la barra de acero, se deben tapan los opresores, los orificios de fijación del aislador y las tuercas con resina.

j) Tapar los orificios donde se insertó el cable vertical con silicón.

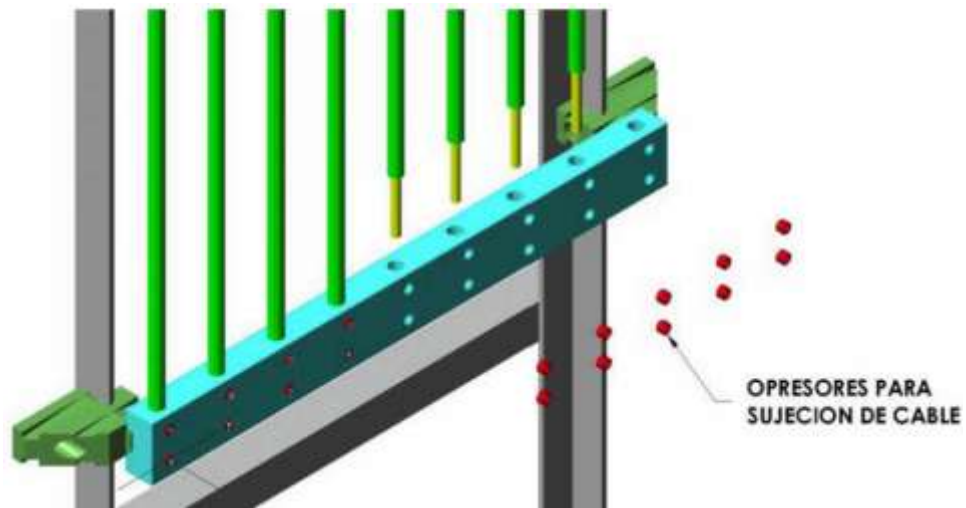


Figura 4.26 Conexión de los cableados en las barras de acero galvanizado BT2G12C.

k) Después de terminar estos pasos, se aplica silicón al frente de la barra tratando de formar una capa de este y se pega el acrílico de la misma dimensión del frente de la barra. Figura 4.27.

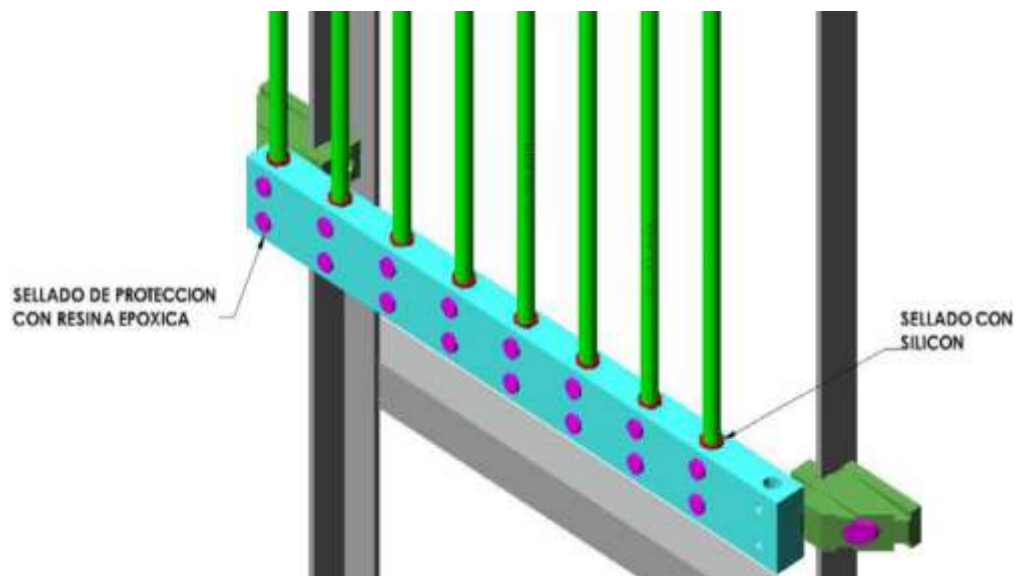


Figura 4.27 Conexión de los cableados en las barras de acero galvanizado BT2G9C

- l) Pintar el acrílico de un color similar a la torre,
- m) Fijar a la estructura de la torre con aisladores el cable de 3/8 de pulgada que se utiliza como bajante del pararrayos.
- n) Interconectar las barras de las torres BT2G12C, con cable 3/8 de pulgada y sujetarla con los opresores tipo Allen de ¼ de pulgada y con un Torque de 10 libras. Ver punto 4.5 Derivaciones de la Malla de Tierra.
- o) Instalar mínimo 4 barras BT2G12C de 12 conexiones en la torre dependiendo del proyecto, las cuales se ubicaran de la siguiente manera.
- Dos barras se instalaran lo más cercano a los equipos instalados en la torre.
  - Una barra más se instalara en cualquier cambio de dirección de vertical a horizontal.
  - La cuarta barra se instalara en la parte exterior de la caseta.
  - Las guías de onda que no se encuentren aterrizadas deberán ser aterrizadas con el kit de aterrizamiento
  - En caso de tener una torre con retenidas, estas deberán ser aterrizadas mediante el uso de conectores tipo C de aluminio para calibres 2/0 a 1/0. Figura 4.28.

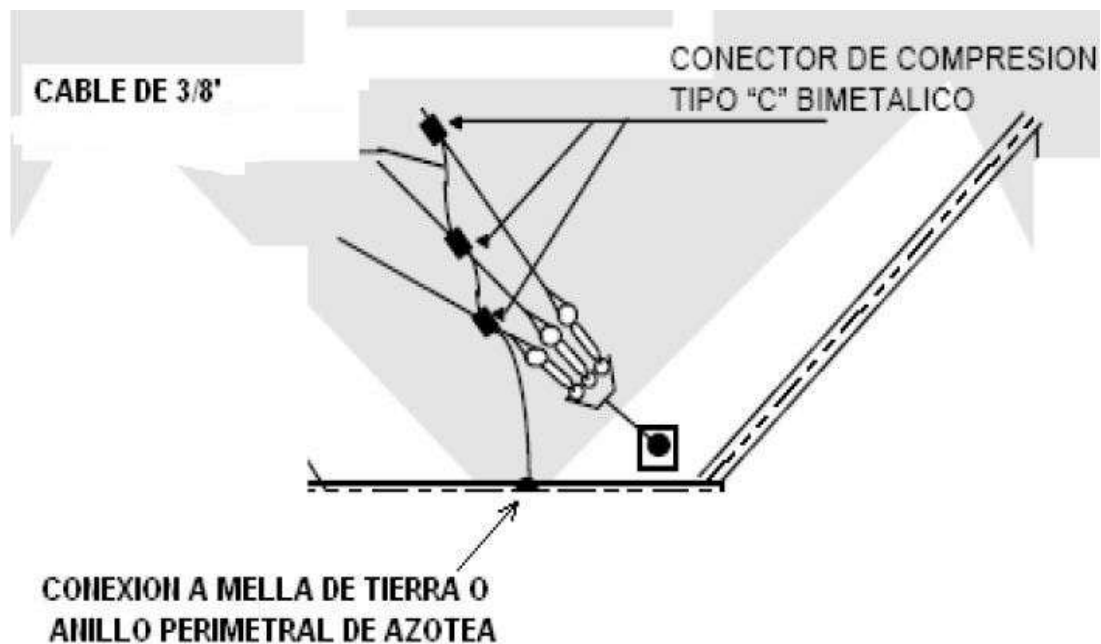


Figura 4.28 Aterrizamiento de una torre de retenidas con conectores de aluminio. 107

## 4.7 Conexiones del sistema de tierra en interiores.

### 4.7.1 En salas ubicadas en el interior de los sitios, se instalará un solo tipo de barra.

- a) La barra BTP debe estar sujeta a muro por de dos aisladores “AB-2G”, con tornillo 1/2” y taquete expansor de 1/2 pulgada, el orificio debe ser sellado con resina después de ser instalada la barra BTP. Figura 4.29.
- b) La especificación de la barra Parres BTP debe tener una longitud de 590.55 mm de longitud, 50.8 mm de ancho y 31.75 mm de espesor, prebarrenada con 9 barrenos de 7/16” para cable de 5/8” y 12 barrenos de 9/16” para cable de 3/8”. Los opresores tipo Allen de deben ser apretados a un con un torque de 10 libras-pie.

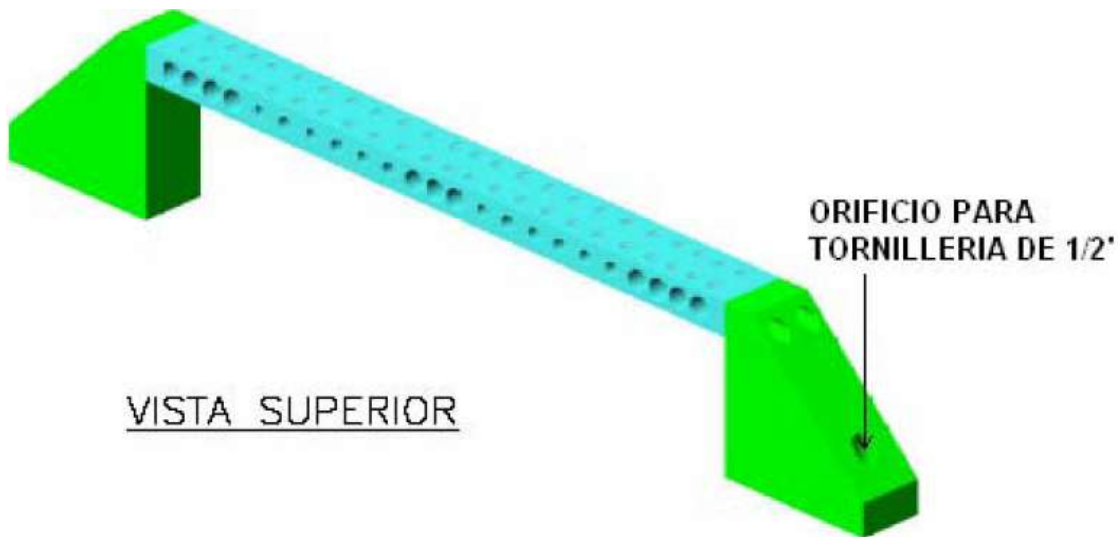


Figura 4.29 Vista superior de la Barra de Tierra BTP.

- c) Esta barra debe cumplir la función de una barra BTPP o barra BTP. En caso de necesitar más conexiones se podrá hacer arreglos con dos o más barras con la finalidad de obtener más espacios de conexión. Figura 4.30

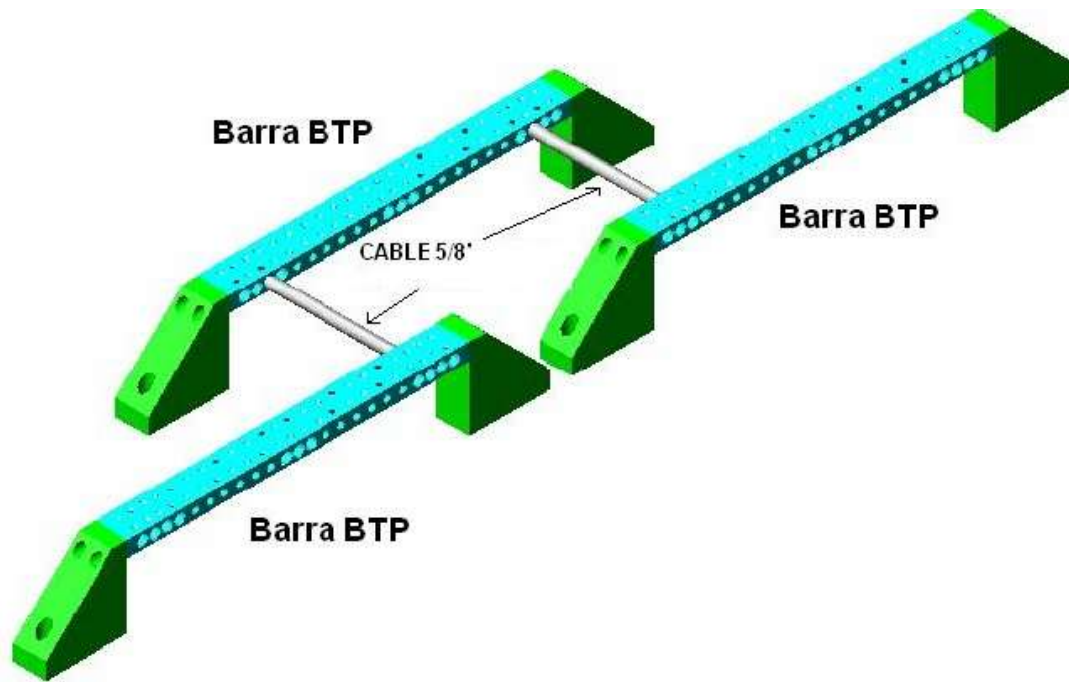


Figura 4.30 Interconexión de las Barras de Tierra BTP o BTPP en caso de requerir más conexiones.

#### 4.8 Aislador para cable vertical.

- a) El cable vertical instalado en un sitio del operador telefonico, se formara por un arreglo de 1 a 3 cables de 5/8 de pulgadas según lo indique la tabla 4.3

Tabla 4.3 Equivalencias entre cables de cobre y acero.

Calibre en cobre AWG	Calibre equivalente en Acero
12 a 7	3/16'
6 a 5	1/4'
4 a 3	5/16'
2 a 1	3/8
1/0	7/16'
2/0	5/8'
750 MCM	3 X 5/8'

- b)** El cable vertical nunca debe ser sujetado directamente al muro.
- c)** Fijar el Cable Vertical a través del aislador que cuenta con un orificio para que sea fijado al muro con tornillo y taquete expansor de 5/8 pulgadas.
- d)** Cuando se instale un cable vertical de 5/8 de pulgadas Parres by Condumex, se utilizara un solo aislador, en caso de requerir de 2 cables se necesitaran 2 aisladores. Figura 4.31
- e)** Los cables deben sujetarse al aislador mediante hilo cáñamo encerado.



**Figura 4.31** Instalación del cable vertical.

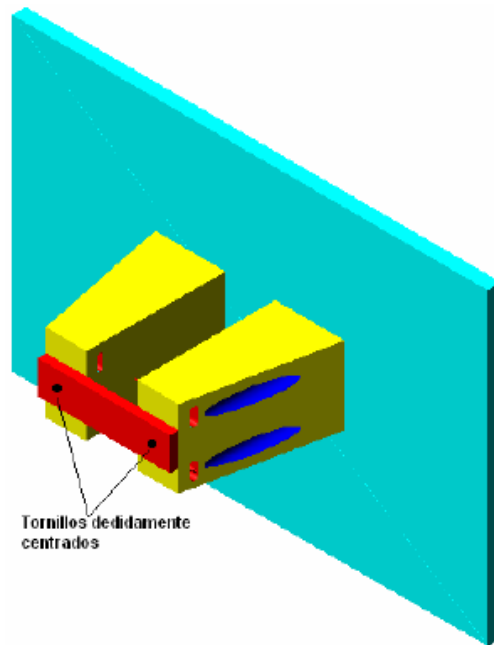
- f)** Las dimensiones de los aisladores para cable vertical son de 100 mm de alto, 51 mm de base mayor, 32 mm de base menor y 50.88 mm de ancho. Ver figura 4.31
- g)** Los aisladores tendrán una separación máxima de 80 cm uno de otro. Figura 4.32



**Figura 4.32** Separación en la instalación de aisladores en el cable vertical.



- h) Cuando se utilicen 3 cables verticales y 2 aisladores, estos últimos se fijaran al muro a la misma altura, con una separación entre ellos de 2 pulgadas.
- i) Instalar una solera entre ambos aisladores de 1 pulgada de ancho x 4 pulgadas de largo y  $\frac{1}{4}$  pulgada de espesor, esta solera será fijada por medio de tornillos de  $\frac{1}{4}$  x 1" de cabeza plana, sujetando los tres cables de  $\frac{5}{8}$  pulgada con hilo cáñamo encerado. Figura 4.33



**Figura 4.33** Instalación de los aisladores para cuando se instalen tres cables verticales.

- j) El cable de acero galvanizado del Sistema Parres By Condumex tiene una equivalencia con los sistemas en cobre, para seleccionar un calibre de cable de acero Parres by Condumex, se apegara de acuerdo a la norma de Telmex Vigente respetando las equivalencias de la Tabla 2.3, página 109 (Los calibres de cable de acero en la tabla 2.3 son los mínimos recomendados.) Por ejemplo para el cable 750 KCM se debe utilizar un arreglo de 3 cables de  $\frac{5}{8}$ .

k) La aplicación de esta tabla es la siguiente.

- De la malla de tierra a la barra BTPP se utilizara cable de 5/8 pulgada'
- De la barra BTPP a la barra BTP se utilizara cable de 5/8 pulgada
- El cable de puesta a tierra de los equipos de transmisión será de 3/8 pulgada
- El cable de puesta a tierra de los equipos de transmisión será de ¼ pulgada.
- En salas interiores para las conexiones de puesta a tierra no se debe utilizar ningún tipo de soldadura solo zapatas doble ajillo cañón largo y conectores tipo C de aluminio para calibre 1/0 a 2/0a comprensión.

**Tabla 2.4 Zapatas que se deben utilizar para aterrizar los cables de tierra en interiores.**

Calibre equivalente en Acero	Zapata ponchable a utilizar
¼'	Cal.3
3/8'	2/0
5/8	300

l) En la tabla anterior se describe el calibre de zapata que comercialmente se utiliza.

m) Todo el cableado debe respetar los radios de curvatura, canalización y sujeción recomendados en la

- Norma y Especificación del sistema de Tierra para operador telefonico, S.A. de C.V., Ref: TMX/N/XI/95/0003, Rev: "B", Fecha: 95.06.26.

#### 4.9 Conexiones en los anillos exteriores

- a) En los sitios de radiobase que se requiera la instalación de un anillo exterior, se debe instalar con un arreglo de tubería de acero galvanizado de  $\frac{1}{2}$  pulgada, cable de  $\frac{3}{8}$  de pulgada y aisladores AB2G. Este anillo debe ser instalado a 10 cm hacia el interior con respecto a la orilla de la azotea.
- b) El proceso de instalación del anillo exterior es muy similar a la instalación de la malla de tierras, es decir la partes rectas se instalaran con tubo de  $\frac{1}{2}$  pulgada y los tramos curvos con cable de  $\frac{3}{8}$  de pulgada
- c) Los tubos de acero galvanizado descansaran sobre aisladores AB2G, separados uno del otro a una distancia máxima de 3 m. Figura 4.34

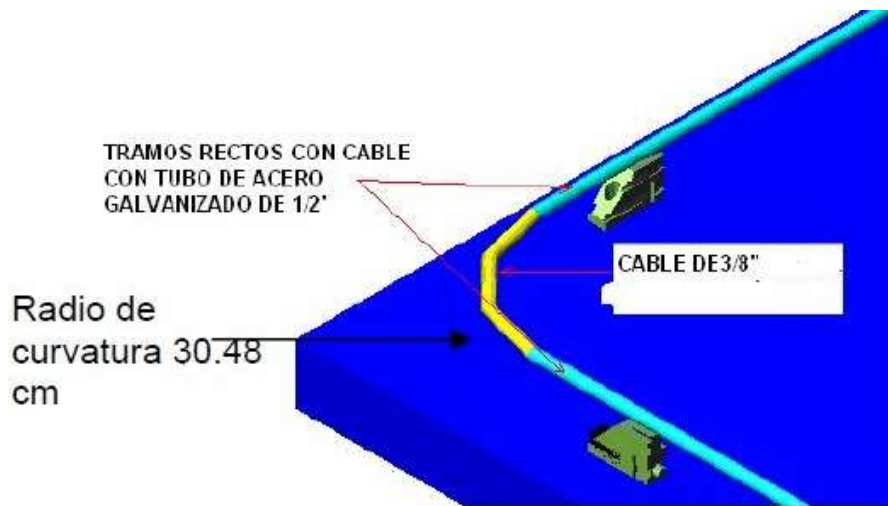


Figura 4.34 Instalación de tubo galvanizado y cable de acero de 3/8 pulgada.

- d) Instalar una barra de 12 conexiones (dependiendo del proyecto) para aterrizar los equipos de la azotea, la cual se conectara con cable de  $\frac{3}{8}$  de pulgada sujetado mecánicamente con zapata ponchable para cable calibre 2/0 con un torque de 10 libras-pie, y estará ubicada cerca de los equipos para que se conecten a tierra con las trayectorias más cortas. Figura 4.35.

- e) En caso de existir obstáculos en la trayectoria del anillo exterior que impidan llevar tramos rectos, deberán ser librados con cable de acero de 3/8 Parres by Condumex. Figura 4.36.
- f) El número de bajantes de este arreglo se apegara a la
- **Norma y Especificación del sistema de Tierra para la planta de operador telefonico, S.A. de C.V., Ref: TMX/N/XI/95/0003, Rev: “B”, Fecha: 95.06.26.**

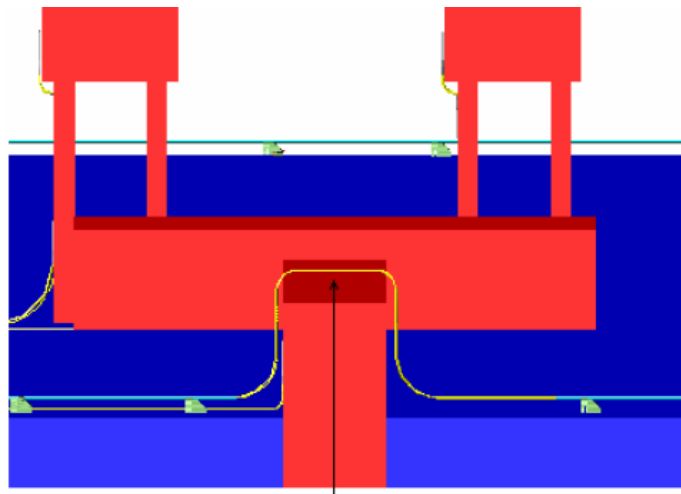


Figura 4.36 Trayectorias del cableado cuando existan obstáculos en la azotea.

- g) En caso de tener torre en la azotea debe conectarse al anillo perimetral con cable de 3/8 de pulgada, y su bajante del pararrayos debe ser con cable de 5/8 de pulgada

**Toda instalación del Sistema de Tierra de acero galvanizado que este fuera de lo especificado en esta norma debe ser consultada y resuelta por la Gerencia de Evaluación y Soporte Técnico a redes de Transporte.**

## CONCLUSIONES

La puesta a tierra requiere un conocimiento de la resistividad del suelo, el efecto de los electrodos y el efecto del ambiente en la resistividad. Estas características determinan el diseño de la puesta a tierra para obtener la resistencia a tierra como “objetivo”. En general, aumentar la humedad y el contenido de sal del suelo disminuirá su resistividad. Sin embargo, bajar la temperatura del ambiente, por ejemplo, a 0 °C aumentará su resistividad.

Hay varios tipos de métodos de puesta a tierra como placas, pozos, cimientos Ufer, jabalinas clavadas y tubos electrolíticos, que ofrecerán varios elementos para elaborar un sistema de puesta a tierra. Los tubos electrolíticos tienen una ventaja de producir sus propios electrolitos, ya que la humedad es absorbida por la sal en el tubo. Los electrolitos entonces “lloran” fuera de la parte inferior, creando raíces electrolíticas que disminuyen la resistencia del sistema de tierra.

El primer paso en el diseño de cualquier puesta a tierra es obtener información sobre la resistividad de suelo exacta. Segundo, es necesario determinar que configuración de puesta a tierra logrará la resistencia específica en el área de instalación. Esto puede determinarse usando las formular (estándar 142 IEEE, Libro Verde). Si la resistencia como objetivo de la tierra no es lograda, es necesario usar múltiples varillas, placas, tubos electrolíticos u otro arreglo. Es recomendado el uso de un software de computadora para determinar la configuración de puesta a tierra.

Es recomendado que todos los ingenieros, constructores, y directivos empleen una firma especializada en sistemas de puesta a tierra y con una historia de experiencia probada y verificable. La puesta a tierra es un proceso científico y uno en que la protección de equipo y la seguridad humana son dependientes críticamente.

## **Anexo 1**

### **ARTICULO 250-PUESTA A TIERRA**

NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (utilización).

**(c) Derivaciones del alimentador al exterior.** Se permite que los conductores exteriores se deriven de un alimentador o estén conectados a un secundario del transformador, sin protección contra sobrecorriente en la derivación o conexión, si se cumplen en su totalidad las condiciones siguientes:

- (1) Los conductores están protegidos adecuadamente contra daño físico.
- (2) La suma de los dispositivos de sobrecorriente en el extremo final del conductor limita la carga a la capacidad de corriente del conductor. Los dispositivos de sobrecorriente deben constar de un máximo de seis interruptores automáticos o juegos de fusibles, montados en un solo encerramiento, en un grupo de encerramientos separados o en un tablero de distribución. No debe haber más de seis dispositivos de sobrecorriente agrupados en un solo sitio.
- (3) Los conductores de derivación están instalados en el exterior, excepto en el punto de terminación.
- (4) El dispositivo de protección contra sobrecorriente de los conductores es parte integral de un medio de desconexión o debe ubicarse inmediatamente adyacente a él.
- (5) El medio de desconexión para los conductores está instalado en un lugar de fácil acceso, ya sea en el exterior de la edificación o de la estructura o en el interior, lo más cerca del punto de entrada de los conductores.

#### I. Protección contra sobrecorriente a más de 600 V nominales

**240-100. Alimentadores.** Los alimentadores deben tener un dispositivo de protección contra cortocircuito en cada conductor de fase o cumplir el Artículo 710, Parte C. El equipo utilizado para proteger los conductores de suministro debe cumplir los requisitos indicados en 710-20 y 710-21. El dispositivo o dispositivos de protección deben ser capaces de detectar e interrumpir corrientes eléctricas de todos los valores que se puedan producir en la instalación por encima de su ajuste de disparo o punto de fusión. En ningún caso la capacidad de corriente eléctrica nominal continua del fusible debe ser mayor que tres veces la capacidad de conducción de corriente del conductor. El ajuste del elemento de disparo con retardo de tiempo de un interruptor o el mínimo ajuste de disparo de un fusible accionado electrónicamente, no debe ser mayor que seis veces la capacidad de conducción de corriente del conductor.

**Excepción:** Véase 695-3, excepciones 1 y 2.

Se permite que los conductores en derivación de un alimentador sean protegidos por el dispositivo de sobrecorriente del alimentador cuando dicho dispositivo proteja también a los conductores en derivación.

**NOTA:** Deben coordinarse el tiempo de funcionamiento del dispositivo protector, la corriente eléctrica de cortocircuito y el conductor utilizado, para evitar daños o temperaturas peligrosas en los conductores o a su aislamiento si se produjera un cortocircuito.

**240-101. Circuitos derivados.** Los circuitos derivados deben tener un dispositivo protector contra cortocircuito en cada conductor de fase o cumplir lo indicado en el Artículo 710, Parte B. El equipo utilizado para proteger los conductores de suministro debe cumplir los requisitos establecidos en 710-20 y 710-21. El dispositivo o dispositivos de protección deben ser capaces de detectar e interrumpir corrientes eléctricas de todos los valores que se puedan producir en la instalación por encima de su ajuste de disparo o punto de fusión.

### ARTICULO 250-PUESTA A TIERRA

#### A. Disposiciones generales

**250-1. Alcance.** Este Artículo cubre los requisitos generales para la unión y la puesta a tierra en las instalaciones eléctricas y, además, los requisitos específicos que se indican a continuación:

- a) En sistemas, circuitos y equipos en los que se exige, se permite o donde no se permite que estén puestos a tierra.
- b) El conductor del circuito que es puesto a tierra en sistemas puestos a tierra.
- c) Ubicación de las conexiones de puesta a tierra.
- d) Tipos y tamaños nominales de los conductores de unión, de puesta a tierra y de los electrodos de puesta a tierra.
- e) Método de unión y de puesta a tierra.
- f) Condiciones en las que se puede sustituir a los resguardos, separaciones o aislamiento por la puesta a tierra.

**NOTA 1:** Los sistemas y los conductores de circuito son puestos a tierra para limitar las sobretensiones eléctricas debidas a descargas atmosféricas, transitorios en la red o contacto accidental con líneas de alta tensión, y para estabilizar la tensión eléctrica a tierra durante su funcionamiento normal. Los conductores de

puesta a tierra del equipo se unen al conductor puesto a tierra del sistema para que ofrezcan un camino de baja impedancia para las corrientes eléctricas de falla, y que faciliten el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en caso de falla a tierra.

**NOTA 2:** Los materiales conductores que rodean a conductores o equipo eléctricos o que forman parte de dicho equipo, son puestos a tierra para limitar la tensión a tierra de esos materiales y para facilitar el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en caso de falla a tierra. Véase 110-10.

**250-2. Aplicación de otros Artículos.** En otros Artículos relativos a casos particulares de instalación de conductores y equipo, hay otros requisitos adicionales a los de este Artículo o que modifican a los mismos:

	Artículo	Sección
Acometidas	230	
Albercas, fuentes e instalaciones similares	680	
Anuncios luminosos y alumbrado de realce	600	
Antenas de televisión comunitarias y sistemas de distribución de radio		820-33, 820-40
Aparatos eléctricos		422-16
Aparatos eléctricos y equipo de alumbrado		410-17, 410-18, 410-19, 410-21, 410-105(b)
Áreas peligrosas (clasificadas)	500-517	
Cables y cordones flexibles		400-22, 400-23
Canalizaciones prealumbradas		365-9
Capacitores		460-10, 460-27
Casas móviles, casas prefabricadas y sus estacionamientos	550	
Celdas electrolíticas	668	
Circuitos Clase 1, Clase 2 y Clase 3 para control remoto, señalización y de potencia limitada		725-6
Circuitos de comunicación	800	
Circuitos derivados		210-5, 210-6, 210-7
Circuitos y equipos que operan a menos de 50 V		
Conductores para alambrado en general	720 310	
Construcciones agrícolas		547-8
Construcciones flotantes		553-8, 553-10, 553-11
Desconectores		380-12
Elevadores, montacargas, escaleras eléctricas y pasillos móviles, escaleras y elevadores para sillas de ruedas	620	
Equipos de acometida	665	230-63 427-21, 427-29
Equipos de calentamiento por inducción y por pérdidas dieléctricas		427-48,
Equipo eléctrico fijo para calentamiento de tuberías y recipientes		426-27
Equipo eléctrico fijo para descongelar y derretir nieve		424-14
Equipo eléctrico fijo para calefacción de ambiente		640-4
Equipos de grabación de sonido y similares		645-15
Equipos de procesamiento de datos y de cómputo electrónico		
Equipos de radio y televisión	810	
Equipos de rayos X	660	517-78
Estudios de cine, televisión y lugares similares		530-20, 530-66
Grúas y polipastos	610	
Instalaciones en lugares de atención de la salud	517	
Equipos que operan a tensiones eléctricas nominales mayores de 600 V		
Maquinaria industrial	670	
Máquinas de riego operadas o controladas eléctricamente		710-4(b)(1)



Marinas y muelles		675-11(c), 675-12, 675-13, 675-14 675-15 555-7
Motores, circuitos de motores y sus controladores	430	
Organos tubulares	650	
Tableros de distribución y tableros de alumbrado y control		384-20
Luminarios, portalámparas, lámparas y receptáculos		410-58, 210-7
Salidas, dispositivos, cajas de jalado y de empalmes, cajas de paso y accesorios		370-4, 370-25 780-3
Sistemas de distribución programada		504-50
Sistemas intrínsecamente seguros		760-6
Sistemas de señalización para protección contra incendios		690-41, 690-42, 690-43, 690-45
Sistemas solares fotovoltaicos		690-44
Tableros de distribución y tableros de alumbrado y control		384-3(d), 384-11
Teatros, áreas de audiencia en cines y estudios de televisión y lugares similares		520-81
Transformadores y bóvedas de transformadores		450-10
Uso e identificación de los conductores puestos a tierra	200	
Vehículos de recreo y sus estacionamientos	551	

### B. Puesta a tierra de circuitos y sistemas eléctricos

#### 250-3. Sistemas de corriente eléctrica continua (c.c.)

**a) Sistemas de corriente eléctrica continua de dos conductores.** Los sistemas de c.c. de dos conductores que suministren energía al sistema de alambrado de usuarios, deben estar puestos a tierra.

**Excepción 1:** Un sistema equipado con un detector de falla a tierra y que suministre energía sólo a equipos industriales en zonas limitadas.

**Excepción 2:** Un sistema que funcione a 50 V o menos entre conductores.

**Excepción 3:** Un sistema que funcione a más de 300 V entre conductores.

**Excepción 4:** Un sistema de c.c. derivado de un rectificador y alimentado desde un sistema de c.a. que cumpla con 250-5.

**Excepción 5:** Los circuitos de c.c. de alarma contra incendios con una corriente eléctrica máxima de 0,030 A, como se especifica en el Artículo 760 Parte C.

**b) Sistemas de corriente eléctrica continua de tres conductores.** El conductor neutro de todos los sistemas de c.c. de tres conductores que suministren energía al sistema de alambrado de usuarios debe ser puesto a tierra.

**250-5. Sistemas y circuitos de c.a. que deben ser puestos a tierra.** Los sistemas y circuitos de c.a. deben ser puestos a tierra, según se establece en los siguientes incisos:

**NOTA:** Un ejemplo de un sistema que puede ser puesto a tierra es una conexión en delta del transformador con un vértice puesto a tierra. Para el conductor que debe ser puesto a tierra, véase 250-25 (4).

**a) Circuitos de c.a. de menos de 50 V.** Los circuitos de corriente alterna de menos de 50 V se deben poner a tierra en cualquiera de las siguientes circunstancias:

**1)** Cuando estén alimentados por transformadores, si el sistema de suministro del transformador excede de 150 V a tierra.

**2)** Cuando estén alimentados por transformadores si el sistema que alimenta al transformador no está puesto a tierra.

**3)** Cuando estén instalados como conductores aéreos fuera de los inmuebles.

**b) Sistemas de c.a. de 50 V a 1 000 V.** Los sistemas de corriente alterna de 50 V a 1 000 V que suministren energía a instalaciones y a sistemas de alambrado de usuarios, deben estar puestos a tierra en cualquiera de las siguientes circunstancias:

1) Cuando el sistema puede ser puesto a tierra de modo que la tensión eléctrica máxima a tierra de los conductores no puestos a tierra no exceda 150 V.

2) Cuando en un sistema de tres fases y cuatro conductores conectado en estrella el neutro se utilice como conductor del circuito.

3) Cuando en un sistema de tres fases y cuatro conductores conectado en delta el punto medio del devanado de una fase se utilice como conductor del circuito.

4) Cuando un conductor de acometida puesto a tierra no esté aislado, según las excepciones de 230-22, 230-30 y 230-41.

**Excepción 1:** Los sistemas eléctricos usados exclusivamente para suministrar energía a hornos eléctricos industriales para fundición, refinado, templado y usos similares.

**Excepción 2:** Los sistemas derivados separadamente utilizados exclusivamente para rectificadores que alimenten sólo a motores industriales de velocidad variable.

**Excepción 3:** Los sistemas derivados separadamente alimentados por transformadores cuya tensión eléctrica nominal del primario sea inferior a 1 000 V, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

a. Que el sistema se use exclusivamente para circuitos de control.

b. Que las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que sólo personas calificadas atienden la instalación.

c. Que haya continuidad de la energía en el control.

d. Que tengan instalados detectores de falla a tierra en el sistema de control.

**Excepción 4:** Los sistemas aislados, tal como lo permiten los Artículos 517 y 668.

**NOTA:** El uso de detectores de falla a tierra adecuados en sistemas no puestos a tierra, puede ofrecer mayor protección.

**Excepción 5:** Los sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia en la que la impedancia puesta a tierra, generalmente una resistencia, limite al mínimo el valor de la corriente eléctrica de falla a tierra. Se permiten sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia en instalaciones trifásicas de corriente alterna de 480 V a 1 000 V, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

a. Que las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que sólo personas calificadas atienden la instalación.

b. Que se requiera continuidad en la energía.

c. Que se instalen detectores de falla a tierra en el sistema.

d. Que el sistema no alimente cargas de línea a neutro.

**c) Sistemas de corriente alterna de 1 kV y más.** Los sistemas de c.a. que suministren energía a equipos móviles o portátiles, deben ser puestos a tierra como se especifica en 250-154. Si suministra energía a otros equipos que no sean portátiles, se permite que tales sistemas sean puestos a tierra. Cuando esos sistemas estén puestos a tierra, deben cumplir las disposiciones de este Artículo que les sean aplicables.

**d) Sistemas derivados separadamente.** Un sistema de alambrado de usuario cuya alimentación se deriva de los devanados de un generador, transformador o convertidor y no tenga conexión eléctrica directa, incluyendo un conductor del circuito sólidamente puesto a tierra, para alimentar conductores que se originan en otro sistema, sí debe ser puesto a tierra según lo anteriormente indicado en (a) o (b). Debe ser puesto a tierra como se indica en 250-26.

**NOTA 1:** Una fuente alterna de energía de corriente alterna, por ejemplo un generador, no es un sistema derivado separadamente si el neutro está sólidamente interconectado al neutro de la instalación que parte de una acometida.

**NOTA 2:** Para los sistemas que no son derivados separadamente y que no se exige que estén puestos a tierra como se especifica en 250-26, véase en 445-5 el tamaño nominal mínimo de los conductores que deben transportar la corriente eléctrica de falla.

#### **250-6. Generadores portátiles y montados en vehículos**

**a) Generadores portátiles.** No se exige que el armazón de un generador portátil sea puesto a tierra, y sí se permite que sirva como electrodo de puesta a tierra de una instalación alimentada por el generador, con las siguientes condiciones:

1) Que el generador alimente sólo al equipo montado en el propio generador o al equipo conectado a través de cordón y clavija en receptáculos montados en el generador, o ambas cosas.

2) Que las partes metálicas no conductoras del equipo y el conductor de puesta a tierra del equipo de las terminales de los receptáculos se unan a la armazón del generador.

**b) Generadores montados en vehículos.** Se permite que el chasis del vehículo sirva como electrodo de puesta a tierra del sistema alimentado por el generador montado en el vehículo, con las siguientes condiciones:

1) Que el armazón del generador esté conectado al chasis del vehículo, y

2) Que el generador alimente sólo a equipo montado sobre el vehículo o a equipo conectado a través de cordón y clavija en receptáculos montados en el vehículo o en el generador o a un equipo montado en el vehículo y otro conectado con cordón y clavija en receptáculos montados en el vehículo o en el generador.

3) Que las partes metálicas no conductoras del equipo y el conductor de puesta a tierra del equipo de las terminales de los receptáculos se unan a la armazón del generador.

4) Que el sistema cumpla todas las demás disposiciones de este Artículo.

**c) Unión del conductor neutro.** Un conductor neutro debe unirse al armazón del generador cuando el generador sea un componente de un sistema derivado separadamente. No se exige la unión al armazón del generador de ningún otro conductor, excepto el neutro.

**NOTA:** Para la puesta a tierra de generadores portátiles que alimenten a instalaciones fijas, véase 250-5(d).

**250-7. Circuitos que no deben ser puestos a tierra.** No deben ser puestos a tierra los siguientes circuitos:

**a) Grúas.** Los circuitos de grúas eléctricas que funcionen sobre fibras combustibles en locales Clase III, como establece 503-13.

**b) Instituciones de salud (clínicas y hospitales).** Los circuitos que establece el Artículo 517.

**c) Celdas electrolíticas.** Los circuitos que establece el Artículo 668.

#### **C. Ubicación de las conexiones de puesta a tierra de los sistemas**

##### **250-21. Corrientes eléctricas indeseables en los conductores de puesta a tierra**

**a) Arreglo del sistema para evitar corrientes eléctricas indeseables.** La puesta a tierra de sistemas eléctricos, circuitos, apartarrayos y elementos metálicos de equipo y materiales que normalmente no conducen corriente, debe realizarse de tal manera que se eviten trayectorias que favorezcan la circulación de corrientes indeseables por los conductores de puesta a tierra.

**b) Modificaciones para evitar corrientes eléctricas indeseables.** Si la instalación de varias conexiones de puesta a tierra producen un flujo de corrientes eléctricas indeseables, se permite hacer una o más de las siguientes modificaciones, siempre que se cumplan los requisitos de 250-51:

1) Desconectar una o más de dichas conexiones de puesta a tierra, pero no todas.

2) Cambiar la posición de las conexiones a tierra.

3) Interrumpir la continuidad del conductor o de la trayectoria conductora interconectando las conexiones de puesta a tierra.

4) Tomar otras medidas adecuadas.

**c) Corriente eléctrica temporal que no se considera indeseable.** A efectos de lo especificado en los anteriores incisos, no se consideran corrientes eléctricas indeseables a las temporales que se produzcan accidentalmente, como las debidas a fallas a tierra, y que se presentan sólo mientras los conductores de puesta a tierra cumplen sus funciones de protección previstas.

**d) Limitaciones a las alteraciones permitidas.** Las disposiciones de esta Sección no se deben tomar como permiso de utilización de equipo electrónico en instalaciones o circuitos derivados de c.a. que no estén puestos a tierra como lo exige este Artículo. Las corrientes eléctricas que originan ruidos o errores en los datos de equipos electrónicos no se consideran como las corrientes eléctricas indeseables de las que trata esta Sección.

**250-22. Punto de conexión de sistemas de c.c.** Los sistemas de c.c. puestos a tierra deben tener sus conexiones de puesta a tierra en una o más de sus fuentes de alimentación. La conexión de puesta a tierra no debe hacerse en acometidas individuales ni en ningún otro punto del sistema de alambrado del usuario.

**Excepción:** Cuando la fuente de alimentación del sistema de c.c. esté situada en el sistema de alambrado del usuario, se debe hacer una conexión de puesta a tierra (1) en la fuente de alimentación o en el primer medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente del sistema o (2) mediante cualquier otro medio que ofrezca una protección equivalente al sistema y que utilice equipos aprobados e identificados para ese uso.

**250-23. Puesta a tierra de sistemas de corriente alterna alimentados desde una acometida**

**a) Conexiones de puesta a tierra del sistema.** Un sistema de alambrado de los usuarios que se alimenta por medio de un sistema de acometida de corriente alterna puesto a tierra debe tener en cada acometida un conductor de electrodo de puesta a tierra el cual debe estar conectado al(los) electrodo(s) de puesta a tierra que cumpla(n) con lo establecido en la Parte H del Artículo 250. El conductor de electrodo de puesta a tierra debe estar conectado al conductor puesto a tierra de la acometida en cualquier punto accesible del lado de la carga de la acometida aérea o subterránea hasta, e incluyendo, la terminal o barra a la que esté conectado el conductor puesto a tierra de la acometida en el medio de desconexión de la acometida. Cuando el transformador de alimentación de la acometida esté situado fuera del edificio, se debe hacer como mínimo otra conexión de puesta a tierra desde el conductor puesto a tierra de la acometida hasta el electrodo de puesta a tierra, ya sea en el transformador o en cualquier otro punto fuera del edificio. No se debe hacer ninguna conexión de puesta a tierra a ningún conductor puesto a tierra de circuitos en el lado de la carga del medio de desconexión de la acometida.

**NOTA:** Véase 230-21.

**Excepción 1:** Un conductor para electrodo de puesta a tierra se debe conectar al conductor puesto a tierra de un sistema derivado separadamente según, lo establecido en 250-26(b).

**Excepción 2:** Se debe hacer una conexión a un conductor de puesta a tierra en cada edificio independiente cuando lo requiera la Sección 250-24.

**Excepción 3:** En las estufas, estufas montadas en barras, hornos montados en la pared, secadoras de ropa y equipo de medición, según lo permite 250-61.

**Excepción 4:** En las acometidas con doble conexión a la red (doble terminación) en un envolvente común o agrupadas en envolventes distintos con una conexión al secundario, se permite una sola conexión al electrodo de puesta a tierra del punto de conexión de los conductores puestos a tierra de cada fuente de alimentación.

**Excepción 5:** Cuando el puente de unión principal descrito en 250-53(b) y 250-79 sea un cable o una barra instalado (a) desde la barra o conexión del neutro a la barra terminal de puesta a tierra del equipo de la acometida, se permite que el conductor del electrodo de puesta a tierra se conecte a la barra terminal de puesta a tierra del equipo al que vaya conectado el puente de unión principal.

**Excepción 6:** Lo que se establece en 250-27 para conexiones de puesta a tierra de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.

**b) Conductor puesto a tierra llevado al equipo de la acometida.** Cuando un sistema de c.a. de menos de 1 000 V esté puesto a tierra en cualquier punto, el conductor puesto a tierra se debe llevar hasta cada medio de desconexión de acometida y debe unirse al envolvente de cada uno de ellos. Este conductor se

debe llevar junto con los conductores de fase y no debe ser inferior al conductor del electrodo de puesta a tierra requerido en la Tabla 250-94 y, además, para los conductores de fase de acometidas de más de 1 100 kcmil (cobre) o 1 750 kcmil (aluminio), el tamaño nominal del conductor puesto a tierra no debe ser inferior a 12,5% del tamaño nominal mayor de los conductores de fase de las acometidas. Cuando los conductores de fase de entrada a la acometida vayan en paralelo, el tamaño nominal del conductor puesto a tierra se debe calcular sobre la base de una sección transversal equivalente para conductores en paralelo, como se indica en esta Sección.

**NOTA:** Para la puesta a tierra de conductores conectados en paralelo, véase 310-4.

**Excepción 1:** No se exige que el conductor puesto a tierra sea de tamaño mayor que el del mayor conductor de fase de entrada a la acometida que no vaya puesto a tierra.

**Excepción 2:** Lo que establece la Sección 250-27 para conexiones de puesta a tierra de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.

**Excepción 3:** Cuando haya más de un medio de desconexión de la acometida en un conjunto aprobado como equipo de acometida, debe llevarse un conductor puesto a tierra hasta ese conjunto y unirse al envolvente del equipo.

#### **250-24. Suministro de energía desde la misma acometida a dos o más edificios o estructuras**

**a) Sistemas puestos a tierra.** Cuando se suministre energía desde la misma acometida de corriente alterna a dos o más edificios o estructuras, el sistema puesto a tierra en cada edificio o estructura debe tener un electrodo de puesta a tierra como se describe en la Parte H, conectado al envolvente metálico del medio de desconexión del edificio, y al conductor puesto a tierra de la instalación de c.a., en el lado de alimentación del medio de desconexión del edificio. Cuando el conductor de puesta a tierra del equipo, descrito en 250-91(b), no vaya junto con los conductores del circuito de suministro, el tamaño nominal del conductor puesto a tierra de la instalación de c.a. en el lado de alimentación del medio de desconexión, no debe ser inferior al tamaño nominal especificado en la Tabla 250-95 para los conductores de puesta a tierra de equipo.

**Excepción 1:** No es necesario un electrodo de puesta a tierra en edificios o estructuras independientes cuando sólo tengan un circuito derivado y en el edificio o estructura no haya equipo que requiera la puesta a tierra.

**Excepción 2:** No es necesario conectar el conductor puesto a tierra del circuito al electrodo de puesta a tierra en un edificio o estructura independiente, si se instala un conductor de puesta a tierra de equipo junto con los conductores del circuito para la puesta a tierra de cualquier equipo metálico que no conduce corriente eléctrica, sistemas interiores de tubería metálica y estructuras metálicas del edificio y el conductor de puesta a tierra del equipo va conectado al electrodo de puesta a tierra del medio de desconexión de otro edificio o estructura, como se describe en la Parte H. Si no hay electrodos de puesta a tierra y el edificio o estructura recibe el suministro de más de un circuito derivado, se debe instalar un electrodo de puesta a tierra que cumpla los requisitos de la Parte H. En establos, la parte del conductor de puesta a tierra del equipo que va subterránea hasta el medio de desconexión debe ser de cobre aislado o forrado.

**NOTA:** En cuanto a los requisitos especiales para la puesta a tierra de edificios agrícolas, véase la Excepción de 547-8(a).

**b) Sistemas no puestos a tierra.** Cuando dos o más inmuebles o estructuras estén alimentados por una acometida común de un sistema no puesto a tierra desde un solo equipo de acometida, cada inmueble o estructura debe tener un electrodo de puesta a tierra, como se especifica en la Parte H, conectado a la envolvente metálica de los medios de desconexión del inmueble o estructura.

**Excepción 1:** No es necesario un electrodo de puesta a tierra en edificios o estructuras independientes cuando sólo se alimenta un circuito derivado y en el edificio o estructura no haya equipo que requiera la puesta a tierra.

**Excepción 2:** No se requiere un electrodo de puesta a tierra ni conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra a la envolvente metálica del medio de desconexión del edificio o estructura, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

a. Se instale un conductor de puesta a tierra de equipo con los conductores del circuito hasta el medio de desconexión del edificio o estructura para la puesta a tierra cualquier equipo metálico que no conduce corriente, sistemas de tuberías metálicas interiores y estructuras metálicas del edificio.

b. No existan electrodos de puesta a tierra como se describen en la Parte H.

c. El edificio o estructura se alimente solamente por un circuito derivado.

d. En establos, la parte del conductor de puesta a tierra del equipo que vaya subterránea hasta el medio de desconexión, debe ser de cobre aislado o forrado.

**NOTA:** Véase la Excepción de 547-8(a), para los requisitos especiales de puesta a tierra en edificios agrícolas.

**c) Medios de desconexión situados en edificios o estructuras separadas pero en la misma instalación del usuario.** Cuando haya uno o más medios de desconexión que suministren energía a uno o más edificios o estructuras bajo la misma administración y esos medios de desconexión estén situados fuera de esos edificios o estructuras según lo establecido en 225-8(b), Excepciones 1 y 2, deben cumplirse las siguientes condiciones:

1) No debe realizarse la conexión del conductor puesto a tierra del circuito al electrodo de puesta a tierra en un edificio o estructura independiente.

2) Debe tenderse, junto con los conductores del circuito hasta un edificio o estructura independiente, un conductor de puesta a tierra para equipo metálico no energizado normalmente, para sistemas tubería metálica interiores y para estructuras metálicas de edificios, y conectarse a los electrodos de puesta a tierra existente descritos en la Parte H o, si no existieran esos electrodos, se debe instalar un electrodo de puesta a tierra que cumpla los requisitos de la Parte H, cuando se suministre energía desde un edificio o estructura independiente a más de un circuito derivado.

3) La unión del conductor de puesta a tierra del equipo al conductor del electrodo de puesta a tierra a un edificio o estructura independiente, se debe hacer en una caja de conexión, panel de alumbrado y control o envolvente similar situado inmediatamente dentro o fuera del otro edificio o estructura.

**Excepción 1:** No es necesario un electrodo de puesta a tierra en edificios o estructuras independientes cuando sólo se alimente un circuito derivado y en el edificio o estructura no haya equipo que requiera la puesta a tierra.

**Excepción 2:** En establos, la parte del conductor de puesta a tierra del equipo que vaya subterránea hasta el medio de desconexión, debe ser de cobre aislado o forrado.

**d) Conductor de puesta a tierra.** El tamaño nominal del conductor de puesta a tierra hasta el electrodo o electrodos de puesta a tierra, no debe ser inferior a lo indicado en la Tabla 250-95 y su instalación debe cumplir con lo establecido en 250-92(a) y (b).

**Excepción 1:** No se exige que el conductor de puesta a tierra tenga un tamaño nominal mayor que el mayor de los conductores no puestos a tierra del suministro.

**Excepción 2:** Cuando se conecte a electrodos de puesta a tierra fabricados, como se indica en 250-83(c) o (d), no se exige que la parte del conductor de puesta a tierra que constituya la única conexión entre el electrodo o electrodos de puesta a tierra y el conductor de puesta a tierra o puesto a tierra o la envolvente metálica del medio de desconexión del edificio, sea de mayor tamaño nominal de 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) en cobre o que 21,2 mm<sup>2</sup> (4 AWG) en aluminio.

**250-25. Conductor que se debe poner a tierra en sistemas de c.a.** Para sistemas de c.a. en sistemas de alambrado de usuarios, el conductor que debe ser puesto a tierra es el que se especifica a continuación:

1) Sistemas monofásicos de dos conductores: un conductor.

2) Sistemas monofásicos de tres conductores: el conductor neutro.

3) Sistemas de varias fases con un conductor común a todas las fases: el conductor común.

4) Sistemas de varias fases en las que se requiera que una fase sea puesta a tierra: el conductor de una fase.

5) Sistemas de varias fases en las que una fase se utilice como la (2) anterior: el conductor neutro.

Los conductores puestos a tierra deben identificarse como se especifica en el Artículo 200.

**250-26. Puesta a tierra de los sistemas de c.a. derivados separadamente.** Un sistema de c.a. derivado separadamente que requiera ser puesto a tierra, debe hacerse según se especifica a continuación:

**a) Puente de unión.** Se debe instalar un puente de unión, de tamaño nominal que cumpla lo establecido en 250-79 (d) para los conductores de fase derivados para conectar los conductores de puesta a tierra del equipo del sistema derivado al conductor puesto a tierra. Excepto como se permite en las Excepciones 4 o 5 de 250-23(a), esta conexión se debe hacer en cualquier punto del sistema derivado separadamente, desde su fuente hasta el primer medio de desconexión o dispositivo de protección contra sobrecorriente del sistema o en la fuente del sistema derivado separadamente que no tenga medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente.

**Excepción 1:** El tamaño nominal del puente de unión de un sistema que suministre energía a un circuito de Clase 1, Clase 2 o Clase 3 y que se derive de un transformador de no más de 1 000 VA nominal, no debe ser inferior al de los conductores de fase derivados y en ningún caso inferior a  $2,08 \text{ mm}^2$  (14 AWG).

**Excepción 2:** Lo establecido en 250-27, 250-153 y 250-5(b), Excepción 5 para los requisitos de puesta a tierra de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.

**b) Conductor del electrodo de puesta a tierra.** Se debe utilizar un conductor del electrodo de puesta a tierra de tamaño nominal acorde con lo establecido en 250-94 para los conductores de fase derivados para conectar el conductor puesto a tierra del sistema derivado con el electrodo de puesta a tierra, como se especifica a continuación en (c). Excepto lo que se permita en 250-23(a), Excepción 4, esta conexión se debe hacer en cualquier punto del sistema derivado separadamente, desde su fuente hasta el primer medio de desconexión o dispositivo de protección contra sobrecorriente del sistema o en la fuente del sistema derivado separadamente que no tenga medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente.

**Excepción 1:** No es necesario un conductor hasta el electrodo de puesta a tierra en un sistema que suministre energía a circuitos de la Clase 1, Clase 2 o Clase 3 y se derive de un transformador de no más de 1 000 VA nominales, siempre que el conductor puesto a tierra del sistema se conecte a la estructura o al envolvente del transformador por medio de un puente de unión de tamaño nominal de acuerdo con lo indicado en 250-26, Excepción 1 para el anterior caso (a), y la estructura o el envolvente del transformador estén puestos a tierra por cualquiera de los medios especificados en 250-57.

**Excepción 2:** Lo establecido en 250-27, 250-153 y 250-5(b), Excepción 5, para los requisitos de puesta a tierra de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.

**c) Electrodo de puesta a tierra.** El electrodo de puesta a tierra debe ser lo más accesible posible y estar preferiblemente en la misma zona que la conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra al sistema. El electrodo de puesta a tierra debe ser: (1) el elemento metálico de la estructura o edificio más cercano puesto a tierra eficazmente o (2) la tubería metálica de agua puesta a tierra eficazmente que esté más cerca o (3) cuando no se disponga de los electrodos especificados en los anteriores incisos (1) y (2) deben usarse los electrodos especificados en 250-81 y 250-83.

**NOTA:** Para los requisitos de unión de los sistemas derivados separadamente, véase 250-80(a).

**d) Métodos de puesta a tierra.** En todos los demás aspectos, los métodos de puesta a tierra deben cumplir los requisitos establecidos en otras partes de esta norma.

**250-27. Conexiones de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.** Los sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia, tal como se permite en la Excepción 5 de 250-5(b), deben cumplir las siguientes condiciones:

**a) Ubicación de la impedancia de puesta a tierra.** La impedancia de puesta a tierra debe instalarse entre el conductor del electrodo (o sistema de electrodos) de puesta a tierra y el neutro del sistema. Cuando no haya neutro disponible, la impedancia de puesta a tierra se debe instalar entre el conductor del electrodo (o sistema de electrodos) de puesta a tierra y el neutro derivado de un transformador de puesta a tierra.

**b) Conductor neutro.** El conductor procedente del punto neutro de un transformador o de un generador hasta su punto de conexión con la impedancia de puesta a tierra, debe estar completamente aislado.

El conductor neutro debe tener una capacidad de conducción de corriente no inferior a la corriente eléctrica máxima nominal de la impedancia de puesta a tierra. En ningún caso el conductor neutro debe ser inferior a  $8,37 \text{ mm}^2$  (8 AWG) en cobre o a  $13,3 \text{ mm}^2$  (6 AWG) en aluminio.

**c) Conexión del neutro del sistema.** El conductor neutro del sistema no debe ser puesto a tierra excepto a través de la impedancia de puesta a tierra.

**NOTA:** La impedancia se elige normalmente para que limite la intensidad de una corriente eléctrica de falla a tierra, a un valor igual o ligeramente superior a la carga capacitiva del sistema. Ese valor de impedancia debe limitar también las sobretensiones transitorias a valores seguros. Puede consultarse el Apéndice B2 para la orientación sobre los criterios para limitar las sobretensiones transitorias.

**d) Trayectoria del conductor neutro.** Se permite instalar el conductor que conecta el punto neutro de un transformador o de un generador a una impedancia de puesta a tierra en una canalización independiente. No es necesario que este conductor se instale junto a los conductores de fase hasta el primer medio de desconexión o dispositivo contra sobrecorriente del sistema.

**e) Puente de unión del equipo.** El puente de unión del equipo (la conexión entre los conductores de puesta a tierra del equipo y la impedancia de puesta a tierra) debe ser un conductor sin empalmes que corra desde el primer medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente del sistema hasta el lado puesto a tierra de la impedancia de puesta a tierra.

**f) Ubicación del conductor al electrodo de puesta a tierra.** El conductor del electrodo de puesta a tierra se debe conectar en cualquier punto a partir del lado puesto a tierra de la impedancia de tierra a la conexión de puesta a tierra del equipo en la acometida o en el primer medio de desconexión del sistema.

#### **D. Puesta a tierra de envolventes y canalizaciones**

**250-32. Envolventes y canalizaciones de la acometida.** Deben ser puestos a tierra los envolventes y canalizaciones metálicos de los conductores y el equipo de la acometida.

**Excepción:** Un codo metálico instalado en una instalación subterránea de tubo (conduit) rígido no metálico que esté aislado de posibles contactos con cualquier parte del codo por una cubierta de 457 mm, mínimo.

**250-33. Envolventes y canalizaciones para otros conductores.** Deben ser puestos a tierra los envolventes y canalizaciones metálicos para los conductores que no son de la acometida.

**Excepción 1:** No se requiere que sean puestos a tierra las canalizaciones y las cubiertas metálicas de conductores que se añaden a instalaciones existentes de línea abierta, y los cables de cubierta no metálica que no constituyen la puesta a tierra del equipo, si no tienen más de 8 m, si están libres de posibles contactos con tierra, metales puestos a tierra, rejillas metálicas u otro material conductor y protegidos contra el contacto de las personas.

**Excepción 2:** No se requiere que sean puestos a tierra las partes cortas de canalizaciones o cubiertas metálicas utilizadas como soporte o protección de cables contra daños físicos.

**Excepción 3:** No se requiere que sean puestos a tierra los envolventes cuando no se exija en 250-43(i).

**Excepción 4:** Un codo metálico instalado en una instalación subterránea de tubo (conduit) rígido no metálico que esté aislado de posibles contactos con cualquier parte del codo por una separación mínima de 45 cm.

#### **E. Puesta a tierra de los equipos**

**250-42. Equipo fijo o conectados de forma permanente.** Las partes metálicas expuestas y no conductoras de corriente eléctrica del equipo fijo que no estén destinadas a transportar corriente y que tengan probabilidad de energizarse, deben ser puestos a tierra si se presenta cualquiera de las circunstancias mencionadas en los siguientes incisos:

**a) Distancias horizontales y verticales.** Si están a menos de 2,5 m en vertical o de 1,50 m en horizontal de tierra u objetos metálicos puestos a tierra y que puedan entrar en contacto con personas.

**b) Lugares mojados o húmedos.** Cuando estén instaladas en lugares mojados o húmedos y no estén aisladas.

**c) Contacto eléctrico.** Cuando estén en contacto eléctrico con metales.

**d) Áreas peligrosas (clasificadas).** Cuando estén en un área peligrosa (clasificada) de los cubiertos en los Artículos 500 a 517.

**e) Método de alambrado.** Cuando estén alimentados por medio de cables con forro metálico, recubiertos de metal, en canalizaciones metálicas u otro método de instalación que pueda servir de puesta a tierra del equipo, excepto lo que se permita en 250-33 para tramos cortos de envolventes metálicos.

**f) De más de 150 V a tierra.** Cuando el equipo funcione con cualquier terminal a más de 150 V a tierra.



**Excepción 1:** Las cubiertas de desconectadores o interruptores automáticos de circuitos que se utilicen para medios que no sean de equipo de acometida y sólo sean accesibles a personal calificado.

**Excepción 2:** Carcasas metálicas de artefactos eléctricos de calefacción exentas por permiso especial, en cuyo caso las carcasas deben estar permanente y eficazmente aisladas de tierra.

**Excepción 3:** Equipo de distribución, como por ejemplo tanques de transformadores y de capacitores, montados en postes de madera y a una altura superior a 2,5 m sobre el nivel del suelo.

**Excepción 4:** No se requiere la puesta a tierra de equipo aprobado como protegido por un sistema de doble aislamiento o equivalente. Cuando se utilicen estos sistemas, el equipo debe estar claramente marcado.

**250-43. Equipo fijo o conectado de forma permanente-específico.** Deben ser puestos a tierra, independientemente de su tensión eléctrica nominal, las partes metálicas expuestas y no conductoras de corriente eléctrica del equipo descrito a continuación ((a) a (j)), y las partes metálicas no destinadas a conducir corriente eléctrica del equipo y de envolventes descritas en (k) y (l):

**a) Armazones y estructuras de tableros de distribución.** Los armazones y estructuras de tableros de distribución en los que esté instalado equipo de interrupción.

**Excepción:** Los armazones de tableros de distribución de c.c. a dos conductores que estén eficazmente aislados de tierra.

**b) Organos de tubos.** Las estructuras y carcasas de motores y generadores de órganos de tubos que funcionen con motor eléctrico.

**Excepción:** Cuando el generador esté eficazmente aislado de tierra y de su motor.

**c) Armazones de motores.** Los armazones de motores, como se establece en 430-142.

**d) Cubiertas de los controladores de motores.** Las cubiertas de los controladores de motores.

**Excepción 1:** Envolventes conectados a equipo portátil no puesto a tierra.

**Excepción 2:** Las tapas continuas de interruptores de acción rápida.

**e) Grúas y elevadores.** Equipo eléctrico de grúas y elevadores.

**f) Estacionamientos públicos, teatros y estudios cinematográficos.** El equipo eléctrico de los estacionamientos públicos, teatros y estudios cinematográficos.

**g) Anuncios luminosos.** Los anuncios luminosos, alumbrado de realce y equipo asociado, como establece el Artículo 600.

**h) Equipo de proyección de películas.** El equipo de proyección de películas.

**i) Circuitos de control remoto, señalización y alarma contra incendios de energía limitada.** El equipo alimentado por circuitos de energía limitada de Clase 1 y los de control remoto y señalización de Clase 1, Clase 2 y Clase 3 y los circuitos de alarma contra incendios, deben ser puestos a tierra cuando la puesta a tierra del sistema se exija en la Parte B de este Artículo.

**j) Luminarios.** Las luminarios, tal como se establece en la Parte E del Artículo 410.

**k) Bombas de agua operadas por motor.** Las bombas de agua operadas por motor, incluso las de tipo sumergible.

**l) Ademes metálicos de pozos.** Cuando se use una bomba sumergible con ademe metálico dentro de un pozo, el ademe se debe unir al conductor de puesta a tierra del circuito de la bomba.

**250-44. Equipo no eléctrico.** Deben ser puestos a tierra las partes metálicas del equipo no eléctrico descrito en los siguientes incisos:

**a) Grúas y elevadores.** Las estructuras y rieles metálicos de las grúas y de elevadores.

**b) Cabinas de elevadores.** Estructuras de cabinas de elevadores no eléctricos que contengan conductores eléctricos.

**c) Elevadores eléctricos.** Los cables metálicos manuales de elevación de elevadores eléctricos.

**d) Separaciones metálicas.** Las separaciones metálicas, rejillas y otros elementos metálicos similares alrededor de equipo de 1 kV y más entre conductores, excepto en subestaciones o bóvedas que sean únicamente accesibles a la compañía suministradora.

**e) Casas móviles y vehículos recreativos.** Las casas móviles y los vehículos recreativos, como se establece en los Artículos 550 y 551.

**NOTA:** Cuando haya partes metálicas en edificios que puedan quedar electrificadas y entrar en contacto con las personas, una adecuada unión y puesta a tierra ofrecen protección adicional.

**250-45. Equipo conectado con cordón y clavija.** En cualquiera de las condiciones descritas abajo, deben ser puestos a tierra las partes metálicas no conductoras de corriente eléctrica y expuestas de equipo conectado por cordón y clavija, las cuales pudieran energizarse:

**a) En áreas peligrosas (clasificadas).** En las áreas peligrosas (clasificadas) (véase los Artículos 500 a 517).

**b) De más de 150 V a tierra.** Cuando funcionen a más de 150 V a tierra.

**Excepción 1:** Los motores, cuando estén protegidos.

**Excepción 2:** Las carcasas metálicas de artefactos eléctricos de calefacción, exentas por permiso especial, en cuyo caso las carcasas deben estar permanente y eficazmente aisladas de tierra.

**Excepción 3:** No requiere ser puesto a tierra equipo aprobado como protegido por un sistema de doble aislamiento o equivalente. Cuando se utilicen estos sistemas, el equipo debe estar claramente marcado.

**c) En construcciones residenciales.** En las construcciones residenciales:

(1) los refrigeradores, congeladores y artefactos eléctricos de aire acondicionado;

(2) las lavadoras, secadoras, lavavajillas, eliminadores de residuos de cocina, bombas de sumideros y equipo eléctrico de acuarios;

(3) las herramientas manuales a motor, las herramientas fijas a motor, las herramientas ligeras industriales a motor;

(4) los artefactos eléctricos a motor de los siguientes tipos: limpiadoras de pisos que se basen en agua, podadoras de césped, esparcidores de nieve y lavadores móviles;

(5) los luminarios portátiles.

**Excepción:** Las herramientas y artefactos eléctricos aprobados como protegidos por un sistema de doble aislamiento o equivalente. Cuando se utilicen estos sistemas, el equipo debe estar claramente marcado.

**d) En construcciones no residenciales.** En las construcciones no residenciales:

(1) los refrigeradores, congeladores y aparatos eléctricos de aire acondicionado;

(2) las lavadoras, secadoras, lavavajillas, computadoras electrónicas y equipo de proceso de datos, bombas de sumideros y equipo eléctrico de acuarios;

(3) las herramientas manuales a motor, las herramientas fijas a motor, las herramientas ligeras industriales a motor;

(4) los aparatos eléctricos a motor de los siguientes tipos: podadoras, esparcidores de nieve y lavadores móviles;

(5) los aparatos eléctricos conectados con cordón y clavija utilizados en locales húmedos o mojados por personas que permanecen de pie sobre el suelo o sobre suelos metálicos o que trabajan dentro de depósitos o calderas metálicas;

(6) las herramientas que se puedan utilizar en lugares mojados o conductores, y

(7) los luminarios portátiles.

**Excepción 1:** No es necesario que las herramientas y portalámparas portátiles que se puedan utilizar en lugares mojados o conductivos sean puestos a tierra cuando reciben energía a través de un transformador de aislamiento con el secundario no puesto a tierra y de no más de 50 V.

**Excepción 2:** Las herramientas manuales, herramientas a motor, herramientas fijas aprobadas a motor, herramientas industriales ligeras y aparatos eléctricos aprobados y listados como protegidos por un sistema

de doble aislamiento o equivalente. Cuando se utilicen estos sistemas, el equipo debe estar claramente marcado.

**250-46. Separación de los conductores de bajada de los pararrayos.** Las canalizaciones, envolventes, estructuras y partes metálicas de equipo eléctrico que no transporten normalmente corriente eléctrica, se deben mantener alejadas 1,8 m como mínimo de los conductores de bajada de los electrodos de puesta a tierra de los pararrayos o deben unirse cuando la distancia a los conductores de bajada sea inferior a 1,8 m.

**NOTA:** Para el sistema de los electrodos de puesta a tierra de pararrayos, véase 250-86. Véanse también separación de los conductores de bajada de los pararrayos, en 800-13 y 820-10(f)(3).

#### F. Método de puesta a tierra

**250-50. Conexiones de los conductores de puesta a tierra de equipo.** Las conexiones de los conductores de puesta a tierra del equipo en la fuente de suministro de los sistemas derivados separadamente, se deben hacer de acuerdo con lo indicado en 250-26(a). Las conexiones de los conductores de puesta a tierra del equipo de la acometida, se deben hacer según los siguientes incisos:

**a) En sistemas puestos a tierra.** La conexión se debe hacer por la unión del conductor de puesta a tierra de equipo, al conductor puesto a tierra de la acometida y al conductor del electrodo de puesta a tierra.

**b) En sistemas no puestos a tierra.** La conexión se debe hacer por la unión del conductor de puesta a tierra de equipo, al conductor del electrodo de puesta a tierra.

**Excepción a (a) y (b):** Para reemplazar los receptáculos sin terminal de puesta a tierra por receptáculos con terminal de puesta a tierra y para ampliaciones de circuitos derivados sólo de instalaciones ya existentes que no tengan conductor de puesta a tierra de equipo en el circuito derivado, se permite que el conductor de puesta a tierra de los receptáculos con terminal de puesta a tierra se conecte a un punto accesible de la instalación del electrodo de puesta a tierra, como se indica en 250-81 o a cualquier punto accesible del conductor del electrodo de puesta a tierra.

**NOTA:** Para el uso de receptáculos con interruptor de circuitos con protección por falla a tierra, véase 210-7(d).

**250-51. Trayectoria efectiva de puesta a tierra.** La trayectoria a tierra desde los circuitos, equipo y cubiertas metálicas de conductores debe ser:

(1) permanente y eléctricamente continua;

(2) de capacidad suficiente para conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica de falla que pueda producirse, y

(3) de una impedancia suficientemente baja como para limitar la tensión eléctrica a tierra y facilitar el funcionamiento de los dispositivos de protección del circuito.

El terreno natural no se debe utilizar como el único conductor de puesta a tierra de equipo.

#### **250-53. Trayectoria de puesta a tierra hasta el electrodo de puesta a tierra en la acometida**

**a) Conductor al electrodo de puesta a tierra.** Debe usarse un conductor del electrodo de puesta a tierra para establecer la conexión entre el electrodo de puesta a tierra y los conductores de puesta a tierra de equipo, así como con los envolventes de equipo de acometida y, si el sistema está puesto a tierra, también con el conductor puesto a tierra de la acometida.

**Excepción:** Lo que establece 250-27 para conexiones de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.

**NOTA:** Para la puesta a tierra de los sistemas de corriente eléctrica alterna, véase 250-23(a).

**b) Puente de unión principal.** Para sistemas puestos a tierra debe usarse un puente de unión principal, sin empalmes, para conectar el (los) conductor(es) de puesta a tierra de equipo y el envolvente del medio de desconexión de la acometida al conductor puesto a tierra del sistema en cada punto de desconexión de la acometida.

**Excepción 1:** Cuando haya más de un medio de desconexión de la acometida en un conjunto aprobado y listado para usarse como equipo de acometida, es necesario tender un conductor puesto a tierra hasta el equipo y unirlo al envolvente.

**Excepción 2:** Lo que se establece en 250-27 y 250-153 para sistemas con neutro puesto a tierra a través de una impedancia.

**250-54. Electrodo común de puesta a tierra.** Cuando se conecta un sistema de c.a. a un electrodo de puesta a tierra en, o a un edificio, tal como lo especifican 250-23 y 250-24, ese mismo electrodo de puesta a tierra se debe usar para la puesta a tierra de los envolventes y el equipo en o a ese edificio. Cuando al mismo edificio lleguen dos acometidas independientes y haya que conectarlas a un electrodo de puesta a tierra, se debe usar el mismo electrodo de puesta a tierra.

Dos o más electrodos de puesta a tierra eléctricamente unidos entre sí se deben considerar a este respecto, un solo electrodo de puesta a tierra.

**250-55. Cable subterráneo de acometida.** Cuando la acometida a un inmueble se realiza desde un sistema subterráneo basado en cables con cubierta metálica continua, la cubierta o armadura del cable de acometida, debe ponerse a tierra en el cable de neutro corrido (suministrador) y estar aislada de las canalizaciones metálicas interiores, tubería (conduit) o tubería metálica de agua.

**250-56. Tramos cortos de una canalización.** Cuando se requiera la puesta a tierra de tramos aislados de una canalización metálica o del blindaje de un cable, se debe hacer según 250-57.

**250-57. Puesta a tierra de equipo fijo o conectado por un método de alambrado permanente (fijo).** Cuando se requiera la puesta a tierra de las partes metálicas no conductoras de equipo, canalizaciones u otros envolventes, se debe hacer por uno de los siguientes métodos:

**Excepción:** Cuando el equipo, las canalizaciones y envolventes estén puestos a tierra por la conexión al conductor puesto a tierra del circuito, tal como lo permiten 250-24, 250-60 y 250-61.

a) Tipos de conductores de puesta a tierra de equipo. Todos los permitidos por 250-91(b).

b) Con los conductores del circuito. Mediante el conductor de puesta a tierra de equipo instalado dentro de la misma canalización, cable o cordón o tendido de cualquier otro modo con los conductores del circuito. Se permiten conductores de puesta a tierra de equipo desnudos, cubiertos o aislados. Los conductores de puesta a tierra cubiertos o aislados individualmente deben tener un acabado exterior continuo, verde liso o verde con una o más franjas amarillas.

**Excepción 1:** Se permite que, durante la instalación, un conductor aislado o cubierto de tamaño nominal superior a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG), de cobre o de aluminio, se identifique permanentemente como conductor de puesta a tierra en sus dos extremos y en todos los puntos en los que el conductor esté accesible. Esta identificación se debe hacer por uno de los siguientes medios:

a. Quitando el aislamiento o el recubrimiento en toda la parte expuesta.

b. Pintando de verde el aislamiento o el recubrimiento expuesto, o

c. Marcando el aislamiento o el recubrimiento expuesto con una cinta o etiquetas adhesivas de color verde.

**Excepción 2:** Se permite que, en los circuitos de c.c., el conductor de puesta a tierra de equipo se instale independiente de los conductores del circuito.

**Excepción 3:** Como se requiere en la Excepción de 250-50(a) y (b), se permite que el conductor de puesta a tierra de equipo se instale independiente de los conductores del circuito.

**Excepción 4:** Cuando las condiciones de mantenimiento y de supervisión aseguren que la instalación está atendida sólo por personal calificado, se permite identificar permanentemente durante la instalación uno o más conductores aislados en un cable multiconductor como conductores de puesta a tierra de equipo, en cada extremo y en todos los puntos en los que el conductor esté accesible, por los siguientes medios:

a. Quitando el aislamiento o el recubrimiento en toda la parte expuesta.

b. Pintando de verde el aislamiento o el recubrimiento expuesto.

c. Marcando el aislamiento o el recubrimiento expuesto con una cinta o etiquetas adhesivas de color verde.

**NOTA 1:** Para los puentes de unión de equipo, véase 250-79.

**NOTA 2:** Para el uso de cordones con equipo fijo, véase 400-7.

**250-58. Equipo considerado eficazmente puesto a tierra.** En las condiciones especificadas en los siguientes incisos, se considera que las partes metálicas no conductoras de equipo están eficazmente puestas a tierra.

**a) Equipos sujetos a soportes metálicos puestos a tierra.** Los equipo eléctricos sujetos y en contacto eléctrico con bastidores o con estructuras metálicas diseñados para su soporte y puestos a tierra por uno de los medios indicados en 250-57. No se debe usar la estructura metálica de un edificio como conductor de puesta a tierra de equipo de c.a.

**b) Estructura de elevadores metálicos.** Las estructuras de elevadores metálicos sujetos a cables metálicos que los elevan, unidos o que circulan sobre carretes o tambores metálicos de las máquinas de los elevadores puestos a tierra por alguno de los métodos indicados en 250-57.

**250-59. Equipos conectados con cordón y clavija.** Cuando se requiera que sean puestos a tierra, las partes metálicas no conductoras de equipo conectado con cordón y clavija deben ser puestos a tierra por alguno de los métodos indicados a continuación:

**a) A través de la envolvente metálica.** A través de la envolvente metálica de los conductores que suministran energía a dicho equipo, si se usa una clavija con terminal de puesta a tierra y tiene un contacto fijo para puesta a tierra, usado para la puesta a tierra de la envolvente y si la envolvente metálica de los conductores se sujeta al contacto de la clavija y al equipo mediante conectores aprobados.

**Excepción:** Se permite un contacto de puesta a tierra auto-armable en clavijas con terminal de puesta a tierra utilizadas en el extremo del cordón de aparatos eléctricos portátiles, accionados a mano o en herramientas manuales.

**b) A través del conductor de puesta a tierra de equipo.** A través del conductor de puesta a tierra de equipo instalado junto con los conductores de alimentación en un cable o cordón flexible debidamente terminado en una clavija con terminal de puesta a tierra, y un contacto de puesta a tierra fijo. Se permite que haya un conductor de puesta a tierra sin aislar, pero, si se aísla, el aislamiento debe ser de acabado exterior continuo y color verde, o verde con una o más franjas amarillas.

**Excepción:** Se permite un contacto de puesta a tierra auto-armable en clavijas con terminal de puesta a tierra utilizada en el extremo del cordón de aparatos eléctricos portátiles, accionados a mano o aparatos eléctricos y herramientas manuales.

**c) A través de un cable o alambre independiente.** A través de un cable flexible o alambre independiente, desnudo o aislado, protegido en la medida de lo posible contra daño físico, cuando forme parte del equipo.

**250-60. Carcasas de estufas y secadoras de ropa.** Esta Sección se debe aplicar sólo a los circuitos derivados existentes. Los circuitos derivados de una nueva instalación deben cumplir lo establecido en 250-57 y 250-59. Las carcasas de estufas eléctricas, hornos montados en la pared, secadoras de ropa y salidas o cajas de empalmes que formen parte del circuito de esos aparatos, deben ser puestos a tierra según se especifica en 250-57 o 250-59 o se permite que sean puestos a tierra por el conductor de un circuito puesto a tierra, excepto en las casas móviles y vehículos recreativos, si se cumplen además todas las condiciones establecidas a continuación:

**a)** El circuito de suministro es monofásico a tres conductores, 120/240 V; o 220Y/127 V, 208Y/120 V, tres fases cuatro conductores en estrella.

**b)** El conductor puesto a tierra no es inferior a 5,26 mm<sup>2</sup> (10 AWG) en cobre o a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) en aluminio.

**c)** El conductor puesto a tierra está aislado; o el conductor puesto a tierra sin aislar forma parte de un cable de acometida Tipo SE y el circuito derivado se origina en el equipo de acometida.

**d)** Los contactos de puesta a tierra de receptáculos con terminal de puesta a tierra suministrados como parte del equipo están unidos con el equipo.

**250-61. Uso del conductor puesto a tierra para poner a tierra equipo**

**a) Equipo del lado del suministro.** Se permite que el conductor puesto a tierra del circuito se utilice para la puesta a tierra de las partes metálicas y no conductoras de equipo, canalizaciones y otras envolventes en cualquiera de los lugares siguientes:

- 1) En el lado de alimentación del medio de desconexión de la acometida.
- 2) En el lado de alimentación del medio de desconexión de la acometida para distintos edificios, como se establece en 250-24.
- 3) En el lado de alimentación del medio de desconexión o del dispositivo de sobrecorriente de la acometida de un sistema derivado separadamente.

**b) Equipo del lado de la carga.** No se debe usar el conductor puesto a tierra para la puesta a tierra de las partes metálicas no conductoras de equipo que haya en el lado de la carga del medio de desconexión de la acometida o en el lado de la carga del medio de desconexión o del dispositivo de sobrecorriente de un sistema derivado separadamente que no tenga un medio de desconexión principal.

**Excepción 1:** Las carcasas de estufas, hornos montados en la pared, estufas montadas en barras y secadoras de ropa en las condiciones permitidas por 250-60 para instalaciones ya existentes.

**Excepción 2:** Lo que permite 250-54 para edificios independientes.

**Excepción 3:** Se permite la puesta a tierra de los envolventes para medidores conectándolos al conductor puesto a tierra del circuito en el lado de la carga del medio de desconexión de la acometida, si:

- a. No hay instalado un dispositivo de protección contra fallas a tierra, y
- b. Todos los medidores están situados cerca del medio de desconexión de la acometida.
- c. El tamaño nominal del conductor puesto a tierra del circuito no es inferior a lo especificado en la Tabla 250-95 para los conductores de puesta a tierra de equipo.

**Excepción 4:** Lo que exigen 710-72(e)(1) y 710-74.

**Excepción 5:** Se permite la puesta a tierra de los sistemas de c.c. del lado de la carga del medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente, según Excepción de 250-22.

**250-62. Conexiones para circuitos múltiples.** Cuando se requiera la puesta a tierra de un equipo que esté alimentado mediante conexiones independientes a más de un circuito o en sistemas puestos a tierra de sistemas de alambrado de usuarios, debe haber un medio de puesta a tierra en cada una de esas conexiones, como se especifica en 250-57 y 250-59.

## G. Unión

**250-70. Disposiciones generales.** Cuando sea necesario para asegurar la continuidad eléctrica y la capacidad de conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica que pudiera producirse por falla a tierra, se deben hacer las uniones pertinentes.

### 250-71. Equipo de la acometida

**a) Unión del equipo de la acometida.** Las partes metálicas no conductoras de equipo que se indican en los siguientes incisos, se deben unir entre sí de manera efectiva:

- 1) Excepto lo que se permita en 250-55, las canalizaciones de acometida, charolas, estructuras de electroductos, armadura o blindaje de los cables.
- 2) Todos los envolventes de equipo de acometida que contengan conductores, conexión de medidores, cajas o similares, interpuestos en la canalización o blindaje.
- 3) Cualquier canalización metálica o envoltorio por los que se lleve un conductor al electrodo de puesta a tierra, tal como se permite en 250-92(a). Las conexiones se deben hacer en cada extremo y en todas las canalizaciones, cajas y envolventes que existan entre el equipo de acometida y el electrodo de puesta a tierra.

**b) Unión con otros sistemas.** En la acometida debe haber como mínimo un medio accesible fuera de los envolventes para conectar las uniones y los conductores de puesta a tierra con otros sistemas, formado por lo menos por uno de los medios siguientes:

- 1) Canalizaciones metálicas de la acometida expuestas.
- 2) El conductor al electrodo de puesta a tierra expuesto.
- 3) Un medio aprobado para la conexión externa de un conductor de unión o de puesta a tierra, de cobre u otro elemento resistente a la corrosión, a la canalización o al equipo de la acometida.

A efectos de la existencia de un medio accesible para la conexión de sistemas, se considera equipo de acometida a los medios de desconexión de un edificio o estructura independiente, tal como se permite en 250-24, y los medios de desconexión de las casas móviles permitidos en la Sección 550-23(a).

**NOTA 1:** Un ejemplo de dispositivo aprobado mencionado en el párrafo anterior (3), es un conductor de cobre de 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) con un extremo unido a la canalización o al equipo de acometida y más de 150 mm del otro extremo accesible por la parte exterior.

**NOTA 2:** Para las conexiones y puesta a tierra de circuitos de comunicaciones, radio, televisión y televisión por cable (CATV), véanse 800-40, 810-21 y 820-40.

**250-72. Método de unión del equipo de la acometida.** La continuidad eléctrica del equipo de acometida debe estar asegurada por uno de los métodos especificados en los siguientes incisos:

**a) Conductor puesto a tierra de acometida.** Unión del equipo al conductor de acometida puesto a tierra por alguno de los métodos indicados en 250-113.

**b) Conexiones roscadas.** Cuando haya tubo (conduit) metálicos tipo pesado o semipesado, las conexiones mediante rosca o tubos roscados en los envolventes, se deben apretar con llave.

**c) Acoplamientos y conectores sin rosca.** Para las uniones que requiere esta Sección, deben utilizarse acoplamientos y conectores sin rosca para los de tubo (conduit) metálico tipos pesado, semipesado y ligero. No deben usarse tuercas y monitores en estas tuberías.

**d) Puentes de unión.** Los puentes de unión que cumplan los demás requisitos de este Artículo se deben usar en tomas concéntricas o excéntricas perforadas o hechos de cualquier otra forma que no afecten la conexión eléctrica de puesta a tierra.

**e) Otros dispositivos.** Otros dispositivos aprobados, como contratueras y monitores para puesta a tierra.

**250-73. Cable de acometida con blindaje o cinta metálica.** El blindaje o cinta metálica de un cable de acometida que tenga un conductor de acometida puesto a tierra y no aislado, en contacto eléctrico continuo con su blindaje o cinta metálica, se considera como puesto a tierra.

**250-74. Conexión de la terminal de puesta a tierra de un receptáculo a la caja.** Se debe realizar una conexión de la terminal de puesta a tierra de un receptáculo a la caja de conexiones efectivamente puesta a tierra.

**Excepción 1:** Cuando la caja vaya montada en una superficie con contacto metálico directo entre el soporte y la propia caja, se permite la puesta a tierra del receptáculo a la caja. Esta excepción no se aplica a los receptáculos montados en las tapas, a no ser que la caja y la tapa estén aprobadas y listadas como un conjunto que proporcione una continuidad satisfactoria a tierra entre la caja y el receptáculo.

**Excepción 2:** Se permite que los dispositivos o soportes de contacto diseñados, aprobados y listados para este fin formen, junto con los tornillos que los sujetan, el circuito de puesta a tierra entre el soporte del dispositivo y la caja montada en la pared.

**Excepción 3:** Las cajas en el piso diseñadas y aprobadas para ofrecer una continuidad satisfactoria a tierra entre la caja y el dispositivo.

**Excepción 4:** Cuando sea necesario para reducir el ruido eléctrico (interferencias electromagnéticas) en el circuito de puesta a tierra, se permite un receptáculo en el que la terminal de puesta a tierra esté aislada intencionadamente de los medios de montaje del contacto. El receptáculo debe ser puesto a tierra por medio de un conductor aislado que vaya con los conductores del circuito. Este conductor de puesta a tierra puede pasar a través de uno o más tableros de alumbrado y control sin necesidad de conectarlo a las terminales de puesta a tierra de los mismos, como se permite en 384-20, excepto que termine dentro del mismo edificio o estructura, directamente en la terminal de un conductor de puesta a tierra de equipo de la correspondiente acometida o del sistema derivado separadamente.

**NOTA:** El uso de un conductor de puesta a tierra aislado para equipo no exime del requisito de poner a tierra la canalización y la caja.

**250-75. Puente de unión de otras estructuras.** Las canalizaciones metálicas, soportes tipo charola para cables, blindajes de cables, forros de cables, envolventes, tableros, herrajes y otras partes metálicas que no lleven normalmente corriente eléctrica y que puedan servir como conductores de puesta a tierra con o sin conductores suplementarios de puesta a tierra de equipo, se deben conectar eficazmente cuando sea

necesario para asegurar la continuidad eléctrica y la capacidad del circuito para conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica que pudiera producirse por falla a tierra en el mismo. Se deben quitar de las roscas, puntos y superficies de contacto todas las pinturas, barnices o recubrimientos similares no conductores o conectarlos por medio de herrajes diseñados de manera que hagan tal eliminación innecesaria.

**Excepción:** Cuando sea necesario para reducir el ruido eléctrico (interferencias electromagnéticas) en el circuito de puesta a tierra, se permite que un envolvente en el que haya equipo instalado y al que se alimente desde un circuito derivado, esté aislado de una canalización que contenga cables que alimenten sólo a este equipo, por medio de uno o más herrajes de canalizaciones no metálicas aprobadas y listadas situadas en el punto de conexión de la canalización con el envolvente. La canalización metálica debe cumplir lo establecido en este Artículo y debe ir complementada por un conductor aislado interno instalado de acuerdo con lo indicado en la Excepción 4 de 250-74, para que sirva de conexión de puesta a tierra del envolvente del equipo.

**NOTA:** El uso de un conductor de puesta a tierra aislado para equipo no exime del requisito de poner a tierra la canalización y la caja.

**250-76. Unión en instalaciones a más de 250 V.** En circuitos a más de 250 V a tierra, que contengan conductores que no sean los de la acometida, se debe asegurar la continuidad eléctrica de las canalizaciones metálicas y de cables con cubierta metálica por medio de uno o más de los métodos especificados para las acometidas en 250-72(b) a (e).

**Excepción:** Cuando no haya tapas de las cajas de empalmes de mayor tamaño nominal, concéntricas o excéntricas o cuando se hayan probado tapas concéntricas o excéntricas y el envolvente esté aprobado y listado para ese uso, se permiten los siguientes medios:

- a. Uniones y conectores sin rosca para cables con forro metálico.
- b. Tuerca y contratuerca en un tubo (conduit) metálico tipo pesado o semipesado, una dentro y otra fuera de la caja o envolvente.
- c. Herrajes con lengüetas que asienten firmemente el envolvente, como los conectores para tubo (conduit) metálico tipo ligero, conectores para tubo (conduit) metálico flexible y conectores de cables con una tuerca dentro de cajas y envolventes.
- d. Otros herrajes aprobados.

**250-77. Unión de canalizaciones metálicas con juntas de expansión.** Los herrajes de dilatación y las partes telescópicas de las canalizaciones metálicas deben hacerse eléctricamente continuas mediante puentes de unión del equipo u otros medios.

**250-78. Unión en áreas peligrosas (clasificadas).** Independientemente de la tensión eléctrica del sistema eléctrico, se debe asegurar la continuidad eléctrica de las partes metálicas no conductoras de equipo, canalizaciones y otros envolventes en las áreas peligrosas (clasificadas) que define el Artículo 500, por cualquiera de los medios especificados para las acometidas en 250-72 y que estén aprobados para los métodos de instalación utilizados.

**250-79. Puente de unión principal y puente del equipo**

**a) Material.** Los puentes de unión principal y del equipo deben ser de cobre o de otro material resistente a la corrosión. Un puente de unión principal o un puente de unión según lo exigido en 250-26(a) puede ser un cable, alambre, tornillo o conductor equivalente adecuado.

**b) Construcción.** Cuando el puente de unión principal sea un solo tornillo, éste se debe identificar mediante un color verde que sea visible con el tornillo instalado.

**c) Sujeción.** Los puentes de unión principal y de equipo se deben sujetar según se establece en 250-113 para los circuitos y equipo y en 250-115 para los electrodos de puesta a tierra.

**d) Tamaño nominal de los puentes del equipo y de unión principal en el lado de suministro de la acometida.** El puente de unión no debe ser de menor tamaño nominal que lo establecido en la Tabla 250-94 para los conductores del electrodo de puesta a tierra. Cuando los conductores de fase de entrada a la acometida sean de cobre de más de 557 mm<sup>2</sup> (1 100 kcmils) o de aluminio de 887 mm<sup>2</sup> (1 750 kcmils), el puente de unión debe tener un tamaño nominal no inferior a 12,5% que el mayor conductor de fase excepto que, cuando los conductores de fase y el puente de unión sean de distinto material (cobre o aluminio), el



tamaño nominal mínimo del puente de unión se debe calcular sobre la hipótesis del uso de conductores de fase del mismo material que el puente de unión y con una capacidad de conducción de corriente equivalente a la de los conductores de fase instalados. Cuando se instalen conductores de entrada a la acometida en paralelo en dos o más cables o canalizaciones, el puente de unión de equipo, si está instalado junto con esos cables o canalizaciones, debe instalarse en paralelo. El tamaño nominal del puente de unión de cada canalización o cable se debe calcular a partir de los conductores de la acometida en cada cable o canalización.

El puente de unión de la canalización del conductor de un electrodo de puesta a tierra o cable blindado, como se indica en 250-92(b), debe ser del mismo tamaño nominal o mayor que el correspondiente conductor del electrodo de puesta a tierra. En sistemas de corriente eléctrica continua, el tamaño nominal del puente de unión no debe ser inferior al del conductor de puesta a tierra del sistema, tal como se especifica en 250-93.

**e) Tamaño nominal del puente de unión del lado de la carga de la acometida.** El puente de unión de equipo del lado de la carga de los dispositivos de sobrecorriente de la acometida no debe ser inferior al tamaño nominal que se indica en la Tabla 250-95. Se permite conectar con un solo puente de unión común continuo dos o más canalizaciones o cables, si el puente tiene un tamaño nominal de acuerdo con lo indicado en la Tabla 250-95 para el mayor de los dispositivos de sobrecorriente que protege a los circuitos conectados al mismo.

**Excepción:** No es necesario que el puente de unión para equipo sea de mayor tamaño nominal que los conductores de los circuitos que suministran energía a los mismos, pero no debe ser inferior a 2,08 mm<sup>2</sup> (14 AWG).

**f) Instalación del puente de unión de equipo.** Se permite instalar el puente de unión de equipo dentro o fuera de una canalización o de un envolvente. Si se instala fuera, la longitud del puente no debe ser mayor que 1,8 m y debe ir junto con la canalización o envolvente. Cuando se instale dentro de la canalización, el puente de unión de equipo debe cumplir los requisitos establecidos en 250-114 y 310-12(b).

#### **250-80. Puentes de unión de sistemas de tubería y de acero estructural expuesto**

**a) Tubería metálica para agua.** Un sistema de tubería interior metálica para agua se debe conectar al envolvente del equipo de acometida, al conductor puesto a tierra de la acometida, al conductor del electrodo de puesta a tierra cuando tenga tamaño nominal suficiente o a uno o más de los electrodos de puesta a tierra de la instalación. El puente de unión debe tener un tamaño nominal de acuerdo con lo indicado en la Tabla 250-94 y estar instalado según 250-92(a) y (b). Los puntos de unión del puente deben ser accesibles.

**Excepción:** En edificios de varios departamentos en los que el sistema interior de tubería metálica para agua de cada departamento esté aislado metálicamente de los demás por medio de tubería no metálica, se permite que la tubería interior para agua de cada departamento vaya unida al panel de alumbrado y control o al envolvente del tablero de distribución de ese departamento (distinto del equipo de acometida). El tamaño nominal del puente de unión debe ser como se establece en la Tabla 250-95.

Cuando exista un sistema derivado separadamente que use un electrodo de puesta a tierra, como se especifica en 250-26(c)(3), se debe conectar al conductor de puesto a tierra de cada sistema derivado separadamente en el punto más cercano posible del sistema de tubería metálica interior para agua de la zona a la que suministra energía el sistema derivado separadamente. El conductor de unión debe tener un tamaño nominal de acuerdo con lo indicado en la Tabla 250-94 y estar instalado según 250-92(a) y (b). Los puntos de unión del conductor de unión deben ser accesibles.

**b) Otros sistemas de tubería metálica.** Los sistemas de tubería metálica interior que pueden quedar energizadas, deben unirse al envolvente del equipo de acometida, al conductor de acometida puesto a tierra, al conductor del electrodo de puesta a tierra cuando tenga tamaño nominal suficiente o a uno o más de los electrodos de puesta a tierra de la instalación.

Se permite utilizar como medio de unión el conductor de puesta a tierra de equipo del circuito que pueda energizar la tubería.

**NOTA:** Se puede tener mayor seguridad, si se une entre sí toda la tubería metálica y conductos de aire del edificio.

**c) Acero estructural.** El acero estructural interior expuesto que se conecta para formar la estructura de acero de un edificio, que no es puesto a tierra intencionadamente y que puede quedar energizado, se debe conectar al envolvente del equipo de acometida, al conductor puesto a tierra de la acometida, al conductor del electrodo de puesta a tierra cuando tenga tamaño nominal suficiente o a uno o más de los electrodos de

puesta a tierra de la instalación. El puente de unión debe tener un tamaño nominal de acuerdo con lo indicado en la Tabla 250-94 e instalarse de acuerdo con lo establecido en 250-92(a) y (b). Los puntos de unión del puente de unión deben ser accesibles.

#### H. Sistema de electrodos de puesta a tierra

**250-81. Sistema de electrodos de puesta a tierra.** Si existen en la propiedad, en cada edificio o estructura perteneciente a la misma, los elementos (a) a (d) que se indican a continuación y cualquier electrodo de puesta a tierra prefabricado instalado de acuerdo con lo indicado en 250-83(c) y 250-83(d), deben conectarse entre sí para formar el sistema de electrodos de puesta a tierra. Los puentes de unión se deben instalar de acuerdo con lo indicado en 250-92(a) y 250-92(b), deben dimensionarse según lo establecido en 250-94 y deben conectarse como se indica en 250-115.

Se permite que el conductor del electrodo de puesta a tierra sin empalmes llegue hasta cualquier electrodo de puesta a tierra disponible en el sistema de electrodos de puesta a tierra. Debe dimensionarse de acuerdo con el conductor para electrodo de puesta a tierra exigido entre todos los electrodos disponibles.

La conexión entre los electrodos se hará independientemente del uso de cada uno.

**NOTA:** En el terreno o edificio pueden existir electrodos o sistemas de tierra para equipos de cómputo, pararrayos, telefonía, comunicaciones, subestaciones o acometida, apartarrayos, entre otros, y todos deben conectarse entre sí.

**Excepción 1:** Se permite empalmar el conductor del electrodo de puesta a tierra mediante conectores a presión aprobados para este fin o mediante el proceso de soldadura exotérmica.

La tubería metálica interior para agua situada a más de 1,5 m del punto de entrada en el edificio, no debe utilizarse como parte de la instalación del electrodo de puesta a tierra o como conductor para conectar electrodos de puesta a tierra que formen parte de dicha instalación.

**Excepción 2:** En las construcciones industriales y comerciales, cuando las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que sólo personal calificado atiende la instalación y la tubería metálica interior para agua que se vaya a utilizar como conductor esté expuesta en toda su longitud.

**NOTA:** Para los requisitos especiales de conexión y puesta a tierra en edificios agrícolas, véase 547-8.

Los electrodos permitidos para puesta a tierra son los que se indican de (a) a (d). En ningún caso se permite que el valor de resistencia a tierra del sistema de electrodos de puesta a tierra sea superior a 25  $\Omega$ .

**a) Tubería metálica subterránea para agua.** Una tubería metálica subterránea para agua en contacto directo con la tierra a lo largo de 3 m o más (incluidos los ademes metálicos de pozos efectivamente unidos a la tubería) y con continuidad eléctrica (o continua eléctricamente mediante la unión de las conexiones alrededor de juntas aislantes, o secciones aislantes de tubos) hasta los puntos de conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra y de los conductores de unión. La continuidad de la trayectoria de puesta a tierra o de la conexión de unión de la tubería interior no se debe hacer a través de medidores de consumo de agua, filtros o equipo similares. Una tubería metálica subterránea para agua se debe complementar mediante un electrodo adicional del tipo especificado en 250-81 o 250-83. Se permite que este electrodo de puesta a tierra suplementario esté unido al conductor del electrodo de puesta a tierra, al conductor de la acometida puesto a tierra, la canalización de la acometida puesta a tierra o cualquier envolvente de la acometida puesto a tierra.

Cuando este electrodo suplementario sea prefabricado como se establece en 250-83(c) o 250-83(d), se permite que la parte del puente de unión que constituya la única conexión con dicho electrodo suplementario no sea mayor que un cable de cobre de 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) o un cable de aluminio de 21,2 mm<sup>2</sup> (4 AWG).

**Excepción:** Se permite que el electrodo de puesta a tierra suplementario vaya conectado a la tubería metálica interior para agua en cualquier punto que resulte conveniente, como se explica en la Excepción 2 de 250-81.

**b) Estructura metálica del edificio.** La estructura metálica del edificio, cuando esté puesta a tierra eficazmente.

**c) Electrodo empotrado en concreto.** Un electrodo empotrado como mínimo 50 mm en concreto, localizado en y cerca del fondo de un cimiento o zapata que esté en contacto directo con la tierra y que conste como mínimo de 6 m de una o más varillas de acero desnudo o galvanizado o revestido de cualquier otro recubrimiento eléctricamente conductor, de no menos de 13 mm de diámetro o como mínimo 6,1 m de conductor de cobre desnudo de tamaño nominal no inferior a 21,2 mm<sup>2</sup> (4 AWG).

**d) Anillo de tierra.** Un anillo de tierra que rodee el edificio o estructura, en contacto directo con la tierra y a una profundidad bajo la superficie no inferior a 800 mm que conste como mínimo en 6 m de conductor de cobre desnudo de tamaño nominal no inferior a 33,6 mm<sup>2</sup> (2 AWG).

**250-83. Electrodo especialmente contruidos.** Cuando no se disponga alguno de los electrodos especificados en 250-81, debe usarse uno o más de los electrodos especificados en los incisos a continuación, en ningún caso el valor de resistencia a tierra del sistema de electrodos de puesta a tierra debe ser superior a 25  $\Omega$ .

Cuando sea posible, los electrodos de puesta a tierra contruidos especialmente deben enterrarse por debajo del nivel de humedad permanente. Los electrodos de puesta a tierra especialmente contruidos deben estar libres de recubrimientos no conductores, como pintura o esmalte. Cuando se use más de un electrodo de puesta a tierra para el sistema de puesta a tierra, todos ellos (incluidos los que se utilicen como electrodos de puesta a tierra de pararrayos) no deben estar a menos de 1,8 m de cualquier otro electrodo de puesta a tierra o sistema para puesta a tierra. Dos o más electrodos de puesta a tierra que estén efectivamente conectados entre sí, se deben considerar como un solo sistema de electrodos de puesta a tierra.

**a) Sistema de tubería metálica subterránea de gas.** No se debe usar como electrodo de puesta a tierra un sistema de tubería metálica subterránea de gas.

**b) Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos.** Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos, como tubería y tanques subterráneos.

**c) Electrodo de varilla o tubería.** Los electrodos de varilla y tubo no deben tener menos de 2,4 m de longitud, deben ser del material especificado a continuación y estar instalados del siguiente modo:

**1)** Los electrodos de puesta a tierra consistentes en tubería o tubo (conduit) no deben tener un tamaño nominal inferior a 19 mm (diámetro) y, si son de hierro o acero, deben tener su superficie exterior galvanizada o revestida de cualquier otro metal que los proteja contra la corrosión.

**2)** Los electrodos de puesta a tierra de varilla de hierro o de acero deben tener como mínimo un diámetro de 16 mm. Las varillas de acero inoxidable inferiores a 16 mm de diámetro, las de metales no ferrosos o sus equivalentes, deben estar aprobadas y tener un diámetro no inferior a 13 mm.

**3)** El electrodo de puesta a tierra se debe instalar de modo que tenga en contacto con el suelo un mínimo de 2,4 m. Se debe clavar a una profundidad no inferior a 2,4 m excepto si se encuentra roca, en cuyo caso el electrodo de puesta a tierra se debe clavar a un ángulo oblicuo que no forme más de 45° con la vertical, o enterrar en una zanja que tenga como mínimo 800 mm de profundidad. El extremo superior del electrodo de puesta a tierra debe quedar a nivel del piso, excepto si el extremo superior del electrodo de puesta a tierra y la conexión con el conductor del electrodo de puesta a tierra están protegidos contra daño físico, como se especifica en 250-117.

**d) Electrodo de placas.** Los electrodos de puesta a tierra de placas deben tener en contacto con el suelo un mínimo de 0,2 m<sup>2</sup> de superficie. Los electrodos de puesta a tierra de placas de hierro o de acero deben tener un espesor mínimo de 6,4 mm. Los electrodos de puesta a tierra de metales no ferrosos deben tener un espesor mínimo de 1,52 mm.

**e) Electrodo de aluminio.** No está permitido utilizar electrodos de aluminio.

**250-84. Resistencia de electrodos de varillas, tubería y placas.** Un electrodo que consista en una varilla, tubería o placa, debe tener una resistencia a tierra de 25  $\Omega$  o menor una vez enterrado. En caso de que la resistencia a tierra sea mayor que 25  $\Omega$  debe complementarse con uno o más electrodos adicionales de cualquiera de los tipos especificados en 250-81 o 250-83 hasta obtener este valor de resistencia permisible. Cuando se instalen varios electrodos de barras, tubos o placas para cumplir los requisitos de esta Sección se deben colocar a una distancia mínima de 1,8 m entre sí y deben estar efectivamente conectados entre sí. El valor de la resistencia a tierra de los electrodos no debe ser mayor que 25  $\Omega$  para casas habitación, comercios, oficinas o locales considerados como de concentración pública.

**NOTA:** La instalación en paralelo de varillas de más de 2,4 m aumenta la eficiencia si se separan más de 1,8 m.

**250-86. Sistema de electrodos de puesta a tierra de pararrayos.** No se deben utilizar conductores de puesta a tierra de pararrayos, ni tubos, varillas u otros electrodos de puesta a tierra fabricados utilizados para poner a tierra las bajadas de los pararrayos, en sustitución de los electrodos de puesta a tierra indicados en 250-83 para la puesta a tierra de sistemas eléctricos y de equipo. Esta disposición no impide cumplir los requisitos de unión de los electrodos de puesta a tierra de diversos sistemas.

**NOTA 1:** Para la separación de los conductores de bajada de los pararrayos con otros elementos metálicos, véase 250-46. Para la unión de sistemas de electrodos de puesta a tierra, véanse 800-40(d), 810-21(j) y 820-40(d).

**NOTA 2:** Si se interconectan todos los electrodos de puesta a tierra de distintos sistemas, se limita la diferencia de potencial entre ellos y entre sus correspondientes sistemas de alambrado.

### **I. Conductores de puesta a tierra**

**250-91. Materiales.** Los materiales de los conductores de puesta a tierra se especifican en los incisos siguientes:

**a) Conductor del electrodo de puesta a tierra.** El conductor de puesta a tierra debe ser de cobre o de otro material resistente a la corrosión. El material elegido debe ser resistente a la corrosión que pueda producirse en la instalación, y debe estar adecuadamente protegido contra la corrosión. El conductor debe ser alambre o cable, aislado, forrado o desnudo y debe ser de un solo tramo continuo, sin empalmes ni uniones.

**Excepción 1:** Se permiten empalmes en barras conductoras.

**Excepción 2:** Cuando haya una acometida con más de un envolvente, como se permite en la Excepción 2 de 230-40, está permitido conectar derivaciones al conductor del electrodo de puesta a tierra. Cada una de estas derivaciones debe llegar hasta el interior del envolvente. El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra debe estar de acuerdo con lo indicado en 250-94, pero los conductores de la derivación pueden tener un tamaño nominal de acuerdo con los conductores del electrodo de puesta a tierra especificados en 250-94, según el conductor de mayor tamaño nominal que entre en los respectivos envolventes. Los conductores de la derivación se deben conectar al conductor del electrodo de puesta a tierra de modo que este conductor no contenga ningún empalme o unión.

**Excepción 3:** Se permite empalmar el conductor del electrodo de puesta a tierra por medio de conectores de presión del tipo irreversible aprobados para ese fin o mediante un proceso de soldadura exotérmica.

**b) Tipos de conductores para la puesta a tierra de equipo.** El conductor de puesta a tierra de equipo tendido con los conductores del circuito o canalizado con ellos, debe ser de uno de los siguientes tipos o una combinación de varios de ellos:

(1) un conductor de cobre u otro material resistente a la corrosión. Este conductor debe ser alambre o cable, aislado, cubierto o desnudo y formar un cable o barra de cualquier forma;

(2) un tubo (conduit) metálico tipo pesado;

(3) un tubo (conduit) metálico tipo semipesado;

(4) un tubo (conduit) metálico tipo ligero;

(5) un tubo (conduit) metálico flexible, si tanto el tubo (conduit) como sus accesorios están aprobados para puesta a tierra;

(6) la armadura de un cable de tipo AC;

(7) el blindaje de cobre de un cable con blindaje metálico y aislamiento mineral;

(8) el blindaje metálico de los conductores con blindaje metálico y los conductores de puesta a tierra que sean cables de tipo MC;

(9) canalizaciones prealambradas, tal como se permite en 365-2(a);

(10) otras canalizaciones metálicas con continuidad eléctrica, aprobadas para utilizarse para puesta a tierra.

**Excepción 1:** Cuando los conductores de un circuito, como los contenidos en este Artículo, estén protegidos por dispositivos de sobrecorriente de 20 A nominales o menos, se permiten como medios de puesta a tierra de esos circuitos a tubo (conduit) metálico flexible y tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos con designación de 12 (3/8) a 35 (1¼), siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

**a.** Que la longitud sumada del tubo (conduit) metálico flexible y del tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos en la misma trayectoria de puesta a tierra, no sea superior a 1,8 m.

**b.** Que el tubo (conduit) termine en accesorios aprobados y listados para puesta a tierra.

**Excepción 2:** Cuando los conductores de un circuito contenidos en ellos estén protegidos por dispositivos de sobrecorriente de más de 20 A nominales, pero que no excedan de 60 A, se permite utilizar como medios de puesta a tierra de esos circuitos al tubo (conduit) metálico flexible y hermético a los líquidos aprobado con designación de 12 (3/8) a 35 (1¼), siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

**a.** Que la longitud total del tubo (conduit) metálico flexible del tramo de retorno de tierra, no sea superior a 1,8 m.

b. Que no haya otro tubo (conduit) metálico flexible o tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos con designación de 12 (3/8) a 35 (1¼) que sirva como conductor de puesta a tierra de equipo en el mismo tramo de retorno de tierra.

c. Que el tubo (conduit) termine en accesorios aprobados para puesta a tierra.

c) **Electrodos suplementarios de puesta a tierra.** Se permite conectar electrodos suplementarios de puesta a tierra a los conductores de puesta a tierra de equipo especificados en 250-91(b), pero el terreno natural no debe utilizarse como el único conductor de puesta a tierra de equipo.

**250-92. Instalación.** Los conductores de puesta a tierra deben instalarse como se especifica en los siguientes incisos:

a) **Conductor del electrodo de puesta a tierra.** Un conductor del electrodo de puesta a tierra o su envolvente debe sujetarse firmemente a la superficie sobre la que va instalado. Un conductor de cobre o aluminio de 21,2 mm<sup>2</sup> (4 AWG) o superior debe protegerse si está expuesto a daño físico severo. Se puede llevar un conductor de puesta a tierra de 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) que no esté expuesto a daño físico, a lo largo de la superficie del edificio sin tubería o protección metálica, cuando esté sujeto firmemente al edificio; si no, debe ir en tubo (conduit) metálico tipo pesado, semipesado, ligero, en tubo (conduit) no metálico tipo pesado o un cable armado. Los conductores de puesta a tierra de tamaño nominal inferior a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) deben alojarse en tubo (conduit) metálico tipo pesado, semipesado, ligero, en tubo (conduit) no metálico tipo pesado o en cable armado.

No deben utilizarse como conductores de puesta a tierra, conductores aislados o desnudos de aluminio que estén en contacto directo con materiales de albañilería o terreno natural o si están sometidos a condiciones corrosivas. Cuando se utilicen a la intemperie, los conductores de puesta a tierra de aluminio no deben instalarse a menos de 45 cm del terreno natural.

b) **Envolventes para conductores del electrodo de puesta a tierra.** Las envolventes metálicas del conductor del electrodo de puesta a tierra deben ser eléctricamente continuas desde el punto de conexión a los envolventes o equipo hasta el electrodo de puesta a tierra, y deben estar sujetas firmemente a las abrazaderas o herrajes de tierra. Las envolventes metálicas que no sean continuas físicamente desde el envolvente o equipo hasta el electrodo de puesta a tierra, se deben hacer eléctricamente continuas mediante la unión de sus dos extremos al conductor de puesta a tierra. Cuando se utilice una canalización como protección del conductor de puesta a tierra, su instalación debe cumplir los requisitos del Artículo correspondiente a las canalizaciones.

c) **Conductor de puesta a tierra de equipo.** Un conductor de puesta a tierra de equipo se debe instalar como sigue:

1) Cuando consista en una canalización, un soporte tipo charola para cables, armadura o forro de cables o cuando sea un conductor dentro de una canalización o cable, debe instalarse cumpliendo las disposiciones aplicables de esta norma utilizando accesorios para uniones y terminales que estén aprobados para utilizarlos con el tipo de canalización o cable utilizados.

Todas las conexiones, uniones y accesorios deben fijarse firmemente con los medios adecuados.

2) Cuando haya un conductor de puesta a tierra de equipo independiente, como establece la Excepción de 250-50(a) y 250-50(b) y la Excepción 2 de 250-57(b) debe instalarse de acuerdo con lo indicado en 250-92(a) en lo que respecta a las limitaciones del aluminio y a la posibilidad de daño físico.

**Excepción:** No es necesario que los cables inferiores a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) se alojen dentro de una canalización o armadura cuando se instalen por los espacios huecos de una pared o cuando vayan instalados de modo que no sufran daño físico.

**250-93. Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra para c.c.** En los siguientes incisos se fijan los tamaños nominales de los conductores del electrodo de puesta a tierra de una instalación de c.c.

a) **No debe ser de tamaño nominal inferior al del neutro.** Cuando un sistema eléctrico de c.c. consista en un circuito balanceado de tres conductores o un devanado de equilibrio con protección contra sobrecorriente, como se establece en 445-4(d), el conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser de tamaño nominal inferior al del neutro.

**b) No debe ser de tamaño nominal inferior al del conductor más grande.** En instalaciones de c.c. distintas a las del anterior inciso (a), el conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser de tamaño nominal inferior al del conductor de mayor tamaño nominal del suministro de energía.

**c) No debe ser inferior a 8,37 mm<sup>2</sup> (8 AWG).** En ningún caso el conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser inferior a 8,37 mm<sup>2</sup> (8 AWG) de cobre o de 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) de aluminio.

**Excepciones a los anteriores (a) a (c):**

**a.** Cuando esté conectado a electrodos fabricados como se indica en 250-83(c) o (d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo sea superior a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) de cobre o 21,2 mm<sup>2</sup> (4 AWG) de aluminio.

**b.** Cuando esté conectado a un electrodo empotrado en concreto, como se indica en 250-81(c), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo sea superior a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) de cobre o 21,2 mm<sup>2</sup> (4 AWG) de aluminio.

**c.** Cuando esté conectado a un anillo de tierra como se indica en 250-81(d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo sea de mayor tamaño nominal que el conductor utilizado en el anillo de tierra.

**250-94. Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra en instalaciones de c.a.** El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra de una instalación de c.a. puesta o no puesta a tierra, no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 250-94.

**Excepción:**

**a.** Cuando esté conectado a electrodos fabricados como se indica en la Sección 250-83(c) o (d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituye la única conexión con dicho electrodo, sea superior a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) de cobre o 21,2 mm<sup>2</sup> (4 AWG) de aluminio.

**b.** Cuando esté conectado a un electrodo empotrado en concreto, como se indica en 250-81(c), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituye la única conexión con dicho electrodo sea superior a 21,2 mm<sup>2</sup> (4 AWG) de cobre.

**c.** Cuando esté conectado a un anillo de tierra como se indica en 250-81(d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituye la única conexión con dicho electrodo sea de mayor tamaño nominal que el conductor utilizado en el anillo de tierra.

**TABLA 250- 94.- Conductor del electrodo de tierra de instalaciones de c.a.**

Tamaño nominal del mayor conductor de entrada a la acometida o sección equivalente de conductores en paralelo mm <sup>2</sup> (AWG o kcmil)		Tamaño nominal del conductor al electrodo de puesta a tierra mm <sup>2</sup> (AWG o kcmil)	
Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
33,6 (2) o menor	53,5 (1/0) o menor	8,37 (8)	13,3 (6)
42,4 o 53,5 (1 o 1/0)	67,4 o 85,0 (2/0 o 3/0)	13,3 (6)	21,2 (4)
67,4 o 85,0 (2/0 o 3/0)	4/0 o 250 kcmil	21,2 (4)	33,6 (2)
Más de 85,0 a 177 (3/0 a 350)	Más de 127 a 253 (250 a 500)	33,6 (2)	53,5 (1/0)
Más de 177 a 304,0 (350 a 600)	Más de 253 a 456 (500 a 900)	53,5 (1/0)	85,0 (3/0)
Más de 304 a 557,38 (600 a 1100)	Más de 456 a 887 (900 a 1750)	67,4 (2/0)	107 (4/0)
Más de 557,38 (1100)	Más de 887 (1750)	85,0 (3/0)	127 (250)

Cuando se usen varios grupos de conductores de entrada a la acometida, como permite la Sección 230-40 Excepción 2, la sección transversal equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida se debe calcular por la mayor suma de las secciones transversales de los conductores de cada grupo.

Cuando no haya conductores de entrada a la acometida, la sección transversal del conductor al electrodo de puesta a tierra se debe calcular por la sección transversal equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida de acuerdo con la corriente eléctrica de carga calculada.

Véanse las restricciones de instalación en 250-92(a).

**NOTA:** Para el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra de una instalación de c.a. conectado con el equipo de la acometida, véase 250-23(b).

**250-95. Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo.** El tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo, de cobre o aluminio, no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 250-95.

Cuando haya conductores en paralelo en varias canalizaciones o cables, como se permite en 310-4, el conductor de puesta a tierra de equipo, cuando exista, debe estar instalado en paralelo. Cada conductor de puesta a tierra de equipo instalado en paralelo debe tener un tamaño nominal seleccionado sobre la base de la corriente eléctrica nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente que proteja los conductores del circuito en la canalización o cable, según la Tabla 250-95.

Cuando el tamaño nominal de los conductores se ajuste para compensar caídas de tensión eléctrica, los conductores de puesta a tierra de equipo, cuando deban instalarse, se deben ajustar proporcionalmente según el área en  $\text{mm}^2$  de su sección transversal.

Cuando sólo haya un conductor de puesta a tierra de equipo con varios circuitos en el mismo tubo (conduit) o cable, su tamaño nominal debe seleccionarse de acuerdo con el dispositivo de sobrecorriente de mayor corriente eléctrica nominal de protección de los conductores en el mismo tubo (conduit) o cable.

Si el dispositivo de sobrecorriente consiste en un interruptor automático de disparo instantáneo o un protector de motor contra cortocircuitos, como se permite en 430-52, el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra de equipo se puede seleccionar de acuerdo con la capacidad nominal del dispositivo de protección del motor contra sobrecarga, pero no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 250-95.

**Excepción 1:** Un conductor de puesta a tierra de equipo no debe ser menor que  $0,824 \text{ mm}^2$  (18 AWG) de cobre y no menor que el tamaño nominal de los conductores del circuito y que forme parte de cables de aparatos eléctricos, según se establece en 240-4.

**Excepción 2:** No es necesario que el conductor de puesta a tierra de equipo sea de mayor tamaño nominal que el de los conductores de los alimentadores de equipo.

**Excepción 3:** Cuando se use como conductor de puesta a tierra de equipo un tubo (conduit) o armadura o blindaje de cable, como se establece en 250-51, 250-57(a) y 250-91(b).

**TABLA 250-95.- Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos**

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. Sin exceder de:	Tamaño nominal $\text{mm}^2$ (AWG o kcmil)	
	(A)	Cable de cobre
15	2,08 (14)	---
20	3,31 (12)	---
30	5,26 (10)	---
40	5,26 (10)	---
60	5,26 (10)	---
100	8,37 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,2 (4)
300	21,2 (4)	33,6 (2)
400	33,6 (2)	42,4 (1)

500	33,6 (2)	53,5 (1/0)
600	42,4 (1)	67,4 (2/0)
800	53,5 (1/0)	85,0 (3/0)
1 000	67,4 (2/0)	107 (4/0)
1 200	85,0 (3/0)	127 (250)
1 600	107 (4/0)	177 (350)
2 000	127 (250)	203 (400)
2 500	177 (350)	304 (600)
3 000	203 (400)	304 (600)
4 000	253 (500)	405 (800)
5 000	354,7 (700)	608 (1 200)
6 000	405 (800)	608 (1 200)

Véase limitaciones a la instalación en 250-92(a)

**Nota:** Para cumplir lo establecido en 250-51, los conductores de puesta a tierra de los equipos podrían ser de mayor tamaño que lo especificado en esta Tabla.

**250-97. Alumbrado de realce.** Las partes metálicas aisladas y por las que no pasa corriente eléctrica normalmente de las instalaciones de alumbrado de realce, se permite que estén unidas mediante un conductor de 2,08 mm<sup>2</sup> (14 AWG) de cobre protegido contra daño físico, cuando un conductor que cumple con lo establecido en 250-95 se use como conductor de puesta a tierra de todo el grupo.

**250-99. Continuidad del conductor de puesta a tierra de equipo**

**a) Conexiones removibles.** Cuando se usen conexiones removibles, como las que se usan en equipo removable o en clavijas y sus respectivos receptáculos, el conductor de puesta a tierra de equipo debe ser diseñado, para que sea la primera que conecta y la última que desconecta a este conductor.

**Excepción:** Equipo, receptáculos, bases y conectores interconectados que impiden el paso de corriente eléctrica sin continuidad de la puesta a tierra del equipo.

**b) Desconectores.** En el conductor de puesta a tierra de equipo de la instalación de un sistema de alambrado de usuarios, no se debe instalar ningún medio de desconexión o de interrupción, manual o automático.

**Excepción:** Cuando la apertura del desconector o cortacircuitos desconecte todas las fuentes de alimentación.

**J. Conexiones de los conductores de puesta a tierra**

**250-112. Al electrodo de puesta a tierra.** La conexión de un conductor del electrodo de puesta a tierra con el electrodo de puesta a tierra correspondiente, debe ser accesible y estar hecha de tal manera que asegure una puesta a tierra eficaz y permanente. Cuando sea necesario asegurar esta conexión a una instalación de tubería metálica utilizada como electrodo de puesta a tierra, se debe hacer un puente de unión efectivo alrededor de las juntas y secciones aisladas y alrededor de cualquier equipo que se pueda desconectar para su reparación y sustitución. Los conductores de unión deben ser lo suficientemente largos como para permitir el desmontaje de dichos equipos, manteniendo la integridad de la unión.

**Excepción:** No es necesario que sea accesible una conexión enterrada con un electrodo de puesta a tierra empotrado en concreto, hundido o enterrado.

**250-113. A los conductores y equipo.** Los conductores de puesta a tierra y los cables de puentes de unión se deben conectar mediante soldadura exotérmica, conectores a presión aprobados, abrazaderas u otros medios también aprobados. No deben utilizarse medios o herrajes de conexión que sólo dependan de soldadura. Para conectar los conductores de puesta a tierra a los envoltentes no deben utilizarse pijas.

**250-114. Continuidad y conexión de los conductores de puesta a tierra de equipo a cajas.** Cuando entren en una caja o tablero dos o más conductores de puesta a tierra de equipo, todos esos conductores deben empalmarse o unirse dentro de la caja o a la caja, con accesorios adecuados a ese uso. No deben hacerse conexiones que dependan únicamente de soldadura. Los empalmes deben hacerse según se indica en 110-14(b), excepto el aislamiento, que no es necesario. La instalación de las conexiones de puesta a tierra debe hacerse de forma tal que la desconexión o desmontaje de una conexión, aparato eléctrico u otro dispositivo que reciba energía desde la caja, no impida ni interrumpa la continuidad de puesta a tierra.



**Excepción:** No es necesario que el conductor de puesta a tierra de equipo, tal como se permite en la Excepción 4 de 250-74, esté conectado a los otros conductores de puesta a tierra de equipo ni a la caja.

**a) Cajas metálicas.** Se debe hacer una conexión entre el conductor o conductores de puesta a tierra de equipo y la caja metálica, por medio de un tornillo de puesta a tierra que no debe utilizarse para otro uso o de un dispositivo aprobado y listado para puesta a tierra.

**b) Cajas no metálicas.** Cuando lleguen a una caja de empalmes no metálica uno o más conductores de puesta a tierra de equipo, se deben instalar de manera que puedan conectarse a cualquier herraje o dispositivo de la caja que deba ponerse a tierra.

**250-115. Conexión a los electrodos.** El conductor de puesta a tierra se debe conectar al electrodo de puesta a tierra mediante soldadura exotérmica, zapatas, conectores a presión, abrazaderas u otros medios aprobados. No deben utilizarse conexiones que dependan únicamente de la soldadura. Las abrazaderas de tierra deben estar aprobadas para el material del electrodo de puesta a tierra y para el conductor del electrodo de puesta a tierra y, cuando se utilicen en tubería, varillas u otros electrodos enterrados, deben estar también aprobadas para su uso enterradas directamente en el terreno natural. No debe conectarse al electrodo de puesta a tierra con la misma abrazadera o accesorio más de un conductor, excepto si la abrazadera o accesorio está aprobada(o) para utilizarla con varios conductores. La conexión debe hacerse por uno de los métodos explicados en los incisos siguientes:

**a) Abrazadera sujeta con pernos.** Abrazadera aprobada de latón o bronce fundido o hierro dulce o maleable.

**b) Accesorios y abrazaderas para tubería.** Un accesorio, abrazadera u otro mecanismo aprobado, sujeto con pernos a la tubería o a sus conexiones.

**c) Abrazadera de tierra de tipo solera.** Una abrazadera de tierra aprobada de tipo solera, con una base de metal rígido que asiente en el electrodo y con una solera de un material y dimensiones que no sea probable que cedan durante o después de la instalación.

**d) Otros medios.** Otros medios sustancialmente iguales a los descritos y aprobados.

**250-117. Protección de las uniones.** Las abrazaderas u otros accesorios para puesta a tierra deben estar aprobados para su uso general sin protección o protegerse contra daño físico, como se indica en los siguientes incisos:

**a) Sin daños probables.** Deben instalarse en lugares donde no sea probable que sufran daño.

**b) Con una cubierta protectora.** Dentro de una cubierta protectora metálica, de madera o equivalente.

**250-118. Superficies limpias.** Deben eliminarse de las roscas y de otras superficies de contacto de equipo que sean puestas a tierra, las capas no conductoras (como pinturas, barnices y lacas), para asegurar la continuidad eléctrica, o conectarlos por medio de accesorios hechos de tal modo que hagan innecesaria dicha operación.

**250-119. Identificación de las terminales de los dispositivos de puesta a tierra.** Las terminales de conexión de los conductores de puesta a tierra de equipo deben identificarse mediante:

(1) un tornillo terminal de cabeza hexagonal pintada de verde, que no se pueda quitar fácilmente;

(2) una tuerca terminal hexagonal pintada de verde, que no se pueda quitar fácilmente o

(3) un conector a presión pintado de verde. Si la terminal del conductor de puesta a tierra no es visible, debe marcarse el orificio de entrada del conductor de puesta a tierra con la palabra "verde" o "puesta a tierra", con las letras "V" o "T", "G" o "GR" o con el símbolo internacional de puesta a tierra indicado en la figura 250-119<sub>1</sub> o identificado de otra forma en color verde.



**FIGURA 250-119.- Símbolo de puesta a tierra IEC No. 5019**

#### **K. Transformadores de instrumentos, relevadores, etcétera**

**250-121. Circuitos para transformadores de instrumentos.** Los circuitos del secundario de transformadores de corriente y de potencial para instrumentos de medición deben ser puestos a tierra cuando el devanado del primario vaya conectado a circuitos de 300 V o más a tierra. Deben ser puestos a tierra en los tableros de distribución, independientemente del valor de la tensión eléctrica.

**Excepción:** Los circuitos en los que el devanado del primario va conectado a circuitos de menos de 1 000 V sin partes o cables expuestos ni accesibles más que a personas calificadas.

**250-122. Carcasas de los transformadores de instrumentos.** Las carcasas o armazones de transformadores de instrumentos deben ser puestos a tierra siempre que sean accesibles a personas no calificadas.

**Excepción:** Carcasas o armazones de transformadores de instrumentos cuyos primarios no tengan más de 150 V a tierra y que se utilicen exclusivamente para alimentar medidores.

**250-123. Carcasas de instrumentos, medidores y relevadores a menos de 1 000 V.** Los instrumentos, medidores y relevadores que funcionen con devanados o partes a menos de 1 000 V, deben ser puestos a tierra como se especifica en los siguientes incisos:

**a) Fuera de los tableros de distribución.** Los instrumentos, medidores y relevadores que funcionen con devanados o partes que no estén situados en tableros de distribución y que funcionen con devanados o partes a 300 V o más a tierra y accesibles a personas no calificadas, deben tener las carcasas y otras partes metálicas expuestas puestas a tierra.

**b) En los tableros de distribución de frente muerto.** Los instrumentos, medidores y relevadores (ya sea que funcionen conectados con transformadores de corriente y potencial o conectados directamente a su circuito), en tableros de distribución de frente muerto, deben tener sus carcasas puestas a tierra.

**c) En los tableros de distribución de frente vivo.** Los instrumentos, medidores y relevadores (ya sea que funcionen conectados con transformadores de corriente y potencial o conectados directamente a su circuito), en tableros de distribución que tengan partes energizadas en la parte frontal de los mismos, no deben tener sus carcasas puestas a tierra. Cuando la tensión eléctrica a tierra exceda de 150 V, debe haber tapetes de hule u otro material aislante para las personas que manipulen el tablero de distribución.

**250-124. Carcasas de instrumentos, contadores y relevadores que funcionan a 1 kV y más.** Cuando los instrumentos, medidores y relevadores contengan partes conductoras a 1 kV o más a tierra, se deben aislar elevándolas o protegiéndolas por medio de barreras adecuadas puestas a tierra en las partes metálicas o cubiertas aislantes o protectores aislantes. Sus carcasas no deben ser puestas a tierra.

**Excepción:** Las carcasas de detectores electrostáticos de tierra cuando las partes internas del instrumento puestas a tierra vayan conectadas a la carcasa del instrumento y puestas a tierra y el detector esté aislado mediante elevación.

**250-125. Conductor de puesta a tierra de los instrumentos.** El conductor de puesta a tierra de los circuitos derivados de transformadores de instrumentos y de las carcasas de los instrumentos, no debe ser menor que 3,31 mm<sup>2</sup> (12 AWG) de cobre. Se considera que las carcasas de transformadores de instrumentos, contadores y relevadores que vayan montados directamente sobre superficies o envolventes metálicos puestas a tierra o paneles de instrumentos metálicos puestas a tierra, están también puestas a tierra y no se requiere usar un conductor adicional.

#### **L. Puesta a tierra de sistemas y circuitos de alta tensión (600 V o más)**

**250-150. Disposiciones generales.** Cuando sean puestos a tierra los sistemas de alta tensión eléctrica (600 V o más), deben cumplir todas las disposiciones aplicables de las anteriores Secciones de este artículo y con las siguientes, en cuanto complementen y modifiquen a las anteriores.

**250-151. Sistema con neutro derivado.** Se permite usar para la puesta a tierra de sistemas de alta tensión eléctrica el neutro derivado de un transformador de puesta a tierra.

#### **250-152. Sistemas con neutro sólidamente puestas a tierra**

**a) Conductor neutro.** El nivel mínimo de aislamiento de conductores neutros de sistemas sólidamente puestas a tierra, debe ser de 600 V.

**Excepción 1:** Se permite usar conductores de cobre desnudos como neutro de la acometida y como neutro de la parte directamente enterrada de alimentadores.

**Excepción 2:** Se permite usar conductores desnudos como neutro de las instalaciones aéreas.

**NOTA:** Véase 225-4 acerca de los conductores que estén a menos de 3 m de cualquier edificio o estructura.

**b) Puestas a tierra múltiples.** Se permite que el neutro de un sistema con neutro sólidamente puesto a tierra, esté puesto a tierra en más de un punto en el caso de:

- 1) Acometidas.
- 2) Partes directamente enterradas de los alimentadores cuyo neutro sea de cobre desnudo.
- 3) Instalaciones aéreas.

**c) Conductor de puesta a tierra del neutro.** Se permite que el conductor de puesta a tierra del neutro sea un conductor desnudo si está aislado de los conductores de fase y protegido contra daño físico.

**250-153. Sistemas con neutro puesto a tierra a través de impedancia.** Los sistemas con neutro puesto a tierra a través de impedancia deben cumplir lo establecido en los siguientes incisos.

**a) Ubicación.** La impedancia de puesta a tierra se debe insertar en el conductor de puesta a tierra entre el electrodo (o sistema de electrodos) de puesta a tierra del sistema de suministro y el punto neutro del transformador o del generador de suministro.

**b) Identificación y aislamiento.** Cuando se emplee el conductor neutro de un sistema con neutro puesto a tierra a través de impedancia, se debe identificar así y aislarlo totalmente con el mismo nivel de aislamiento que los conductores de fase.

**c) Conexión con el neutro del sistema.** El neutro de la instalación no se debe poner a tierra si no es a través de la impedancia de puesta a tierra del neutro.

**d) Conductores de puesta a tierra de equipo.** Se permite que los conductores de puesta a tierra de equipo sean cables desnudos y deben ser conectados al conductor del electrodo de puesta a tierra y al conductor de puesta a tierra del equipo de la acometida, prolongándolos hasta el sistema de tierra del sistema.

**250-154. Puesta a tierra de sistemas de suministro a equipo móvil o portátil.** Los sistemas que suministren energía a equipo portátil o móvil en alta tensión, distintos de las subestaciones provisionales, deben cumplir con los siguientes incisos.

**a) Equipo móvil o portátil.** El equipo móvil o portátil en alta tensión se debe alimentar desde un sistema que tenga su neutro puesto a tierra a través de una impedancia. Cuando se utilice para alimentar equipo móvil o portátil una instalación de alta tensión conectada en delta, se debe obtener un neutro derivado del sistema.

**b) Partes expuestas no conductoras de corriente eléctrica normalmente.** Las partes expuestas de equipo móvil o portátil por las que no pase corriente eléctrica normalmente, se deben conectar mediante un conductor de puesta a tierra de equipo al punto de puesta a tierra de la impedancia del neutro del sistema.

**c) Corriente eléctrica por falla de tierra.** La tensión eléctrica que se crea entre las carcasas de equipo móvil o portátil y tierra cuando pasa la corriente eléctrica máxima de falla a tierra, no debe superar 100 V.

**d) Detección y relevadores de falla a tierra.** Se deben instalar dispositivos de detección y relevadores de falla a tierra que desconecten automáticamente cualquier componente de una instalación de alta tensión en la que se haya producido una falla a tierra. Se debe vigilar permanentemente la continuidad del conductor de puesta a tierra de equipo para ver si descarga automáticamente la alta tensión de alimentación que se produce en el equipo móvil o portátil, si se pierde la continuidad del conductor de puesta a tierra de equipo.

**e) Aislamiento.** El electrodo de puesta a tierra al que va conectada la impedancia del neutro del sistema de equipo móvil o portátil, debe ser independiente e ir separado 6,1 m como mínimo, de cualquier otro electrodo de puesta a tierra de sistemas o equipo y no debe haber conexión directa entre los electrodos de tierra, como tuberías enterradas, cercas u otros.

**f) Cable y conectores de acoplamiento.** El cable y los conectores de alta tensión para interconectar equipo móvil o portátil, debe cumplir con lo establecido en la Parte C del Artículo 400 (cable) y en 710-45 (conectores).

**250-155. Puesta a tierra de equipo.** Todas las carcasas de equipo fijo, móvil o portátil y de sus correspondientes cercas, alojamientos, envolventes y estructuras de soporte por las que no pase corriente eléctrica normalmente, deben ser puestos a tierra.

## Bibliografía

1. AEMC Instruments, Pruebas de Resistencia de Tierra,  
[http://www.aemc.com/techinfo/techworkbooks/ground\\_resistance\\_testers/950-WKBK-GROUND-SP.pdf](http://www.aemc.com/techinfo/techworkbooks/ground_resistance_testers/950-WKBK-GROUND-SP.pdf)
2. Parres norma de construcción para el sistema de tierra en acero, n/05/106/01  
<http://www.parres.com.mx/>
3. Puesta a tierra y conductores de protección  
[http://ie.fing.edu.uy/ense/asign/iiee/Documentos/Teorico/Puesta\\_tierra.pdf](http://ie.fing.edu.uy/ense/asign/iiee/Documentos/Teorico/Puesta_tierra.pdf)
4. Rojas Gregor, Manual de puesta a tierra, Capitulo 1  
<http://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf>

## Referencias Electrónicas

- [http://www.gedisa.com.ve/recientes\\_aun/catalogos/electricos/libreria\\_gediweld/libreria/04%20CAP%203%20GEDIWELD%202007.pdf](http://www.gedisa.com.ve/recientes_aun/catalogos/electricos/libreria_gediweld/libreria/04%20CAP%203%20GEDIWELD%202007.pdf)
- [http://www.lyncole-latam.com/Documentos/FUNDAMENTOS\\_DE\\_PUESTA\\_A\\_TIERRA.pdf](http://www.lyncole-latam.com/Documentos/FUNDAMENTOS_DE_PUESTA_A_TIERRA.pdf)
- <http://www.epa.gov/espanol/leyes/>
- <http://www.ab.com/es/epub/catalogs/3377539/5866177/3378076/7131355/Est-ndares-de-los-EE-UU.htm>
- [http://www.ute.com.uy/servicios\\_cliente/firmas\\_instaladoras/reglamento.htm](http://www.ute.com.uy/servicios_cliente/firmas_instaladoras/reglamento.htm)