



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTA DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

**“ESPECIFICACIONES E INSTALACIÓN DE PUESTA A  
TIERRA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS, (C.A Y C.D),  
PARA UNA ESTACIÓN BASE DE TELECOMUNICACIONES”.**

**TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
ÁREA: ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**PRESENTA:  
TESILLOS MARTÍNEZ EDUARDO**

**ASESOR: ING. ADRIÁN PAREDES ROMERO**



**NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO, 2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

<b>ÍNDICE</b>	<b>i</b>
<b>OBJETIVO</b>	<b>iii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>iv</b>
<b>CAPÍTULO 1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE PUESTA A TIERRA</b>	<b>1</b>
1.1 Definiciones y conceptos básicos	2
1.2 Diferencias entre la conexión de tierra y neutro	6
1.3 Tipos de sistemas de puesta a tierra	7
1.4 Puesta a tierra de protección atmosférica	8
1.5 Puesta a tierra de protección	11
1.6 Mediciones de tierras	13
1.7 Proceso de diseño	17
<b>CAPÍTULO 2 RESISTIVIDAD DE LA TIERRA</b>	<b>18</b>
2.1 Resistividad	19
2.2 Efecto del Tamaño del electrodo de toma de tierra y de la profundidad sobre la distancia	27
2.3 Medida de Resistencia de Tierra de Pinza	40
<b>CAPÍTULO 3 ESPECIFICACIONES GENERALES DEL SISTEMA DE TIERRA DE LA ESTACIÓN BASE</b>	<b>45</b>
3.1 Valor de la resistencia de conexión a tierra física	46
3.2 Afectaciones de la resistencia de conexión a tierra física	46
3.3 Métodos de medición de tierra física	48
3.4 Conductores de tierra	53
3.5 Puesta a tierra de Protección y Puesta a tierra funcional	57
3.6 Tensión de toque y Tensión de paso	58
3.7 Resistencia de la puesta a tierra	61
3.8 Medida de la resistencia de una puesta a tierra	74
<b>CAPÍTULO 4 PUESTA A TIERRA Y ACOMETIDA ELÉCTRICA PARA UNA ESTACIÓN BASE DE TELECOMUNICACIONES</b>	<b>78</b>
4.1 Especificaciones generales del sistema de tierra en una estación base	80
4.2 Norma de construcción para el sistema de tierra en acero	81
4.3 Procedimiento de instalación del pararrayos y su conexión a puesta a tierra	82
4.4 Conexión del cable de acero al electrodo de puesta a tierra 380 FE	92
4.5 Conformado de malla tierras	94
4.6 Derivaciones de la malla de tierra	98
4.7 Instalación de barras de acero BT-2G 12C en torre	103
4.8 Conexiones del sistema de tierra en interiores	107
4.9 Aislador para cable vertical	108
4.10 Conexiones en los anillos exteriores	112

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>114</b>
<b>ANEXO 1 SIMBOLOGÍA</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO 2 SISTEMA DE FUERZA DE CORRIENTE ALTERNA PARA RB'S</b>	<b>119</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>141</b>

## **OBJETIVO**

- DETERMINAR LAS ESPECIFICACIONES E INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS, (C.A Y C.D)É PARA UNA ESTACIÓN BASE DE TELECOMUNICACIONES.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- 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**

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.

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.

Cualquier instrumento conectado a una alimentación eléctrica está expuesto a descargas electrostáticas, interferencia electromagnética, descargas atmosféricas y errores humanos. Dichos sucesos ponen en riesgo principalmente la integridad humana y el patrimonio.

Tierra Física es una conexión real a la tierra. La puesta a tierra física es la unión eléctrica directa de parte del circuito eléctrico y u o partes no conductoras no pertenecientes al mismo, a una toma de tierra, mediante conductores eléctricos. Muchos de los errores de instrumentación, distorsión de armónicas y problemas de factor de potencia. Son debidos a un ineficaz sistema de conexión a tierra.

Un adecuado diseño y una correcta instalación de un sistema de puesta a tierra, para los sistemas de distribución de fuerza de C.A. es crítica para garantizar la seguridad del personal y el correcto funcionamiento de los equipos.

Este trabajo de tesis tiene como objetivo el proveer una guía para la instalación de los sistemas de puesta de tierra para equipos de fuerza de C.A. a las personas encargadas de la instalación y mantenimiento de dichos sistemas.

Todos los procedimientos y recomendaciones dictadas se basan en consideraciones generales de seguridad, la NOM-001-SEDE-2005.

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) que en su artículo 250 trata todo lo relacionado a la puesta a tierra.

## **CAPÍTULO 1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE PUESTA A TIERRA**

Por puesta a tierra se entiende como la conexión de un conductor eléctrico (electrodo) enterrado en el suelo con la finalidad de dispersar corrientes eléctricas y captar el potencial de referencia  $\ddot{A}$ ero $\ddot{A}$

Las puestas a tierra, se fabricaban en las plantas industriales, para la protección de las personas y de las maquinarias. Estas puestas a tierra se fabricaban artesanalmente con un tubo galvanizado, sal y carbón vegetal.

Estas puestas a tierra se mantenían húmedos y solo servirían ante una eventual descarga del equipo eléctrico por bajo nivel de aislamiento. Ante la evolución de la Electrónica con los microprocesadores, computadoras, variadores, PLC, es mucho más necesario que los componentes electrónicos en las tarjetas estén conectadas a tierra y así puedan descargar permanentemente corrientes residuales a una puesta a tierra de baja resistencia, es por eso que se hace imprescindible que las puestas a tierra sean de una buena calidad, es decir de 3 a 5 ohmios de resistencia máxima o lo que especifique el fabricante del equipo.

Para obtener una resistencia mínima en una puesta a tierra, influye mucho, la naturaleza del terreno, el tipo de electrodo, las soluciones electrolíticas y otros componentes como: el calibre del cable de conexión desde la puesta a tierra hasta el tablero de distribución eléctrica, los conectores, etc.

Los objetivos que persigue un sistema de puesta a tierra son muchos, en especial el de brindar seguridad a las personas, proteger las instalaciones, los equipos, maquinarias, facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección, asegurar ventajas en los centros de trabajo y la vida de los equipos,



establecer la permanencia de un potencial de referencia al estabilizar la tensión eléctrica a tierra bajo las condiciones normales de la operación<sup>1</sup>

### **1.1 Definiciones y conceptos básicos**

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 comprenderK

---

<sup>1</sup> <http://goo.gl/CX1liB> página recuperada marzo 30 de 2016

- 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.

### Definiciones

- **Alambre:** Conductor de cobre unifilar (de un solo hilo) rígido.
- **Barra de Tierra del Contenedor (BTC):** Es una barra instalada en el contenedor o sala que referencia al punto principal de toma de tierra.
- **Barra Exterior de Tierra (BET):** Es una barra de cobre que se instala en el exterior del contenedor debajo de la escotilla donde entran al contenedor o salas, las líneas de transmisión o feeders, en ella se aterrizan todas estas líneas de transmisión mediante los kit's de aterrizaje, la ventana de tierra deberá estar aislada de la pared del contenedor o sala.
- **Barra Interior de Tierra (BIT):** Es una barra instalada en el interior del contenedor debajo de la escotilla donde entran al contenedor o salas, las

líneas de transmisión o feeders, en ella se aterrizan todas estas líneas de transmisión mediante los kits de aterrizaje, y en Radio Bases de alta incidencia de descargas atmosféricas se aterrizan en ella los arrester's (Supresores de Transientes) de los feeder's, la ventana de tierra deberá estar aislada de la pared del contenedor o sala.

- **Barra de Tierra de Feeders (BTF):** Son las barras paralelas de tierras separadas entre si a una distancia de 0.25 m. y se instalan sobre la cama guía de ondas a cada 30m entre la cúspide de la torre al primer cambio de trayectoria vertical a horizontal, cuando la torre excede de los 30 m se instala un juego de barras en la parte media de la torre, en el plano horizontal se instalan después de cada cambio de trayectoria.
- **Barra de Tierra de Acometida (BTA):** Es una barra de cobre que se instala dentro del gabinete de equipos de medición de la acometida eléctrica, esta barra de cobre es la puesta a tierra del neutro de la compañía suministradora, del gabinete metálico de los equipos de medición y del gabinete del interruptor principal.
- **Cable:** Conductor eléctrico de cobre multifilar (de varios hilos) y flexible.
- **Carga electrostática:** Carga eléctrica almacenada que se produce por frotamiento, ionización de las moléculas del aire, influencia, proximidad, magnetismo e inducción.
- **Conductor activo:** Conductor de circuito que normalmente tiene una diferencia de potencial con respecto a tierra.
- **Conductor de puesta a tierra (Grounding Conductor):** Conductor que se usa para conectar a tierra, en el punto requerido, las cubiertas metálicas de los equipos, canalizaciones metálicas y otras partes metálicas no portadoras de corriente.
- **Conductor Puesto a Tierra:** El conductor puesto a tierra (**Grounded Conductor**) es instalado con la plena intención de conducir la corriente de desbalanceo del sistema trifásico a cuatro hilos es conocido también con el nombre de neutro y se identifica por el color blanco y su calibre se selecciona de acuerdo a la NOM.

- **Conexión:** La unión permanente de partes metálicas para formar una trayectoria eléctrica, que sea capaz de conducir cualquier corriente que le sea impuesta.
- **Corriente de falla:** Corriente que aparece al momento de una falla de aislamiento.
- **Diferencia de potencial:** Es cuando dos o más estructuras metálicas no están referidas al mismo punto de tierra y se presenta entre ellas un voltaje.
- **Electrodo de puesta a tierra:** Consiste de una o más partes conductoras, generalmente varillas, placas, compuestos químicos, enterrados en el suelo, con el propósito de hacer contacto eléctrico firme con la masa general de la tierra del lugar.
- **Escotilla:** Paso de guías de onda del exterior al interior de la sala de radios.
- **Misceláneos:** Son todas las estructuras metálicas, como: puertas, ductos de aire acondicionado, contactos polarizados, lámparas de alumbrado, escalerillas, canaletas, charolas de cables, tuberías conduit, tubería hidráulica.
- **Pararrayos:** Dispositivo de protección contra descargas atmosféricas, que constituye un medio seguro de conducir a tierra las descargas que inciden directamente sobre los puntos más elevados de un edificio, torre de transmisión o estructura de cualquier tipo.
- **Plano aislado de tierra:** Grupo de bastidores aislados del piso, interconectados, que están intencionalmente puesto a tierra a través de una sola conexión.
- **Plano integrado de tierra:** Grupo de bastidores no aislados del piso, interconectados, que están intencionalmente puestos a tierra a través de una sola conexión.
- **Puesta a tierra:** Acción y efecto de conectar a tierra efectivamente a ciertos elementos de un equipo o de un circuito, en la forma y métodos establecidos en estas normas.
- **Sistema de tierra:** Conjunto de conductores, electrodos y accesorios que interconectados eficazmente entre sí, tiene por objeto ofrecer una

trayectoria de baja impedancia para drenar las corrientes de falla, sobretensiones y descargas atmosféricas; al conectar a tierra las cubiertas y otras partes metálicas de los equipos eléctricos, así como aquellos elementos de los circuitos que lo requieran.

- **Soldadura exotérmica:** Es un método de soldadura para la realización de conexiones eléctricas. Está basado en la reducción del óxido de cobre por el aluminio. Esta reacción química desarrolla una cantidad elevada de calor.
- **Tensión de contacto:** Tensión que aparece al momento de una falla de aislamiento entre las partes metálicas simultáneamente accesibles.
- **Tensión de paso:** Es la diferencia de potencial entre dos puntos en la superficie del suelo, separados por un metro (un paso) en la dirección del gradiente de potencial máximo.
- **Toma de tierra:** Cuerpo o conjunto de cuerpos enterrados e interconectados, que aseguran un enlace eléctrico con la tierra.
- **Tierra:** Masa conductora cuyo potencial eléctrico en cada punto se considera igual a cero<sup>2</sup>.

## 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.

---

<sup>2</sup> Norma y especificación de instalaciones eléctricas y sistema de tierra para centrales msc y radiobases información propiedad de radio móvil Dipsa, s.a. de c.v. Rev. enero de 2003.

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.

### 1.3 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** 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.
- **Puesta a tierra de los equipos eléctricos.** Su propósito es eliminar los potenciales de toque que pudieran poner en peligro la vida y las propiedades, de forma que operen las protecciones por sobrecorriente de los equipos. Utilizado para conectar a tierra todos los elementos de la instalación que en condiciones normales de operación no están sujetos a tensiones, pero que pueden tener diferencia de potencial con respecto a tierra a causa de fallas accidentales en los circuitos eléctricos, así como los puntos de la instalación eléctrica en los que es necesario establecer una conexión a tierra para dar mayor seguridad, mejor funcionamiento y regularidad en la operación y en fin, todos los elementos sujetos a corrientes eléctricas importantes de corto circuito y sobretensiones en condiciones de falla.

Generalmente la resistencia a tierra en cualquier punto del sistema, no debe ser mayor a 10 Ohms. Para la conexión a tierra de los equipos, se instalan en los edificios, una barra de cobre electrolítico de dimensiones adecuadas, instaladas a unos 60 cm sobre el nivel de piso con una leyenda

indicativa, que es de uso exclusivo para el sistema de fuerza en las concentraciones de tableros de cada piso.

- **Puesta a tierra en señales electrónicas** Para evitar la contaminación con señales en frecuencias diferentes a la deseada. Se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero o a tierra.
- **Puesta a tierra de protección electrónica** Para evitar la destrucción de los elementos semiconductores por sobre voltajes, se colocan dispositivos de protección de forma de limitar los picos de sobré tensión conectados entre los conductores activos y tierra. La puesta a tierra de los equipos electrónicos y de control, consta de una serie de electrodos instalados remotamente al edificio. En el interior se instala una barra de cobre electrolítico de dimensiones adecuadas montada a 2.60 metros sobre nivel de piso terminado con una leyenda indicativa, que es de uso exclusivo para el sistema de electrónica. La resistencia a tierra máxima en este sistema debe ser de unos 2 Ohms, cuando no se alcanza la resistencia deseada, se instala algún elemento químico para reducir la resistividad del terreno y alcanzar así, la resistencia a tierra requerida. Figura 1.1

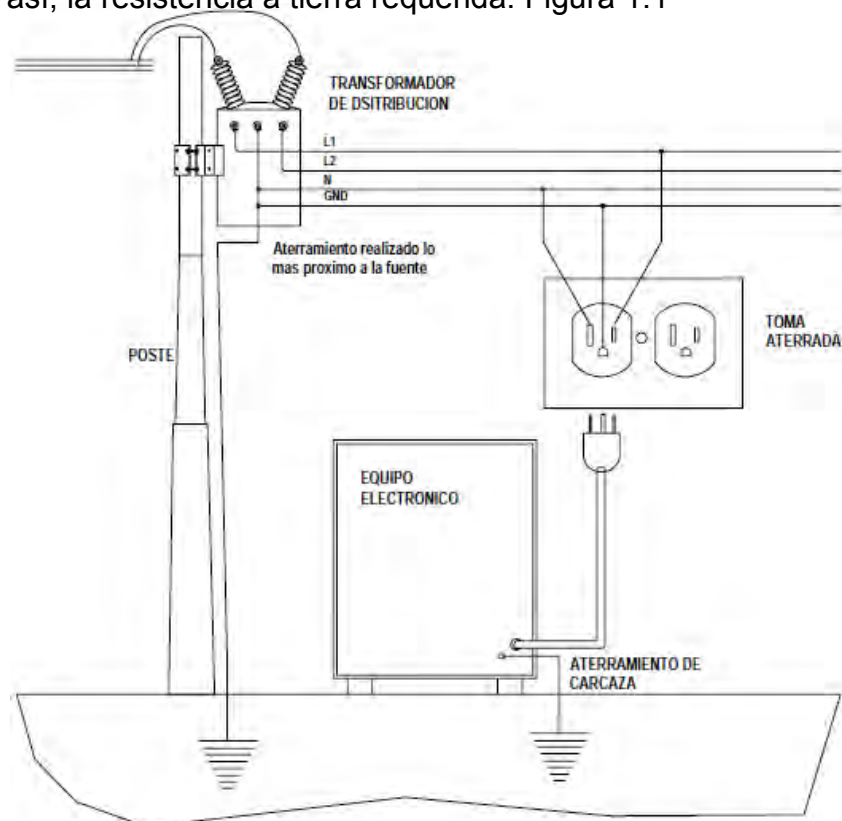


Figura 1.1 Puesta a tierra de equipo electrónico.

#### 1.4 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

- **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.
- **Puesta a tierra para sistemas eléctricos** Los sistemas eléctricos se conectan a tierra con el fin de limitar la tensión que pudiera aparecer en ellos, por estar expuestos a descargas atmosféricas, por interconexión en casos de fallas con sistemas de conexiones superiores, o bien, para limitar

el potencial máximo con respecto a tierra, producto por la tensión nominal del sistema. Este tipo de conexión se denominará tierra de servicio.

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

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

### **1.5 Puesta a tierra de protección**

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

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

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

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

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

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

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

- **Puesta a Tierra provisoria** Cuando se establece tierra provisoria para trabajar en líneas o equipos, debe tener presente que, en general, las Tierras de tirabuzón o la de las estructuras, son tierra de alta resistencia y, por lo tanto, se producen fuertes elevaciones de potencial al circular corriente en ellas. Cuando se ejecutan trabajos de estructuras metálicas conectadas al punto de trabajo para evitar diferencias de potencial. Siempre que el trabajo se ejecute una desconexión operando un equipo o abriendo un puente, debe tenerse en cuenta la posibilidad de alimentación desde cualquiera de los lados debe, por lo tanto, colocarse puesta a tierra en cada lado del o los puntos de apertura de los circuitos.

## 1.6 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.

- **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

- **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.
- **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.

- **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.

- **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
  - a. Proteger el cobre para décadas de vida útil;

- b. 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 electrolítica. Esta solución es entonces depositada en el suelo de material de relleno a través de los agujeros en la parte inferior creando una raíces electrolíticas.

Las raíces electrolíticas producidas disminuyen la resistencia del terreno mediante la ionización del suelo circundante. Esta solución crea raíces electrolíticas 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)

### 1.7 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.

- **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:

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

Donde

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.



## CAPÍTULO 2 LA TIERRA Y LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

El factor más importante de la resistencia a tierra no es el electrodo en sí, sino la resistividad del suelo mismo, por ello es requisito conocerla para calcular y diseñar la puesta a tierra de sistemas.

La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente" que para el interés de este trabajo, será conocida simplemente como "Resistividad del Terreno".

En la NOM-022-STPS-1999 se define el término resistividad, como la resistencia que ofrece al paso de la corriente un cubo de terreno de un metro por lado.

De acuerdo con la NOM-008-SCFI-1993, Su representación dimensional debe estar expresada en Ohm-m, cuya acepción es utilizada internacionalmente.

La resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del globo terrestre, estando determinada por:

- **Sales solubles** La resistividad del suelo es determinada principalmente por su cantidad de electrolitos; esto es, por la cantidad de humedad, minerales y sales disueltas. Como ejemplo, para valores de 1% (por peso) de sal (NaCl) o mayores, la resistividad es prácticamente la misma, pero, para valores menores de esa cantidad, la resistividad es muy alta.
- **Composición del terreno** La composición del terreno depende de la naturaleza del mismo. Por ejemplo, el suelo de arcilla normal tiene una resistividad de 40-500 ohm-m por lo que una varilla electrodo enterrada 3 m tendrá una resistencia a tierra de 15 a 200 ohms respectivamente. En cambio, la resistividad de un terreno rocoso es de 5000 ohm-m o más alta, y tratar de conseguir una resistencia a tierra de unos 100 ohm o menos con una sola varilla electrodo es virtualmente imposible.

- **Estratigrafía** El terreno obviamente no es uniforme en sus capas. En los 3 m de longitud de una varilla electrodo típica, al menos se encuentran dos capas diferentes de suelos. En XX se encuentran ejemplos de diferentes perfiles de resistividad.
- **Granulometría** Influye bastante sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad y sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra. Por esta razón la resistividad de la grava es superior a la de la arena y de que ésta sea mayor que la de la arcilla.
- **Estado higrométrico** El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático. Como ejemplo, la resistividad del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso de éste. Pero, un mayor contenido de humedad del 15% mencionado, causa que la resistividad sea prácticamente constante. Y, puede tenerse el caso de que en tiempo de secas, un terreno puede tener tal resistividad que no pueda ser empleado en el sistema de tierras. Por ello, el sistema debe ser diseñado tomando en cuenta la resistividad en el peor de los casos.
- **Temperatura** A medida que desciende la temperatura aumenta la resistividad del terreno y ese aumento se nota aún más al llegar a 0° C, hasta el punto que, a medida que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, se va reduciendo el movimiento de los electrolitos los cuales influyen en la resistividad de la tierra
- **Compactación** La resistividad del terreno disminuye al aumentar la compactación del mismo. Por ello, se procurará siempre colocar los electrodos en los terrenos más compactos posibles.

## 2.1 Resistividad

- **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.

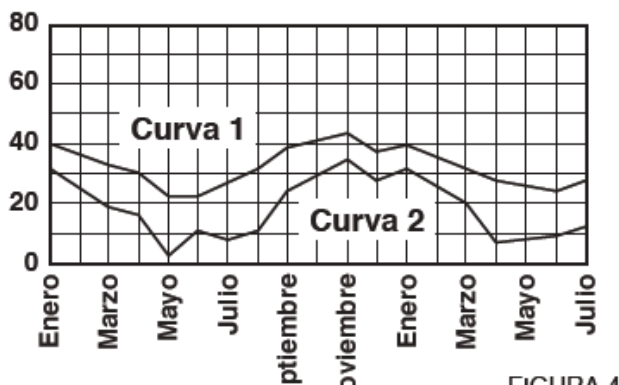
**Tabla 2.3 resistividad de la tierra es también influenciada por la temperatura**

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/>

- **Medidas de Resistividad de la Tierra** (Medidas de 2-4 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 es el de 4-puntos que es usado en el Modelo 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.

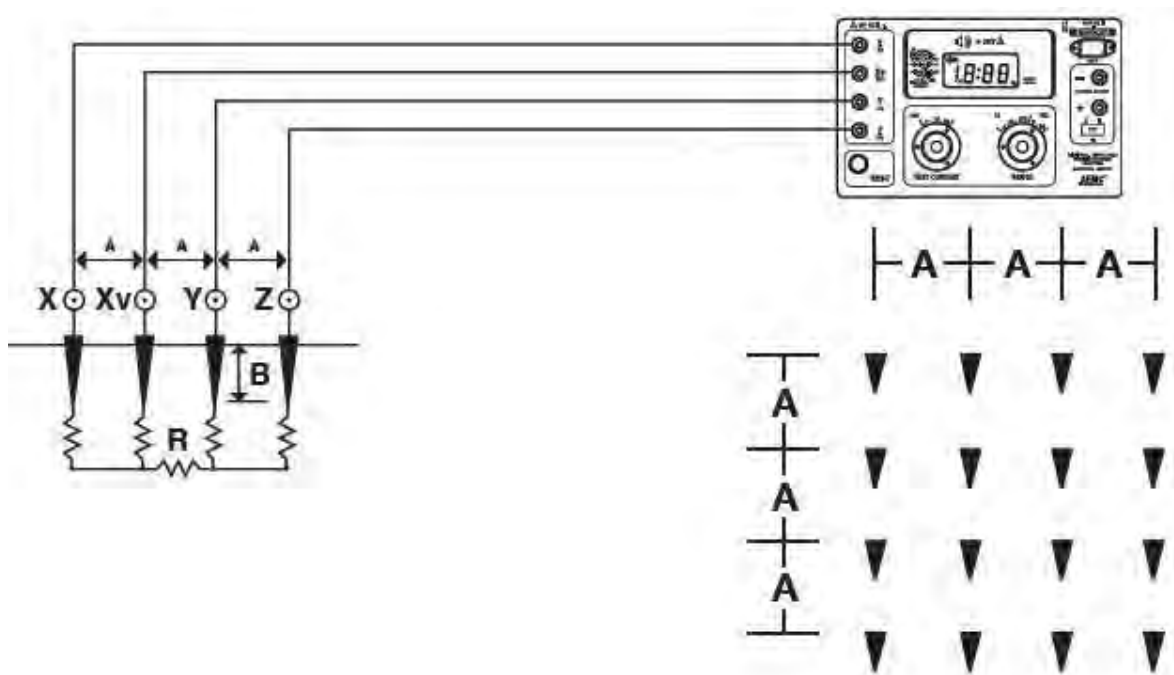


Figura 2.1 método de 2-puntos y el de 4-puntos.

Utilizar pies en lugar de cm:

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

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

$$\geq 2\pi AR \text{ (con A en cm)}$$

$$\geq 191.5 AR \text{ (con A en pies)}$$

$\rho$  = 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  $\frac{A}{2}$  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  $\frac{A}{2}$  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 ( $\frac{1}{20}$ ) 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  $R = 15$

$$\rho \text{ (Resistividad)} = 2\pi \times A \times R$$

$$A \text{ (distancia entre electrodos)} = 450\text{cm}$$

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

- **Electrodos 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 falla. 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, resistencia de tierra baja es esencial para cumplir los estándares de seguridad NEC® OSCHA<sup>2</sup>

<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 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



- La Figura 2.2 muestra una barra de toma de tierra. La resistencia del electrodo posee los componentes siguientes:
  - La resistencia del metal y de la conexión a este
  - La resistencia de contacto de la tierra de alrededor al electrodo
  - La resistencia en la tierra de alrededor a flujo de corriente o resistividad de tierra que es a menudo el factor más significativo.

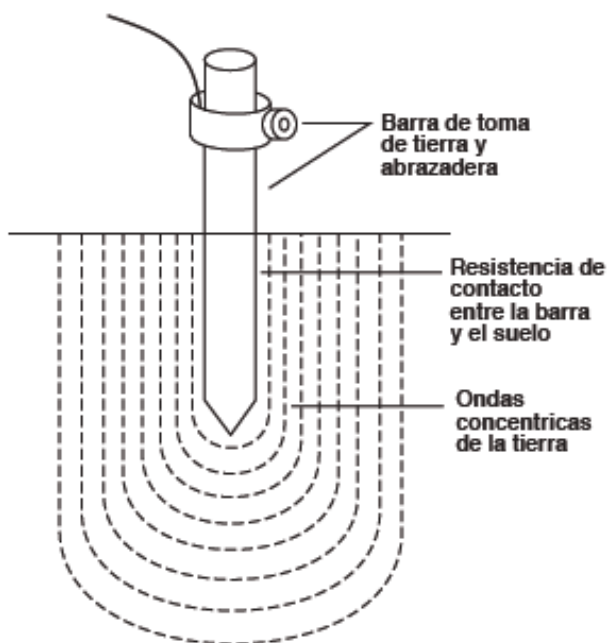
Más específicamente:

- 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.
- 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.
- 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

---

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>

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

## 2.2 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

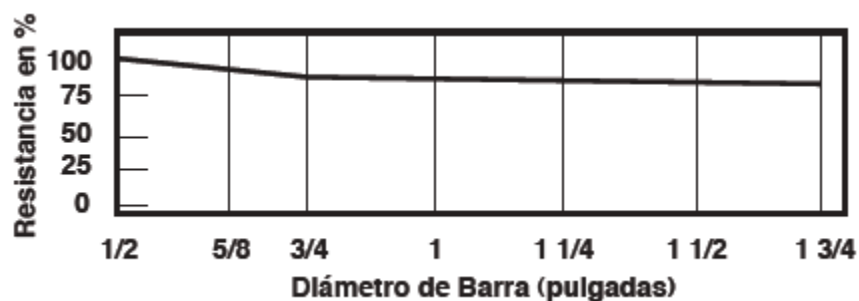


Figura 2.3 Efecto del tamaño del electrodo

- 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

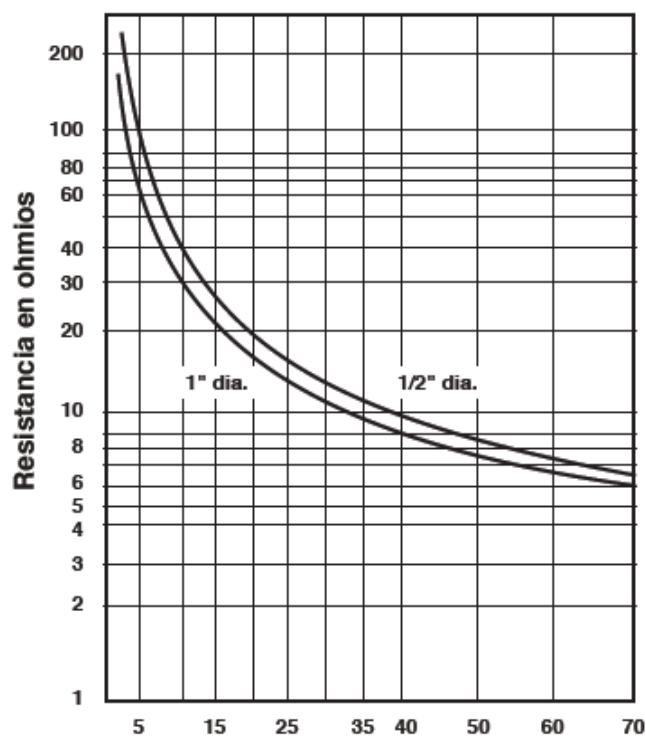


Figura 2.4 Profundidad de enterrado en pies resistencia de tierra contra profundidad de barra de toma de tierra

- **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.

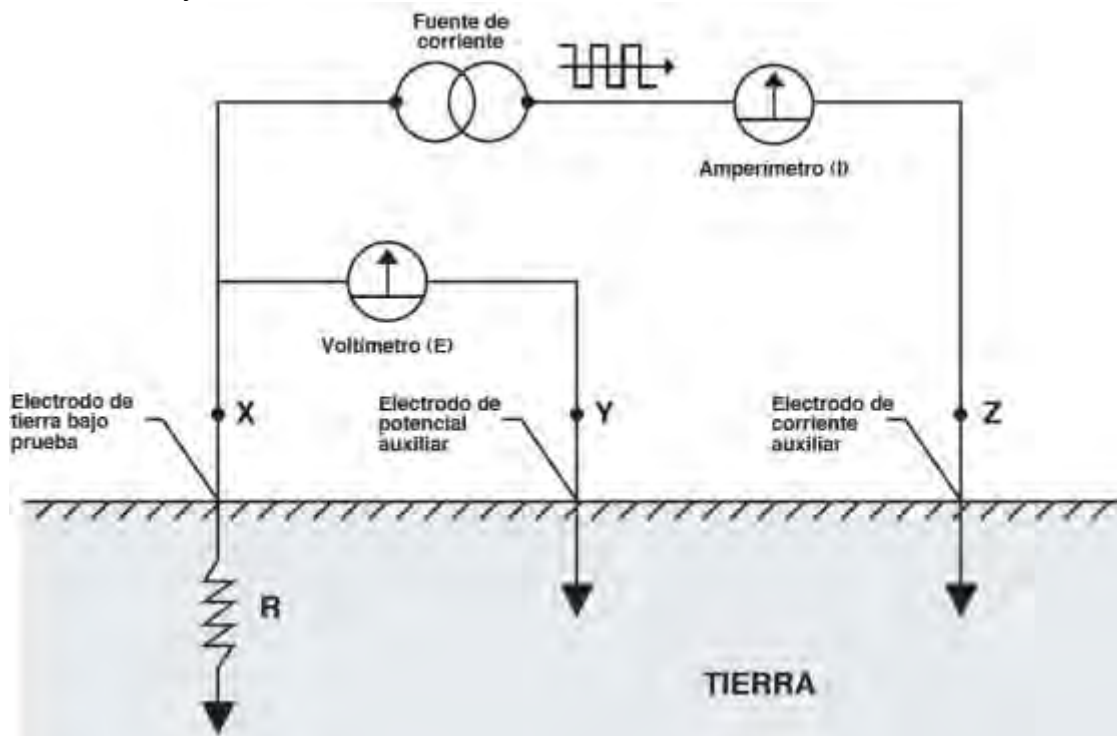


Figura 2.5 Principio de prueba de resistencia de tierra

- **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 sobreponen, 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.

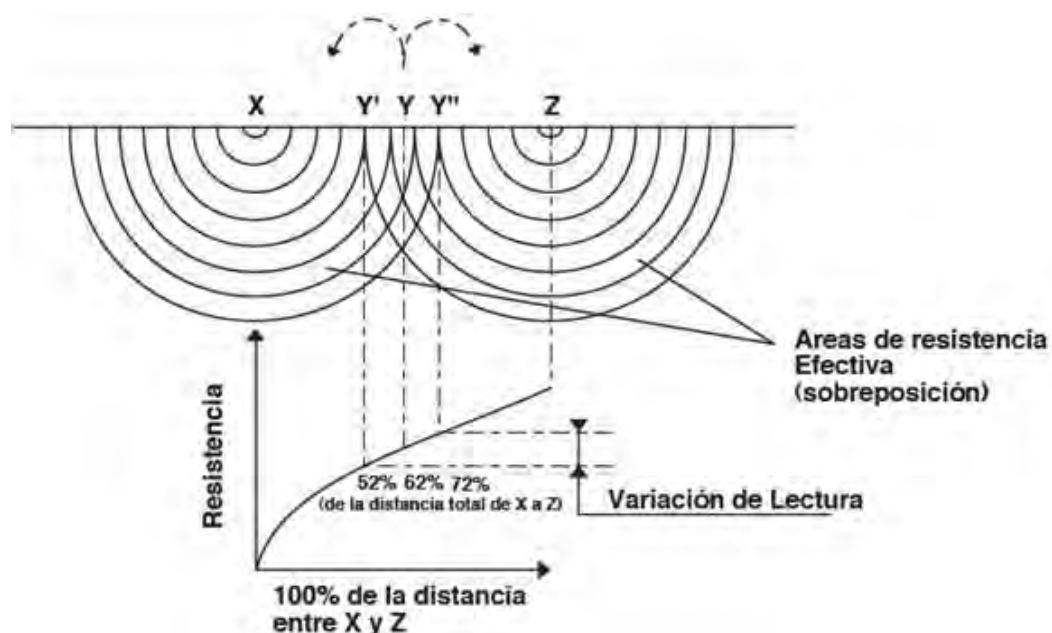


Figura 2.6 Posición de los Electrodo auxiliares en medidas

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 para la resistencia a tierra de la tierra X. Las lecturas deberían ser dibujadas para

asegurar que caen en una región —plata” como se muestra en la Figura 2.7. La región es a menudo llamada el “área 62%”.

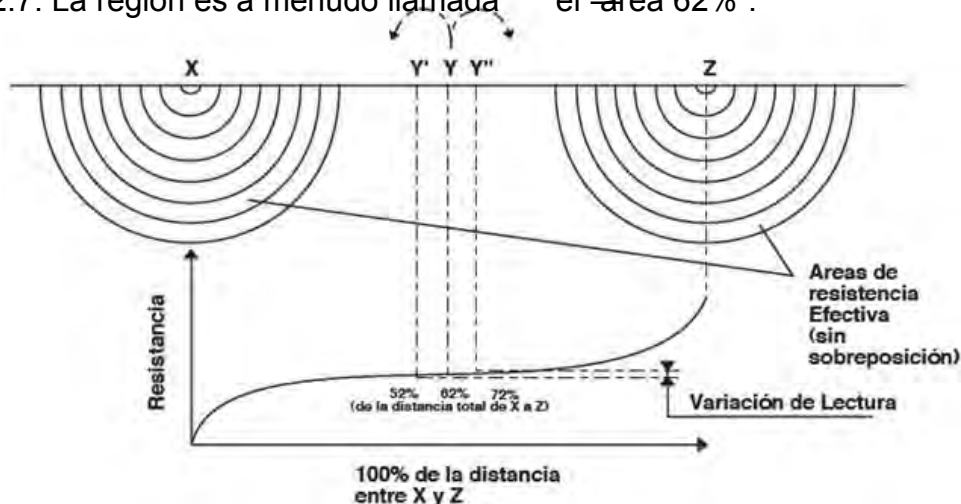


Figura 2.7 Lecturas

- **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 solo electrodo, tubo, o placa, etc., como en la Figura 2.8

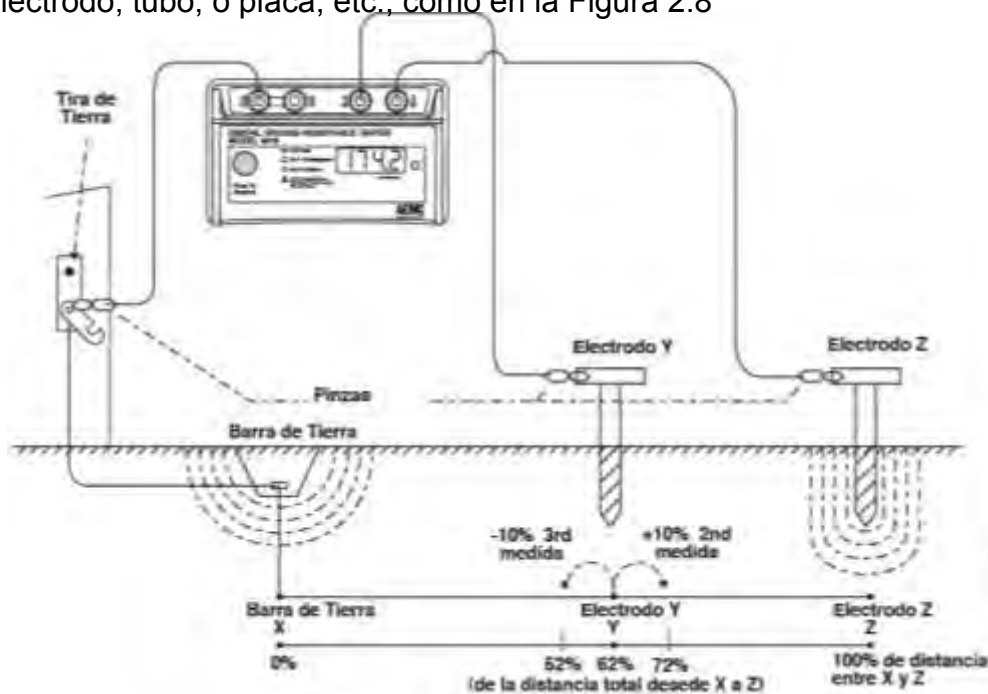


Figura 2.8 (Método 62%)

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 sobreponen. 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 sobreponen y actúan constantemente para incrementar la resistencia a medida que Y es alejada de X.

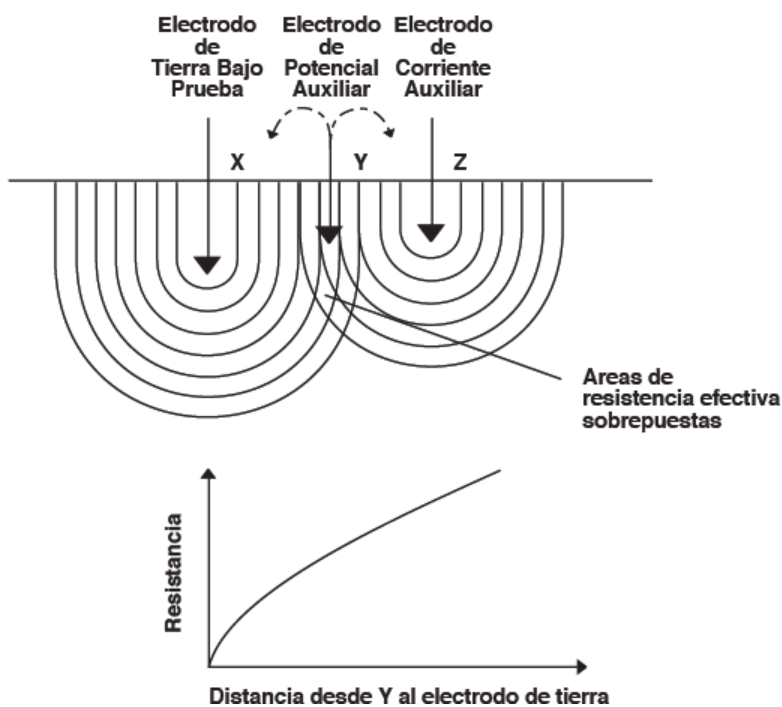


Figura 2.9 Areas de resistencia efectiva (capas concéntricas del electrodo de tierra X y del electrodo de corriente auxiliar Z)

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 sobreponen. 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.

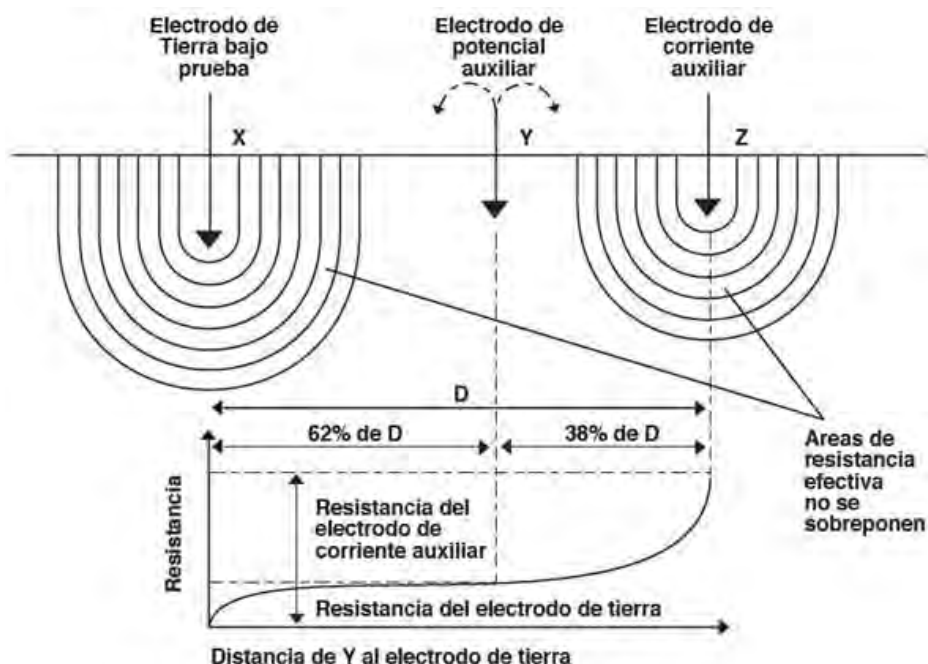


Figura 2.10 los electrodos X y Z están suficientemente distanciados de manera que las áreas de resistencia efectiva no se superponen.

- 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 Barras	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.

- **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 espaciados (Figura 2.11).

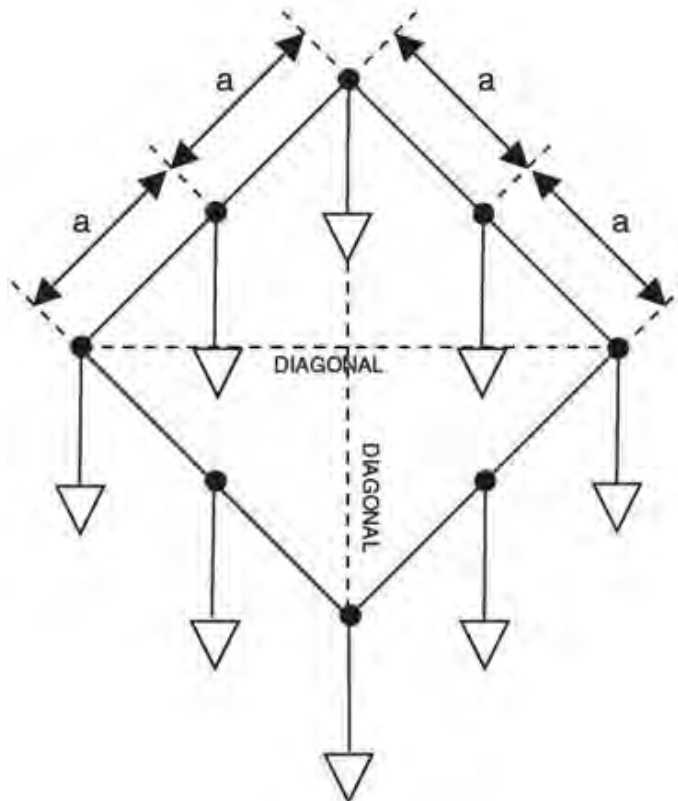


Figura 2.11 Sistema de Electrodos múltiples.

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

Sistema de Electrodo Múltiples		
Distancia de Cuad. Máx	Distancia a Y	Distancia a Z
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—Yy —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 —Xy —Z(Figura 2.12).

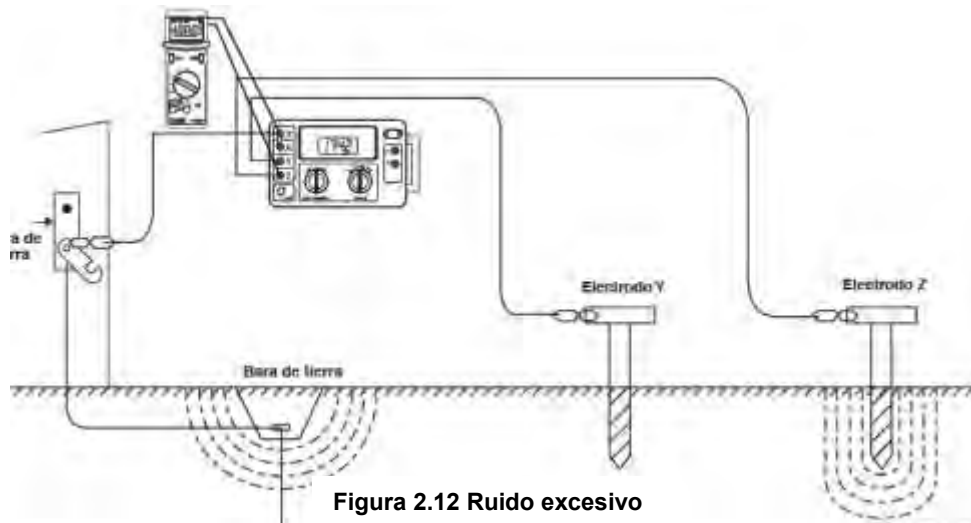


Figura 2.12 Ruido excesivo

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.

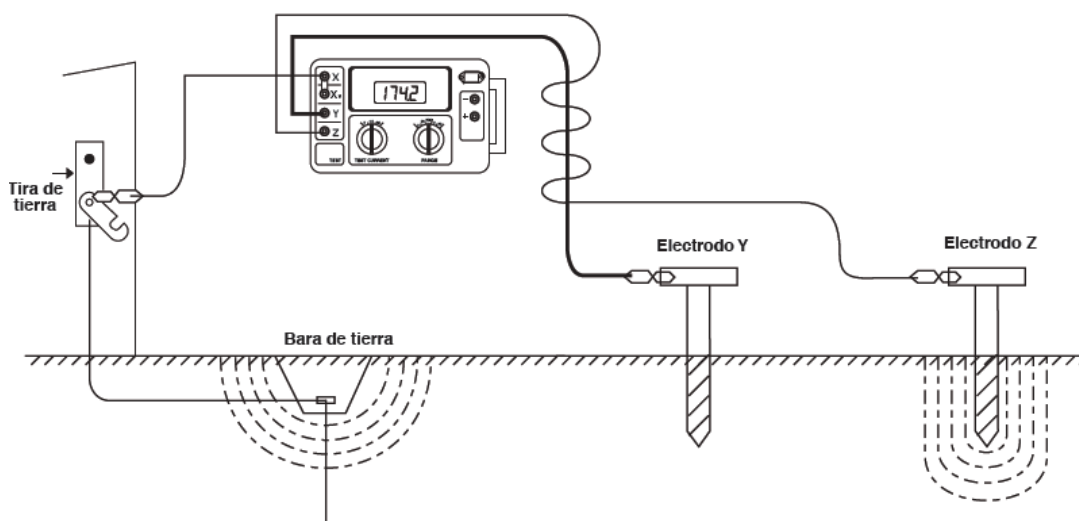


Figura 2.13 lectura del voltaje.

- 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).

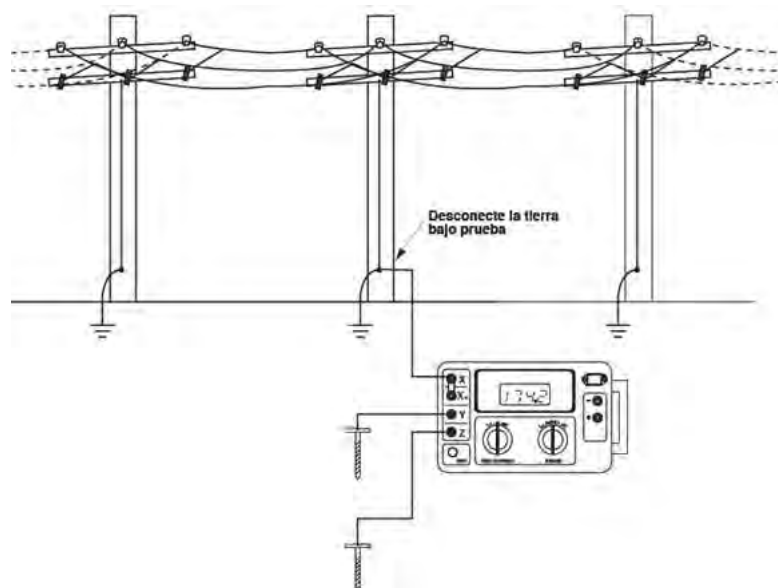


Figura 2.14 Cambio de alineación de cables

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 blindaje juntos en (pero no al) el instrumento.
3. Conecte con tierra de forma sólida el blindaje restante a la toma de tierra bajo prueba.

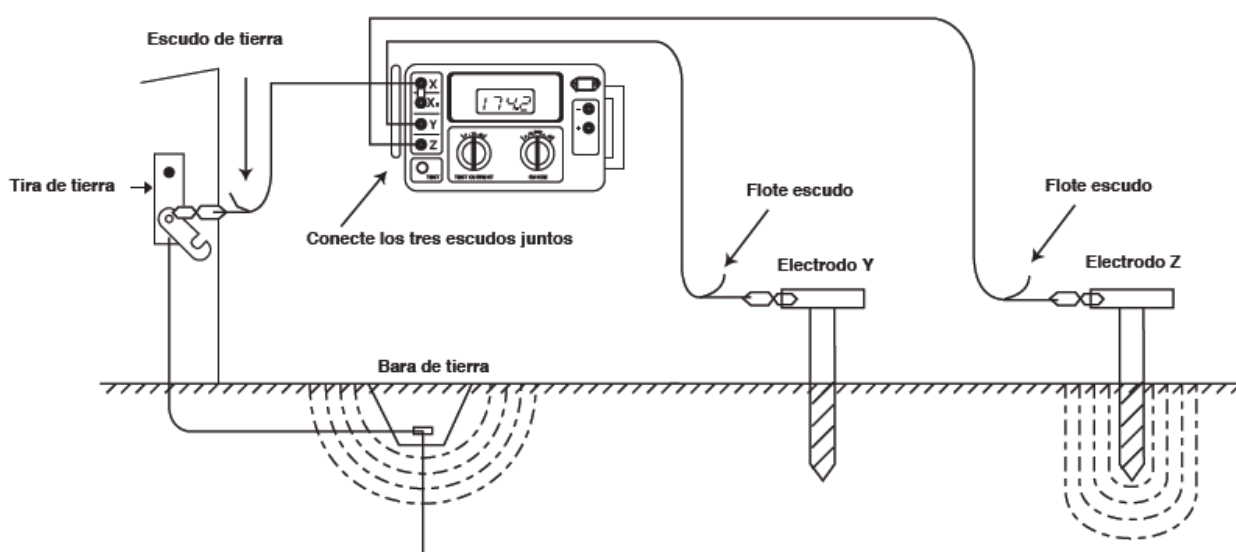


Figura 2.15 Uso de cables protegidos

- **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.

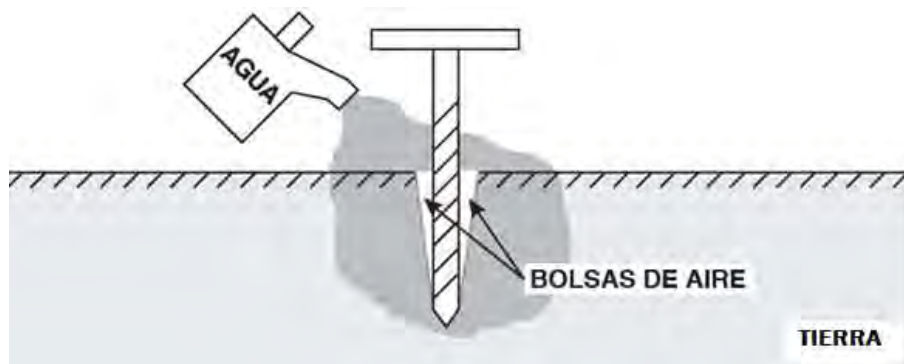


Figura 2.16 Resistencia de barra auxiliar excesiva

- **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.

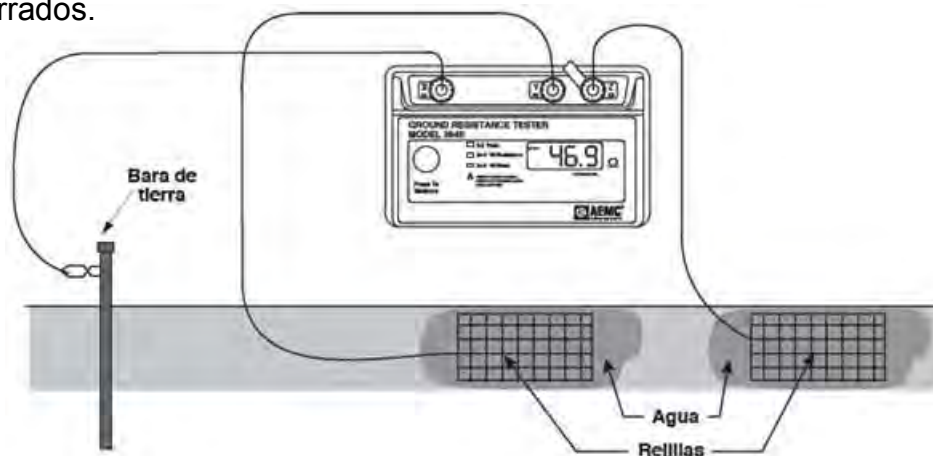


Figura 2.16 Capa de Alquitrán o de cemento

### 2.3 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

$$R_x \gg \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

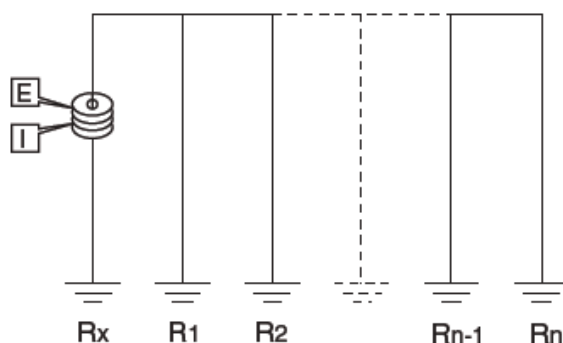


Figura 2.17

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.

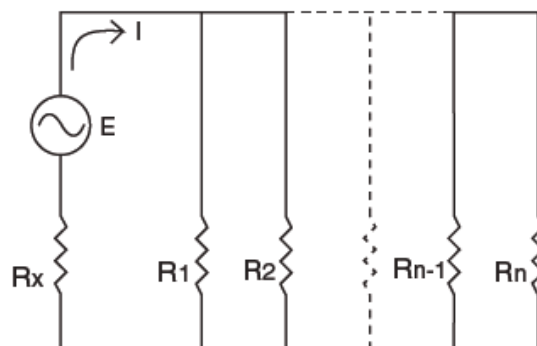


Figura 2.18

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 voltage 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~~ pinza abierta” aparece en el LCD.

- **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:

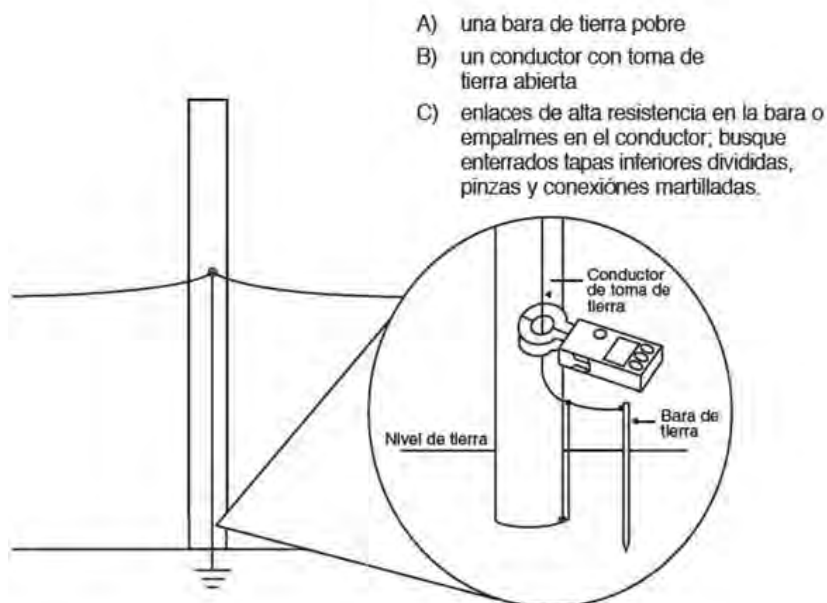


Figura 2.19 Lectura alta.

- **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.

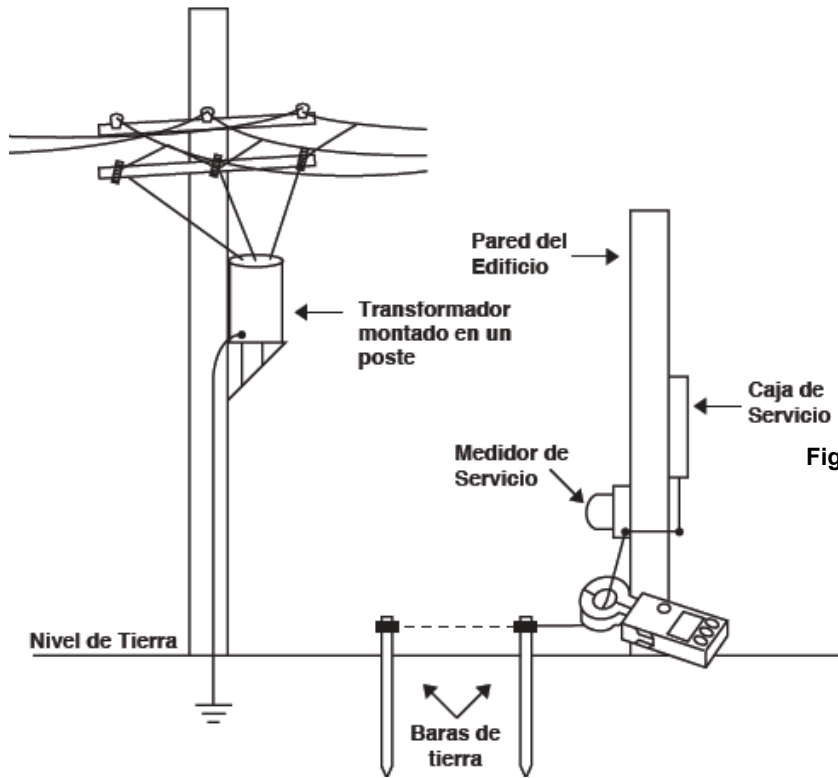
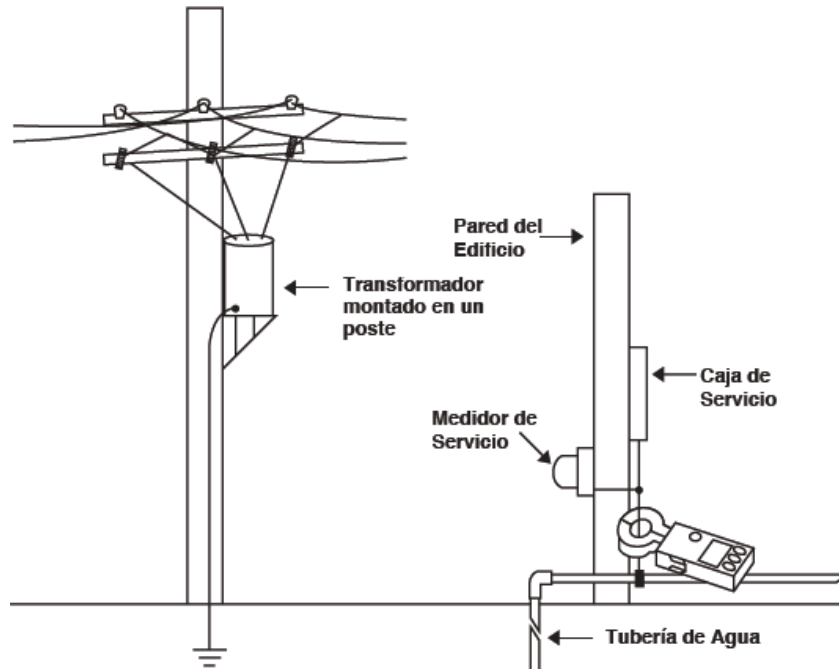


Figura 2.20 Varias barras de tierra.



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

- **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 si, 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<sup>3</sup>.

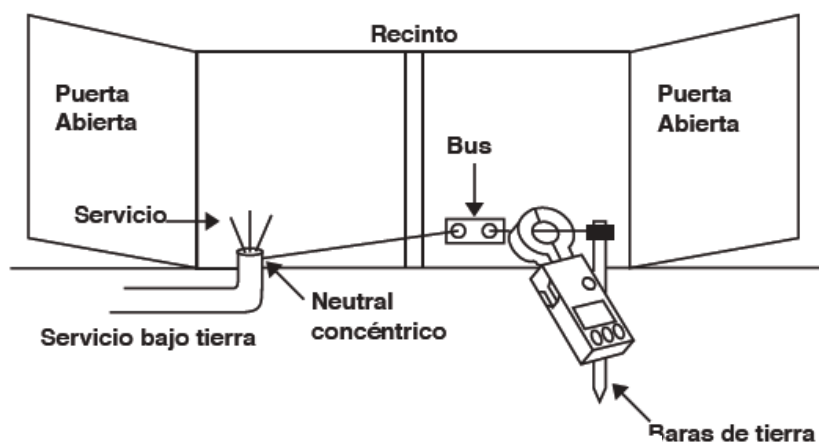


Figura 2.22 Transformador montado en plataforma

<sup>3</sup> 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) ,

### **CAPÍTULO 3 ESPECIFICACIONES GENERALES DEL SISTEMA DE TIERRA DE LA ESTACIÓN BASE**

Según el artículo 100 del NEC (National Electrical Code), tierra física es “una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, entre un circuito eléctrico o equipo y la tierra”.

La razón del uso de una conexión a una tierra física, es la protección contra una descarga eléctrica. El sistema de puesta a tierra evita diferencias de potencial manteniendo una tensión de cero volts en las masas metálicas de la instalación, permite el paso de corriente de fuga de los receptores electrónicos y se tiene una referencia nula en los instrumentos de la instalación y en señales de datos.

Al hablar con respecto a la conexión a tierra física, en realidad se está hablando de dos temas diferentes: conexión a “tierra física” y conexión a “tierra física del equipo”.

La conexión a “tierra física” es una conexión intencional desde un conductor del circuito, por lo general, el neutro, a un electrodo de tierra física colocado en la tierra. La conexión a “tierra física del equipo” asegura que el equipo operativo dentro de una estructura esté correctamente conectado a tierra física.

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

### **3.1 Valor de la resistencia de conexión a tierra física**

Idealmente una conexión a tierra física debe tener una resistencia de cero ohms. No existe un valor normalizado de resistencia de conexión a tierra física que sea reconocido por todas las agencias. Sin embargo, la NFPA (National Fire Protection Association) y el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) han recomendado un valor de resistencia de conexión a tierra física de 5,0 ohms o menos.

La práctica recomendada IEEE 142 (1991) “Prácticas recomendadas para la conexión a tierra de sistemas eléctricos industriales y comerciales” sugiere una resistencia de la toma de tierra entre 1 y 5 ohms para sistemas comerciales o industriales de gran tamaño. El NEC ha indicado lo siguiente: “Asegúrese de que la impedancia del sistema a la conexión a tierra física sea de menos de 25 ohms, tal como se especifica en NEC 250.56 (1987). En instalaciones con equipo sensible, debe ser de 5,0 ohms o menos.” La industria de las telecomunicaciones con frecuencia ha utilizado 5,0 ohms o menos como su valor para conexión a tierra física y unión.

### **3.2 Afectaciones de la resistencia de conexión a tierra física**

El código NEC 250-83-3 (1987) nos indica que el electrodo de tierra física debe de tener un contacto con el terreno una mínima longitud de 2,5 metros (8,0 pies). Sin embargo, existen cuatro variables que afectan la resistencia de la conexión a tierra física de un sistema de conexión a tierra física:

**1. Longitud y profundidad del electrodo de tierra física** Una manera muy eficaz de disminuir la resistencia de la conexión a tierra física es logrando que los electrodos a conexión a tierra física tengan una mayor profundidad. El terreno no tiene una resistividad constante, y puede ser muy impredecible. Resulta crítico al instalar el electrodo de tierra física que éste se encuentre debajo de la línea de congelamiento. Esto se hace para que la resistencia a la tierra física no se vea demasiado influenciada por el congelamiento del terreno circundante. Por lo general, al duplicar la longitud del electrodo de tierra física, es posible reducir el nivel de resistencia en un 40 % adicional.

Hay ocasiones en las que es físicamente imposible colocar las varillas de conexión a tierra física a una profundidad mayor; se trata de áreas compuestas de roca, granito, etc. En estos casos, son viables métodos alternativos, que incluyen el uso de cemento de conexión a tierra física

**2. Diámetro del electrodo de tierra física** El aumento del diámetro del electrodo de tierra física tiene muy poco efecto en disminuir la resistencia. Por ejemplo, es posible duplicar el diámetro de un electrodo de tierra física, y la resistencia sólo disminuiría en un 10 %.

**3. Número de electrodos de tierra física** Otra manera de disminuir la resistencia de conexión a tierra física es utilizar varios electrodos de tierra física. En este diseño, se coloca más de un electrodo en la tierra, y se lo conecta en paralelo, a fin de reducir la resistencia. Para que los electrodos adicionales resulten eficaces, el espaciado de las varillas adicionales debe ser al menos igual a la profundidad de la varilla colocada. Sin un espaciado correcto de los electrodos de tierra física, sus esferas de influencia se interceptarán, y no se disminuirá la resistencia.

**4. Diseño del sistema de conexión a tierra física** Los sistemas simples de conexión a tierra física constan de un único electrodo de tierra física colocado en el terreno. El uso de un único electrodo de tierra física es la forma más común de realizar dicha conexión a tierra física, y puede encontrarse fuera de su casa o lugar de trabajo. Los sistemas complejos de

conexión a tierra física constante de varias varillas de conexión a tierra física conectadas entre sí, de redes en malla o retícula, de placas de conexión a tierra física, y de bucles de conexión a tierra física. Estos sistemas típicamente se instalan en las subestaciones de generación de energía eléctrica, oficinas centrales y sitios de torres celulares. Las redes complejas aumentan drásticamente la cantidad de contacto con la tierra circundante, y disminuyen las resistencias de conexión a tierra física.

### **3.3 Métodos de medición de tierra física**

- **Comprobación del conductor de tierra** Antes de medir la resistencia de la toma de tierra, es recomendable verificar la buena conexión eléctrica del conductor de tierra desde el propio electrodo hasta el borne principal de tierra. La mayoría de los teluómetro<sup>1</sup> (medidores que emplean el método de caída de potencial) incorporan la medida de resistencia eléctrica a dos hilos y disponen de una buena resolución para esta prueba, por lo que resultan perfectos para la tarea. El valor de resistencia eléctrica desde el borne principal de tierra hasta el electrodo deberá ser inferior a 1 ohm.
- **Medición de la resistividad del terreno** Para determinar el diseño del sistema de conexión a tierra física es necesario conocer la resistividad del terreno. El terreno raras veces es homogéneo y la resistividad del terreno varía geográficamente y a diferentes profundidades y a diferentes ambientes. El funcionamiento básico de los instrumentos para comprobar la resistividad del terreno, utiliza en línea recta sobre el terreno cuatro estacas

---

<sup>1</sup> Teluómetro o Telurómetro. Son equipos que miden la resistencia de puesta a tierra y la resistividad por el método de Wenner. Existen dos parámetros importantes a la hora de diseñar o efectuar el mantenimiento de un sistema de puesta a tierra:

La resistencia de puesta a tierra (medida en ohmios,  $\Omega$ ).

La resistividad del terreno (medida en ohmios metro,  $\Omega m$ ).

¿Por qué medir la resistividad?

Un buen sistema de puesta a tierra es necesario para mantener la seguridad de las personas que trabajen o estén en contacto con las instalaciones, así como mantener en condiciones óptimas de operación los distintos equipos de la red eléctrica. [www.ecured.cu/Telurómetro](http://www.ecured.cu/Telurómetro) página recuperada 30 marzo de 2016

de conexión a tierra física, equidistantes entre si. La distancia entre las estacas de conexión a tierra física debe ser de al menos tres veces mayor que la profundidad de la estaca. De modo que si la profundidad de cada estaca de conexión a tierra física es de 0,30 metros (1 pie), la distancia entre estacas sea mayor 0,91 metros (3 pies). El instrumento genera una corriente conocida a través de las dos estacas externas de conexión a tierra física y la caída del potencial de voltaje se mide entre las dos estacas internas de conexión a tierra física. Usando la ley de Ohm ( $V = I \cdot R$ ), el comprobador calcula automáticamente la resistencia del terreno.

Se recomienda tomar mediciones adicionales en donde los ejes de las estacas se gire 90 grados. Al cambiar la profundidad y la distancia varias veces, se produce un perfil que puede determinar un sistema apropiado de resistencia del terreno. La mayoría de los comprobadores utilizan un sistema de control automático de frecuencia con el objetivo de lograr una menor cantidad de ruido, permitiendo obtener una lectura clara.

- **Terrómetro** También conocido como telurómetro o medidor de tierra, son utilizados para medir la resistividad del suelo.
- **Método de caída de potencial** El método de comprobación de caída de potencial es el método “ tradicional” que se utiliza para medir la capacidad de un sistema de conexión a tierra física o un electrodo individual para disipar la energía de un sitio, y es el método que utilizan los equipos conocidos como “telurómetros”. El telurómetro requiere de tres conexiones para realizar la medida de la resistencia de la toma de tierra, si bien los medidores más precisos pueden requerir de una cuarta conexión para eliminar del resultado de la medida la resistencia de los propios cables de prueba. En primer lugar, el electrodo de interés de conexión a tierra física debe desconectarse de su conexión al sitio. En segundo lugar, se conecta el comprobador al electrodo de tierra. Luego, para realizar la comprobación de caída de potencial de 3 polos, se colocan dos estacas de conexión a tierra en el terreno, en línea recta-alejadas del electrodo de tierra. Normalmente, alcanza con un espaciamiento de 20 metros (65 pies). El



teluometro genera una corriente conocida entre la estaca externa (estaca auxiliar de conexión a tierra) y el electrodo de tierra, mientras que se mide el potencial de caída de tensión de tensión entre la estaca interna de tierra y el electrodo de tierra. Utilizando la ley de Ohm ( $V = I \cdot R$ ), el comprobador calcula automáticamente la resistencia del electrodo de tierra. Si este electrodo de tierra física está en paralelo o en serie con otras varillas de conexión a tierra física, el valor de resistencia desplegado en el medidor resulta ser el valor total de todas las resistencias. La estaca interna debe de estar fuera de la esfera de influencia del electrodo de tierra física bajo comprobación y la conexión auxiliar a tierra, de lo contrario las áreas eficaces de resistencia se superpondrán e invalidarán cualquier medición que estuviera obteniendo. Para comprobar la exactitud de los resultados y asegurar que las estacas de conexión a tierra física estén fuera de las esferas de influencia, modifique la posición de la estaca interna 0.91 metro (3 pies) en cualquier dirección y realice una nueva medición. Si hay un cambio significativo en la lectura (30 %), necesitará aumentar la distancia entre la varilla de conexión a tierra física bajo comprobación, la estaca interna y la estaca externa (conexión auxiliar a tierra física) hasta que los valores medidos permanezcan bastante constantes al modificar la posición de la estaca interna.

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

Tanto el método de caída de potencial como el método selectivo utilizan estacas para inyectar corriente y medir la caída de la tensión. Aplican las mismas reglas para la colocación de estas estacas que en el método de la

caída de potencial. La comprobación selectiva utiliza un transformador de corriente (pinza amperimétrica) de gran sensibilidad y precisión para medir la corriente de prueba en el electrodo que se desea comprobar, sin necesidad de desconectarlo de la instalación. El medidor selectivo emplea un filtro digital en la medida de corriente para reducir los efectos de las posibles corrientes fantasmas.

- **Medición sin estacas (picas)** Esta técnica de comprobación elimina la actividad peligrosa y engorrosa de desconectar conexiones paralelas a tierra física, así como el proceso de encontrar ubicaciones idóneas para estacas auxiliares de conexión a tierra física. También puede realizar pruebas de conexión a tierra física en lugares como en el interior de edificios, en torres de alimentación eléctrica o en cualquier lugar en donde no tenga acceso al terreno mismo.

Con este método de prueba, se colocan dos pinzas alrededor de la varilla de conexión a tierra física o del cable de conexión, conectando cada una de ellas al comprobador. No se utiliza ninguna estaca de conexión a tierra física. Se induce una tensión conocida en una pinza y se mide la corriente utilizando la segunda pinza. El comprobador automáticamente determina la resistencia del bucle de tierra física en esta varilla de conexión a tierra física. Si sólo hay una ruta a la tierra, como en muchas situaciones residenciales, el método sin estacas no proporcionará un valor aceptable, y deberá usarse el método de prueba por caída de potencial.

El método funciona en base al principio de que en los sistemas conectados en paralelo o con varias conexiones de tierra física, la resistencia neta de todas las rutas de conexión a tierra física será extremadamente baja, en comparación con cualquier ruta individual (aquella bajo comprobación). Por lo tanto, la resistencia neta de todas las resistencias paralelas de la ruta de retorno es efectivamente cero. La medición sin estacas sólo mide las resistencias individuales de las varillas de conexión a tierra física en paralelo con los sistemas de conexión a tierra física. Si el sistema de conexión a tierra física no es paralelo a la tierra, entonces tendrá un circuito

abierto, o bien, estará midiendo la resistencia del bucle de conexión a tierra física.

- **Método bipolar** El método bipolar utiliza un “electrodo auxiliar” cuya resistencia de toma de tierra se haya determinado con anterioridad y se establezca como buena (de bajo valor resistivo). Un ejemplo de electrodo auxiliar puede ser una tubería de agua en los alrededores de la instalación, pero lo suficientemente alejada de la misma. El medidor en este método simplemente mide la resistencia del circuito eléctrico formado por la toma de tierra del electrodo que se está comprobando, el electrodo auxiliar y los cables de medida. Si la resistencia de tierra del electrodo auxiliar es muy baja -lo que es probablemente cierto en tuberías de metal sin segmentos de plástico ni juntas aislantes-, y el efecto de los cables de medida es también pequeño, el valor de resistencia del circuito eléctrico corresponderá fundamentalmente al de la resistencia de la toma de tierra del electrodo bajo prueba. La resistencia de los cables de prueba se puede incluso eliminar del resultado final. Para ello basta con medir su resistencia previamente cortocircuitándolos en sus extremos. Aunque el método bipolar resulta cómodo de realizar, se deben extremar las precauciones, porqué:
  - Una tubería de agua puede tener componentes de PVC, que aumentarían enormemente la resistencia de la tierra. En este caso, la lectura del método bipolar sería excesivamente elevada; a
  - Es posible que el electrodo auxiliar no se encuentre fuera del área de influencia del electrodo que se está comprobando. En este caso, la lectura puede ser inferior a la real.

Debido a las incógnitas que implica, esta técnica se recomienda únicamente cuando el sistema de conexión a tierra y el electrodo auxiliar se conocen a la perfección.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> <http://www.metas.com.mx/guiametas/la-guia-metas-08-03-tierra-fisica.pdf> Página recuperada 30 marzo 2016

### **3.4 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.

- **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.

- **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>

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

**Tabla 3.1 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.

- a) 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 3.2 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
			Valores de $k$
PVC 70 °C ( $S \leq 300 \text{ mm}^2$ )	30	160	143
PVC 70 °C ( $S > 300 \text{ mm}^2$ )	30	140	133
EPR o XLPE 90 °C	30	250	176

**Tabla 3.3 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.

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. 5 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 3.4**

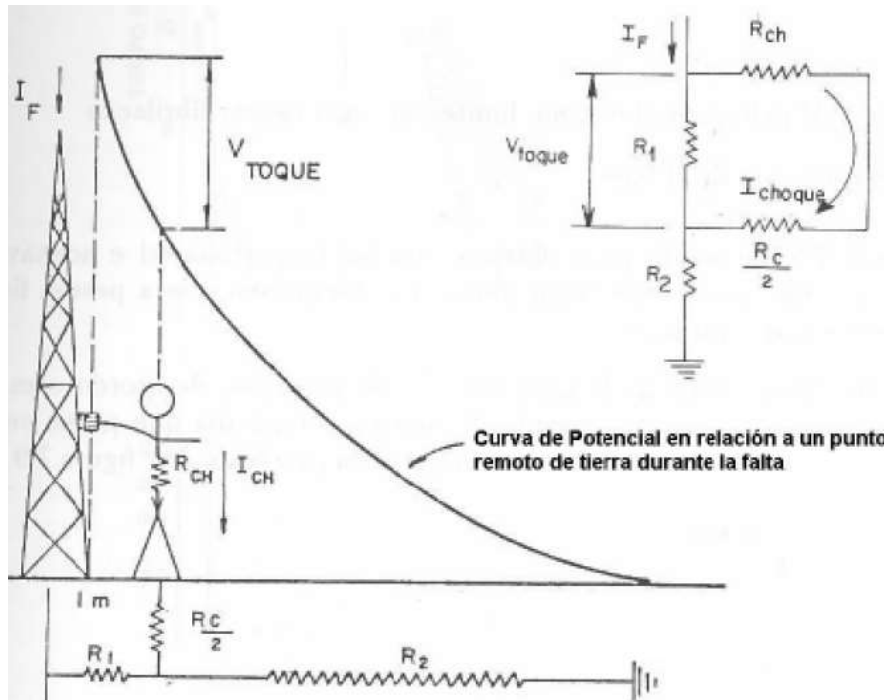
$R_T (\Omega)$	$V_{ch} (V)$	$I_{ch} (mA)$
50	200	133
5	110	73
<b>1,47</b>	<b>50</b>	

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 $\Omega$ .

**3.6 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.



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

Figura 3.1 Tensión de choque.

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

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.

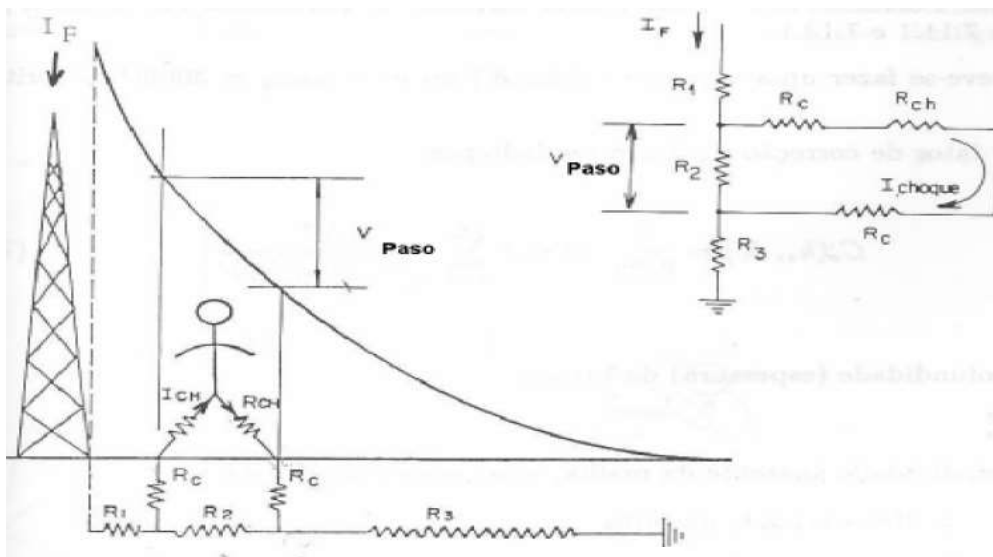


Figura 3.2 Tensión de paso

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

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

Y por lo tanto es razonable imponer que:

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

### **3.7 Resistencia de la puesta a tierra**

Pueden realizarse distintas combinaciones y disposiciones de electrodos para la ejecución de una toma de tierra, las más comunes son:

- Jabalinas verticales alineadas o dispuestas en triángulo o cuadrado.
- Conductores horizontales dispuestos linealmente, en circunferencia o en estrella
- **Cálculo de la resistencia de una puesta a tierra**
  - La resistencia eléctrica de una toma de tierra depende de:
  - La resistividad del suelo, que supondremos homogéneo.
  - La disposición 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 expresión que tiene en cuenta la geometría y dimensión de la puesta a tierra

**La tabla 3.5 ilustra la variación de la resistividad del suelo para distintos tipos de suelo:**

Naturaleza del suelo	Resistividad ( $\Omega m$ )
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.

- **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  $100 \Omega \cdot m$

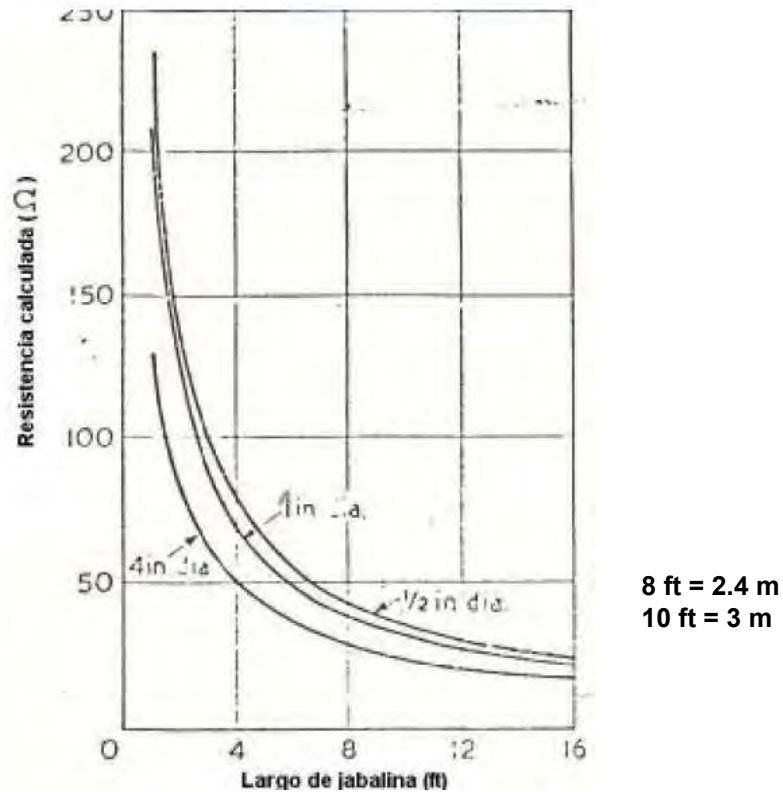
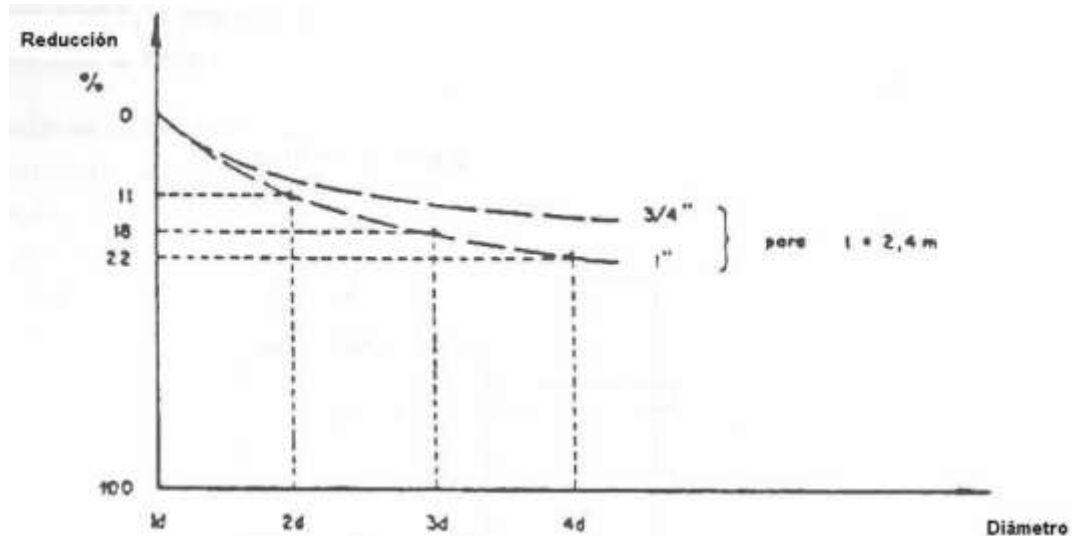


Figura 3.3 Efecto del largo de la jabalina en el cálculo de la resistencia para suelo uniforme con resistividad de  $100 \Omega \cdot m$

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.



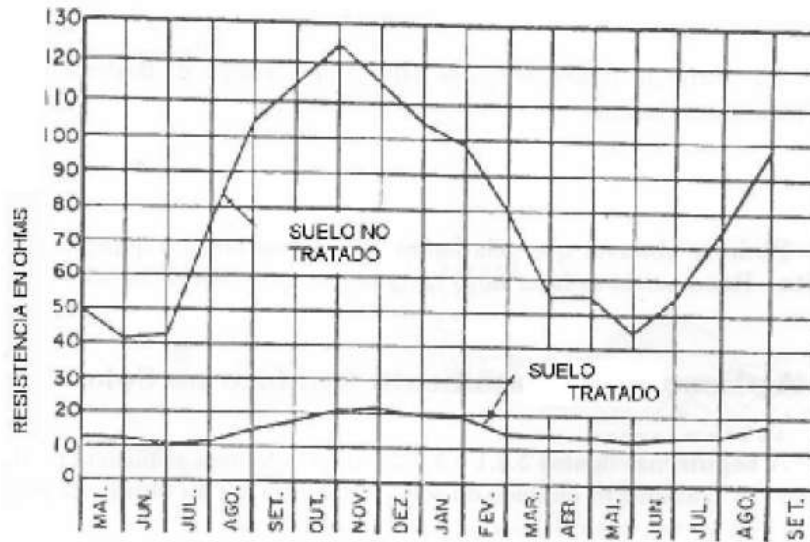
**Figura 3.4 Reducción de la resistencia de puesta a tierra de una Jabalina en función del diámetro de la misma**

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.

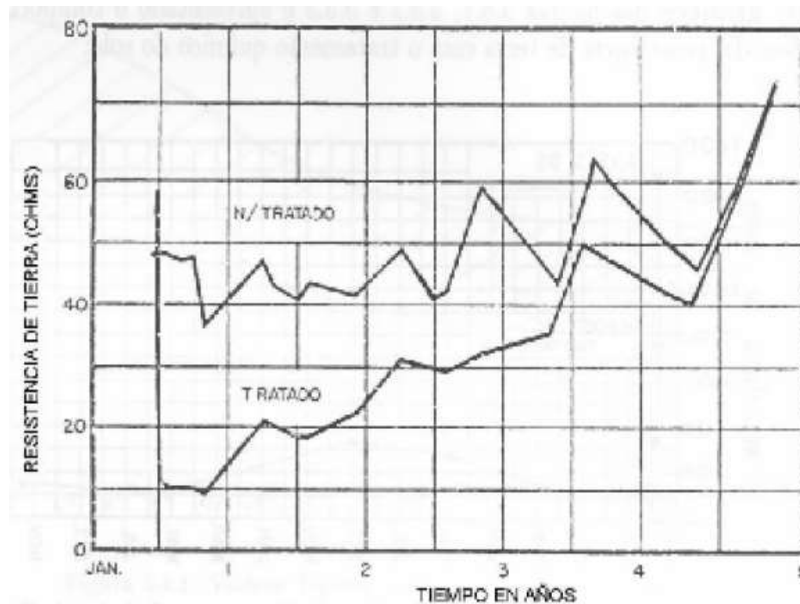
3. La resistividad del suelo puede bajarse con el uso de geles conductores o bentonitas. Los geles que se utilicen deben tener las siguientes propiedades:

- 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.

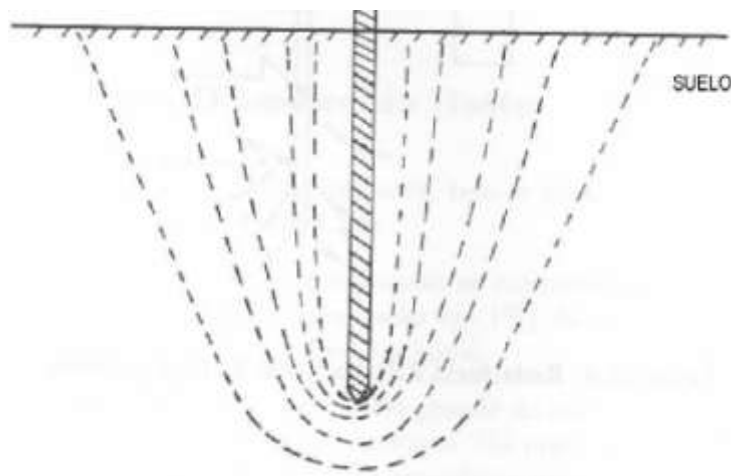
El cálculo de la resistencia de jabalinas en paralelo no sigue la ley simple del paralelo de resistencias eléctricas, cumpliéndose que:

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

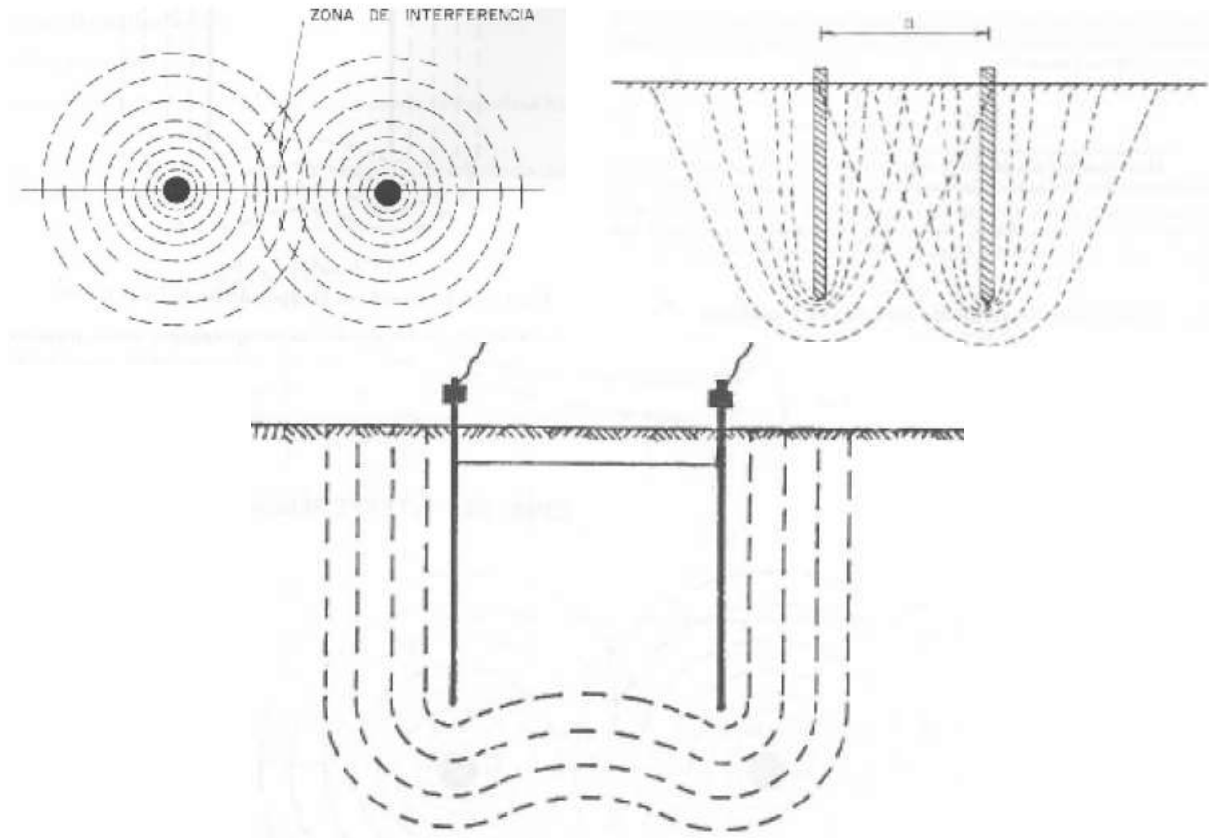
Esto se debe a que en la zona de interferencia de las jabalinas, se produce un área del bloqueo del flujo de corriente correspondiente a cada jabalina, dando como resultado una mayor resistencia de puesta a tierra individual.

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

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

**Tabla 3.6 Factor de reducción**

$L = 2,4m \quad d = \frac{1}{2}'' \quad R_{i\text{ haste}} = 0,440\rho a$								
ESPACIAMIENTOS	2,5m		3m		4m		5m	
Número de JABALINAS	$R_{eq} [\Omega]$	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 3.7**

$L = 2m \quad d = 1'' \quad R_{i\text{ haste}} = 0,458\rho a$								
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 3.8

$L = 3m \quad d = 1'' \quad R_{i \text{ jabalinas}} = 0,327 \rho_a$						
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.

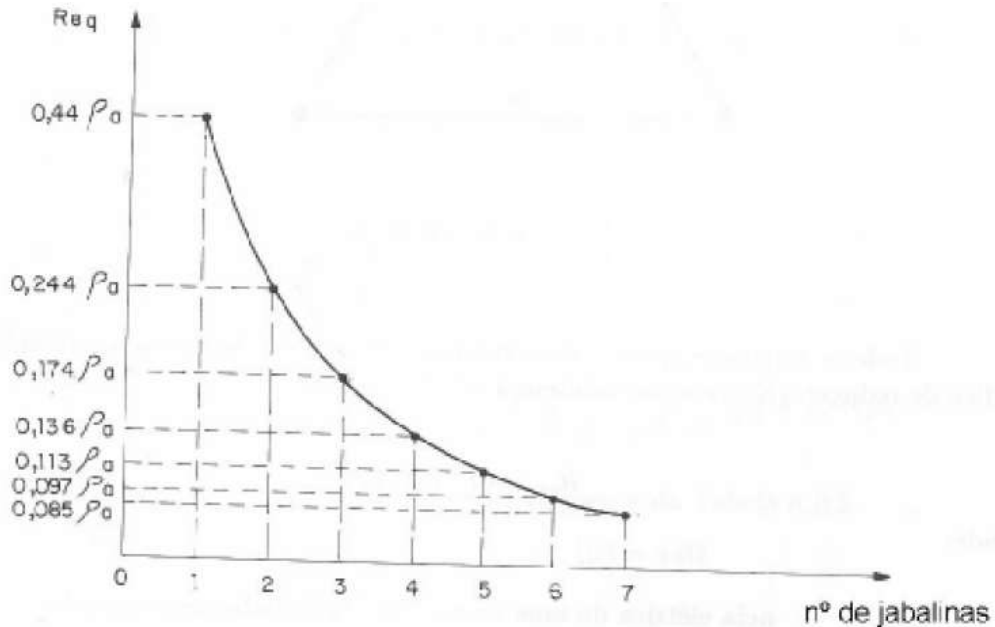
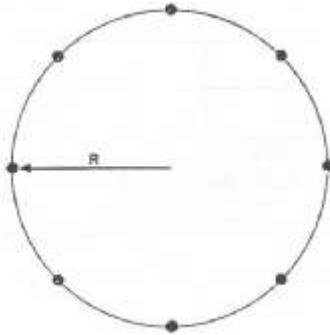


Figura 3.9 disminución de la resistencia equivalente de n jabalinas alineadas en función del número de jabalinas

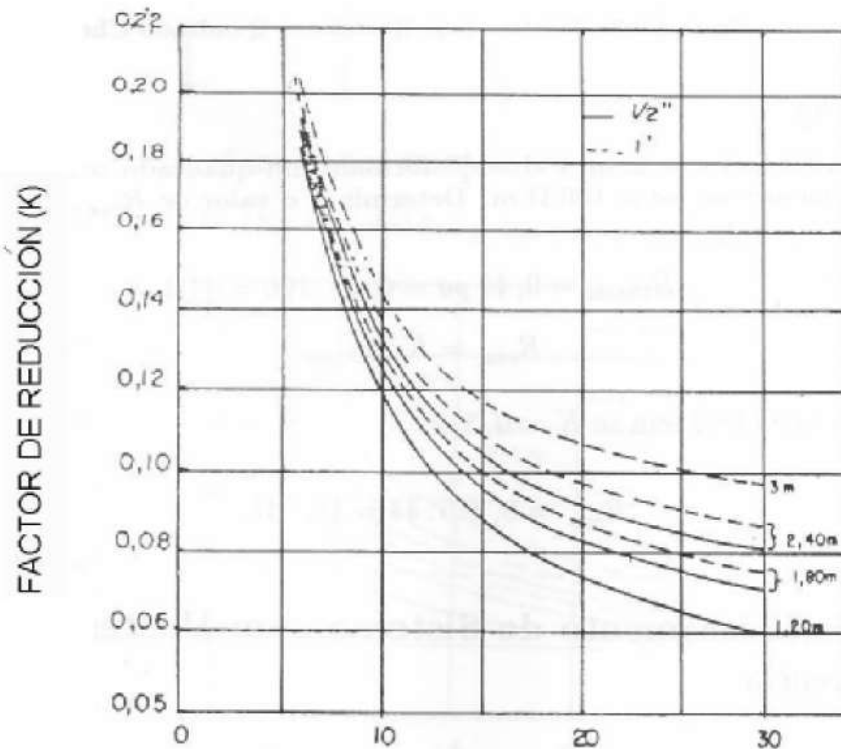
A continuación se muestran las curvas correspondientes al índice de reducción para jabalinas dispuestas en circunferencia y jabalinas dispuestas en triángulo.

- **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 1/2") y longitudes (1.2m, 1.8, 2.4m y 3m).



**Figura 3.11 Numero de jabalinas**

- **Jabalinas dispuestas en triángulo**

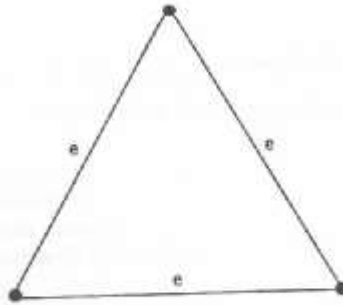


Figura 3.12 Jabalinas dispuestas en triángulo.

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

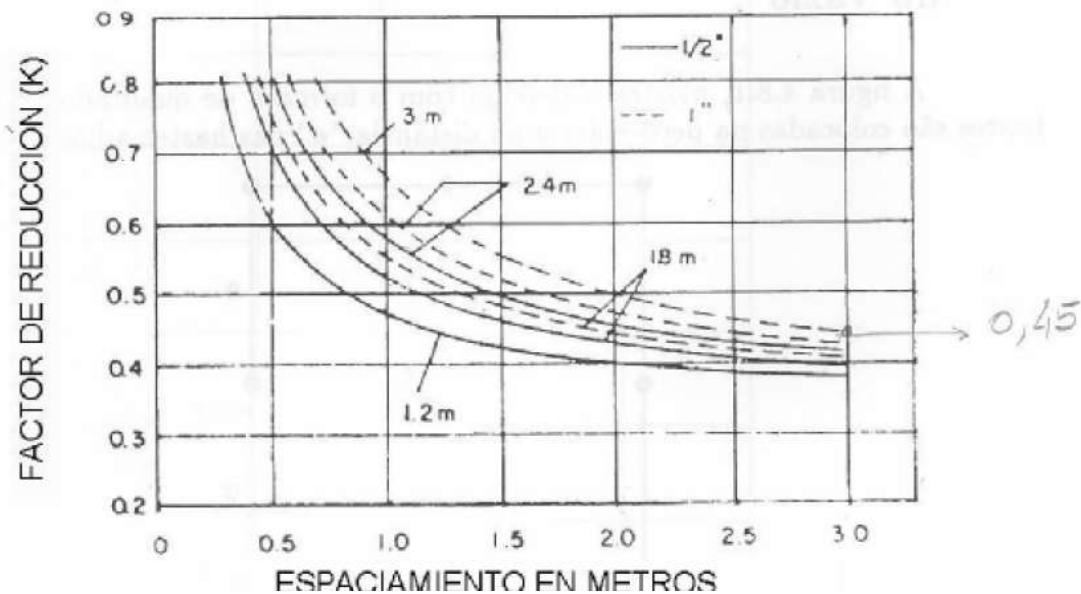
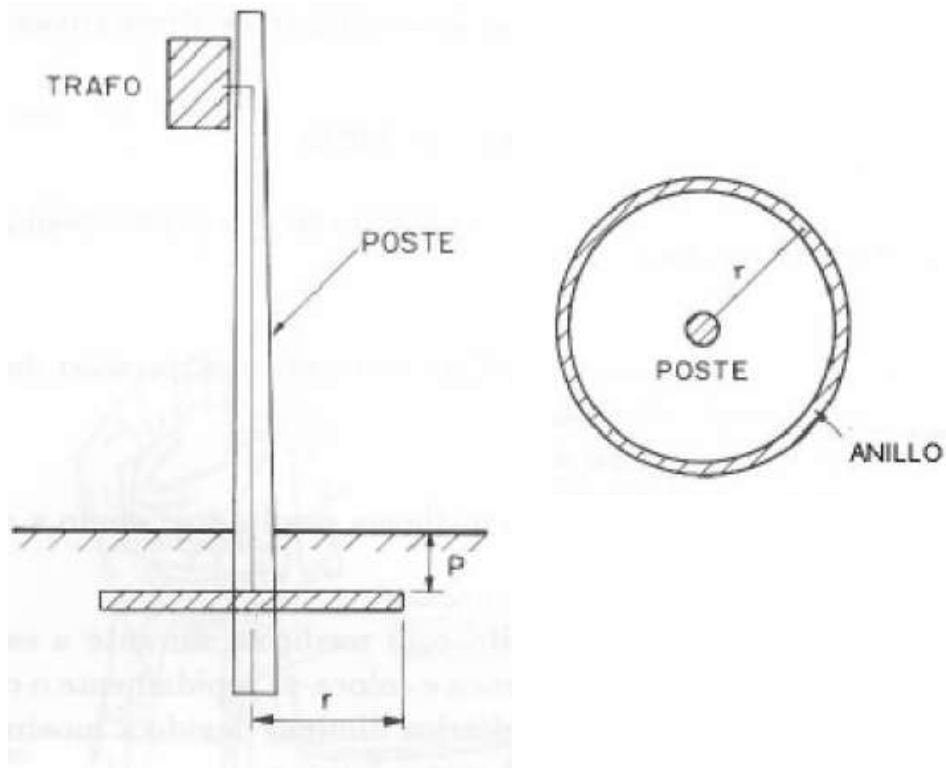


Figura 3.13 Curvas de distribución

- **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).

- **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:

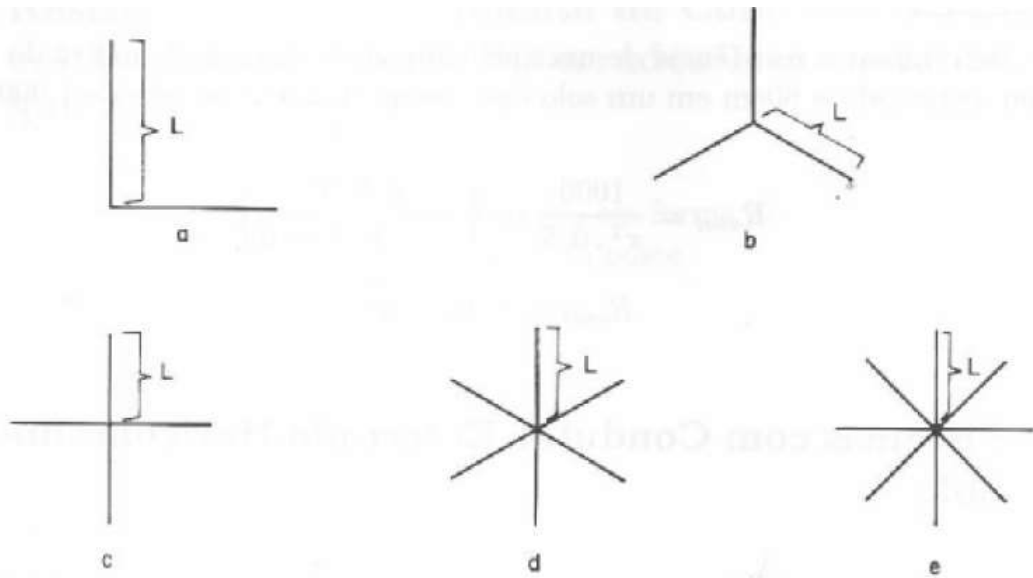
$p$  es la profundidad a la que está enterrado el conductor (m),

$L$  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.

- **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

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

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

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

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

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

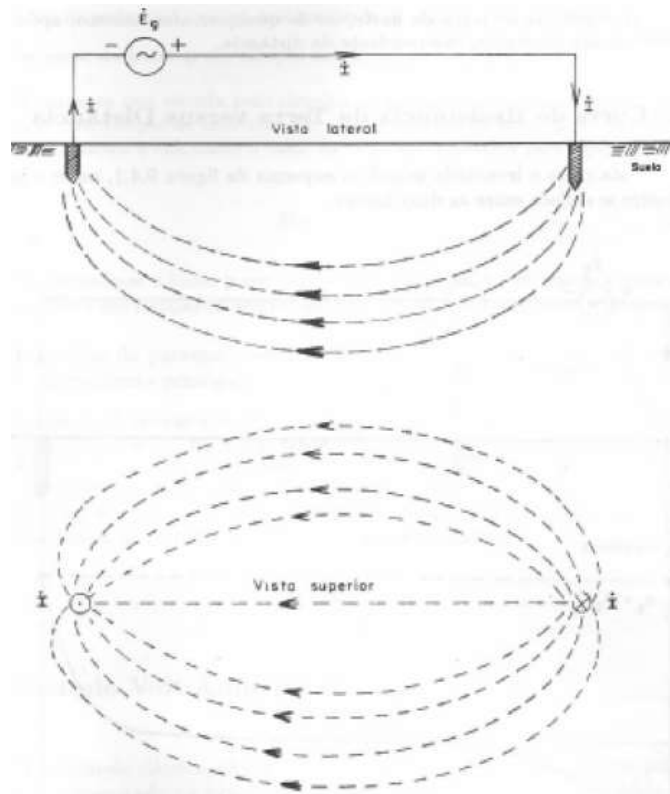
**e.** Ocho conductores horizontales dispuestos en estrella

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

### **3.8 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.

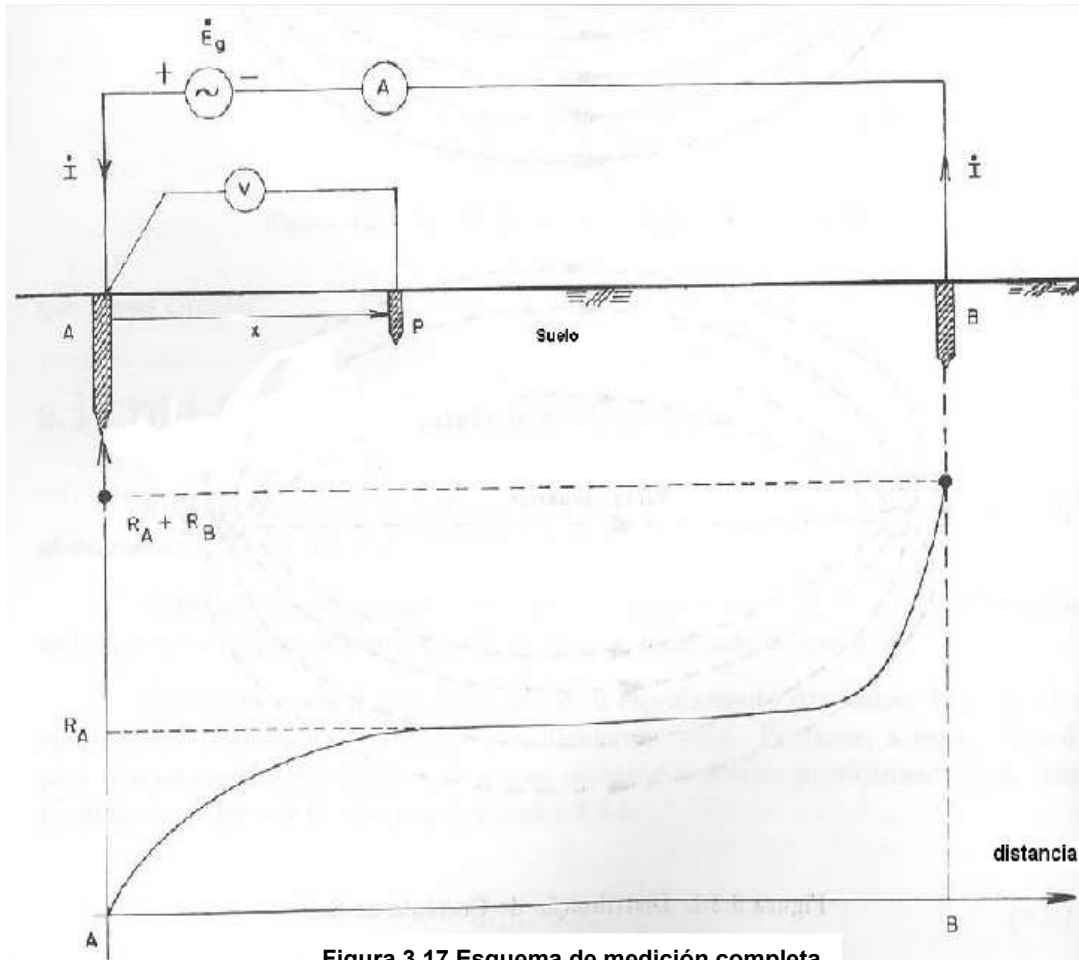
Como se ve en la figura, la densidad de corriente es máxima junto a la jabalina, y disminuye a medida que nos alejamos de la misma, y podemos expresar la resistencia de la puesta a tierra

Como

$$R_T = \rho \sum_i \frac{\Delta x_i}{S_i} \quad \text{Ec.3.20}$$

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 ( $S_i = S_{i+1}$ ).

Al aumentar la distancia a la jabalina las líneas de corriente divergen, Si 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 completo:



**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>3</sup>.

---

<sup>3</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 ESTACIÓN BASE DE TELECOMUNICACIONES**

La presente especificación se realiza con la finalidad de contar con una referencia que norme los sistemas de tierras para las diferentes instalaciones de la planta telefónica. Para tener un soporte de cómo se debe referir a tierra nuestros equipos.

A través de su consulta nos ayude a complementar los conocimientos sobre sistemas de tierras, que fundamentalmente es uno de los principales problemas por los cuales sufrimos 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 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2005. Actual que en su artículo 250 trata todo lo relacionado a la puesta a tierra.

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 Especificaciones generales del sistema de tierra en una estación base**

1. Para la Malla del Sistema Principal de Electrodo a Tierra, se deberá hacer un estudio previo a la malla existente de la estación base, con la finalidad de comprobar su eficacia y confiabilidad para drenar las corrientes de falla, así como sobre tensiones y descargas atmosféricas.
2. De no existir en la estación base una malla del sistema principal de electrodo a tierra que cumpla con las especificaciones establecidas por la estación, se deberá realizar un estudio previo del terreno para poder calcular una malla de tierra en coordinación y con la aprobación del personal de ingeniería de la estación, mediante el desarrollo de ingeniería para la elaboración de una malla que cumpla con las especificaciones establecidas por el carrier correspondiente
3. Esta malla de tierra podrá ser utilizada por las instalaciones previo convenio con el carrier. de no ser así, el operador realiza su propia malla y esta se

tendrá que unir en dos puntos a la malla de la estación, esto para igualar potenciales.

4. Se deberá contar con una barra de tierra de punto principal, la cual deberá cumplir con las especificaciones establecidas en este documento, de no ser así se tendrá que instalar una nueva barra que cumpla con dichas especificaciones.
5. El sistema tendrá un conductor que corra desde la fosa de cables hasta el último nivel del edificio, conocido como cable vertical este será como se especifica en este documento.
6. En el Nivel de la estación donde se encuentre el equipo se contará con una barra de tierra de piso de la cual saldrán todos los cables de puesta a tierra de la central, Esta barra será puesta bajo las especificaciones marcadas en este capítulo.

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

##### **NORMA ANCE: NMX-J-549-ANCE-2005**

- 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.

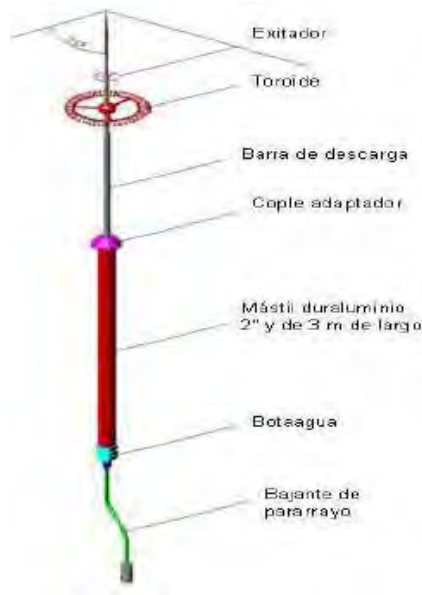


Figura 4.1 Partes principales de un pararrayos dipolo

#### 4.3 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.

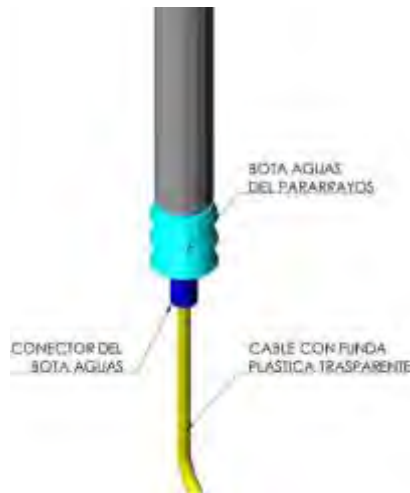


Figura 4.2 instalación del pararrayos y su conexión a puesta a tierra.

- 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

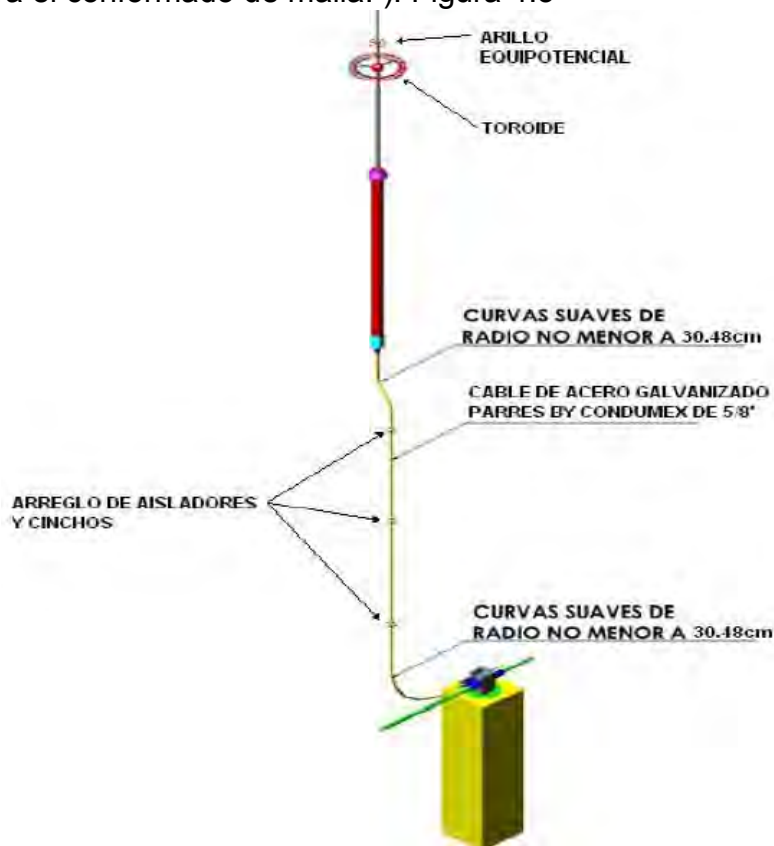


Figura 4.3 Esquema general de conexión del pararrayos con cable de acero.

- 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.

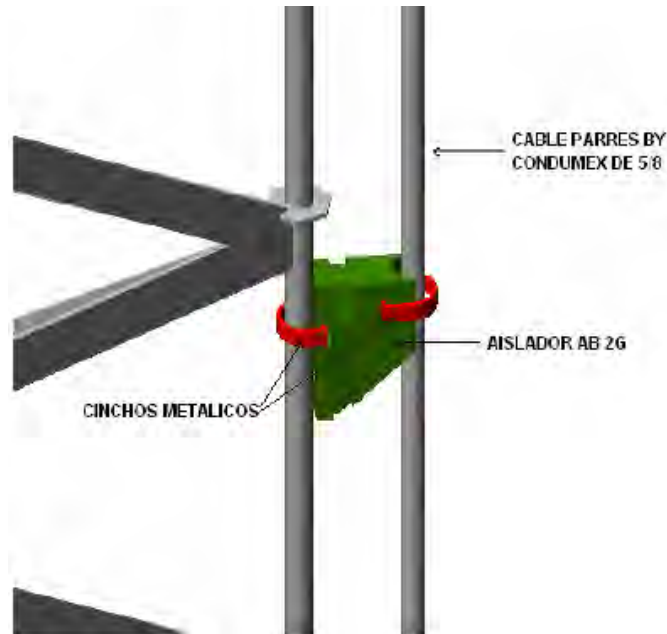


Figura 4.4 Sujeción del aislador a la estructura de la torre con cinturones metálicos

- 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

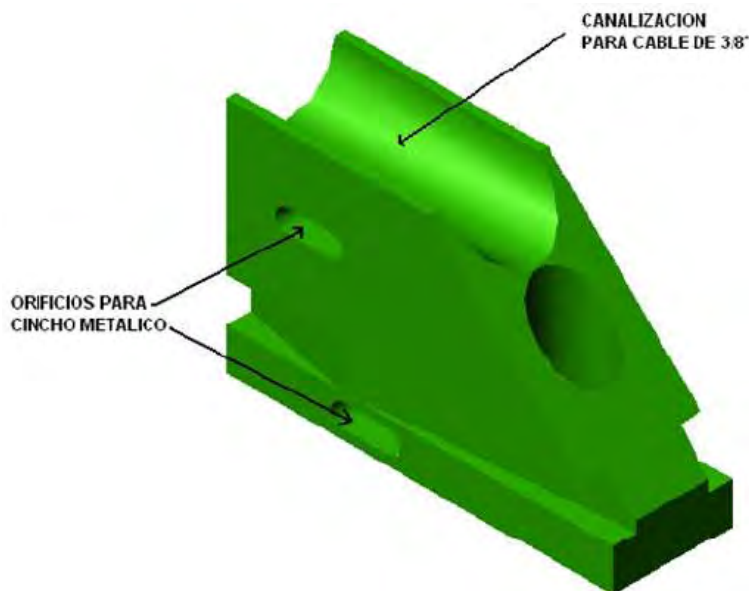


Figura 4.5 Aislador AB 2G, utilizado para sujetar el cable del pararrayos.

- **Bajante de pararrayo** En las torres autosoportadas que tengan perforaciones para barreno 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

- **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

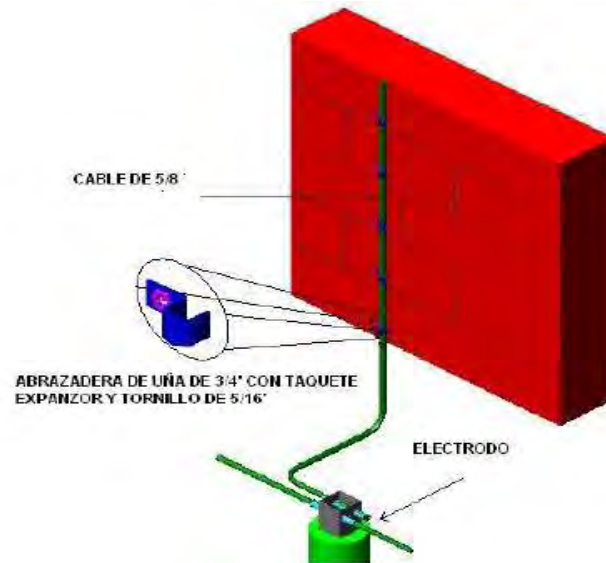


Figura 4.7 pararrayo bajante por muro

- **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 1/4 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.

- **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.

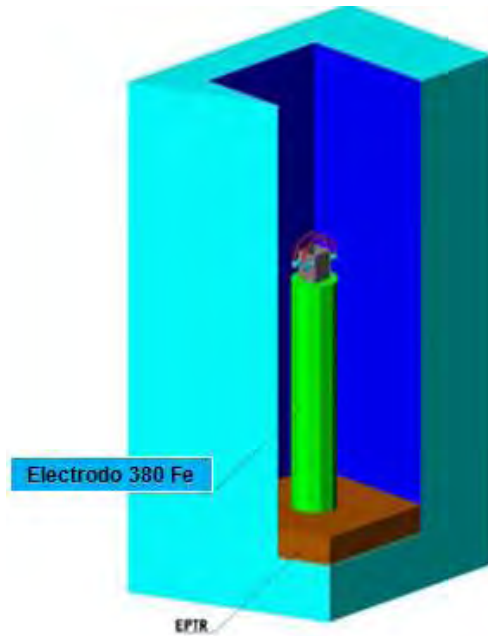


Figura 4.9 Hincado del electrodo 380 Fe

- 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.

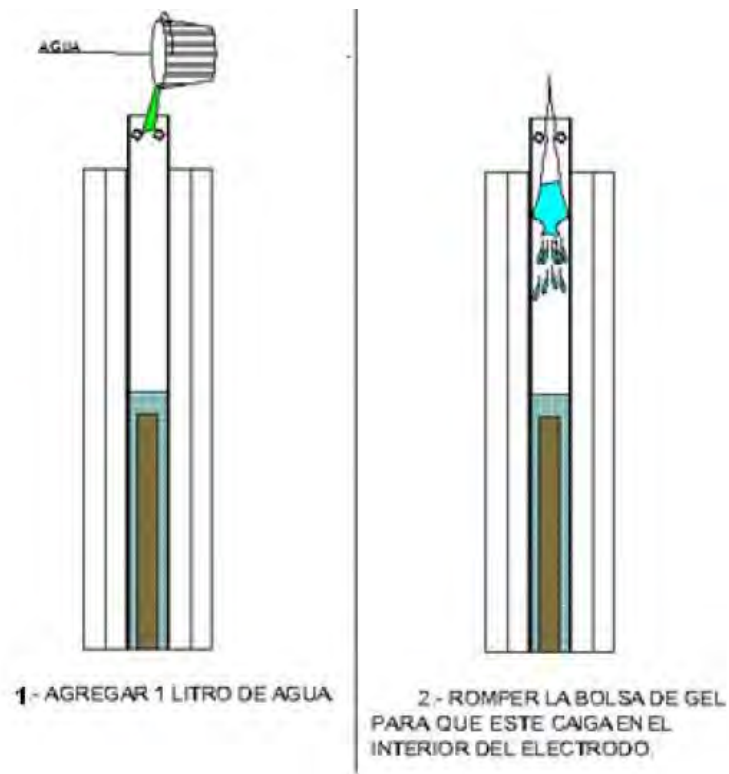


Figura 4.11 Colocación del agua y GEL al Electrodo 380 Fe

- 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.
- **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

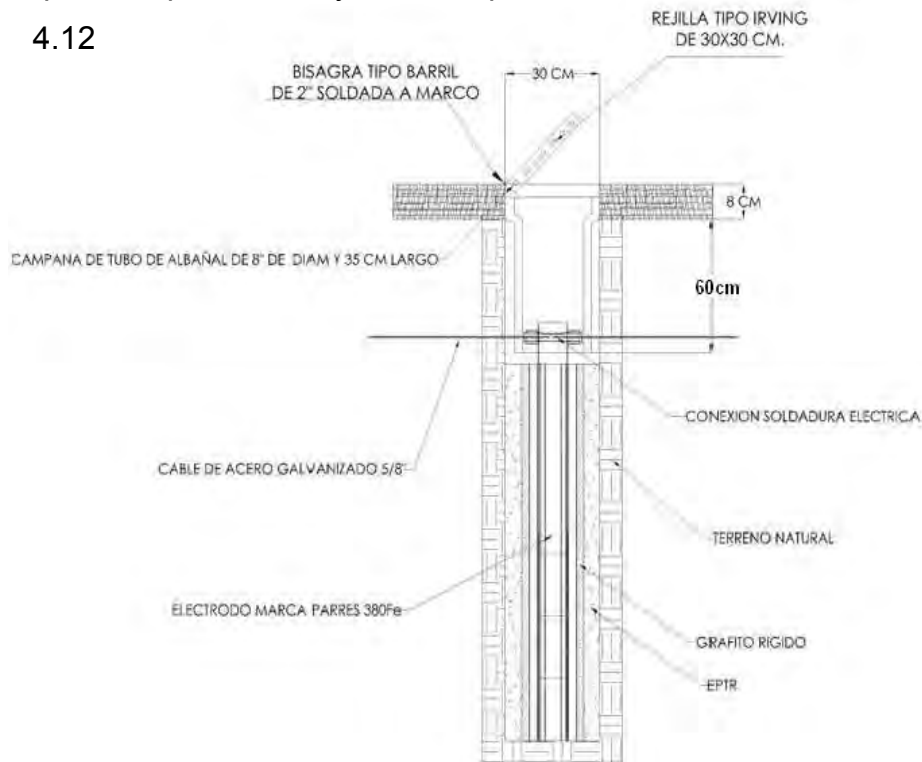


Figura 4.12 Armado e instalación de registros

- 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.

#### **4.4 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.

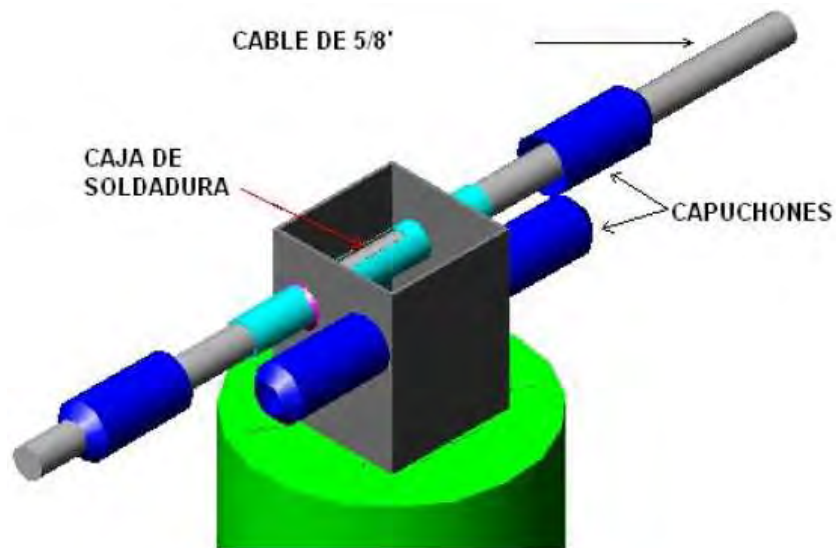


Figura 4.13 Caja de conexiones del Electrodo 380 Fe

- 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.

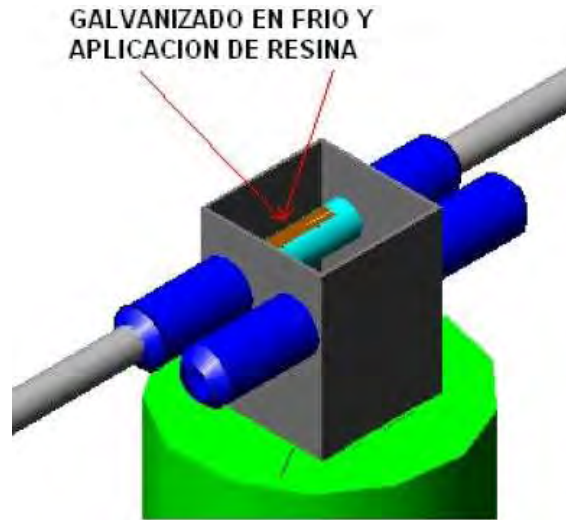


Figura 3.14 Caja de conexiones, galvanizado y aplicación de resina.

#### 4.5 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

- **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.

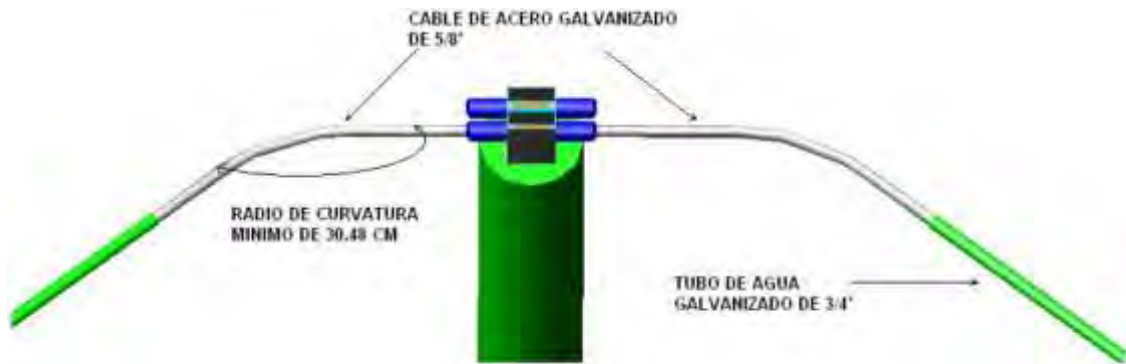


Figura 4.15 Conformado de malla con electrodo 380 Fe.

- 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

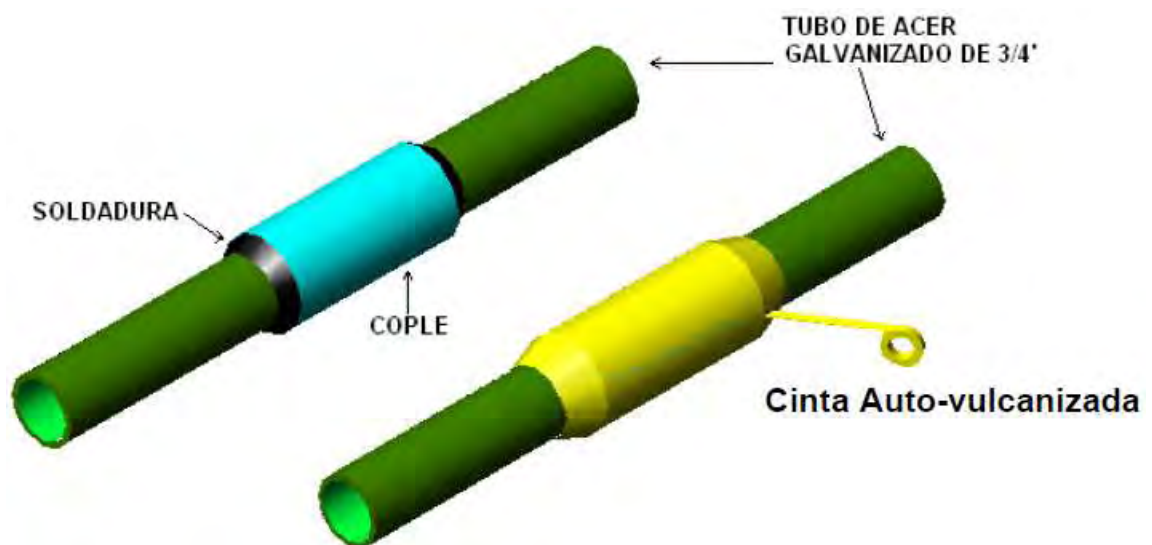


Figura 4.16 Unión de los tubos de acero galvanizado y aplicación de soldadura.

- 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.

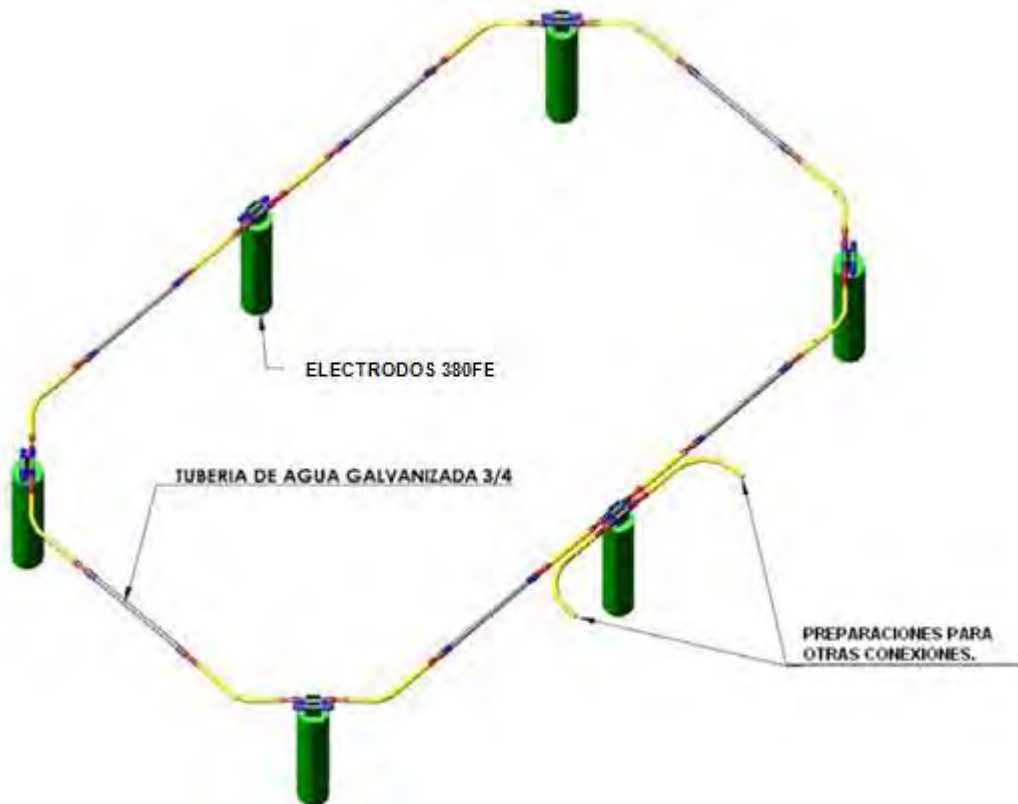


Figura 4.17 Conformado de malla con varios electrodos Parres 380 Fe.

- **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.

#### 4.6 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.



- **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.

- **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 zapaca ponchable, doble ojillo cañón largo para cable calibre 6 AWG.

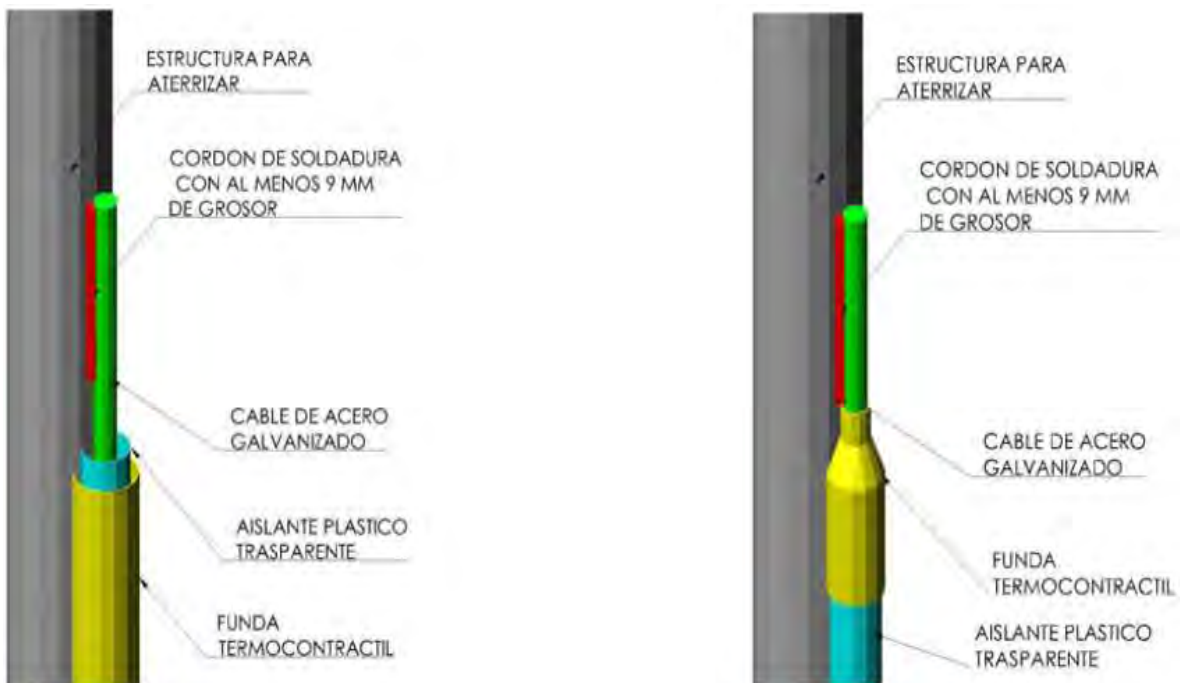


Figura 4.23 Soldado del cable de acero galvanizado y la estructura.

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

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.

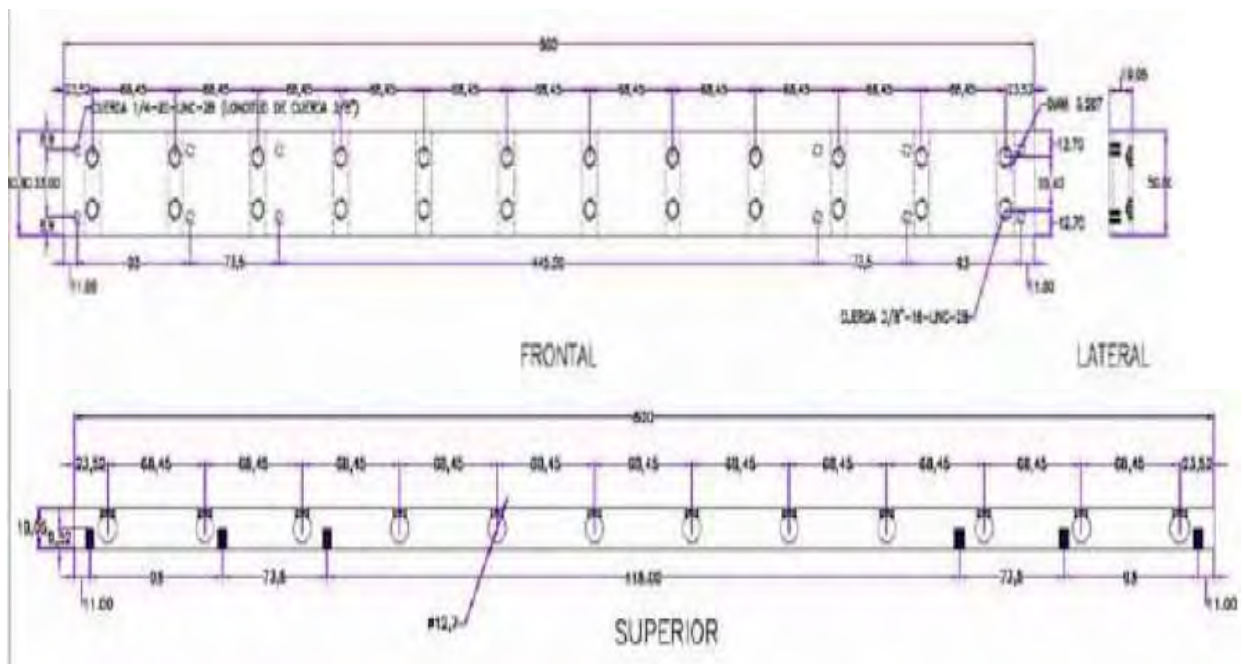


Figura 4.24 barras de tierras “BT-2G 12C

- a) 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.
- b) 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

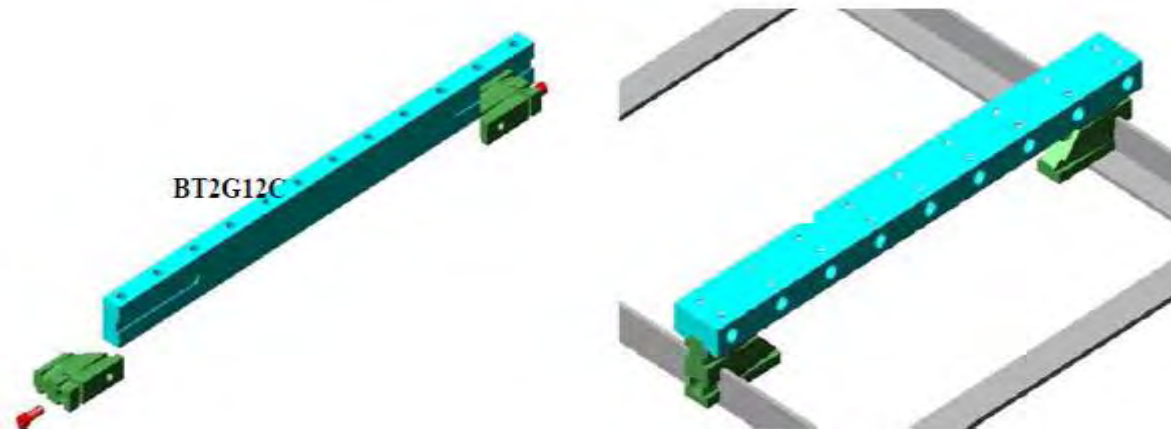


Figura 4.25 Barras de acero galvanizado BT2G12C con aisladores deslizables.

- 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  $\frac{1}{4}$  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.

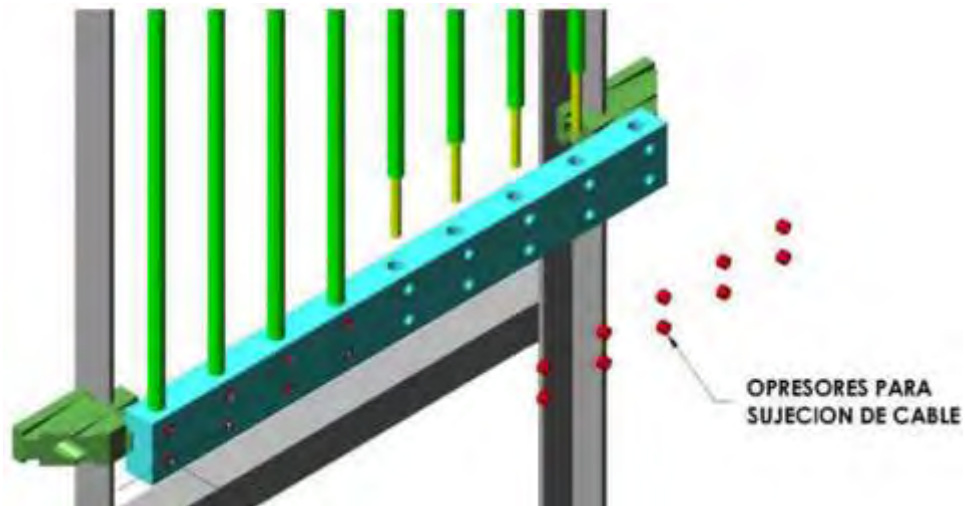


Figura 4.26 Conexión de los cableados en las barras de acero galvanizado BT2G12C.

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.

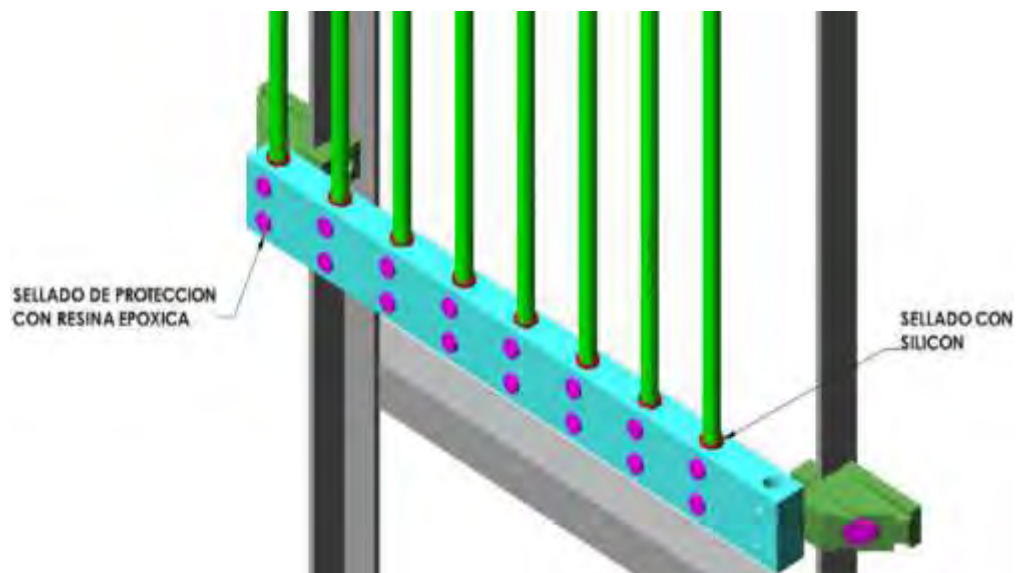


Figura 4.27 Conexión de los cableados en las barras de acero galvanizado BT2G9C

- l) Pintar elacrílico 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.

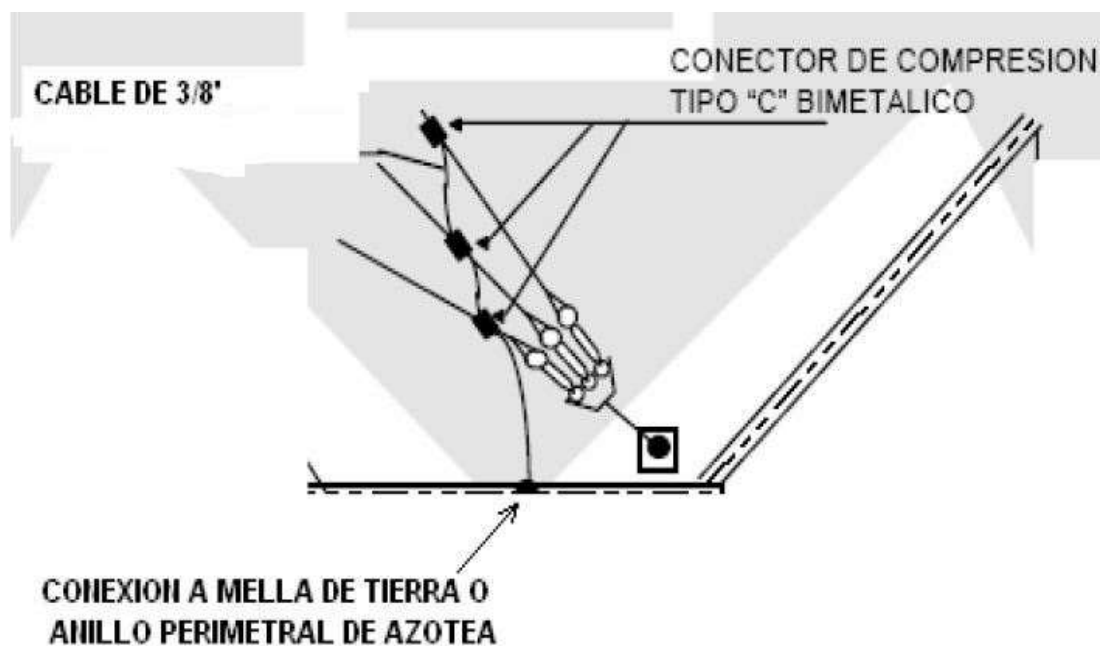


Figura 4.28 Aterrizamiento de una torre de retenidas con conectores de aluminio. 106



#### 4.8 Conexiones del sistema de tierra en interiores

- 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.

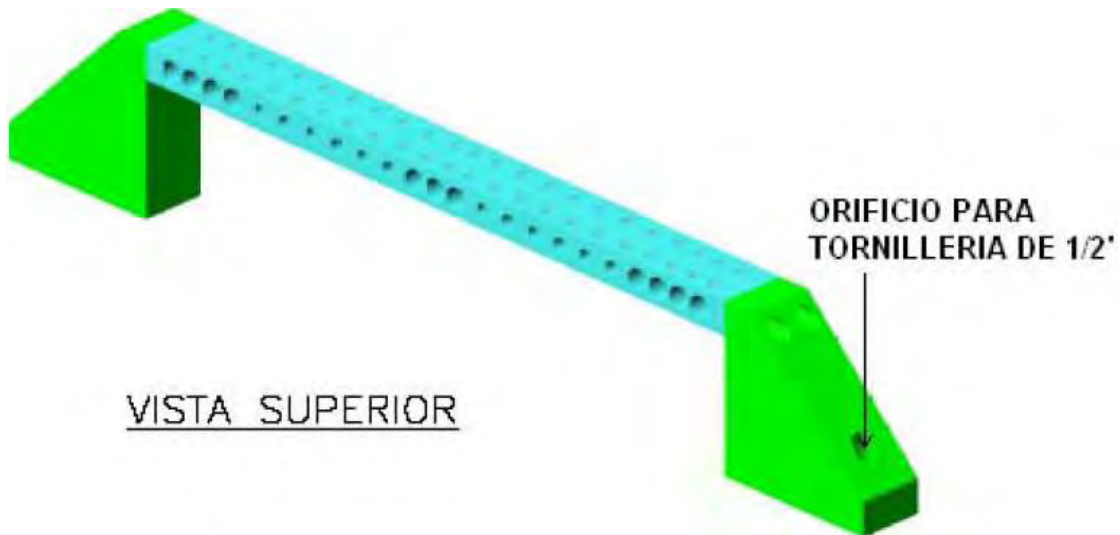


Figura 4.29 Vista superior de la Barra de Tierra BTP.

- c) Esta barra debe cumplir la función de una barra BTTP 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

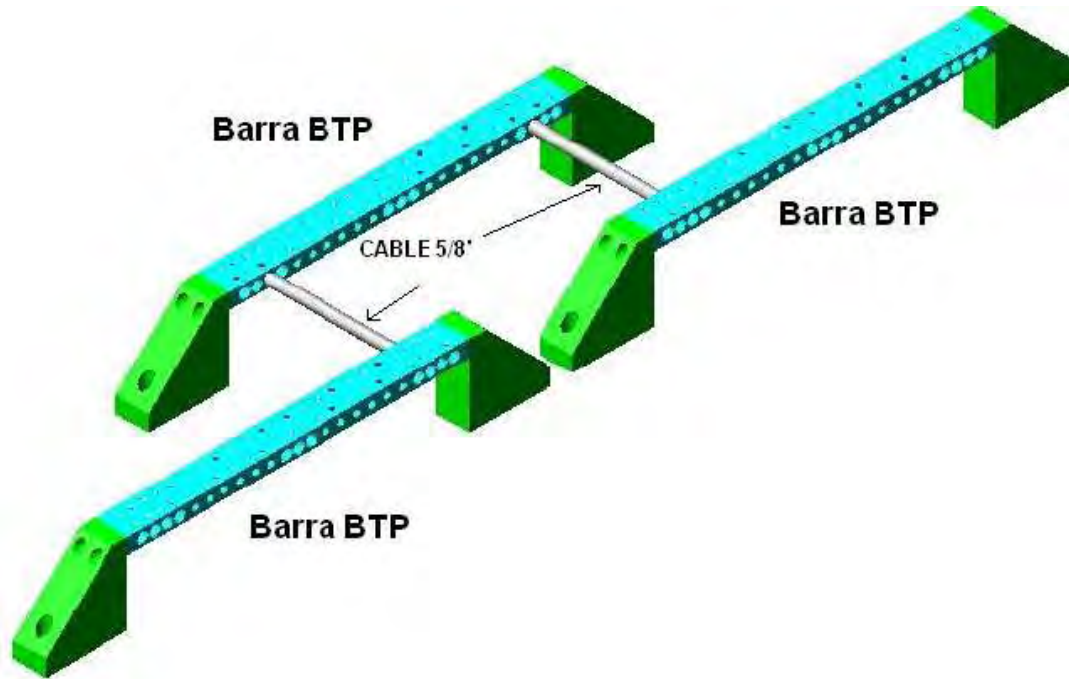


Figura 4.30 Interconexión de las Barras de Tierra BTP o BTTP en caso de requerir más conexiones.

#### 4.9 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

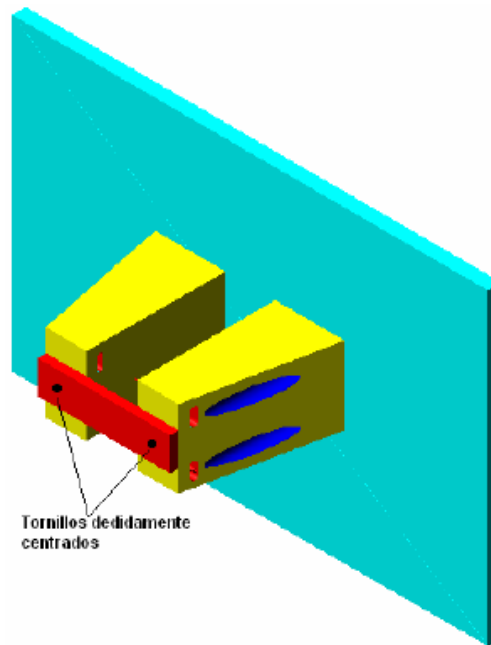


Figura 4.33 Instalación de los aisladores para cuando se instalen tres cables verticales.

- 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 1/4 pulgada.
- En salas interiores para las conexiones de puesta a tierra no se debe utilizar ningún tipo de soldadura solo zapatas doble [ jillo 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
1/4'	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.

#### 4.10 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

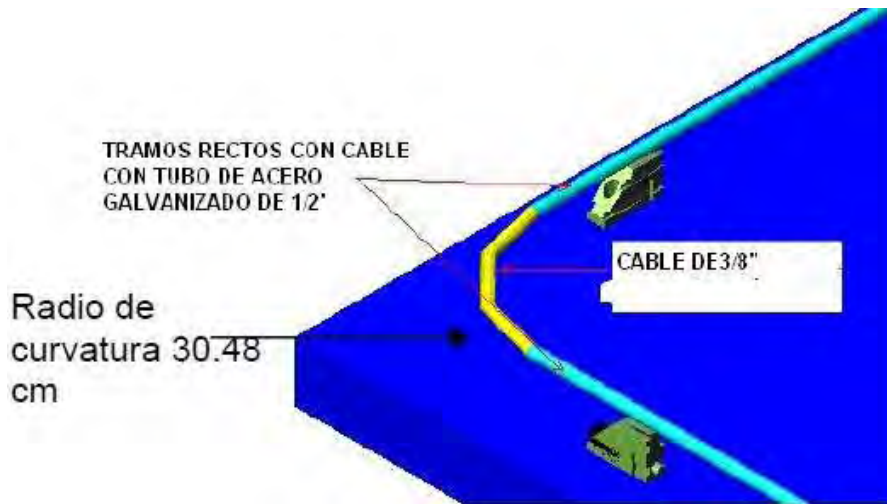


Figura 4.34 Instalación de tubo galvanizado y cable de acero de 3/8 pulgada.

- d) Instalar una barra de 12 conexiones (dependiendo del proyecto) para aterrizar los equipos de la azotea, la cual se conectara con cable de 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.**

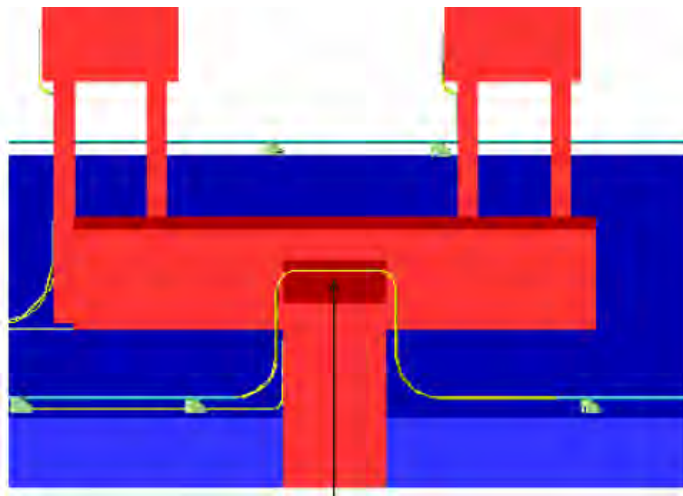


Figura 4.36 Trayectorias del cableado cuando existan obstáculos en la azotea.

- 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

## CONCLUSIONES

Un adecuado diseño y una correcta instalación de un sistema de puesta a tierra, para los sistemas de distribución de fuerza de C.A. es crítica para garantizar la seguridad del personal y el correcto funcionamiento de los equipos.

Una conexión a tierra de mala calidad no solo contribuye a un tiempo de inactividad innecesario, sino que es peligroso y aumenta el riesgo de fallos en los equipos. Sin un sistema de conexión a tierra eficaz, podríamos estar expuestos a riesgo de descarga eléctrica, por no mencionar los errores en los instrumentos, los problemas de distorsión armónica, los problemas de factor de potencia y un buen número de posibles errores intermitentes. Si las corrientes de fallo no cuentan con una ruta a tierra a través de un sistema de conexión a tierra diseñado y mantenido de la forma apropiada, podrían encontrar rutas no deseadas que podrían terminar dañando a las personas.

Sin embargo, el único objetivo de una buena puesta a tierra no es la seguridad; también sirve para evitar daños en equipos y plantas industriales. Un buen sistema de conexión a tierra mejorará la confiabilidad de los equipos y reducirá la posibilidad de daños debidos a rayos o corrientes de fallo. Cada año se pierden miles de millones en el lugar de trabajo debido a incendios eléctricos, sin incluir las costas procesales ni las pérdidas en productividad empresarial y de personal.

¿Cuál es un buen valor de resistencia de tierra?

Hay una gran confusión con respecto a qué constituye una buena conexión a tierra cuál sería el valor de resistencia de tierra correcto. Lo ideal es que una conexión a tierra tenga una resistencia de cero Ohmios.

No hay ningún umbral de resistencia de tierra estándar que se haya reconocido de manera unánime por parte de todas las agencias de normativas. No obstante, la



NFPA y el IEEE recomiendan un valor de resistencia de tierra de 5,0 Ohmios o menos.

El NEC indica que es necesario "asegurarse de que la impedancia del sistema a tierra sea menor de 25 Ohmios, tal y como se especifica en la norma NEC 250.56. En instalaciones con equipos sensibles, debería ser de 5,0 Ohmios o menos".

El sector de las telecomunicaciones a menudo usa 5,0 Ohmios o menos como el valor para la puesta a tierra y las conexiones eléctricas.

El objetivo de la resistencia de tierra es lograr el menor valor posible de resistencia de tierra que sea razonable en términos económicos y físicos.

Concretamente el sistema de puesta a tierra provee un camino de baja impedancia para derivar a tierra corrientes de fuga y disturbios presentes en las redes de energía, a través de los dispositivos de protecciones específicos.

El tipo de sistema de puesta a tierra será del tipo equipotencial, es decir todas las distintas partes componentes del sistema (anillos, estructuras, cañerías, etc.) estarán vinculados de manera de asegurar la equipotencialidad entre ellas.

# ANEXO 1 SIMBOLOGIA

## SIMBOLO

## CONCEPTO



CONTACTO MONOFASICO DUPLEX POLARIZADO DE 180 W, CON TOMA DE PUESTA A TIERRA FISICA INTEGRADA, IF, 2H, 127V., 60 Hz, CATALOGO No 5262 MARCA LEVITON CON PLACA DE NYLON COLOR BLANCA.



CONTACTO MONOFASICO DUPLEX POLARIZADO DE 500 W, CON TOMA DE PUESTA A TIERRA FISICA INTEGRADA, IF, 2H, 127V., 60 Hz, CATALOGO No 5262 MARCA LEVITON CON PLACA DE NYLON COLOR BLANCA.



CONTACTO DOBLE POLARIZADO DE SERVICIO NORMAL MCA. LEVITON CON TAPA METALICA A PRUEBA DE INTEMPERIE.



CONTACTO MONOFASICO DUPLEX POLARIZADO DE 180 W, CON TOMA DE PUESTA A TIERRA FISICA AISLADA, IF, 2H, 127V., 60 Hz, CATALOGO No 5262-1G MARCA LEVITON (CONTACTO Y PLACA DE NYLON COLOR NARANJA).



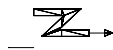
APAGADOR DE 2 VIAS TIPO INTERCAMBIABLE DE 10 Amp. 125 V.C.A. PARA COLOCACION EN MURO A 1.2 M N.P.T.



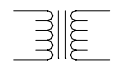
REGISTRO ELECTRICO DE CONEXIONES, METLICO GALVANIZADO CON TAPA.



SALIDA ESPECIAL DEL SISTEMA DE VOZ Y DATOS, CONSIDERAR CAJA CUADRADA DE PVC (CLORURO DE POLIVINILO) TIPO PESADO R-1, COLOCADA EN MURO, PISO O MOBILIARIO SEGUN SE REQUIERA.



ACOMETIDA ELECTRICA DE C.A.



TRANSFORMADOR FERROMAGNETICO.



FUSIBLE BAJA TENSION.



FUSIBLE ALTA TENSION.



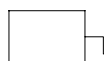
TABLERO ELECTRICO DE DISTRIBUCION DE ZONA, TERMOMAGNETICO 3F, 4H, 220/127V, 60Hz, NQOD, MCA. SQUARE D COLOCADO A 1.5 M NPT, AL CENTRO DEL GABINETE.



TABLERO DE DISTRIBUCION AUTOSOPORTADO.



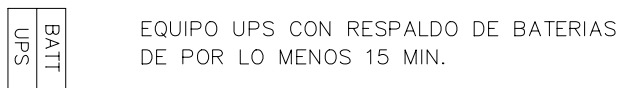
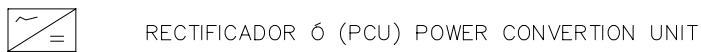
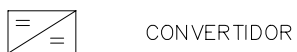
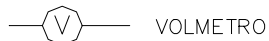
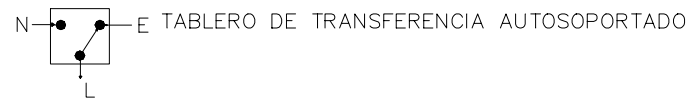
TABLERO ELECTRICO DE DISTRIBUCION DE CORRIENTE ALTERNA, TERMOMAGNETICO 3F, 4H, 220/127V, 60Hz, "NQOD" MCA. SQUARE D, SERVICIO UPS.



INTERRUPTOR DE NAVAJAS CON PORTAFUSIBLES.

**SIMBOLO**

**CONCEPTO**

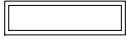


**SIMBOLO**

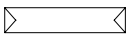
**CONCEPTO**



LUMINARIO FLUORESCENTE DE EMPOTRAR EN PLAFON DE 61x61cm., CON CUATRO LAMPARAS "T-8" DE 17W Y DOS BALASTROS ELECTROMAGNETICOS DE ALTA EFICIENCIA BAJAS PERDIDAS DE 2x17W, 1F., 2H., 127V., 60Hz., CON 127 V, 60 Hz., CON DIFUSOR LOUVER PARABOLICO DE 16 CELDAS.



LUMINARIO FLUORESCENTE DE EMPOTRAR DE 30x122cm., CON DOS LAMPARAS "T-8" DE 32W. Y BALASTRO ELECTROMAGNETICO DE ALTA EFICIENCIA BAJAS PERDIDAS DE 2x32W, 1F, 2H, 127V, 60Hz, CON DIFUSOR ACRILICO ENVOLVENTE, MARCA ELECTRO LIGHTING (MONTAJE SOBRE PERFIL UNICANAL DE 4x4cm).



LUMINARIO FLUORESCENTE 2 X 38 W. MARCA ELECTROLIGHTING DE SOBREPONER SERIE COSMOS 300.



LUMINARIO FLUORESCENTE DOWNLIGHT DE EMPOTRAR EN PLAFON CON DOS LAMPARAS COMPACTAS "PL" DE 13W. TIPO QUAD Y BALASTRO INTEGRADO, 1F., 2H., 127V., 60Hz., CATALOGO N°.2D/60 REFLECTOR 2x13W., MARCA CONSTRULITA.



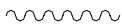
INDICA PERFIL UNICANAL UNISTRUT DE 4x4cm, PARA MONTAJE DE LOS LUMINARIOS EN EL AREA DE FUERZA, ASI COMO PARA LA ALIMENTACION ELECTRICA A LOS MISMOS.



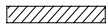
TUBERIA CONDUIT METALICA GALVANIZADA PARED GRUESA MARCA PEASA, COLOCADA EN FORMA OCULTA ENTRE PLAFON Y LOSA o EN RANURA POR MURO.



TUBERIA CONDUIT METALICA GALVANIZADA PARED GRUESA MARCA PEASA, COLOCADA EN FORMA OCULTA POR PISO



TUBERIA CONDUIT METALICA GALVANIZADA TIPO LICUATITE COLOCADA BAJO PISO FALSO



CANALIZACION EXISTENTE EN MOBILIARIO



INDICA PORTACABLERA o CHAROLA DE DISTRIBUCION DE ALUMINIO DE 15cm (6") DE ANCHO, COLOCADA EN FORMA OCULTA ENTRE PLAFON Y LOSA, PARA REMATE FINAL DE LAS CANALIZACIONES DEL SISTEMA DE VOZ & DATOS AL RACK DE TELEFONIA.



RACK DE ALUMINIO TOTALMENTE AISLADO, DE 19" DE ANCHO.



EQUIPO ELECTROGENO ó MAQUINA DE EMERGENCIA



PRECALENTADOR DE EQUIPO ELECTROGENO ó MAQUINA DE EMERGENCIA



MOTOR ELECTRICO

## ANEXO 2

### **SISTEMA DE FUERZA DE CORRIENTE ALTERNA PARA RB'S TDMA**

#### **Introducción**

*Un adecuado diseño y una correcta instalación de un sistema de puesta a tierra, para los sistemas de distribución de fuerza de C.A. es crítica para garantizar la seguridad del personal y el correcto funcionamiento de los equipos.*

*Esta sección tiene como objetivo el proveer una guía para la instalación de los sistemas de puesta de tierra para equipos de fuerza de C.A. a las personas encargadas de la instalación y mantenimiento de dichos sistemas.*

*Todos los procedimientos y recomendaciones dictadas se basan en consideraciones generales de seguridad, la NOM-001-SEDE-CEI*

#### **Tierra de protección para sistemas de fuerza de C.A.**

*Los principales componentes en un sistema de distribución de fuerza de C.A. son :*

- \* Subestación*
- \* Tablero de Protección General*
- \* Tablero de Distribución General*
- \* Tableros de Distribución Secundarios*
- \* Fuentes de Emergencia Reguladas*

*A continuación se definirán los requerimientos de aterrizamiento para el sistema de distribución de C.A.*

*Tres métodos de aterrizamiento serán utilizados en las radiobases al mismo tiempo, siendo estos los siguientes :*

- \* Referencia a tierra para un sistema de alto voltaje.*
- \* Referencia a tierra para un sistema de bajo voltaje.*
- \* Referencia a tierra para los equipos alimentados de C.A*

#### **Referencia a tierra para un sistema de alto voltaje**

*Cuando la subestación de C.A. se encuentra dentro de las instalaciones ésta debe estar referenciada a una malla de tierra enterrada instalada o reforzada por el usuario. La malla de tierra de la subestación provee una ruta de baja impedancia a tierra a las corrientes de falla que pudieran originarse dentro de la subestación. Al proveer un camino de baja impedancia a tierra, se asegura que los dispositivos de protección se disparen al presentarse una falla a tierra. La baja impedancia de la malla también elimina cualquier diferencia de potencial que pudiera haber dentro de la subestación, protegiendo al personal.*

---

a).- La malla debe consistir de conductores paralelos principales separados no menos de 3m. (10 pies) en una direcci3n. Los cables secundarios deben ser perpendiculares a los primeros y estar separados entre si no menos de 3m y no mas de 6m.

b).- Los cables principales y secundarios deben estar unidos en todos los cruces y al conductor perimetral con soldadura exot3rmica.

c).- Los electrodos de tierra aumentan la conductividad de la malla y se colocan generalmente en las cuatro esquinas y en las 3reas donde se puede esperar que haya grandes corrientes. Una buena pr3ctica de dise1o es la de no poner dos electrodos separados por una distancia menor a su longitud.

d).- Los electrodos de tierra deben estar enterrados verticalmente hasta su parte superior a 30 cm bajo el nivel del piso terminado, esto para poder tomar las mediciones peri3dicas de la malla de tierra, como se muestra en la figura).

e).- Los conductores que se usen para conectar la subestaci3n y su equipo asociado no deben ser menor al No. 2 AWG.

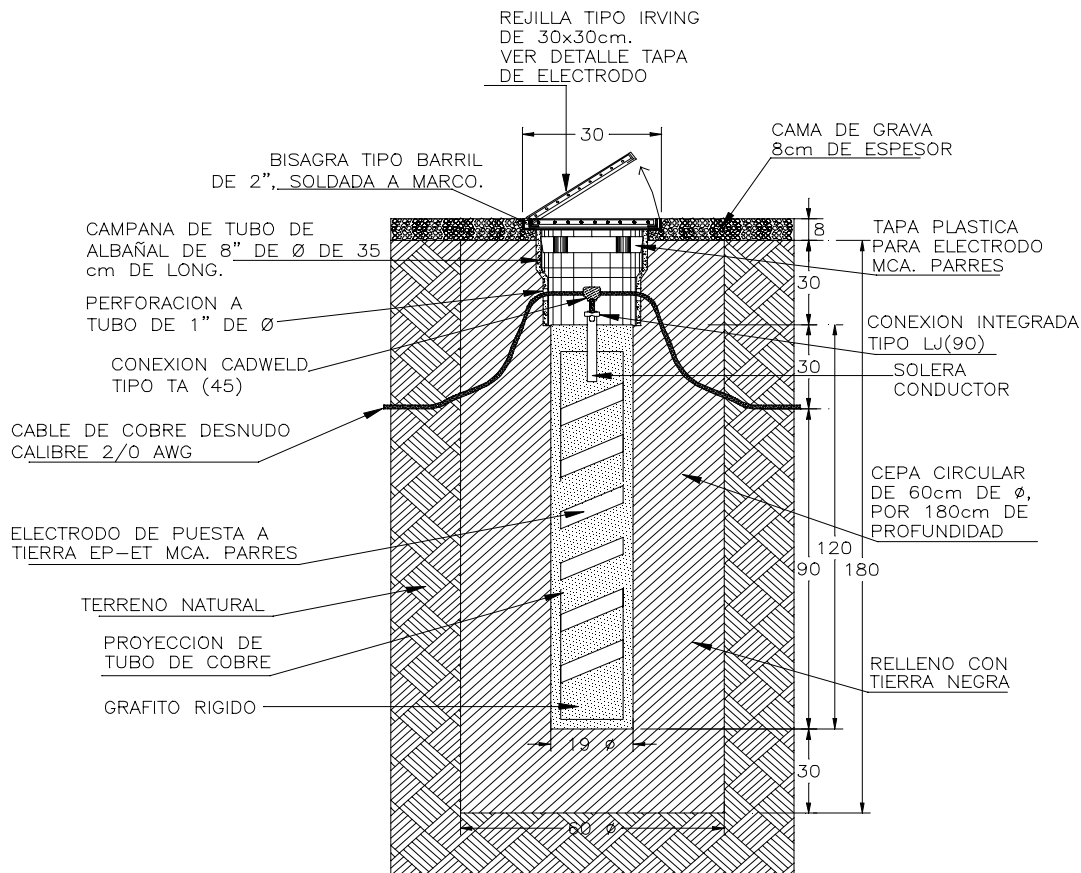


figura Detalle del electrodo de puesta a tierra.

## **Transformadores de distribución.**

Las pruebas a los transformadores han evolucionado a lo largo de los años para determinar las aptitudes eléctricas, térmicas y mecánicas para los sistemas en los que serán aplicados. Existen varias pruebas que nos permiten verificar las características de cada tipo de transformador, la definición de estas pruebas ha sido responsabilidad del Subcomité de Transformadores de potencia del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE). Estas pruebas han sido incorporadas en la norma del Instituto de Normas Nacionales Americanas (ANSI norma C57.12.90)

En México la norma que describe las pruebas a transformadores la ha recopilado ANCE en la norma **NMX-J-169-1997**.

Para el análisis de normas es conveniente diferenciar entre las normas **NMX** de carácter voluntario y las normas **NOM** de carácter obligatorio no solamente para los fabricantes de transformadores sino en general para todo transformador que se instale en México incluyendo los importados. Además de las anteriores, C.F.E. y L y F. tienen sus propias normas de transformadores y son obligatorias para equipos que ellos compran y operan.

Este resumen de normas de transformadores de distribución, transformadores tipo poste y subestación, y transformadores tipo pedestal se puede observar en las tablas respectivamente.

<b>NORMAS</b>	<b>REFRIGERANTE</b>	<b>NORMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>CAPACIDAD KVA</b>
NMX	ACEITE	NMX-J-116	POSTE Y SUBESTACION	<500
		NMX-J-284	SUBESTACION	>500
		NMX-J-285	PEDESTAL	>250
	SECOS	NMX-J-351	SECOS	
NOM	ACEITE	NOM-002	POSTE, SUBESTACION, PEDESTAL Y SUMERGIBLES	<=500
K DE CFE	ACEITE	K-0000-01	POSTE	
		K-0000-05	SUMERGIBLES	300 Y 500
		K-0000-04	PEDESTAL MONOFASICOS	300 Y 500
		K-0000-07 K-0000-08	PEDESTAL TRIFASICOS	75, 112.5, 150, 225

*Resumen de Normas de Transformadores de Distribución.*

## TIPOS POSTE Y SUBESTACION

		NMX-J-116			
		TIPO DE TRANSFORMADOR			
		POSTE		SUBESTACION	
FASES		1	3	1	3
CAPACIDAD EN KVA		5, 10, 15, 25, 37.5, 50, 75, 100, 167	15, 30, 45, 75, 112.5, 150	250, 333, 500	225, 300, 500
IMPEDANCIA	1.2 A 15 KV	1.5 A 3.00	2.00 A 3.00		2.50 A 5.00
	25 KV	1.5 A 3.25	2.00 A 3.25		2.75 A 5.50
	34.5 KV	1.5 A 3.5	2.00 A 3.250		3.00 A 5.75

*Resumen de Normas de Transformadores tipo Poste y Subestación.*

## NORMAS PARA TRANSFORMADORES TIPO PEDESTAL

CONCEPTO	NMX-J-285 MONOFASICOS Y TRIFASICOS PARA DISTRIBUCION SUBTERRANEA	CFE		
		K0000-04 MONOFASICOS PARA DISTRIBUCION RESIDENCIAL SUBTERRANEA (DSR)	K-0000-08 TRIFASICOS PARA DISTRIBUCION RESIDENCIAL SUBTERRANES (DSR)	K-0000-07 TRIFASICOS PARA DISTRIBUCION COMERCIAL SUBTERRANEA (DCS)
SISTEMA DE OPERACION	RADIAL O ANILLO	ANILLO	ANILLO	ANILLO
CAPACIDAD (KVA)	1 FASE: 25, 37.5, 50, 100, 167 3 FASES: 30, 45, 75, 112.5, 150, 225, 300, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500.	25, 37.5, 50, 75	75, 112.5, 150, 225	300, 500
MEDIA TENSION (V)	2400 A 3500	13200YT/7620, 22860YT/13200	13200YT/7620 <b>22860YT/13200</b> 23000Δ	13200YT/7620 <b>22860YT/13200</b> 23000Δ
BOQUILLAS MT MB	TIPO POZO TIPO ESPADA	TIPO POZO TIPO ESPADA	TIPO POZO TIPO ESPADA	TIPO POZO TIPO ESPADA
SISTEMA DE PROTECCIONES	FUSIBLE DE EXPULSION DE DOBLE ELEMENTO EN SERIE CON FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE DE RANGO PARCIAL O DE RANGO COMPLETO. PARA 750 KVA Y MAYORES LAS PROTECCIONES SERAN ACORDADAS ENTRE FABRICANTE Y USUARIO	FUSIBLE DE EXPULSION DE DOBLE ELEMENTO EN SERIE CON FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE DE RANGO PARCIAL.	FUSIBLE DE EXPULSION DE DOBLE ELEMENTO EN SERIE CON FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE DE RANGO PARCIAL.	FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE RANGO COMPLETO

*Resumen de Normas de Transformadores tipo Pedestal.*



Los transformadores que cumplen con la norma **NMX**, **NOM** y norma **K** de C.F.E. se relacionan en seguida:

**IEM.**  
**PROLEC**  
**IG IRAPUATO.**  
**EMSA.**  
**CONTINENTAL ELECTRIC.**

Si se cuenta con una instalación en tarifa OM es decir que el transformador quede dentro del predio del usuario, bastara con solicitar el certificado del fabricante ANCE y el protocolo de pruebas **NMX** correspondiente al tipo de transformador. Pero en el caso de que los trabajos de extensión de línea y el transformador se tengan que ceder a C.F.E. se tendrá que solicitar al fabricante el protocolo de pruebas de la norma **K** correspondiente. Una instalación típica de un transformador tipo poste se puede observar en la fig).

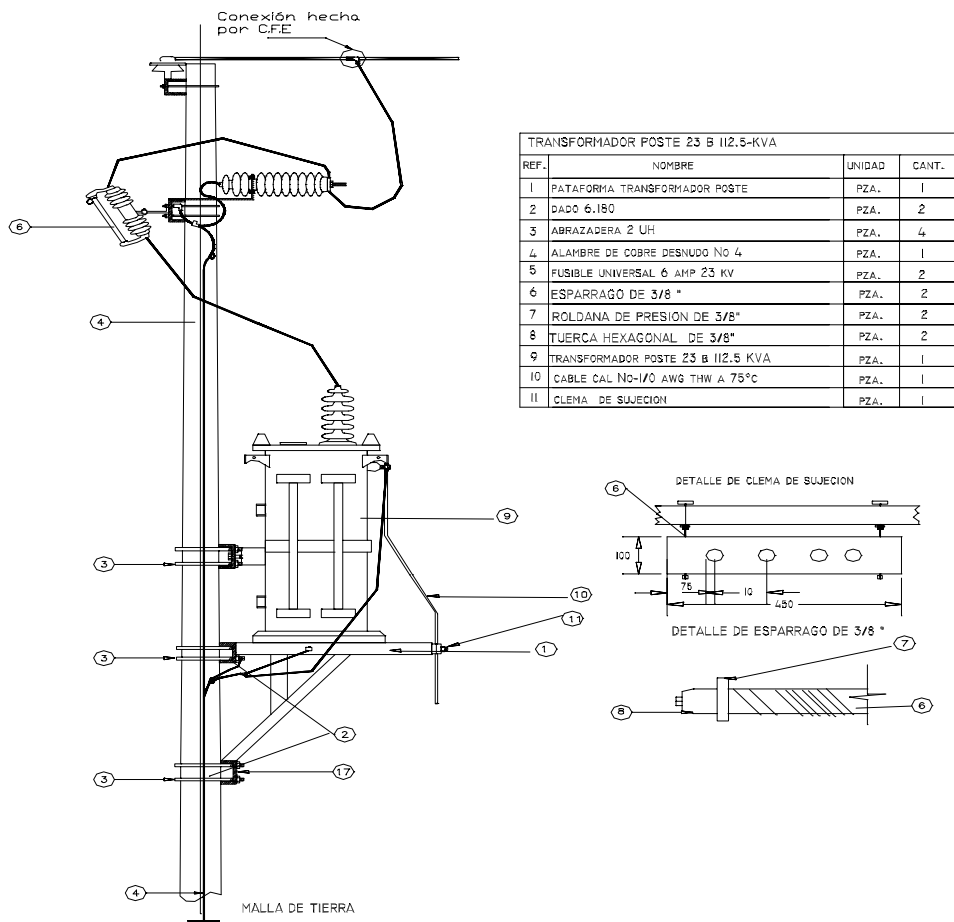


Figura Transformador tipo poste.

---

Teniendo siempre en cuenta que si la subestación se encuentra dentro del predio deberá referenciarse a tierra con la malla de tierra de la Radio Base como se muestra en la figura )

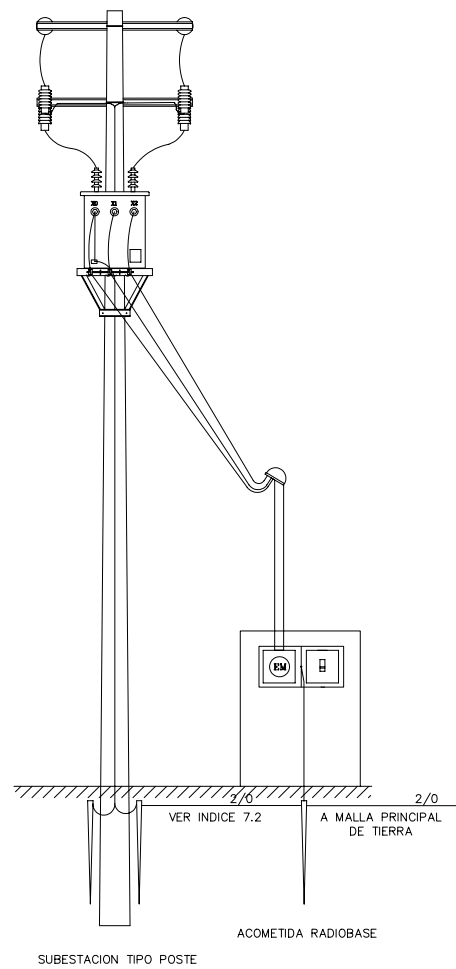


Figura Puesta a tierra de Transformador tipo Poste

---

---

## **Referencia a tierra para un sistema de bajo voltaje.**

### **Conductor puesto a tierra (neutro).**

*Al utilizar transformadores con una conexión en estrella por el lado secundario, el cual esta formado con tres conductores de fase y un conductor aterrizado (neutro). El conductor neutro está extendido del punto de conexión común del lado del secundario y permite un bajo voltaje (fase a neutro). Este conductor neutro, en estos sistemas, siempre está extendido al interruptor general y conectado a la barra de neutro.*

*El uso de un conductor neutro en un sistema de distribución de C.A. provee el medio para estabilizar el voltaje de las fases, esto se logra conectando el neutro a tierra. Así, el voltaje de las fases es únicamente el inducido al transformador. Cuando se tiene este arreglo, se dice que el sistema esta aterrizado.*

**NOTA :** *De acuerdo a la NOM-001-SEMP-1994 Artículo 100, el cable neutro es un conductor del sistema o circuito que esta puesto a tierra intencionalmente.*

*El conductor neutro de un sistema de distribución de C.A. esta diseñado para drenar la corriente de desbalanceo entre las fases y por lo tanto, se le considera como una cable activo (conductor de corriente). Dado que hay cargas monofásicas que se alimentan de circuitos trifásicos, se debe tener cuidado de balancear la carga entre las fases para evitar sobrecorriente en el neutro y en alguna de las fases. Un sistema trifásico desbalanceado es ineficiente y existe el peligro de que se sobrecaliente la fase más cargada. Se recomienda que se realice una prueba de termografía (por medio de rayos infrarrojos), por lo menos una vez al año, para detectar calentamiento por desbalances. Previendo la incidencia de corrientes armónicas generadas por los equipos electrónicos (cargas no lineales) el conductor neutro para este tipo de cargas se dimensionará igual o mayor al calibre de los conductores de fase.*

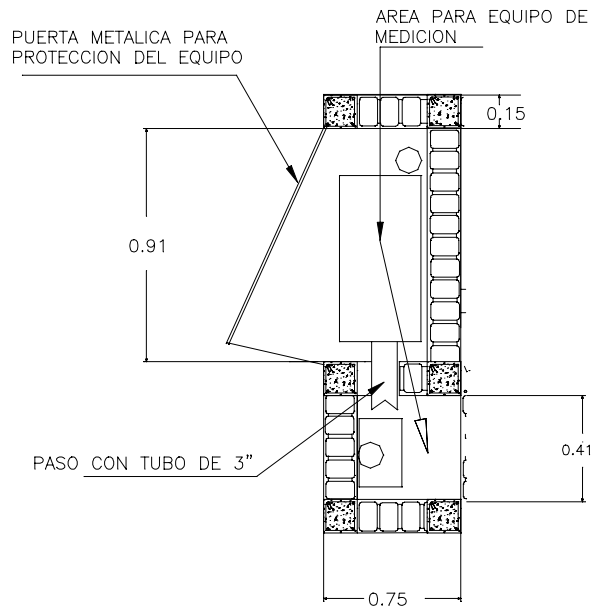
*El conductor neutro debe ser referenciado a tierra uniéndolo a electrodo de tierra o a la barra de tierra de acometida (BTA) del tablero de protección general (la cual debe estar referenciada a tierra), nunca debe estar aterrizado en el lado de la carga de los tableros derivados. Dado que el conductor neutro conduce corriente, si se conecta a un objeto aterrizado, la corriente fluirá por ambos circuitos, por tal razón nunca debe ser utilizado como referencia a tierra. Con la puesta a tierra del neutro en la acometida principal garantizamos un voltaje entre neutro-tierra menor o igual a **2 volts**. Como limite máximo evitando corrientes de retorno parásitas al sistema.*

*El aterrizamiento del sistema de distribución de C.A. en el tablero de protección general, provee también una ruta de baja impedancia a todas las cargas de C.A. en el lado secundario del transformador, asegurando así una buena protección contra fallas y al personal.*

---

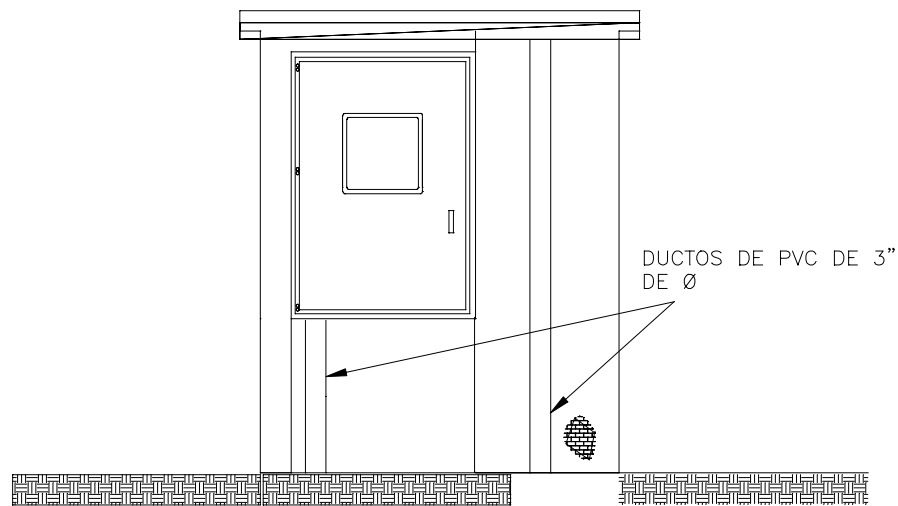
---

La acometida eléctrica de nuestros sitios celulares se deberá concentrar en un gabinete metálico donde se instalará el interruptor principal y los equipos de medición de C.F.E. empotrado en nicho de mampostería como el que se ilustra en las figuras ),



VISTA DE PLANTA

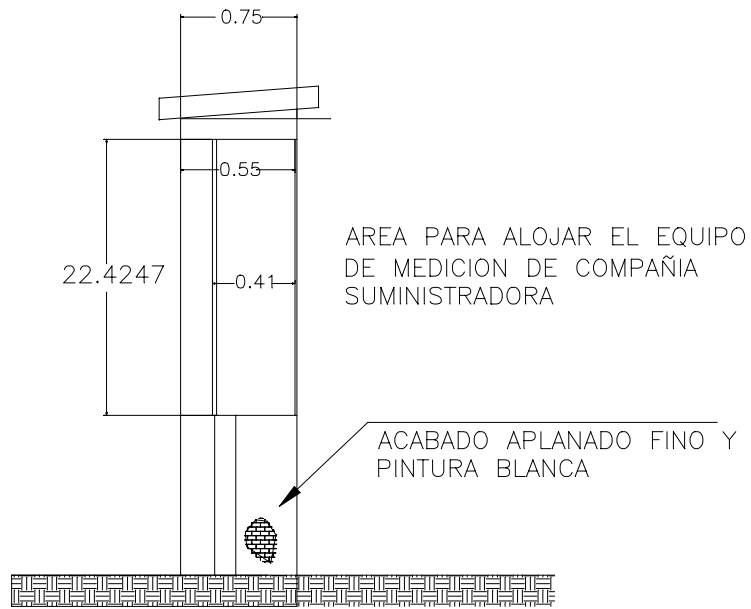
*Figura Nicho de Acometida vista de planta.*



VISTA FRONTAL

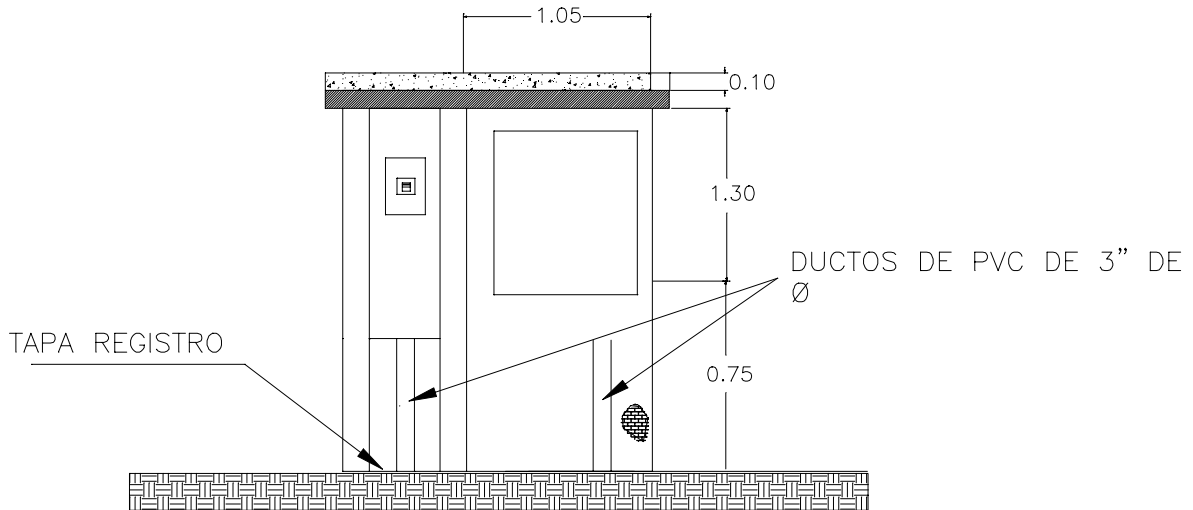
*Figura Nicho de acometida vista frontal.*

---



VISTA LATERAL POSTERIOR

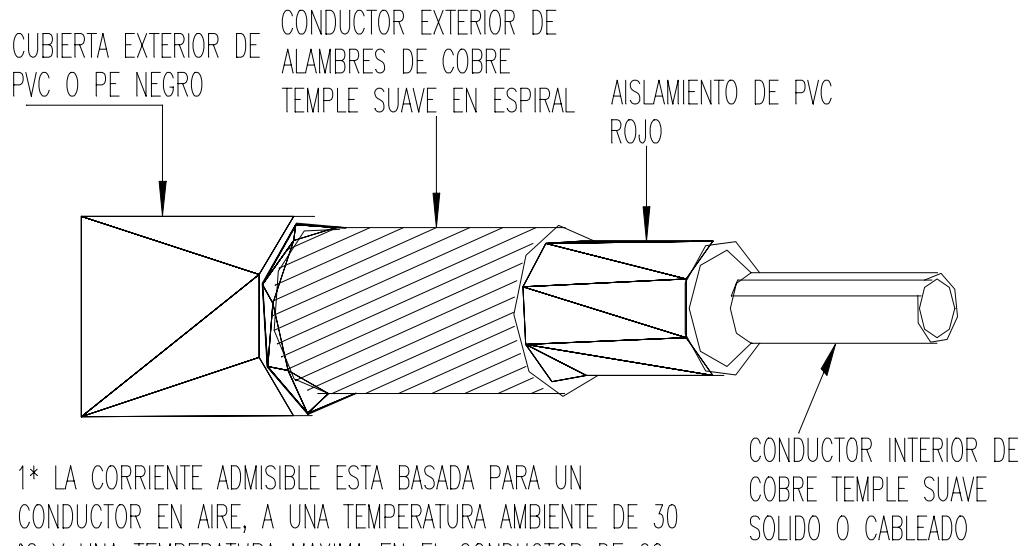
*Figura Nicho de acometida vista lateral posterior.*



VISTA POSTERIOR

*Figura Nicho de acometida vista posterior.*

La designación de los alimentadores desde el transformador a nuestro interruptor principal de acometida es responsabilidad de la compañía suministradora del servicio eléctrico, alguna de las características de estos conductores se pueden observar en la figura.



1\* LA CORRIENTE ADMISIBLE ESTA BASADA PARA UN CONDUCTOR EN AIRE, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30 °C Y UNA TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR DE 60 °C SEGUN TABLA 310-17 NOM-001-SEMP.

NOTA: VALORES NOMINALES APROX. SUJETOS A TOLERANCIAS DE MANUFACTURA

DESIGNACION DEL CONDUCTOR		NUMERO DE ALAMBRES DEL CONDUCTOR CENTRAL	DIAMETRO TOTAL MM	CORRIENTE ADMISIBLE	RESISTENCIA A LA C.A. OHMS/MT	MASA APROX. KG/MT
AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL NOMINAL mm <sup>2</sup>	CALIBRE DEL CONDUCTOR AWG					
3.307	12	1	7.30	30	5.95	7.30
5.260	10	1	8.10	40	3.74	8.10
8.367	8	1	8.38	60	2.39	8.38
13.30	6	7	12.60	80	1.47	12.60
21.15	4	7	14.20	105	0.923	14.20

Figura Cableados de la compañía suministradora.

---

**Conductor de electrodo de tierra.**

El conductor que une el conductor neutro a tierra recibe el nombre de conductor a electrodo de tierra. Se conecta a la barra de tierra de acometida (BTA) en el tablero de protección general.

Este conductor se debe dimensionar de acuerdo a la tabla 250-95 de la NOM-001-SEDE-1999 y debe ser continuo. El conductor a electrodo de tierra también sirve como un camino de baja impedancia a descargas atmosféricas y a corrientes de falla para fuentes de energía localizadas fuera del edificio y no conectadas con un conductor neutro.

Capacidad nominal ó ajuste del dispositivo de protección contra sobrecorriente ubicado antes del equipo y/o conductor No mayor de (amperes)	Calibre del Conductor de puesta a tierra (AWG ó MCM) Cobre
15	14
20	12
30	10
40	10
60	10
100	8
200	6
300	4
400	3
500	2
600	1
800	1/0
1000	2/0
1200	3/0
1600	4/0
2000	250 MCM
2500	350 MCM
3000	400 MCM
4000	500 MCM
5000	700 MCM
5500	750 MCM
6000	800 MCM

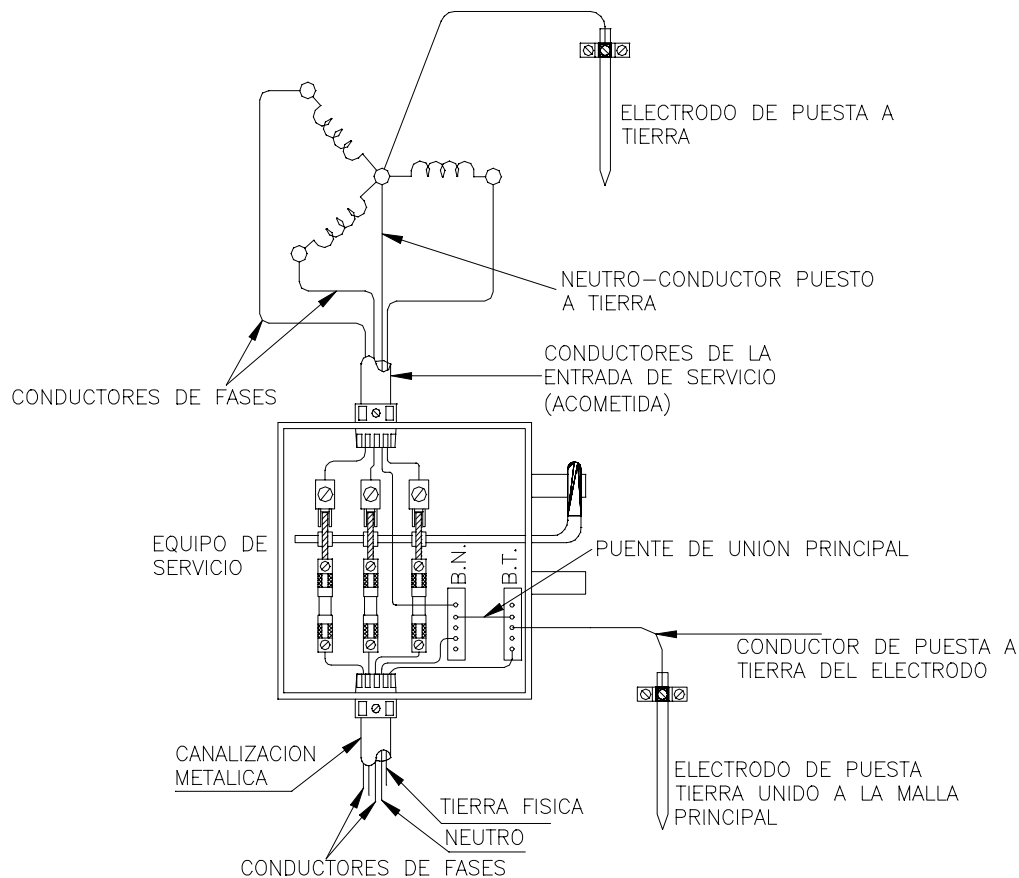
---

### **Puente de unión principal (BTA).**

Es el puente de unión que conecta el neutro a la tierra de protección de C.A. junto con el conductor del electrodo de tierra mediante la barra de tierra de acometida (BTA), este puente provee un camino continuo para el sistema de tierra de equipo de C.A. hacia el punto del neutro del transformador y el conductor del electrodo de tierra, como se ilustra en la figura )

Esta unión se realiza generalmente en el tablero general de protección como se muestra en la figura 7.5.1) del tablero de protección general, la barra aislada de neutro es unida a la barra de tierra de acometida (BTA). Todas estas conexiones deben hacerse con conectores de compresión de doble ojillo. El puente de unión principal debe ser dimensionado de acuerdo al artículo 250-79d de la NOM-001-SEDE-1999.

**NOTA: Ninguno de los conductores de puesta a tierra está diseñado para conducir la corriente de carga o desbalanceo. El conductor de puesta a tierra únicamente conducirá corriente originada bajo condiciones de falla del sistema**



**Figura Puente de unión principal.**



---

### **Puesta a tierra de equipo de C.A.**

Los requerimientos mínimos para protección del personal contra electrocución y del equipo contra daños, es proporcionada por el sistema de aterrizamiento para los equipos de C.A. Estos requerimientos mínimos pueden ser logrados utilizando las charolas metálicas de cables o por conductores que se extiendan de los equipos de C.A. Estos métodos de aterrizamiento no siempre son efectivos en eliminar la interferencia producida a equipos de telecomunicación. El sistema suplementario que se debe implementar es como se indica a continuación:

**a).-** Todos los conductores del sistema de C.A. (fases, neutro y aterrizamiento) se deben correr en canalización metálica exclusivamente.

**b).-** Un conductor de aterrizamiento de equipo C.A. se debe incluir en todas las charolas que lleven cables de C.A.

**NOTA :** La NOM-001-SEDE-CEÉ, Artículo 100, define el conductor de aterrizamiento de equipo de C.A. como “el conductor que se usa para conectar a tierra en el punto requerido, las cubiertas metálicas de los equipos, las canalizaciones metálicas y otras partes metálicas que pudieran transportar corrientes indeseables a través de ellas, se le llama comúnmente “Tierra Física”.

### **Sistema de Emergencia de C.A.**

Las radiobases destinadas para el sistema de emergencia de C.A. deben estar acondicionadas para proteger al personal contra descargas eléctricas en caso de fallas. El cuarto de motor de emergencia y los equipos que lo rodean deben estar correctamente aterrizados para conducir corrientes peligrosas de falla de C.A. a la malla de tierra. Para Radio Bases con radios de 30W Medium Power deberá considerarse Planta de Emergencia de 50 KW. Y para las Radio Bases con radios de 50 Watts High Power deberá considerarse Planta de Emergencia de 80 KW. Los alimentadores y protecciones eléctricas dependerán de la capacidad del equipo y del factor de temperatura de cada región. En la figura 7.7.1) se puede observar el diagrama unifilar de alimentadores principales para una máquina de emergencia de 80 KW., las únicas variantes se especifican en la tablas de alimentadores de la figura 7.7.2). Las dimensiones de la sala son estándar para cualquiera de las dos capacidades de la máquina de emergencia debido a que sus características en dimensiones son muy similares como se aprecia en la figura 7.7.3), las salas de mampostería se deben acondicionar acústicamente dependiendo la ubicación del sitio, este equipamiento acústico consta de baffles de desfogue y de inyección de aire, así como un sistema de escape con doble silenciador el silenciador primario tipo espiral dentro de la sala y el silenciador secundario por fuera en el tubo de escape como el que se muestra en la figura). Para mayores detalles referirse a los planos GEN-01 y GEN-02.

---

Los criterios para instalar una Planta de emergencia dependerán de la distancia del sitio, de lo crítico que sea el sitio en cuanto a servicio celular y del acceso para mantenimiento, podremos determinar que la distancia mínima al sitio será de 2 horas, y que se considere un nodo de microondas así como que se encuentre en una zona montañosa.

El mantenimiento de este tipo de equipos es fundamental debido al servicio que representan al generar energía eléctrica en ausencia de la red pública, se considera servicio continuo cuando opera 12 horas o mas al día requiriendo un mantenimiento cuando menos de cambio de aceite cada 500 horas de operación, se considera servicio semicontinuo cuando opera 3 horas al día requiriendo un mantenimiento cuando menos cambio de aceite cada 300 horas de operación, se considera servicio de emergencia cuando opera determinado numero de horas a la semana requiriendo un mantenimiento cuando menos cambio de aceite cada 100 horas de operación.

Las Planta de emergencia se equiparán con un tanque diesel con capacidad de 1500 litros para que pueda dar un servicio continuo en caso de cualquier contingencia.

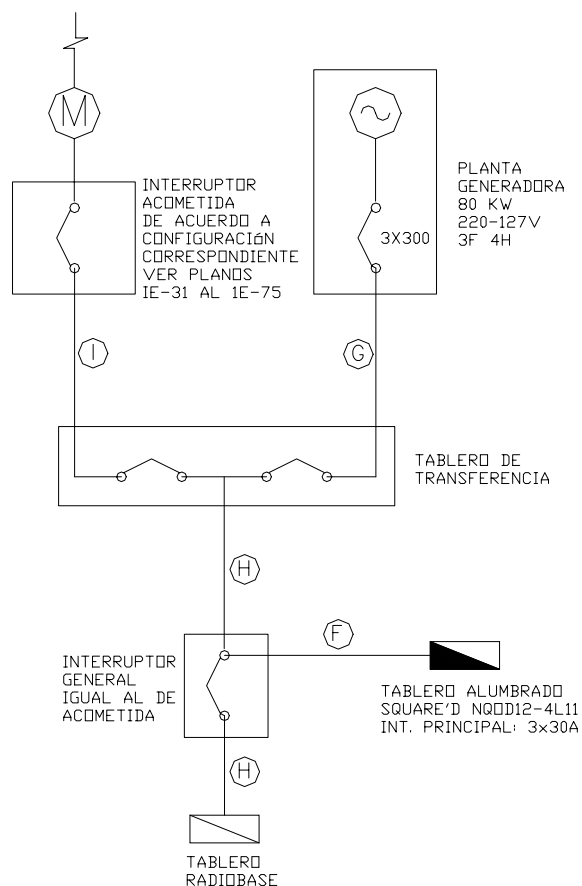


Figura Diagrama unifilar de alimentadores principales planta 80 KW.

CLAVES DE ALAMBRADO

- Ⓐ 2-12, 1-12t, T16
- Ⓑ 2-10, 1-12t, T16
- Ⓒ 2-10, 2-12, 1-12t, T16
- Ⓓ 3-12, 1-12t, T16
- Ⓔ 10-12, 1-12t, T21
- Ⓕ 4-6, 1-10t, T27
- Ⓖ CONSULTAR TABLA G
- Ⓗ CONSULTAR TABLA H
- Ⓘ DE ACUERDO A CONFIGURACION CORRESPONDIENTE. VER PLANOS IE-31 AL IE-75

TABLA G: CLAVE DE ALAMBRADO DE ACUERDO CON LA TEMPERATURA MAXIMA EN EL LUGAR DE INSTALACION

30°C	4-250KCM, 1-4t, CH150mm
35°C	4-300KCM, 1-4t, CH150mm
40°C	4-350KCM, 1-4t, CH150mm
45°C	4-350KCM, 1-4t, CH150mm
50°C	4-400KCM, 1-4t, CH150mm

TABLA H: CLAVE DE ALAMBRADO DE ACUERDO CON LA CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR DE ACOMETIDA Y LA TEMPERATURA MAXIMA EN EL LUGAR DE INSTALACION

INTERRUPTOR ACOMETIDA	TEMPERATURA MAXIMA DEL LUGAR					CONDUCTOR DE TIERRA
	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	
3x70A	4-4	4-2	4-2	4-2	4-1/0	2
3x100A	4-2	4-1/0	4-1/0	4-2/0	4-3/0	2
3x125A	4-2	4-1/0	4-1/0	4-1/0	4-2/0	2
3x150A	4-1/0	4-1/0	4-2/0	4-2/0	4-3/0	2
3x175A	4-2/0	4-2/0	4-3/0	4-4/0	4-4/0	2

- Ⓘ DE ACUERDO A CONFIGURACION CORRESPONDIENTE VER PLANOS IE-31 AL IE-75

*Figura cédula de alimentadores para Planta de emergencia de 80 KW.*

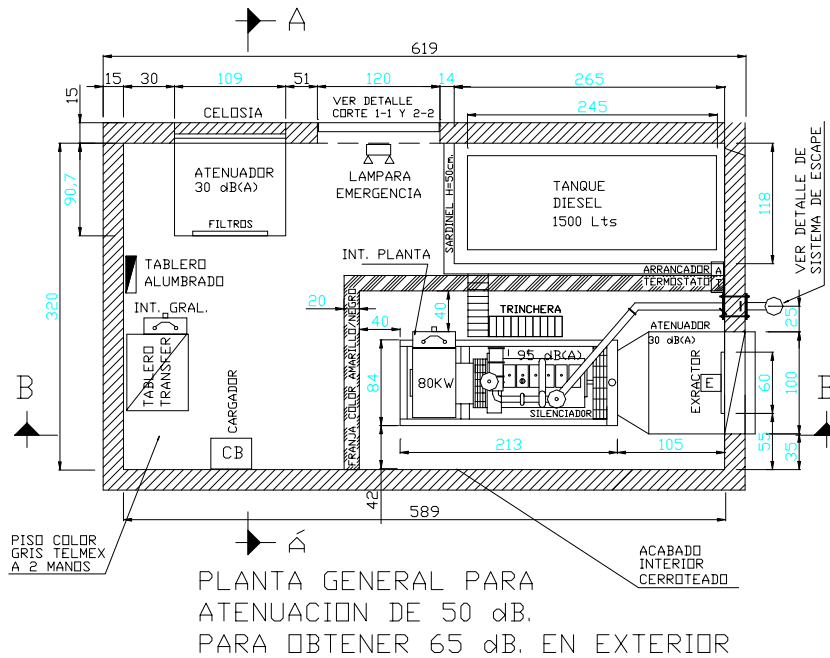
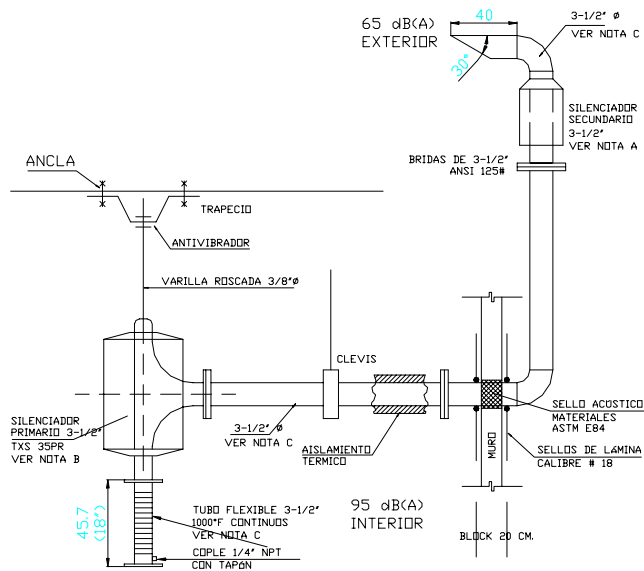


Figura Sala tipo con atenuación de Planta de emergencia de 80 KW.



- NOTA A: SILENCIADOR SECUNDARIO SE ELIMINA EN INSTALACIONES NO INSONORIZADAS
- NOTA B: SILENCIADOR PRIMARIO DE 3" (TXS 30PR) EN INSTALACIONES NO INSONORIZADAS
- NOTA C: TUBOS FLEXIBLE Y RÍGIDO DE 3' EN INSTALACIONES NO INSONORIZADAS

Figura Sistema de escape insonorizado de Planta de emergencia de 80 KW.

---

## Aterrizaje del sistema de emergencia de C.A.

Los motores de emergencia generalmente no son considerados como un sistema de C.A. derivado de manera separada. El neutro (cuando se provee) debe ser conectado directamente al neutro del interruptor automático de transferencia o al neutro del panel de distribución de emergencia. El neutro no debe llevar fusible o interruptor. Todas las partes metálicas del equipo que estén dentro de la sala de motores y/o asociadas con el sistema de emergencia de C.A. deben estar aterrizadas.

Se debe de dar referencia a tierra el patín de la maquina de emergencia desde la Barra de Tierra del Tablero de Transferencia, con un cable calibre 2 AWG, color verde, como se ilustra en la figura

Se deben de instalar cables calibre 6 AWG desde el patín de la maquina de emergencia a: marcha de arranque, estante de baterías, atenuador de ruido y radiador, como se ilustra en la figura .

El sistema de control y transferencia es una porción del sistema que generalmente se localiza en los tableros principales y se aterriza en ellos.

Todas las conexiones de deben de hacer con una terminal doble ojillo cañón largo, utilizando una funda termocontráctil retardante a la flama con tornillos de fierro tropicalizado a en los equipos y en las barras tornillos de bronce silicio, se debe de aplicar una capa de material antioxidante y se debe de remover la pintura en el área de contacto.

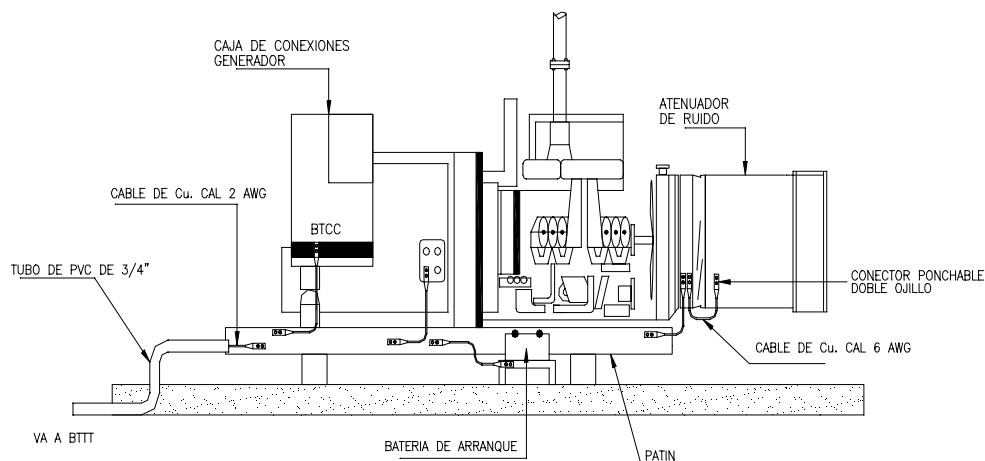


Figura Aterrizamiento de la Maquina de Emergencia.

---

---

## **Acometida Eléctrica.**

El conductor neutro de la acometida, se debe siempre conectar a tierra en la entrada del servicio directamente al sistema de tierras o a un varilla cooperweld la cual deberá unirse a la malla principal de tierra, y **no debe conectarse a tierra en ningún otro punto de la instalación**, esto impide que la corriente alterna circule a través de estructuras tuberías, etc. y cause ruido a los equipos electrónicos, como se ilustra en la figura

La acometida eléctrica desde el gabinete para equipos de medición al contenedor o salas deberán ir como mínimo con tubo conduit P/G galvanizada de 2" de diámetro y dentro 5 cables del No. 2 tipo THW a 75°C Marca Condumex, uno por fase, un neutro y el conductor de tierra física aislada. La tubería con soportes a base de ángulo de 1 1/2" x 3/16" a cada 2.5mts. de distancia.

Los alimentadores principales deberán seleccionarse de acuerdo a la tabla de "cédula de alimentadores para caída de tensión máxima de 3%" considerando la temperatura local y su longitud, estas tablas se encuentran en los planos **IE-43 6 Rectificadores y Aires de 3 T.R.** y en el plano **IE-64 9 Rectificadores Aires de 5 T.R.**

Los alimentadores principales deberán ser de una sola pieza sin empalmes y deberán ser marcados en sus extremos con pintura esmalte acrílico (mínimo 10 cm.) de acuerdo al código de colores y secuencia positiva de fases.

<b>Fase A</b>	<b>Color Negro.</b>
<b>Fase B</b>	<b>Color Rojo.</b>
<b>Fase C</b>	<b>Color Azul.</b>
<b>Neutro</b>	<b>Color Blanco.</b>
<b>Tierra Física</b>	<b>Color Verde.</b>

Para los conductores de calibre **No. 6 y menores** deberán instalarse con aislamiento de color de acuerdo al siguiente código de colores:

Fase	Aislamiento Color Rojo.
Neutro	Aislamiento Color Blanco.
Tierra Física Aislada	Aislamiento color Verde.
Tierra Física de C:A:	Desnudo.

---

Cuando la radiobase sea sala de mampostería se debe hacer la distribución de alumbrado y contactos con sus tuberías ocultas de acuerdo a la distribución de la figura . Deberá considerarse por seguridad del personal alumbrado perimetral en la azotea donde se ubiquen las salas o contenedores principalmente el acceso a la radiobase, equipos de aire acondicionado y todos los accesos a las torres o monopolos.

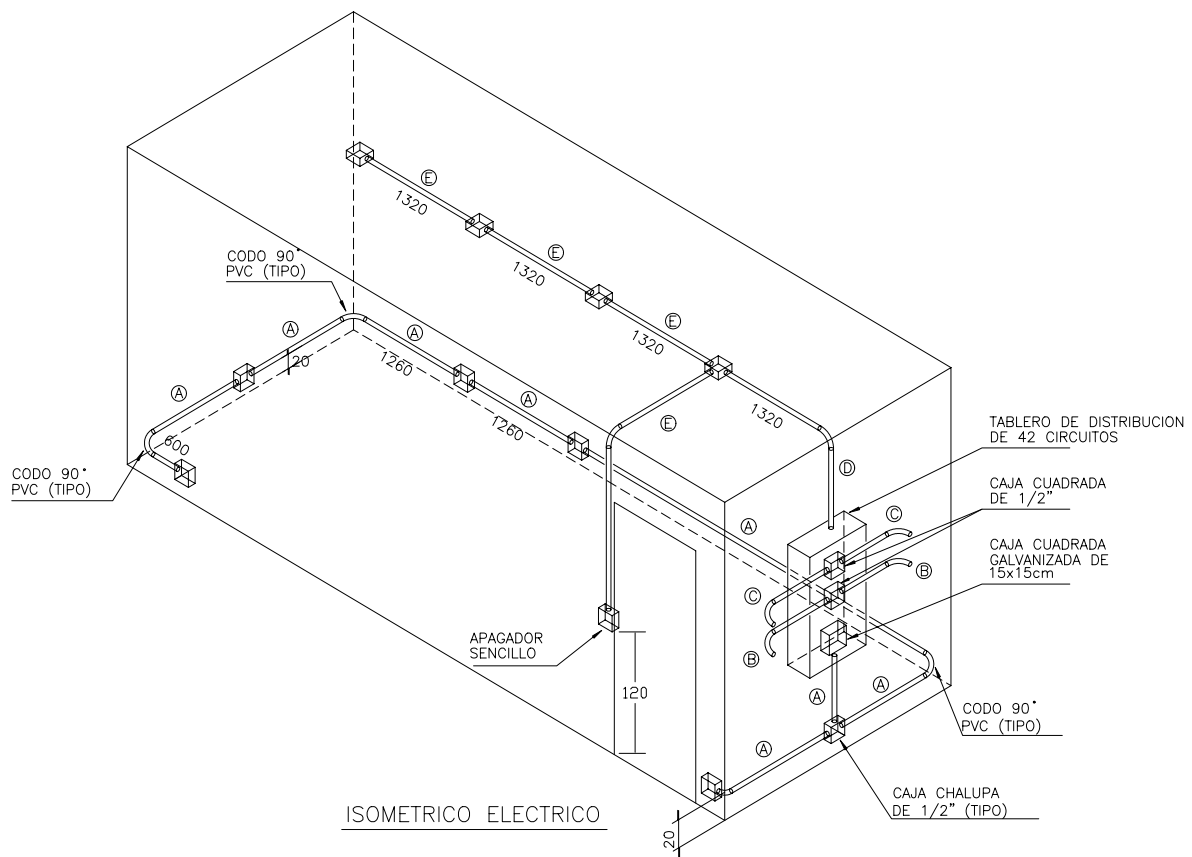


Figura distribución de alimentaciones eléctricas para alumbrado y contactos.

---

## **Diagramas unifilares y cuadros de cargas**

*Para nuestros sitios celulares existen diferentes configuraciones y capacidades de potencia en sus radios, considerando las configuraciones mas comunes se tiene la necesidad de alimentarlas desde 4 a 9 rectificadores. Incluyendo en el dimensionamiento la corriente de recarga de baterías y de los equipos misceláneos como GSM.*

*Estas diferentes configuraciones nos implican también una disipación térmica variable para cada proyecto por lo que se considero para el dimensionamiento de aire acondicionado la máxima disipación térmica en las condiciones regionales mas críticas del año, teniéndose aires acondicionados tipo vertical de **5 T.R.** con redundancia para configuraciones de **50 Watts**, y teniéndose aires acondicionados tipo vertical de **3 T.R.** con redundancia para configuraciones de **30 Watts**, considerando también que las configuraciones iniciales tienen la posibilidad de expansiones y reconfiguraciones.*

*Sucede totalmente lo mismo para el dimensionamiento de las protecciones y alimentadores de corriente alterna, realizando estudios con Ericsson de demanda real en condiciones de descarga súbita en los bancos de baterías justamente en hora pico y con el voltaje de baterías en el limite de operación de la radiobase se llego a la determinación de dimensionar al 65 % de demanda real tomando los siguientes criterios; se deberán considerar tableros de 24 Circuitos para las radiobases de 30 watts (ver figura 7.10.1 para distribución de circuitos, la figura 7.10.2 para diagrama unifilar y la figura 7.10.3 para cédula de alimentadores) y tableros de 42 cts. para las radiobases de 50 watts (ver figura 7.10.4 para distribución de circuitos, ver la figura 7.10.5 para diagrama unifilar y la figura 7.10.6 para cédula de alimentadores), el dimensionamiento de alimentadores y tuberías de corriente alterna de las configuraciones de **30 watts** se realizará de acuerdo al plano **IE-33 6 Rectificadores Aires de 3 T.R.** instalando el breake principal de acometida, de acuerdo a la configuración inicial. El dimensionamiento de alimentadores y tuberías de corriente alterna para configuraciones de **50 watts** se realizará de acuerdo al plano **IE-64 9 Rectificadores Aires de 5 T.R.** instalando el breake principal de acometida de acuerdo a la configuración inicial.*

*Asimismo los contenedores deberán tener las preparaciones eléctricas y de los huecos para recibir aires de 5 T.R. o de 3 T.R. para las salas multipanel, no se tiene ese problema ya que las preparaciones se realizarán en sitio.*

*para los alimentadores podrán dimensionarse teniendo en cuenta la temperatura ambiente y la caída de voltaje con la corriente nominal de 6 rectificadores en ciudades y con la corriente nominal de 9 rectificadores en zonas rurales o cerros, previendo algunas expansiones o reconfiguraciones ya que fácilmente podremos remplazar solamente su protección general. Para los proyectos eléctricos de cada sitio en especial se podrá tomar como referencia las cédulas de alimentadores para caída de tensión máxima del 3%*



---

Por cuestiones de tarifas ante las compañías suministradoras del servicio eléctrico las demandas a contratar para los proyectos TDMA deberán realizarse de la siguiente manera:

<b>PROYECTO</b>	<b>CARGA INSTALADA</b>	<b>DEMANDA CONTRATADA</b>
<i>Medium Power 30 W</i>	<i>38 KW</i>	<i>32 KW</i>
<i>High Power 50 W</i>	<i>45 KW</i>	<i>36 KW</i>

Los sitios **TDMA** y sus diferentes opciones se deberán considerar como primera instancia un servicio con subestación propia, transformador con una capacidad de 45 KVA. La contratación será en tarifa OM, solo se contratará tarifa 02 en baja tensión cuando el proyecto definitivamente no se pueda contratar con su subestación propia.

Para el proyecto **TDMA** los requerimientos de los equipos electromecánicos se describen en seguida:

**RB'S MEDIUM POWER 30 WATTS**

*A.A. Verticales de 3 T.R.  
Mod. ETO36SLP00T  
Mod. ETO36SRP00T  
2 Fases 3 Hilos*

*Tablero C.A. de 24 Ctos.*

*Planta de C.D. 600 Amp.*

*Planta de Emergencia de 50 KW.  
(Cuando esta se requiera)*

**RB'S HIGH POWER 50 WATTS**

*AA Verticales de 5 T.R.  
Mod. ET060SLY00T  
Mod. ET060SRY00T  
3 Fases 4 Hilos*

*Tablero de C.A. de 42 Ctos.*

*Planta de C.D. de 900 Amp.*

*Planta de Emergencia de 80 KW.  
(Cuando esta se requiera)*

*Todos los proyectos especiales, es decir que no estén considerados en las especificaciones de Telcel serán revisados por el Departamento de Proyecto Electromecánico, incluyendo los proyectos en los que regionalmente se marque diferentes criterios a lo establecido.*

---

---

### **Trámites ante la C.F.E.**

*Para solicitar un servicio ante C.F.E. se deberá contar con la siguiente información para proyecto:*

*Carta Poder.*

*Ubicación exacta entre calles código postal.*

*Censo de Cargas.*

*Datos del transformador con la propuesta de C.F.E. autorizada.*

*Oficio resolutivo que indica los pagos por hacer.*

*Protocolo de pruebas del transformador, póliza de garantía y certificado ANCE en su caso.*

*Pago de obra, aportación (Una vez hecho el pago de la obra, se tienen 60 días para pagar la aportación).*

*Para recibir los trabajos del suministro de energía eléctrica se deberá contar con la siguiente información:*

*Orden de servicio a nombre de TELCEL.*

*Carta poder*

*Recibos de pagos ante C.F.E.*

*Ingeniería del proyecto completa con memoria técnica y planos firmado por una UVIE (Unidad Verificadora de Instalaciones Eléctricas)*

*Certificado de la UVIE. (La UVIE debe ser contratada directamente por TELCEL independientemente a la contratista de obra y a la contratista de los trámites de gestoría.*

*Reporte fotográfico.*

---

**BIBLIOGRAFIA**

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. Norma y especificación de instalaciones eléctricas y sistema de tierra para centrales msc y radiobases información propiedad de radio móvil Dipsa, s.a. de c.v. Rev. enero de 2003.
3. Parres norma de construcción para el sistema de tierra en acero, n/05/106/01  
<http://www.parres.com.mx/>
4. 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)
5. 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://goo.gl/CX1iIB>
- <http://www.epa.gov/espanol/leyes/>
- <http://www.ab.com/es/epub/catalogs/3377539/5866177/3378076/7131355/Est-ndares-de-los-EE-UU.html>
- [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.ute.com.uy/servicios\\_cliente/firmas\\_instaladoras/reglamento.htm](http://www.ute.com.uy/servicios_cliente/firmas_instaladoras/reglamento.htm)