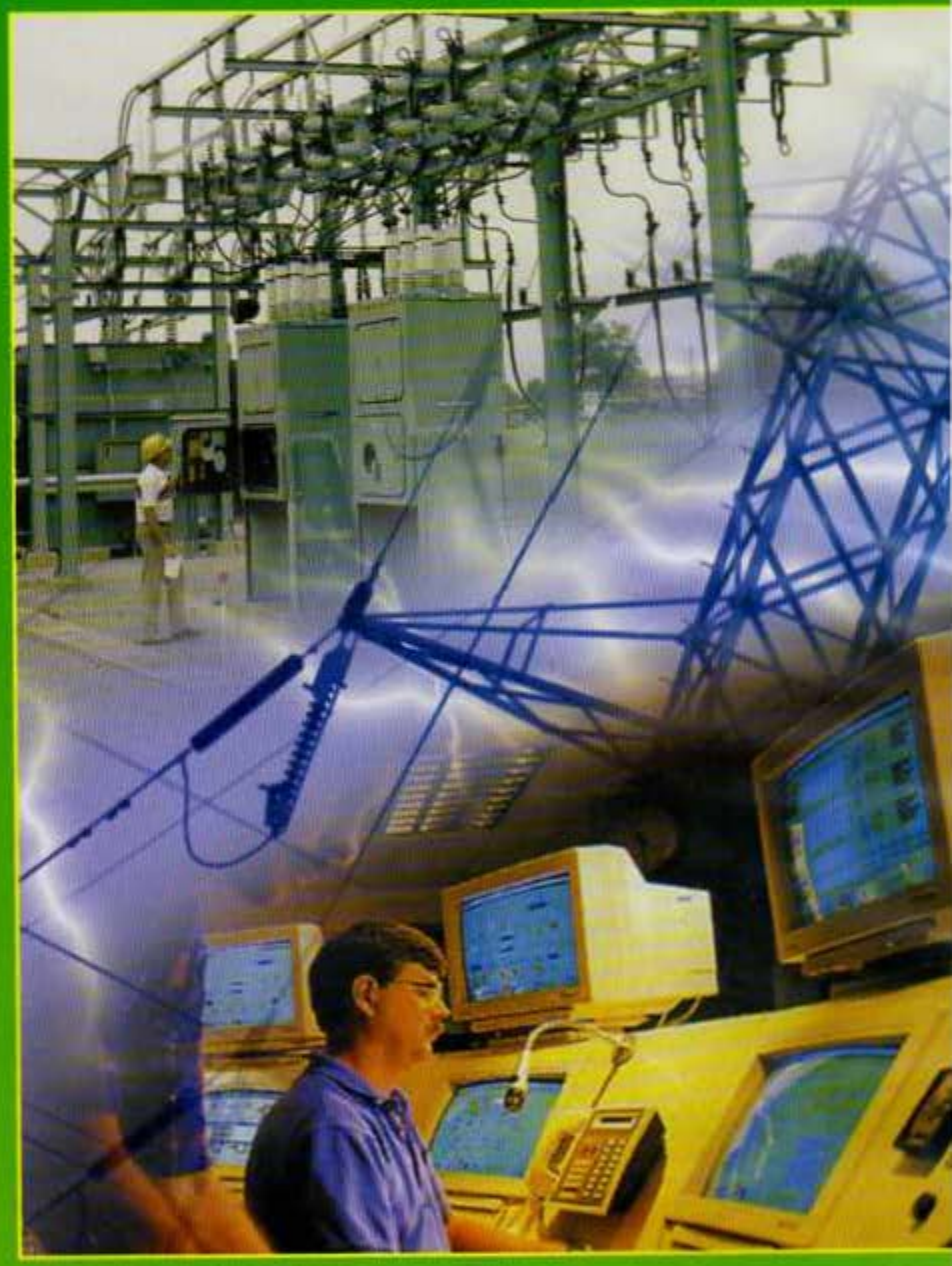
Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal

Grounding and Bonding

Javier Oropeza Angeles



Publicación patrocinada por

Schneider Electric

Construyendo un Nuevo Mundo Eléctrico

Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal

Esta obra contempla los principios básicos de la puesta a tierra para los sistemas eléctricos industriales y residenciales, subestaciones eléctricas, la puesta a tierra de sistemas electrónicos sensibles, electricidad estática, así como la interpretación de la Normatividad Vigente, los cambios del NEC® 1999, NEC® 2002 y NEC® 2005, del Artículo 250 Puesta a tierra.



Javier Armando Oropeza Angeles

Ingeniero Electricista
Egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional en el año 1984

Instructor titular de cursos del National Electrical Code® de NFPA
(National Fire Protection Association)

Instructor de cursos en el CIME
(Colegio de Ingenieros Mecánicos Electricistas)

Perito en Instalaciones Eléctricas del CIME

Unidad de Verificación
en Instalaciones Eléctricas

Miembro IEEE

Miembro NFPA

Ing. Javier Oropeza

Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal

Grounding and Bonding

Schneider® Electric
Construyendo un Nuevo Mundo Eléctrico

D.R. © Javier Armando Oropeza Angeles

© De esta edición:

D.R. © por Javier Armando Oropeza Angeles

Calle 19 No. 201 Col. Progreso Nacional,
C.P. 07670 México, D.F.

Registro Público del Derecho de Autor:
03-2005-102012355700-01

ISBN: 978-94647-0-1

Primera edición: Noviembre de 2005

Impreso y hecho en México

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida en cualquier forma, ni en un archivo electrónico u otro sistema, sin permiso por escrito del autor y editor.

Prólogo

La realización de esta obra se inició porque durante nuestra experiencia de varios años en instalaciones eléctricas encontramos que muchas personas involucradas con la electricidad, tales como los electricistas, supervisores e ingenieros, tienen dudas y conceptos erróneos de la puesta a tierra de un sistema eléctrico.

Un gran número de instalaciones eléctricas carecen de la puesta a tierra adecuada, debido muchas veces a conocimientos insuficientes o falta de experiencia de los diseñadores o instaladores eléctricos. Recordemos que la electricidad es universal y se comporta de la misma manera en las unidades de vivienda, comercios, industrias, subestaciones eléctricas o estaciones de generación.

Es por ello que todas las instalaciones eléctricas deben de incluir el conductor de puesta a tierra, que es la parte fundamental y la columna vertebral de un sistema eléctrico.

La función principal que tiene la puesta a tierra en un sistema eléctrico para la protección de las personas contra una descarga eléctrica, de los equipos y de las propiedades, se explica si la instalación no se realiza adecuadamente pues se pone en peligro la vida humana y podría iniciarse un incendio.

En cuanto a los equipos electrónicos sensibles, existen varios conceptos de la puesta a tierra, tanto del fabricante de los equipos, como del ingeniero de proyectos y muchas veces cuesta trabajo que ambos se pongan de acuerdo, por lo que es indispensable tener el conocimiento básico de la instalación de la puesta a tierra de seguridad exigido por la Normatividad Vigente y la puesta a tierra aislada, ya que sin ello se podrían tener conexiones erróneas que pudieran afectar a este tipo de equipos, tales como destrucción de tarjetas electrónicas, mal funcionamiento de los datos enviados por computadoras, etc.

Al realizar un proyecto eléctrico los ingenieros se deben de basar en las buenas prácticas de ingeniería y en la Normatividad Vigente que involucre a las instalaciones eléctricas.

En esta obra se analiza la puesta a tierra bajo la Normatividad Vigente de las instalaciones eléctricas, de las subestaciones eléctricas, de los equipos electrónicos sensibles y también se analiza la puesta a tierra con los conceptos de las normas IEC.

Es indispensable que todas las personas involucradas en instalaciones eléctricas y su mantenimiento reciban entrenamiento sobre la interpretación y el cumplimiento de la Normatividad Vigente. El resultado será que las instalaciones eléctricas serán más seguras.

Un sincero agradecimiento por su apoyo en la realización y publicación de esta obra a Schneider Electric México,S.A. de C.V., así como a los ingenieros Rafael Yáñez, Sergio Ramírez y Denise Semerena.

Javier Oropeza Angeles

NOTA: El autor y Schneider Electric México no se responsabilizan por el uso y/o aplicación de este libro, no se hacen responsables de cualquier lesión personal, daño a propiedades u otros de cualquier índole, sea particular, indirecta, consecuente o compensatoria, originada directa o indirectamente de la publicación.

Indice de contenido

Capítulo 1
Introducción

Introducción 2
Definiciones 3
Cuándo es una tierra y cuándo no lo es 4
Objetivo de la puesta a tierra de un sistema eléctrico 5

Capítulo 2
Tipo de fallas en un sistema eléctrico

Tipo de fallas en un sistema eléctrico 8

Capítulo 3
Conceptos básicos de la puesta a tierra

Conceptos básicos de la puesta a tierra 12
Condiciones de operación de un circuito eléctrico 13

Capítulo 4
Moldeando el cuerpo humano

Moldeando el cuerpo humano 22
Descarga eléctrica 22
Conceptos básicos 23

Capítulo 5
Sistemas eléctricos no puestos a tierra

Sistemas eléctricos no puestos a tierra 28

Capítulo 6
Sistemas eléctricos puestos a tierra

Sistemas eléctricos puestos a tierra 32
Obtención del sistema con neutro 32
Puesta a tierra con resistencia 33
Reactancia de puesta a tierra 35
Neutralizador de falla a tierra 36
Puesta a tierra de otros sistemas que no utilizan el sistema neutro . . 36
Esquina de un sistemas en delta. 36
Puesta a tierra de un sistema delta en la mitad de un devanado. . 38
Autotransformadores. 39
Transformadores estrella-estrella. 42

Capítulo 7
Dispositivos de protección contra fallas a tierra

Dispositivos de protección contra fallas a tierra. 46

Capítulo 8
Puesta a tierra del equipo

Puesta a tierra del equipo 50
Componentes de la puesta a tierra del equipo 51
Exposición a una descarga eléctrica 53
Conceptos fundamentales 53
Propiedades de los conductores de puesta a tierra 57
Daño del aislamiento de los conductores 57
Tubería (conduit) metálica como conductor de puesta a tierra 58

Capítulo 9
Naturaleza de un electrodo de puesta a tierra

Naturaleza de un electrodo de puesta a tierra 62
Cómo instalar un buen electrodo de puesta a tierra 63
Tratamiento del terreno 66

Capítulo 10
Puesta a tierra de equipo electrónico sensible

Puesta a tierra de equipo electrónico sensible 68
Puesta a tierra requerida por la Normatividad Vigente 69
Técnica de la puesta a tierra aislada relacionada con las corrientes y voltajes errantes 69
Receptáculo con terminal de puesta a tierra aislada 71
Bus de tierra aislada 71
Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra aislados 71
Subsistemas de puesta a tierra 73
Conceptos básicos de la puesta a tierra y puentes de unión 74
Efectos resonantes en los conductores de puesta a tierra y puentes de unión 75
Subsistema de electrodo de puesta a tierra 75
Subsistema de puesta a tierra de protección de falla para el personal 76
Introducción al sistema de puesta a tierra de referencia de señal 77
Puesta a tierra en un sólo punto 78
Subsistema de protección contra descargas atmosféricas 84
Puesta a tierra de equipos electrónicos sensibles 85
Configuración de la puesta a tierra de alta frecuencia 85

Capítulo 11
Puesta a tierra de UPS (Sistemas Ininterrumpibles de Energía)

Puesta a tierra de UPS (Sistemas Ininterrumpibles de Energía) 90

Capítulo 12
Sistema de protección contra descargas atmosféricas

Sistema de protección contra descargas atmosféricas 94

Capítulo 13
Sistema de puesta a tierra para subestaciones eléctricas

Sistema de puesta a tierra para subestaciones eléctricas. 96
Circuitos equivalentes accidentales 100
Procedimiento de diseño. 103
Cálculo de los potenciales máximos de paso y de contacto 115
Puesta a tierra de la malla de alambre que rodea el terreno de una subestación eléctrica 118

Capítulo 14
Métodos de medición de la resistencia a tierra de un electrodo de puesta a tierra

Métodos de medición de la resistencia a tierra de un electrodo de puesta a tierra 122
Métodos de medición de la resistencia a tierra. 125
Valor teórico de la resistencia a tierra 127

Capítulo 15
Métodos de medición de resistividad eléctrica de la tierra (suelo, terreno natural)

Métodos de medición de resistividad eléctrica de la tierra (suelo, terreno natural) 130
Método de 4 puntos 131
Método de Schlumberger-Palmer 132
Método de los 3 puntos o método aproximado 133

Capítulo 16
Interpretación de la Normatividad Vigente

A) Disposiciones generales 136
B) Puesta a tierra de circuitos y sistemas eléctricos 138
C) Ubicación de las conexiones de puesta a tierra de los sistemas 147
D) Puesta a tierra de envolventes y canalizaciones 168
E) Puesta a tierra del equipo. 170
F) Métodos de puesta a tierra 176
G) Puentes de Unión (Unión) 187
H) Sistema de electrodos de puesta a tierra 200
I) Conductores de puesta a tierra 207
J) Conexiones de los conductores de puesta a tierra. 220

Capítulo 17
Interruptor de protección de fallas a tierra para personas

Interruptor de protección de fallas a tierra para personas 226

Capítulo 18
Cálculo de conductores de puesta a tierra

Selección de conductores de puesta a tierra 230

Capítulo 19
Electricidad estática

Electricidad estática 236
Método práctico para la puesta a tierra y de los puentes de unión 239

Capítulo 20
Puesta a tierra de sistemas eléctricos de acuerdo a IEC

Puesta a tierra de sistemas eléctricos de acuerdo a IEC..... 242

Capítulo 21
Puesta a tierra de albercas

Puesta a tierra de albercas 250
680-22 Puentes de Unión 250
680-24 Puesta a tierra..... 251
680-25. Métodos de puesta a tierra..... 251

Capítulo 22
Conductor del electrodo de puesta a tierra de instalaciones de c.a.

Tabla 250- 94 Conductor del electrodo de puesta a tierra de instalaciones de c.a. 254

Capítulo 23
Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos

Tabla 250-95. Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos..... 256

Capítulo 24
Cambios al NEC® 1999

Cambios al NEC® 1999 258

Capítulo 25
Cambios al NEC® 2002

Cambios al NEC® 2002 264

Capítulo 26
Cambios al NEC® 2005

Cambios al NEC® 2005 284

Capítulo 27
Fórmulas para corriente alterna y corriente directa

Fórmulas para corriente alterna y corriente directa 306

Capítulo 28
Triángulo de potencias

Triángulo de potencias 308

Capítulo 29
Referencias

Referencias..... 310

Capítulo 1

Introducción e historia de la puesta a tierra

Contenido

Introducción 2
Definiciones 3
Cuándo es una tierra y cuándo no lo es 4
Objetivo de la puesta a tierra de un sistema eléctrico 5

1

Introducción

La puesta a tierra tiene grandes efectos sobre la seguridad de las personas, seguridad y operación de los equipos, en los sistemas de distribución de energía eléctrica, computadoras y sistemas de estado sólido, y también en los sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

Las instalaciones erróneas de puesta a tierra pueden ocasionar daños o mal funcionamiento de los equipos, especialmente de los equipos de estado sólido.

Además pueden ocasionar quemaduras, descargas eléctricas o electrocuciones en las personas o animales.

Cuando **Thomas Alva Edison** inició su compañía eléctrica de iluminación y el sistema eléctrico de distribución utilizó un conductor aislado (de tierra) para conducir la corriente eléctrica, utilizaba la tierra (terreno natural) como conductor para el retorno de la corriente eléctrica a su origen.

Esta corriente que fluía por la tierra (terreno natural) no tenía control, con lo cual resultaba la muerte de personas y animales. Entonces **Thomas Alva Edison** modificó el sistema eléctrico en 3 fases, similar al que se utiliza hoy en día en las industrias y en nuestras casas.

El mayor debate fue si se debían o no poner a tierra los sistemas eléctricos, hasta que en el año de 1913 el NEC (NATIONAL ELECTRICAL CODE) obligaba a que los sistemas eléctricos con una tensión mayor de 150 Volts, medidos de fase a tierra, fueran puestos a tierra.

Como en todo sistema eléctrico donde existen más de una conexión a tierra existirán problemas eléctricos, debido a que no existe control sobre las corrientes que fluyen por tierra (terreno natural), tuberías metálicas, equipo y a través de la tierra (terreno natural), ocasionando severos daños a las personas, animales, etc.

Hoy en día, tanto en Estados Unidos como en México, las compañías suministradoras utilizan la tierra (terreno natural) como conductor parcial de retorno de la corriente eléctrica a su origen, trayendo como consecuencia que fluyan corrientes eléctricas sin control por la tierra (terreno natural), tuberías metálicas subterráneas o materiales conductivos.

Esta corriente que fluye por terreno natural es peligrosa y puede dañar a los seres humanos, vacas, cerdos, etc.

La seguridad eléctrica es fundamental para la protección de descargas eléctricas a las personas y a los equipos.

Desde que se empezó a utilizar la electricidad se ha puesto en práctica la puesta a tierra de un conductor en un sistema eléctrico.

Este método de operación no se ha homologado entre los sistemas eléctricos de diferentes voltajes o entre las compañías suministradoras.

El problema es si el conductor neutro debe o no ser puesto a tierra y cómo debe ser puesto a tierra. Es por eso que los ingenieros que planeen o modifiquen un sistema eléctrico deberán tomar la decisión.

La puesta a tierra en algunos casos es generalmente recomendada, aunque hay ciertas excepciones. Existen varios métodos y criterios para la puesta a tierra, cada uno de ellos tienen su propio objetivo.

Los métodos son aplicados a los sistemas eléctricos industriales que distribuyen y utilizan la energía en alta, media y baja tensión.

Desde luego, se deberá de considerar la Normatividad Vigente.

Cuando un sistema eléctrico incluye un equipo de generación de energía eléctrica, las condiciones del suministrador pueden ser alteradas por:

1) Ubicación del sistema de generación.
2) Características del generador.
3) Los requisitos especiales del proceso de fabricación.

Definiciones

La palabra en inglés "grounding" se tradujo al español como "puesta a tierra" y la palabra en inglés "grounded", se tradujo al español como "puesto a tierra". Esto se menciona para distinguir la función que tiene cada uno de ellos en un sistema eléctrico, debido a que están involucradas con "la puesta a tierra del sistema", "puesta a tierra del equipo".

En el medio de la construcción, la "Puesta a Tierra" se conoce como "TIERRA FÍSICA", "TIERRA" pero es un termino erróneo. Por ello, tanto ingenieros, supervisores, electricistas, deberán comenzar a manejar el término correcto cuando se refieran a la "puesta a tierra".

Los términos que están involucrados con "la puesta a tierra" los define la normatividad vigente y son los siguientes:

A tierra: Conexión conductora, intencionada o accidental, entre un circuito o equipo eléctrico y el terreno natural o algún cuerpo conductor que sirva como tal.

Conductor del electrodo de puesta a tierra: Conductor utilizado para conectar el electrodo de puesta a tierra al conductor de puesta a tierra del equipo, al conductor puesto a tierra o a ambos, del circuito en el equipo de acometida o en la fuente de un sistema derivado separado.

Conductor desnudo: Conductor que no tiene ningún tipo de cubierta o aislamiento eléctrico.

Conductor de puesta a tierra: Conductor utilizado para conectar un equipo o el circuito puesto a tierra de un sistema de alambrado al electrodo o electrodos de puesta a tierra.

Conductor de puesta a tierra de los equipos: Conductor utilizado para conectar las partes metálicas no-conductoras de corriente eléctrica de los equipos, canalizaciones y otras envolventes al conductor del sistema puesto a tierra, al conductor del electrodo de puesta a tierra o ambos, en los equipos de acometida o en el punto de origen de un sistema derivado separado.

Conductor puesto a tierra: Conductor de un sistema o circuito intencionadamente puesto a tierra.

Puente de unión, circuito: Conexión entre partes de un conductor en un circuito para mantener la capacidad de conducción de corriente requerida por el circuito.

Puente de unión, equipo: Conexión entre dos o más partes del conductor de puesta a tierra del equipo.

Puente de unión, principal: Conexión en la acometida entre el conductor del circuito puesto a tierra y el conductor de puesta a tierra del equipo.

Puente de unión: Conductor confiable, para asegurar la conductividad eléctrica requerida entre partes metálicas que requieren ser conectadas eléctricamente.

Puesto a tierra: Conectado al terreno natural o a algún cuerpo conductor que pueda actuar como tal.

Puesto a tierra eficazmente: Conectado al terreno natural intencionalmente a través de una conexión o conexiones a tierra, que tengan una impedancia suficientemente baja y capacidad de conducción de corriente, que prevengan la formación de tensiones eléctricas peligrosas a las personas o a los equipos conectados.

Cuándo es una tierra y cuándo no lo es

En sistemas de distribución y en los circuitos alimentadores y derivados las conexiones conductivas eléctricamente se interconectan en todos los equipos, para reducir o minimizar las diferencias de potencial entre ellos.

La llave está en la definición de **"a Tierra"**, la **Normatividad Vigente**, se enfoca en la seguridad eléctrica, el objetivo primario es que debe estar **"a Tierra"**.

La puesta a tierra es importante en la protección contra las descargas eléctricas y proveer un camino de retorno para la corriente de falla.

Típicamente, se deberá hacer una tierra en el suelo para enterrar una varilla (electrodo de puesta a tierra) dentro de la tierra.

Para un sistema de distribución en un edificio se debe clavar una varilla (electrodo de puesta a tierra) dentro de la tierra, muy cerca de la acometida.

La tierra y la puesta a tierra proveen:

- Una conexión de baja impedancia entre el equipo y los objetos metálicos adyacentes para minimizar las descargas eléctricas peligrosas al personal.
- Un camino de retorno de baja impedancia de la corriente de falla para el funcionamiento adecuado de los fusibles o interruptores automáticos.
- Un camino de baja impedancia a tierra para las corrientes producidas por las descargas atmosféricas.
- Un camino de baja impedancia para la descarga de cargas estáticas antes de que se produzca un arco eléctrico.

Los sistemas de protección contra las descargas atmosféricas utilizan la tierra en el suelo para descargar.

Cuando las descargas atmosféricas se producen cerca de una fábrica o cualquier edificación, debido a los kiloAmperes de la corriente, existirán diferencias de potencial grandes.

Las conexiones de baja impedancia que interconectan todas las partes del edificio o de los equipos reducen los problemas de estas diferencias de potencial.

Este sistema con conexiones de puesta a tierra de baja impedancia conducen las corrientes de una descarga atmosférica en forma segura hacia la tierra.

Se considera que la tierra es una capa con baja impedancia (cero potencial). La corriente fluye en cualquier lapso de tiempo y ésta sigue la Ley de Kirchoff, por lo tanto la tierra es finita y en la que la corriente fluye hacia la tierra en el mismo punto.

La corriente al fluir desarrolla una diferencia de potencial, la cual puede causar problemas para los diseñadores y usuarios de los equipos electrónicos.

Para altas frecuencias, la diferencia de potencial es mayor y puede afectar al ingeniero en las decisiones de la puesta a tierra.

La **Normatividad Vigente**, contiene los requerimientos mínimos para los sistemas eléctricos y de la puesta a tierra del equipo que se aplican en las unidades de vivienda, áreas industriales, comerciales y lugares especiales (peligrosos).

Estas normas son los requerimientos **mínimos** para la protección de la vida y de las propiedades, por lo que deberán de tomarse en cuenta en el diseño de un sistema eléctrico.

Objetivo de la puesta a tierra de un sistema eléctrico

El objetivo de la puesta a tierra de un sistema eléctrico o la conexión intencional del conductor de una fase o el neutro a tierra es:

A) Estabilizar el voltaje a tierra.

B) Proveer un camino para que circule la corriente de falla a tierra, lo cual permitirá que los dispositivos de protección contra sobrecorriente operen para liberar la falla.

El control del voltaje reduce el peligro de las descargas eléctricas en las personas que están en contacto con conductores energizados.

Capítulo 2

Tipo de fallas en un sistema eléctrico

Contenido

Tipo de fallas en un sistema eléctrico. 8

2

Tipo de fallas en un sistema eléctrico

El funcionamiento normal de un sistema eléctrico desaparece después de ocurrir una falla eléctrica.

Las fallas eléctricas llevan a un sistema eléctrico a condiciones anormales de operación, con voltajes y corrientes eléctricas elevadas en ciertos puntos del sistema, las cuales se pueden evitar utilizando diversos equipos de protección.

Las fallas eléctricas que pueden ocurrir en un sistema eléctrico son:

a) Falla trifásica

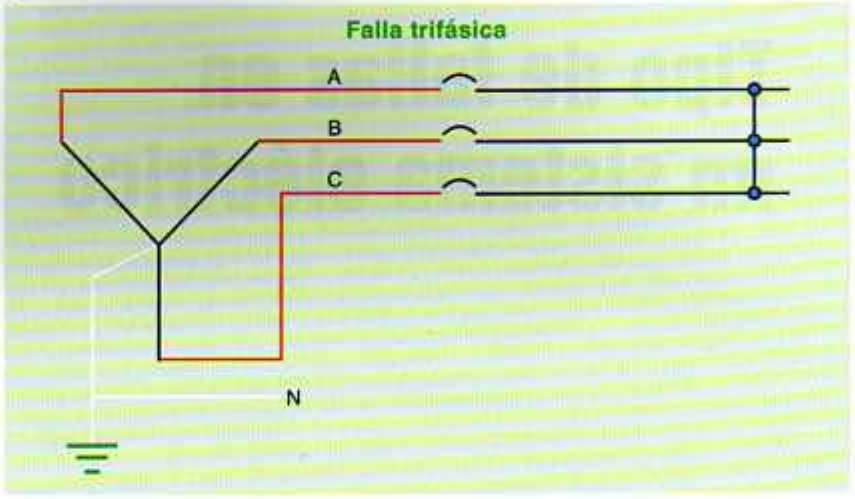


Fig. 1 Falla trifásica en un sistema eléctrico

b) Falla entre dos fases

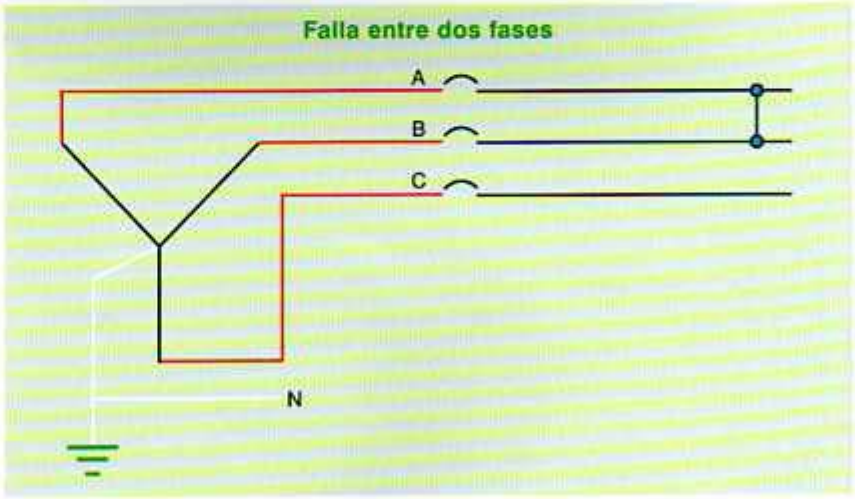


Fig. 2 Falla entre dos fases en un sistema eléctrico

c) Falla entre dos fases a tierra

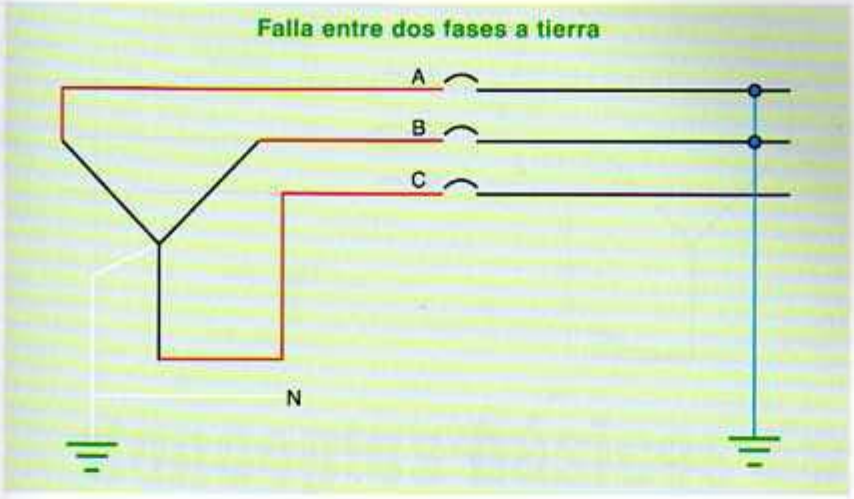


Fig. 3 Falla entre dos fases a tierra en un sistema eléctrico

d) Falla de 3 fases a tierra

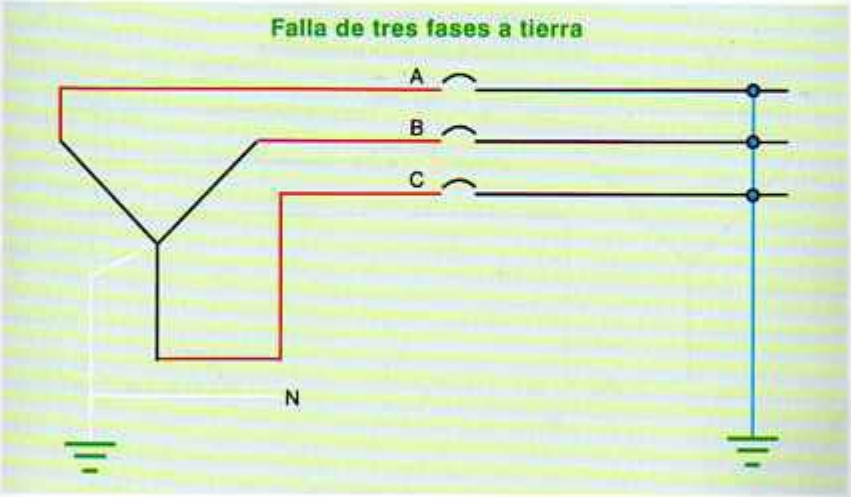


Fig. 4 Falla entre tres fases a tierra en un sistema eléctrico

e) Falla de fase a tierra

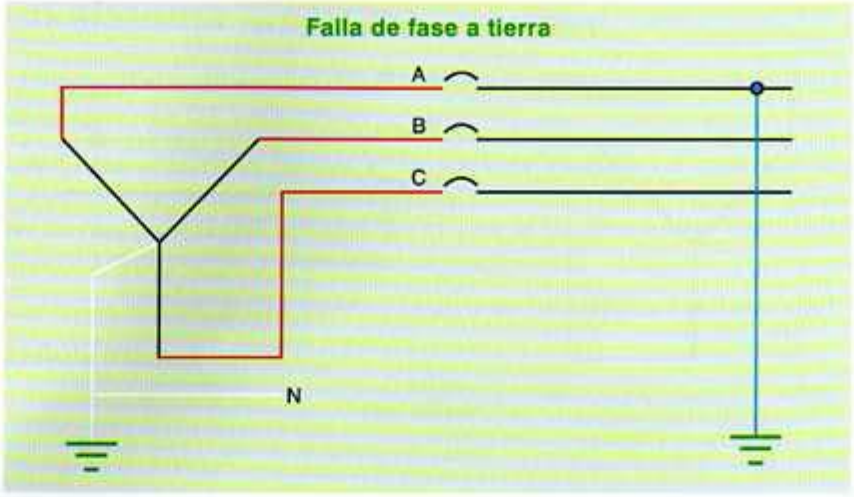


Fig. 5 Falla de fase a tierra en un sistema eléctrico

f) Falla de fase a tierra a través de una impedancia

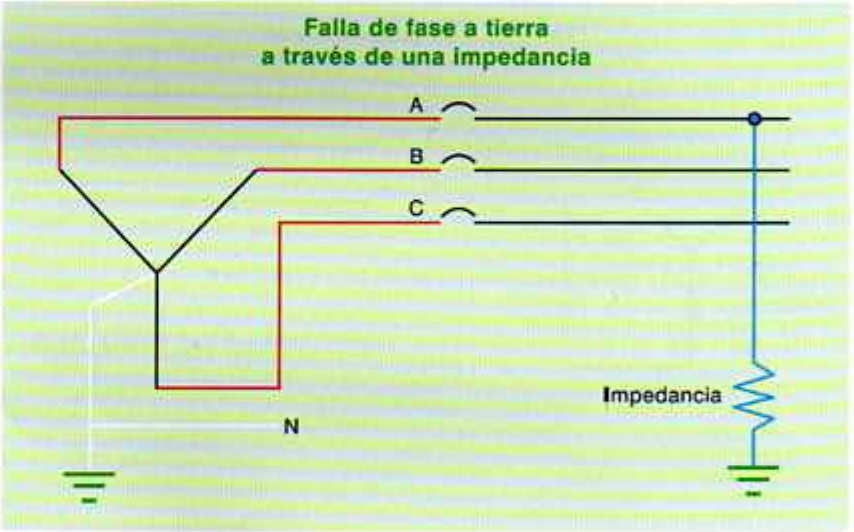


Fig. 6 Falla de fase a tierra a través de una impedancia en un sistema eléctrico.

Capítulo 3

Conceptos básicos de la puesta a tierra

Contenido

Conceptos básicos de la puesta a tierra 12
Condiciones de operación de un circuito eléctrico 13

La Tierra como un conductor



Se asume que la tierra tiene un potencial cero

Fig. 7 La tierra como un conductor

Conceptos básicos de la puesta a tierra

Se asume que el planeta Tierra tiene un potencial cero, que puede ser un excelente o pésimo conductor eléctrico, esto dependerá del grado de humedad, del tipo de terreno que puede ser orgánico, arenoso, arcilloso, rocoso, roca volcánica, etc.

Al asumir que el planeta Tierra tiene un potencial cero, todas las partes metálicas que normalmente no transportan energía eléctrica de los equipos eléctricos, deben igualarse al potencial del planeta Tierra, para que no exista una diferencia de potencial que pudiera representar un peligro a los seres humanos.

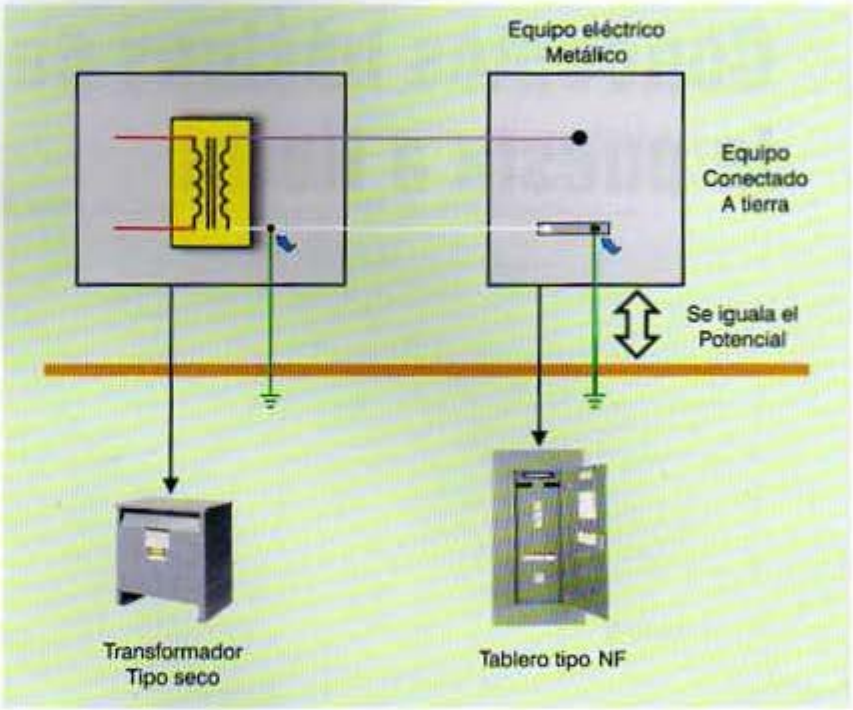


Fig. 8 Partes metálicas de equipos eléctricos al mismo potencial que la tierra

Los conceptos básicos para el entendimiento de la puesta a tierra, se basan en el funcionamiento normal de un circuito eléctrico y aplicando la **LEY DE OHM.**

La ley de Ohm es la siguiente:

La corriente eléctrica que circula en un circuito eléctrico es directamente proporcional a la tensión, e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica.

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{ec. 1a}$$

I = Amperes **V** = Volts **R** = Resistencia

Condiciones de operación de un circuito eléctrico

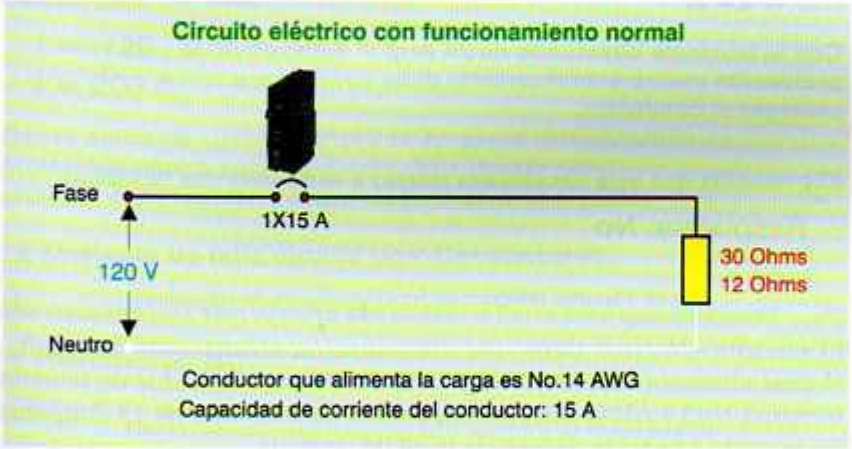
A) Se tiene el siguiente circuito eléctrico en funcionamiento normal

El circuito eléctrico tiene una alimentación eléctrica de 120 Volts, el cual alimenta una carga de 30 Ohms con un conductor de tamaño nominal No. 14 AWG con una capacidad de corriente de 15 Amperes, de acuerdo a la tabla 310-16 de la NOM vigente.

Calculando la corriente aplicando la Ley de Ohm, se obtiene una corriente de 4 Amperes, con lo que el circuito eléctrico funcionará normalmente.

Si el mismo circuito eléctrico alimenta a una carga de 12 Ohms, a 120 Volts, calculando la corriente por la Ley de Ohm, se obtiene una corriente de 10 Amperes, con lo que el circuito eléctrico funcionará correctamente.

Para que este circuito eléctrico funcione correctamente no es necesario que sea puesto a tierra.



Cálculo de la corriente:

$$I = 120 / 30$$
$$I = 4\ A$$

$$I = 120 / 12$$
$$I = 10\ A$$

¿Se necesita que este circuito sea puesto a tierra para que funcione?

Respuesta: **No**

Fig. 9 Circuito eléctrico en funcionamiento normal

Operación de un circuito:

1 Normal

2 Sobrecarga

Funcionamiento de un equipo excediendo su capacidad nominal, de plena carga, o de un conductor que excede su capacidad de conducción de corriente nominal cuando tal funcionamiento, al persistir por suficiente tiempo puede causar daños o sobrecalentamiento peligroso. Una falla, tal como un cortocircuito o una falla a tierra, no es una sobrecarga.

3 Cortocircuito

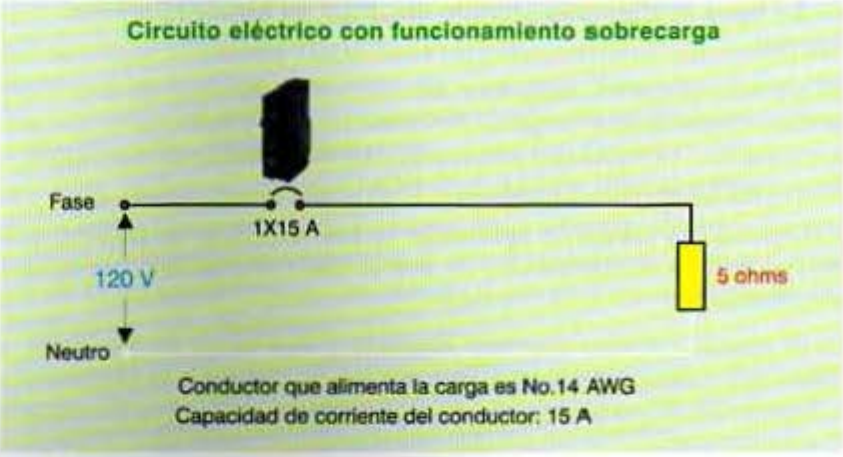
- Entre dos conductores de fase
- Entre tres conductores de fase
- Entre conductor puesto a tierra y fase

4 Falla a tierra

Entre conductor de fase y tierra

5 Desconectado

B) Se tiene el siguiente circuito eléctrico con la condición de sobrecarga.



Cálculo de la corriente:

$$I = 120 / 5$$
$$I = 24\ A$$

Con la corriente circulando de 24 amp el dispositivo de protección contra sobrecorriente debe operar para proteger el conductor.

¿Se necesita que este circuito sea puesto a tierra para que funcione?

Respuesta: **No**

Fig. 10 Circuito eléctrico en funcionamiento de sobrecarga

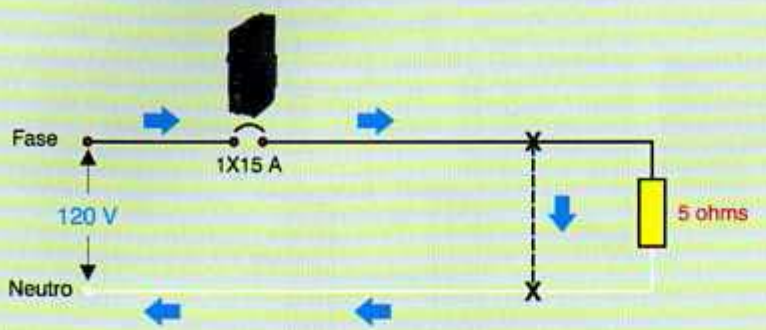
El circuito eléctrico tiene una alimentación eléctrica de 120 Volts, el cual alimenta una carga de 5 Ohms, con un conductor de tamaño nominal No.14 AWG con una capacidad de corriente de 15 Amperes de acuerdo a la tabla 310-16 de la NOM vigente.

Calculando la corriente aplicando la Ley de Ohm, se obtiene una corriente de 24 Amperes, con lo que el circuito eléctrico funcionará sobrecargado; el dispositivo de protección contra sobrecorriente deberá de operar y abrir el circuito, protegiendo así al conductor.

Para que este circuito eléctrico funcione correctamente no es necesario que sea puesto a tierra.

C) Se tiene el siguiente circuito eléctrico con la condición de cortocircuito entre fase y neutro.

Circuito eléctrico con funcionamiento en cortocircuito entre fase y neutro



Conductor que alimenta la carga es No. 14 AWG
Con una longitud de 30 mts.
Con una resistencia de 0,6 Ohms.
Capacidad de corriente del conductor: 15 A

Cálculo de la corriente:

I = 120 / 0,6
I = 200 A

Con la corriente circulando de 200 Amperes el dispositivo de protección contra sobrecorriente debe operar para proteger el conductor y liberar la falla de fase a neutro.

La corriente de falla circula por: Conductores

¿Se necesita que este circuito sea puesto a tierra para que funcione?

Respuesta: **No**

Fig. 11 Circuito eléctrico con falla eléctrica de fase a neutro

El circuito eléctrico tiene una alimentación eléctrica de 120 Volts, el cual alimenta una carga de 5 Ohms con un conductor de tamaño nominal No. 14 AWG con una capacidad de corriente de 15 Amperes de acuerdo a la tabla 310-16 de la NOM vigente.

Si ocurre una falla de cortocircuito entre fase y neutro, se tendrá una circulación de corriente de cortocircuito por el conductor neutro con una impedancia de 0,6 Ohms, en una longitud de 30 mts.

Calculando la corriente al aplicar la Ley de Ohm, se obtiene una corriente de 200 Amperes. Con este valor de corriente el dispositivo de protección contra sobrecorriente deberá de operar y abrir el circuito, protegiendolo.

Este circuito eléctrico no debe ser puesto a tierra para que funcione y libere la falla de cortocircuito de fase a neutro, debido a que la corriente de cortocircuito circula exclusivamente por conductores.

D) Falla de fase a tierra

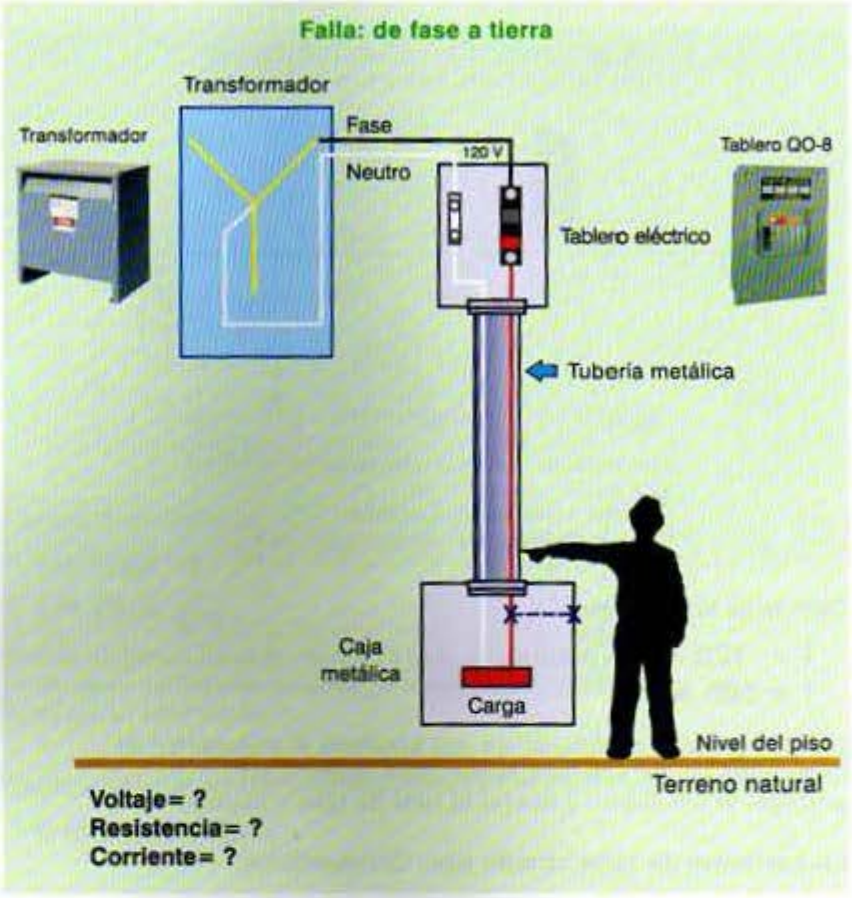


Fig. 12 Contacto eléctrico del conductor de fase con la canalización metálica

En la figura 12 se tiene una fuente de alimentación eléctrica por medio de un transformador, sólo se indica el secundario en conexión en estrella no puesta a tierra, por lo que se obtiene un neutro flotante.

Se alimenta un gabinete metálico con un interruptor automático con una fase y un neutro. De dicho gabinete se alimenta una carga eléctrica por medio de 2 conductores, fase y neutro, instalados en una canalización metálica, la cual hace un contacto efectivo con el gabinete del interruptor automático y la caja de metálica de la carga.

La tubería (conduit) metálica se utiliza como conductor de puesta a tierra.

Si ocurre un contacto eléctrico entre el conductor de fase y la canalización metálica, está quedará energizada. Si una persona hace contacto con la tubería metálica y con el terreno natural, en el momento en que la tubería (conduit) metálica está energizada, la corriente eléctrica no circulará a través de la persona, debido a que el transformador de alimentación no tiene ninguna conexión con el terreno natural. Por lo tanto la persona no cerrará el circuito eléctrico.

La corriente eléctrica de falla debe regresar a su lugar de origen, en este caso no existe una trayectoria para llegar a su origen.

El circuito eléctrico anterior es la base de un transformador de aislamiento.

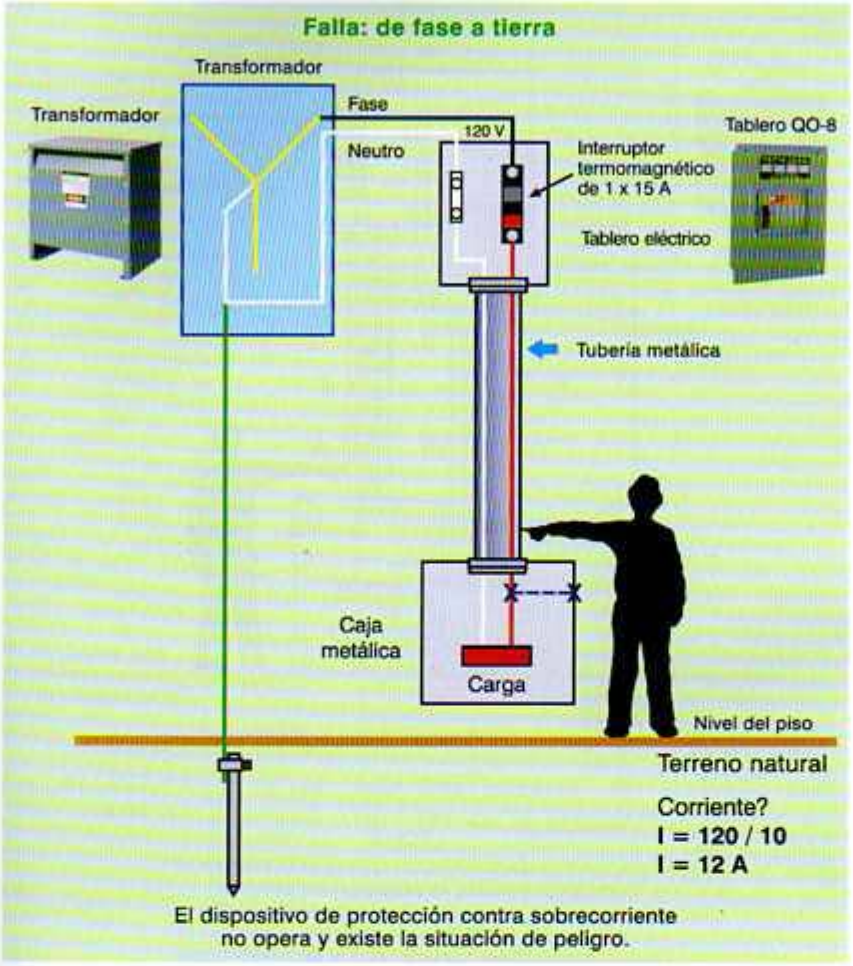


Fig. 13 Una persona en contacto eléctrico con la canalización metálica

En la figura 13 se tiene una fuente de alimentación eléctrica por medio de un transformador. Sólo se indica el secundario en conexión en estrella con el punto central puesto a tierra, por lo que se obtiene un neutro sólidamente puesto a tierra.

Se alimenta a un gabinete metálico con un interruptor automático con una fase y un neutro. De dicho gabinete se alimenta una carga eléctrica por medio de 2 conductores fase y neutro, instalados en una canalización metálica la cual hace un contacto efectivo con el gabinete del interruptor automático y la caja de metálica de la carga.

La tubería (conduit) metálica se utiliza como conductor de puesta a tierra.

Si ocurre un contacto eléctrico entre el conductor de fase y la canalización metálica, ésta quedará energizada. Si una persona hace contacto con la tubería metálica y con el terreno natural en el momento en que la tubería (conduit) metálica se encuentra energizada, la corriente eléctrica circulará a través de la persona, debido a que el transformador de alimentación se encuentra puesto a tierra, por lo que la persona cerrará el circuito eléctrico a través del terreno natural.

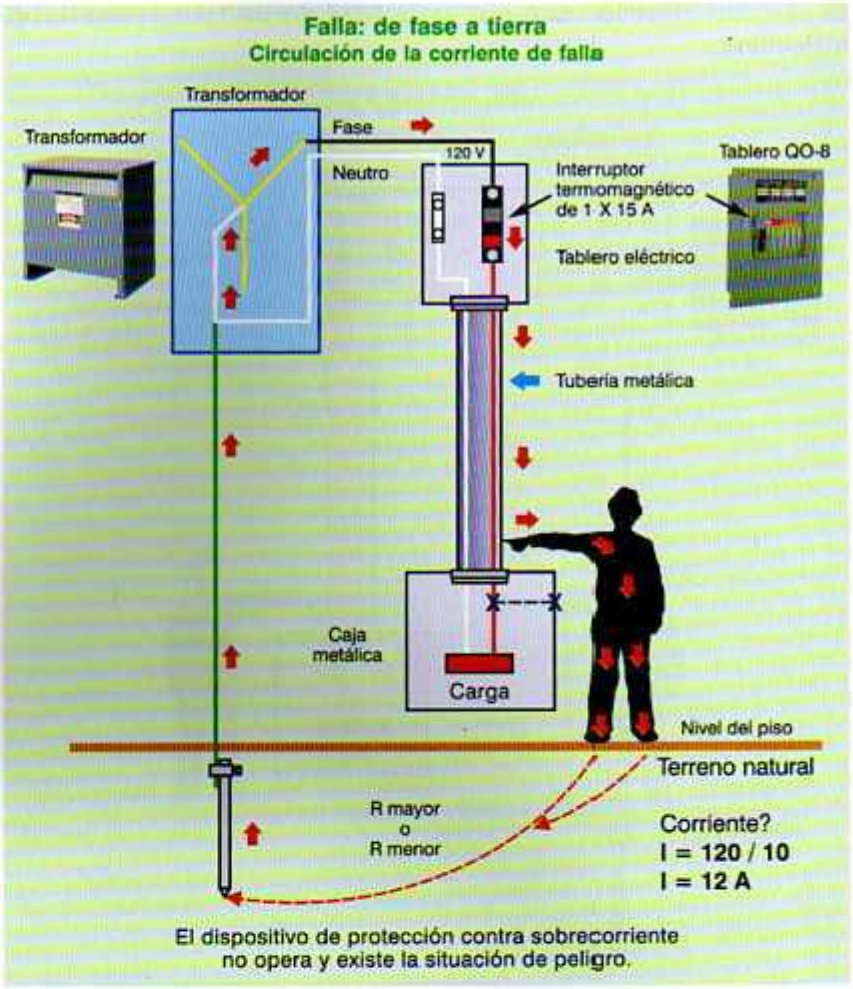


Fig. 14 Trayectorias de la corriente de falla a tierra

En la figura 14 se observa que la persona al tener contacto con la tubería (conduit) metálica con la mano, forma un nodo y por la persona circulará la corriente eléctrica de falla de fase a tierra, debido al contacto de sus pies con el terreno natural.

Recordando que la corriente eléctrica de falla de fase a tierra debe de regresar a su lugar de origen, la trayectoria que tomará la corriente de fase a tierra será a través del cuerpo humano, terreno natural, electrodo de puesta a tierra, conductor del electrodo de puesta a tierra, conductor de fase, dispositivo de protección contra sobrecorriente, conductor de fase y tubería (conduit) metálica.

El terreno natural puede ser un excelente o pésimo conductor, dependiendo de la resistividad eléctrica; es por esta razón que el terreno natural (tierra) no se deberá de utilizar como único conductor de puesta a tierra.

Calculando la corriente al aplicar la Ley de Ohm, se considera que la trayectoria de puesta a tierra tiene una impedancia de 10 Ohms. Se obtiene entonces una corriente de 12 Amperes. Con este valor de corriente el dispositivo de protección contra sobrecorriente no operará y no liberará la falla, por lo que la persona se encuentra en peligro de muerte, debido a que circulará una corriente eléctrica por su cuerpo por tiempo indefinido.

Para que no exista peligro de muerte en la persona se deberá de realizar lo siguiente:

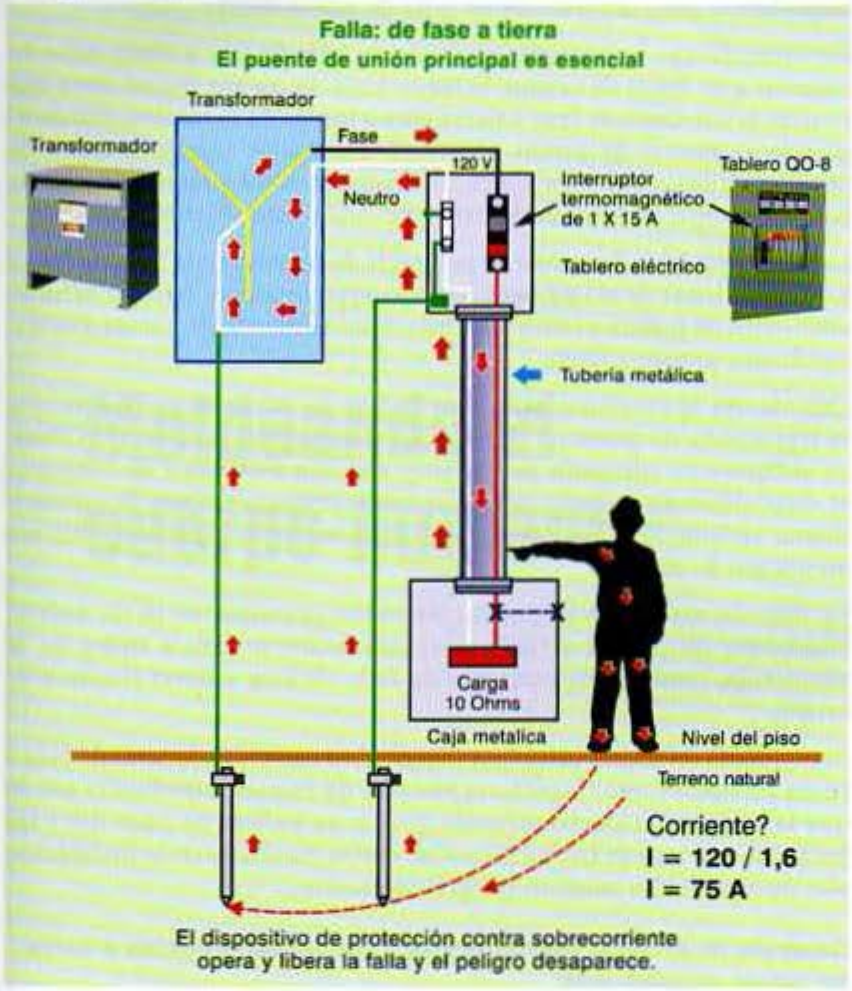


Fig. 15 Puesta a tierra del neutro e instalación del puente de unión principal

En el mismo circuito eléctrico ahora se instalará un electrodo de puesta a tierra en el primer medio de desconexión de la instalación eléctrica, en donde se instalará un conductor del electrodo de puesta a tierra que se unirá con el conductor puesto a tierra de la acometida y se unirá con el gabinete metálico. A esta unión se le llama **PUENTE DE UNIÓN PRINCIPAL.**

La tubería (conduit) metálica se utilizará como conductor de puesta a tierra.

Si ocurre un contacto eléctrico entre el conductor de fase y la canalización metálica provocará una falla de fase a tierra. Si una persona hace contacto con la tubería metálica y con el terreno natural, en el momento en que ocurre la falla de fase a tierra, la mayor parte de la corriente eléctrica de falla a tierra circulará a través de la tubería (conduit) eléctrica y una menor parte de la corriente de falla a tierra por la persona debido a que el transformador de alimentación se encuentra puesto a tierra, por lo que la persona cerrará el circuito eléctrico a través del terreno natural.

La mayor parte de la corriente de falla de fase a tierra circulará por la tubería (conduit) metálica, que presenta una trayectoria de menor impedancia para la corriente de falla de fase a tierra.

Recordando que la corriente eléctrica de falla de fase a tierra debe de regresar a su lugar de origen, la trayectoria de menor impedancia que tomará la corriente de fase a tierra será a través de la tubería (conduit) metálica, puente de unión principal, conductor puesto a tierra de la acometida, conductor de fase, dispositivo de protección contra sobrecorriente, conductor de fase y tubería (conduit) metálica.

La otra trayectoria de mayor impedancia de retorno de la falla de fase a tierra a su lugar de origen será por el cuerpo humano, terreno natural, electrodos de puesta a tierra, conductor del electrodo de puesta a tierra, conductor puesto a tierra.

Calculando la corriente al aplicar la Ley de Ohm, se considera que la trayectoria de puesta a tierra tiene una impedancia de 1,6 Ohms; se obtiene una corriente de 75 Amperes, con este valor de corriente el dispositivo de protección contra sobrecorriente deberá de operar y liberar la falla de fase a tierra, por lo que la persona no se encontrará en peligro de muerte.

La función que tiene el puente de unión principal es la de unir el conductor de puesta a tierra y el conductor puesto a tierra de la acometida, para que la corriente de falla de fase a tierra llegue a su origen.

Si el puente de unión principal se omite, la corriente de falla de fase a tierra no tendrá una trayectoria efectiva de menor impedancia por lo que la instalación eléctrica puede quedar en peligro de incendio y las personas que tengan contacto con las partes metálicas de la instalación eléctrica pudieran estar en peligro de muerte.

Después de analizar los conceptos básicos de la puesta a tierra se puede concluir que:

Un transformador debe ser puesto a tierra para:

A) Estabilizar el voltaje.

B) Protección contra descargas atmosféricas.

C) Protección de falla a tierra, en el lado de alta tensión.

La instalación eléctrica debe ser puesta a tierra para:

A) Protección contra descargas atmosféricas.

B) Protección contra fallas a tierra a través del puente de unión principal de los conductores de puesta a tierra y de la continuidad eléctrica de las canalizaciones.

Capítulo 4

Moldeando el cuerpo humano

Contenido

Moldeando el cuerpo humano. 22
Descarga eléctrica 22
Conceptos básicos. 23

4

Moldeando el cuerpo humano

Para entender las técnicas analíticas que involucran la puesta a tierra, es necesario entender las características de la parte más importante del circuito: **EL CUERPO HUMANO.**

Una persona normal puede soportar una corriente de 1 miliamper.

Las pruebas a lo largo del tiempo han establecido que los efectos de una descarga eléctrica son el resultado de la corriente y no del voltaje.

10-25 miliamperes – causan dolor muscular.

100 - miliamperes – causan fibrilación ventricular.

Altas corrientes pueden parar el corazón completamente o causar quemaduras eléctricas severas.

Los efectos de la corriente eléctrica pasando a través de las partes vitales del cuerpo humano dependen de la duración, magnitud y frecuencia de la corriente.

La consecuencia más peligrosa es exponer al corazón a una fibrilación ventricular, el resultado inmediato es que no habrá circulación de sangre.

Los humanos somos muy vulnerables a los efectos de la corriente eléctrica a 50 y 60 Hz.

Las corrientes de 0,1 Amperes pueden ser fatales.

De acuerdo a los estudios realizados durante largo tiempo, se ha concluido que el cuerpo humano puede tolerar una corriente de 25 Hz y aproximadamente 5 veces más la corriente directa.

A frecuencias de 3000-10 000 Hz, las corrientes altas pueden ser toleradas.

En algunos casos también el cuerpo humano puede ser capaz de tolerar altas corrientes debido a las descargas atmosféricas.

Los efectos fisiológicos más comunes son, contracción muscular, inconsciencia, fibrilación del corazón, bloqueo del nervio respiratorio y calcinación.

La corriente de 1 miliamper generalmente se percibe, esto es, es la magnitud de la corriente que la persona puede justamente soportar con una sensación en sus manos o dedos causados por el paso de la corriente.

- Corrientes de 1 a 6 mA.
- Corrientes de 9 a 25 mA.

La corriente eléctrica puede llevar directamente a la muerte, por lo que es importante conocer la naturaleza de los peligros eléctricos.

Las tres más importantes fuentes de muerte son descarga eléctrica, arco de corriente, y sofocación/envenenamiento.

Descarga eléctrica

Hay 2 tipos de descarga: micro y macro, la descarga macro es la originada fuera de la piel, la descarga micro se origina del catéter introducido a través de la piel.

Un circuito básico tienen 3 componentes: **VOLTAJE, CORRIENTE Y RESISTENCIA.**

El componente de la muerte es la corriente.

Conceptos básicos

Por la Ley de Ohm, la magnitud de la corriente es directamente proporcional al voltaje.

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{ec. 1a}$$

Es por eso que los accidentes en media tensión son 10 veces mayores que para baja tensión.



Fig. 16 Resistencias del cuerpo humano

Así, por la Ley de Ohm, la magnitud de la corriente es inversamente proporcional a la resistencia.

La resistencia de la piel humana varía en función del contenido de humedad en las capas interna y externa del cuerpo humano.

El contenido de humedad cambia con la temperatura ambiente, cansancio, alta humedad, ansiedad.

Los valores típicos de la resistencia de la piel están en el rango de:

- Piel húmeda – 500 OHMS
- Piel seca – 300, 000 OHMS

El efecto ocasionado por el paso de la corriente a través del cuerpo húmedo esta en función de la magnitud de la corriente y de la duración del paso de la corriente. Cuando la corriente fluye a través del tejido, ésta causará calentamiento.

Las pruebas han demostrado que el tejido húmedo es destruido a 52,24 °C (122 °F).

La magnitud de la corriente tolerable (IB) que pasa a través del corazón está definida por:

$$IB = \frac{0{,}116}{Es} \quad \text{ec. 2a}$$

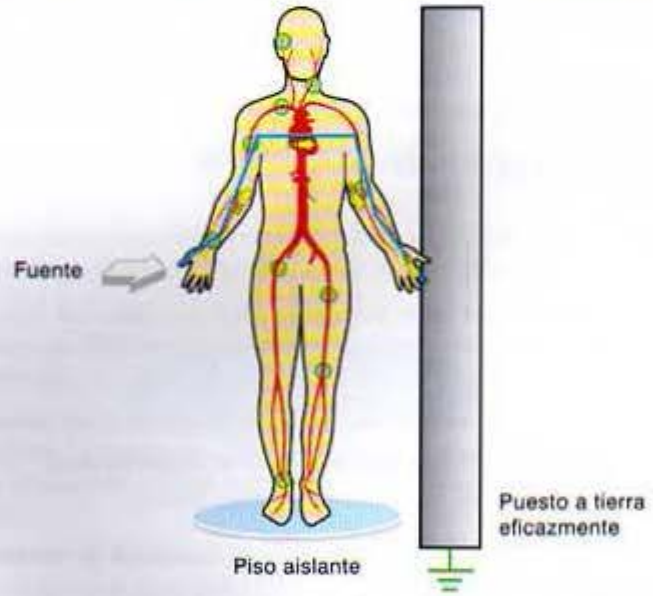
Donde **Es** = el tiempo de duración de la corriente expuesta.

Cte = 0,116 se refiere a personas con un peso aproximado de 50 Kg.

Cte = 0,157 se refiere a personas con un peso de 70,3 Kg.

La duración del contacto con partes energizadas trae efectos en la velocidad a la cual el tejido es destruido. Cuando esto ocurre, la resistencia de la piel decae y la corriente se incrementa.

Trayectoria de la corriente eléctrica en el cuerpo humano.



Caminos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano
La trayectoria de la corriente de mano derecha a mano izquierda causa que la corriente pase directamente a través del corazón

Fig. 17 Trayectoria de la corriente de mano derecha a mano izquierda

La trayectoria de la corriente de mano derecha a mano izquierda causa que la corriente pase directamente a través del corazón.

La trayectoria de la corriente es muy importante porque los órganos pueden ser afectados.



Caminos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano
La trayectoria de la corriente de mano izquierda a pie izquierdo causa que la corriente pase directamente a través del corazón

Fig. 18 Trayectoria de la corriente de mano izquierda a pie izquierdo

La trayectoria de corriente de mano izquierda a pie izquierdo causa que la corriente pase a través del corazón.



Caminos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano
La trayectoria de la corriente de mano derecha a pie derecho causa que la corriente pase por el brazo, hombro, lo cual no es crítico porque la corriente no pasa por el corazón.

Fig. 19 Trayectorias de la corriente de mano derecha a pie derecho

La trayectoria del a corriente de mano derecha a pie derecho es por el brazo-hombro y esto no es crítico porque la corriente no pasa por el corazón.



Caminos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano
La trayectoria de la corriente de pie derecho a pie izquierdo causa que la corriente pase a través de partes criticas del cuerpo y son vitalmente importantes

Fig. 20 Trayectoria de la corriente de pie derecho a pie izquierdo

Los valores obtenidos usando una frecuencia de 60 Hz:

I = 9,0 Miliamperes
- Voltaje de mano a mano 21 Volts.
- Voltaje de mano a pie 10,2 Volts.

La resistencia de contacto de mano a mano 2330 Ohms.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{21,0}{0,009} = 2330 \text{ Ohms}$$

La resistencia de mano a pie es de 1130 Ohms.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{10,2}{0,009} = 1130 \text{ Ohms}$$

La trayectoria de la corriente de pie derecho a pie izquierdo, resulta que la corriente pase a través de partes críticas del cuerpo y son vitalmente importantes.

La resistencia interna de los tejidos de cuerpo, no incluyendo la piel, es aproximadamente de 300 Ohms.

Dalziel realizó pruebas para determinar la seguridad de las corrientes, con las manos y los pies mojados en agua con sal.

Para estas pruebas se consideró:

La resistencia de contacto de mano a zapato se asumió que es igual a cero.

Un valor de 1000 Ohms es seleccionado para el cálculo, representando la resistencia de un cuerpo humano de mano a ambos pies y así como de mano a mano, o de pie a otro pie: R= 1000 Ohms.

Capítulo 5

Sistemas eléctricos no puestos a tierra

Contenido

Sistemas eléctricos no puestos a tierra 28

5

Sistemas eléctricos no puestos a tierra

Los sistemas eléctricos que funcionan sin una conexión intencional a los conductores del sistema a tierra son generalmente llamados **"no puestos a tierra"**. En realidad estos sistemas, están puestos a tierra a través de capacitancias a tierra.

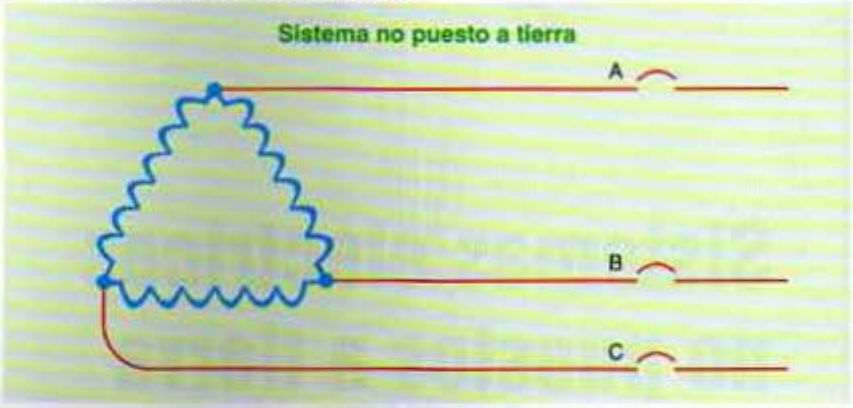


Fig. 21 Sistema en conexión delta no puesto a tierra

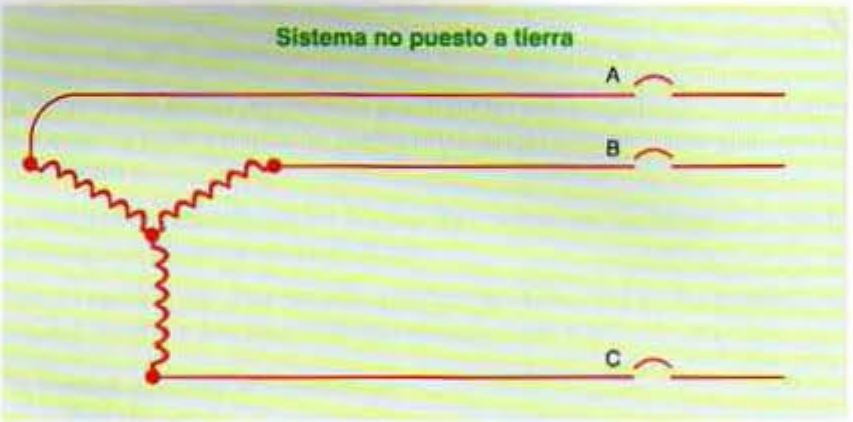
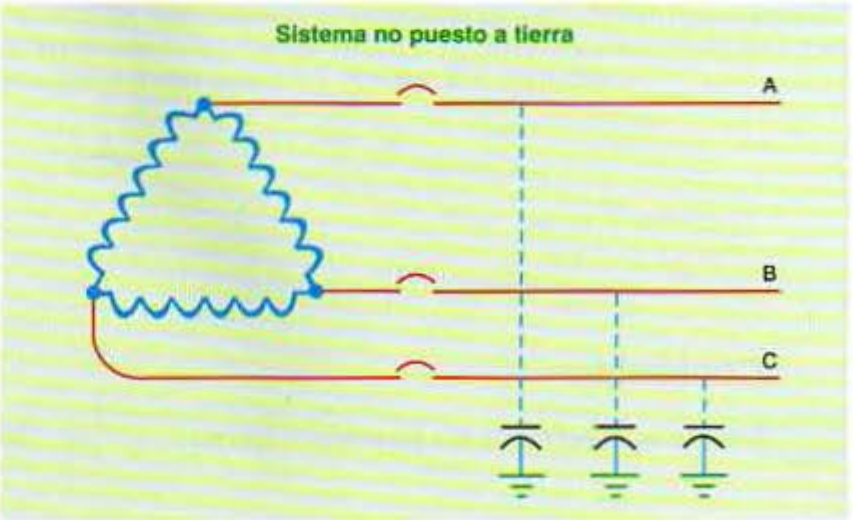


Fig. 22 Sistema en conexión estrella no puesto a tierra



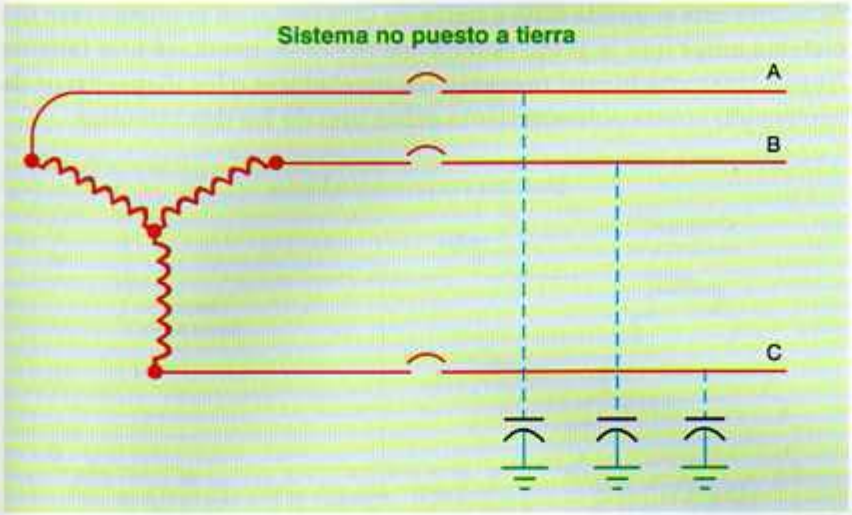


Fig. 23 Sistemas en conexión delta y en estrella no puestos a tierra mostrando las capacitancias a tierra.

Cuando el neutro de un sistema no es puesto a tierra, se tiene lo siguiente:

1) Sobrevoltajes transitorios a tierra que destruyen o perforan el aislamiento de los conductores, en los lugares del punto de falla.

Entonces, la falla en un circuito resulta un peligro para el equipo y puede interrumpir el servicio de otros circuitos.

2) Localización de la falla a tierra, cuando ésta ocurre.

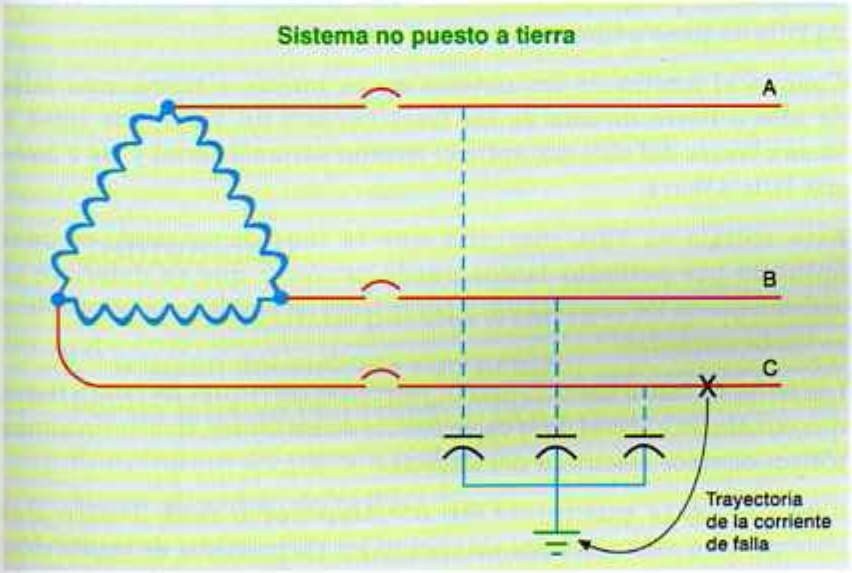


Fig. 24 Sistema en conexión delta no puesto a tierra con una falla a tierra

Para un mejor entendimiento, el problema se ilustra en la figura 24.

En el diagrama es fácil detectar la falla, pero no así físicamente.

El método es simple, pero si esto se realiza en las horas de producción existirán problemas.

Si ocurre una segunda falla a tierra en otra fase o en la misma fase del sistema antes que la primera falla sea liberada, resultará una falla de línea a línea con lo cual operarán los reveladores o los dispositivos de protección contra sobrecorriente sobre uno de los dos circuitos.

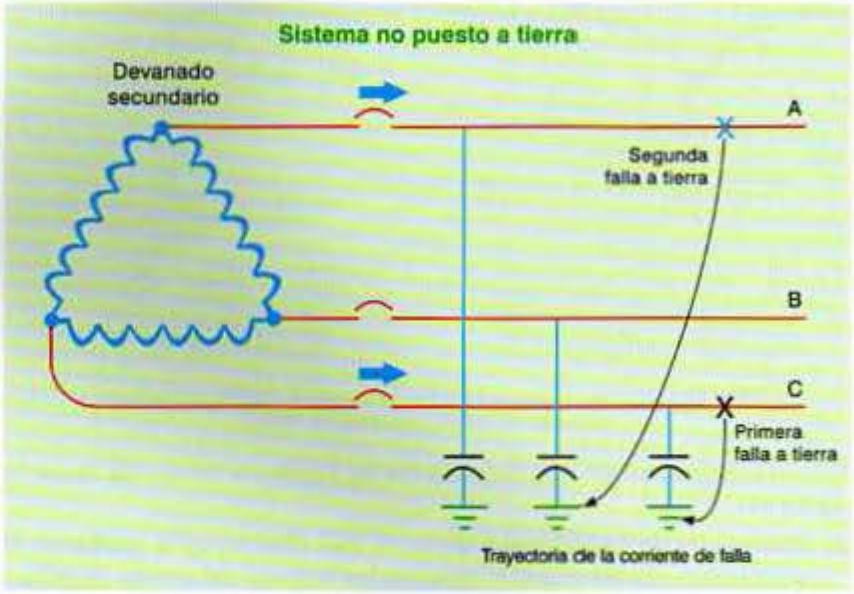


Fig. 25 Dos fallas a tierra simultáneamente

Entonces, una falla a tierra de relativa importancia puede resultar en un considerable peligro por la corriente relativamente alta de la corriente de falla de línea a línea.

Cuando el neutro de un sistema no es puesto a tierra, una falla de fase a tierra de una de las fases causará un voltaje de línea a línea a través del sistema, entre el terreno natural (tierra) y las 2 fases con falla a tierra.

Las principales ventajas son:

1) Continuidad del servicio, la primera falla a tierra causa solamente una circulación pequeña de corriente, con lo que el sistema eléctrico puede seguir funcionando con una falla a tierra presente.
2) Económica: no se requieren conductores de puesta a tierra y equipo de puesta a tierra, pero con la Normatividad vigente se exigen que se instalen.

Este voltaje es 73% más alto que la tensión normal, el cual aplicado por períodos largos puede provocar que se deteriore el aislamiento en los conductores y por lo tanto las condiciones de servicio se verán afectadas.

Las fallas de fase a tierra causarán pequeñas corrientes de falla a tierra que circularán a través de la capacitancia de los cables, transformadores y otros equipos eléctricos del sistema.

Esta corriente puede ser de 25 Amperes o más dentro del sistema. Con esta corriente no operan los dispositivos de protección contra sobrecorriente y la corriente circulará por períodos largos de tiempo, con lo cual puede causar daños en la instalación eléctrica.

Capítulo 6

Sistemas eléctricos puestos a tierra

Contenido

Sistemas eléctricos puestos a tierra 32
Obtención del sistema con neutro 32
Puesta a tierra con resistencia 33
Reactancia de puesta a tierra 35
Neutralizador de falla a tierra 36
Puesta a tierra de otros sistemas que no utilizan el sistema neutro 36
Esquina de un sistemas en delta. 36
Puesta a tierra de un sistema delta en la mitad de un devanado. 38
Autotransformadores 39
Transformadores estrella-estrella 42

Sistemas eléctricos puestos a tierra

Los sistemas puestos a tierra emplean algunos métodos de puesta a tierra, el sistema neutro en uno o más puntos.

Estos métodos se derivan en:

Sólidamente puesto a tierra.

La impedancia de puesta a tierra, puede ser subdividida en: Reactancia de puesta a tierra, resistencia de puesta a tierra y neutralizador de puesta a tierra de falla a tierra.

X_{GO} – Reactancia de secuencia cero del generador o transformador.

X_N – Reactancia del reactor puesto a tierra.

R_N – Resistencia de la resistencia puesta a tierra.

Muchos de los conceptos involucrados en los tipos del sistema de puesta a tierra y sus niveles están mejor explicados en términos de componentes simétricas o circuitos equivalentes.

Los dispositivos de protección contra sobrecorriente pueden ser afectados por el método de puesta a tierra. Si se utiliza otro método de puesta a tierra, el dispositivo de protección contra sobrecorriente deberá ser revaluado para la aplicación.

Ventajas del sistema puesto a tierra

Las ventajas de operación en un sistema eléctrico industrial puesto a tierra comparado con un sistema no puesto a tierra son:

- Reduce los costos de operación y mantenimiento.
- Reduce la magnitud de los sobrevoltajes transitorios.
- Mejora la protección contra descargas atmosféricas.
- Mejora la confiabilidad del servicio.
- Mejora el sistema y el equipo de protección de fallas.
- Mejora la confiabilidad del servicio.
- Mayor seguridad para el personal y el equipo.

El paso relativo de esta ventaja varia con la clase de tensión del sistema y a menor grado con las condiciones de la instalación.

Obtención del sistema con neutro

La mejor manera de obtener el sistema con neutro es utilizar como fuente generadores o transformadores con los devanados conectados en la estrella (Y), entonces el neutro estará disponible.

Métodos de puesta a tierra.

Puesta a tierra sólidamente.

La puesta a tierra sólidamente se refiere a la conexión del neutro del generador o del transformador de potencia o del transformador puesto a tierra directamente a tierra.

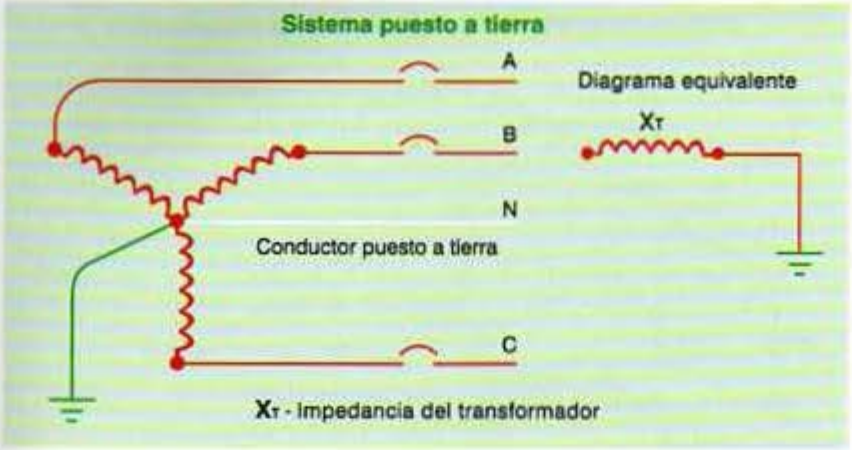


Fig. 26 Sistema sólidamente puesto a tierra

Debido a que la reactancia del generador o transformador puesto a tierra está en serie con el circuito del neutro, una conexión sólidamente a tierra no provee una impedancia cero en el circuito del neutro.

Si la reactancia del sistema del circuito de secuencia cero es demasiado grande con respecto al sistema del circuito de reactancia de secuencia positiva, los objetivos solicitados en la puesta a tierra, principalmente, estarán libres de sobrevoltajes transitorios.

Una buena guía es la magnitud de la corriente de falla a tierra comparado con la corriente de una falla trifásica.

La corriente de falla a tierra es más alta en relación con la corriente de falla trifásica, en un sistema sólidamente puesto a tierra.

Efectivamente, los sistemas puestos a tierra podrán tener una corriente de corto circuito de fase a tierra por lo menos del 60% del valor de la corriente de cortocircuito trifásica.

Puesta a tierra con resistencia

En la puesta a tierra con resistencia, el neutro es conectado a tierra por medio de una resistencia. En este método las tensiones de fase a tierra que existen durante una falla de fase a tierra son casi igual que para un sistema no puesto a tierra, excepto para los sobrevoltajes transitorios.

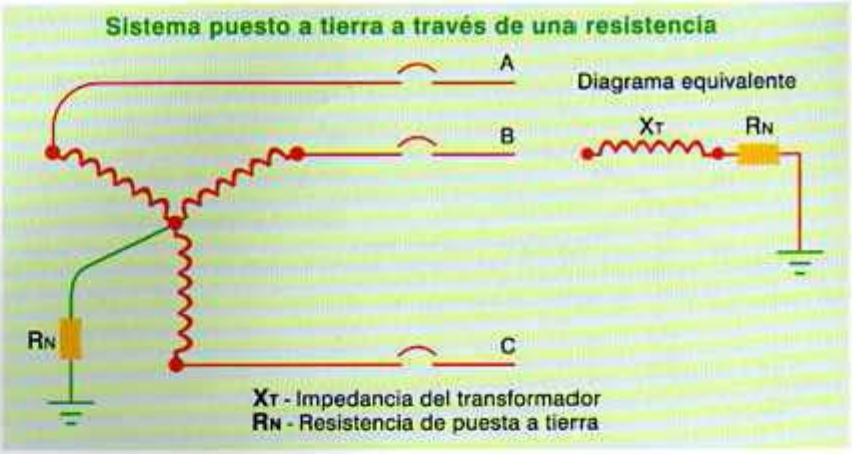


Fig. 27 Sistema puesto a tierra a través de una resistencia

Un sistema puesto a tierra por una resistencia no está sujeto a destruir los sobrevoltajes transitorios.

Para un sistema puesto a tierra por resistencia de 15 KV o menor, los sobrevoltajes no serán peligrosos si el valor de la resistencia está en los límites $Ro \leq X_{CO}$, $Ro \geq 2X_O$.

La corriente de falla tierra correspondiente es mucho menor que la normalmente usada para la resistencia de valor bajo de puesta a tierra, pero este es el criterio de diseño para una alta resistencia de puesta a tierra.

Las razones para limitar la corriente de falla a tierra por una resistencia puesta a tierra son:

A) Reduce los efectos de calentamiento y de fundición en el equipo con la falla, interruptores, transformadores, cables, máquinas rotativas.

B) Disminuye la tensión mecánica en los aparatos y circuitos que transportan la corriente de falla.

C) Disminuye las descargas eléctricas a las personas causadas por las corrientes de falla a tierra desviadas dentro de la trayectoria de retorno a tierra.

D) Disminuye los peligros de arco o de relámpago de arco para las personas que se encuentren en la proximidad de la falla a tierra.

E) Disminuye el descenso momentáneo del voltaje de línea cuando ocurre y se libera una falla a tierra.

La resistencia de puesta a tierra puede ser de dos clases, de alta resistencia o baja resistencia, distinguiéndose por la magnitud de la corriente de falla a tierra que fluya.

La alta resistencia de puesta a tierra usada a niveles de corrientes de falla a tierra de 10 Amperes o menos, en sistemas de voltaje de 15 KV puede tener niveles de corriente de falla a tierra más altos.

La baja resistencia de puesta a tierra típicamente usa niveles de corriente de falla a tierra de al menos 100 Amperes, con corrientes en un rango de 200 a 1000 Amperes.

Reactancia de puesta a tierra

Él termino reactancia de puesta a tierra describe el caso en el cual un reactor es conectado entre el sistema del neutro y tierra.

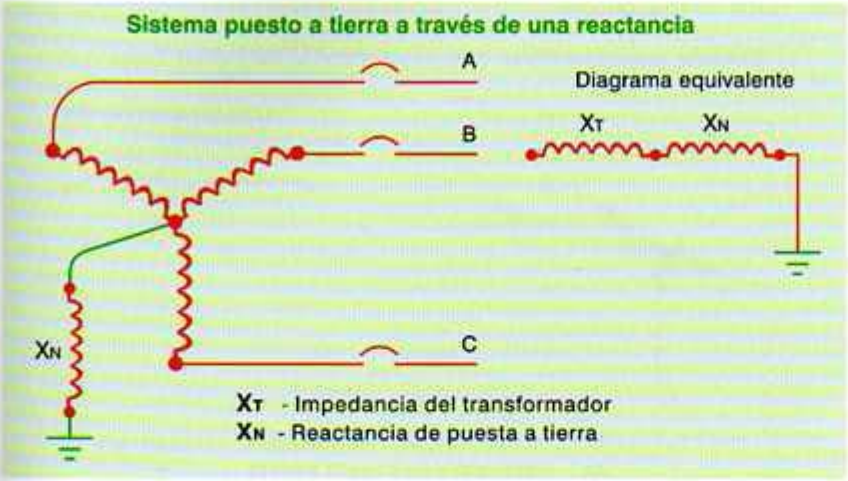


Fig. 28 Sistema puesto a tierra a través de una reactancia

Cuando la corriente de falla a tierra que pueda circular en un sistema puesto a tierra esta en función de la reactancia del neutro. La magnitud de la corriente de falla es muchas veces usada como criterio para describir el grado de la puesta a tierra.

En un sistema puesto a tierra con reactancia, la corriente de falla a tierra puede ser de al menos el 25% y preferentemente el 60% de la corriente de falla trifásica para prevenir los sobrevoltajes transitorios $X_0 \leq 10\ X_1$.

Esto es considerablemente más alto que el nivel de corriente de falla a tierra que se presenta en un sistema puesto a tierra a través de una resistencia, por lo que la reactancia de puesta a tierra no se utiliza como una alternativa de la resistencia puesta a tierra.

En muchos generadores, sólidamente puestos a tierra, esto es, con puesta a tierra sin una impedancia externa, puede permitir que la corriente de falla a tierra del generador exceda el máximo de la corriente de falla trifásica que el generador puede desarrollar, y por lo cual los devanados están asegurados, los generadores con el neutro puesto a tierra deberán ser puestos a tierra a través de un reactor de bajo valor que limite la corriente de falla a tierra a un valor no más grande que la corriente de falla trifásica del generador.

En el caso de sistemas trifásicos de 4 hilos, la limitación de la corriente de falla a tierra al 100% de la corriente de falla trifásica es usualmente práctica, sin que se interfiera con la operación normal de los 4 conductores.

En la práctica, la reactancia de puesta a tierra es generalmente usada solamente en este caso y para la puesta a tierra de una subestación con características similares.

Neutralizador de falla a tierra

Un neutralizador de falla a tierra es un reactor conectado entre el neutro de un sistema y tierra, y es seleccionado relativamente con un alto valor de reactancia.

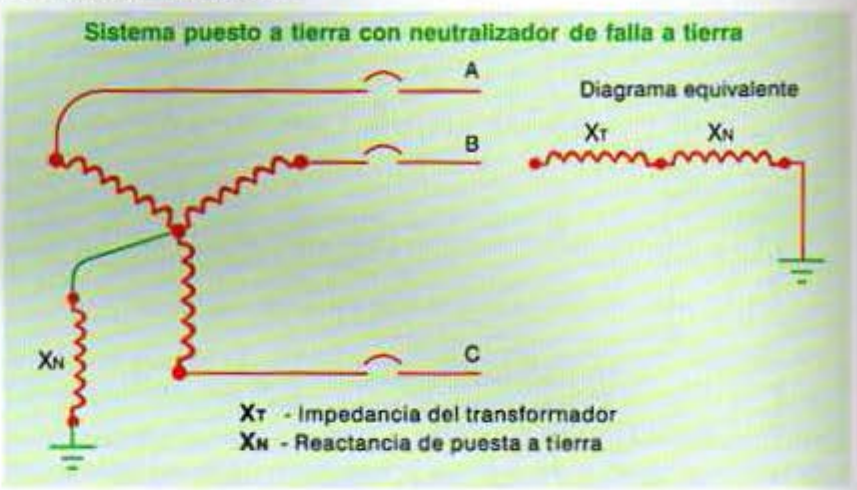


Fig. 29 Sistema puesto a tierra a través de una reactancia

La reactancia es armonizada a la corriente del sistema debido a que la resultante de la corriente de falla a tierra es resistiva y de magnitud baja.

Esta corriente está en fase con el voltaje de línea a neutro, así que la corriente cero y el voltaje cero ocurren simultáneamente.

Este método de puesta a tierra es usado en sistemas de más de 15 KV, que consiste de largas líneas de transmisión y distribución.

Estos sistemas son raramente usados en los sistemas eléctricos industriales o comerciales, por lo que el uso de los neutralizadores de falla a tierra es muy pequeño.

Puesta a tierra de otros sistemas que no utilizan el sistema neutro

En algunos casos, en sistemas de bajo voltaje (600 Volts o menos) son puestos a tierra en mismo punto que el sistema neutro para obtener un sistema eléctrico puesto a tierra.

Esto se realiza en los transformadores conectados en delta que no proveen acceso al sistema del neutro.

Dos sistemas son utilizados:

Esquina de un sistema en delta.

Los sistemas de baja tensión, que en el pasado han sido alimentados por transformadores conectados en el secundario en delta, han sido no puestos a tierra.

La puesta a tierra de la esquina de una fase de una delta puesta a tierra ha sido utilizada como un medio para obtener un sistema puesto a tierra.

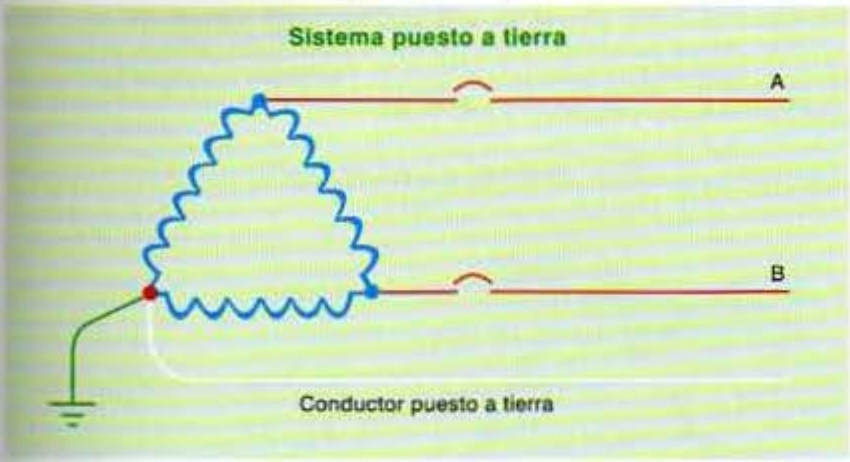


Fig. 30 Sistema con conexión delta con una esquina puesta a tierra

Las ventajas son las siguientes:

Es el método menos costoso de convertir un sistema no puesto a tierra en un sistema puesto a tierra. Este método fue adoptado por muchas compañías industriales en el año 1935, no se han reportado problemas y en costos son similares que una conexión en el secundario en delta o estrella.

La protección de sobrecarga, teóricamente es necesaria solamente en 2 fases que no son puestas a tierra. En la Normatividad Vigente para sistemas trifásicos, los 3 relevadores de sobrecarga son requeridos, uno por cada fase.

La ventaja en el pasado de tener solamente 2 relevadores de sobrecarga no es lo más viable.

El sistema puesto a tierra en la esquina controlará efectivamente los transitorios y los sobrevoltajes; un máximo de 1.73 veces el voltaje nominal de fase a neutro puede existir entre 2 de los conductores de fase y la tierra.

Una falla de fase a tierra es fácil de detectar y de encontrar.

Las desventajas son:

A) Inhabilidad de alimentar acometidas de doble voltaje para iluminación y cargas de fuerza.

B) La necesidad de identificación positiva de la fase puesta a tierra para conectar medidores, fusibles, instrumentos y relevadores.

C) Se tendrá un voltaje de fase a tierra más alto sobre 2 fases, que en un sistema puesto a tierra con neutro.

D) La posibilidad de exceder la capacidad interruptiva de los dispositivos de protección se debe a la corriente de falla a tierra; la interrupción afecta a los polos del interruptor, porque excede de la corriente de falla trifásica.

Por estas limitaciones, este tipo de puesta a tierra no ha sido muy utilizado en sistemas industriales.

Puesta a tierra de un sistema delta en la mitad de un devanado.

En algunas áreas donde la utilización tiene cargas de una fase 120/240 Volts y pequeñas cargas trifasicas a 240 Volts, estas se alimentan de un transformador grande de una fase 120/240 Volts y por uno o más transformadores pequeños a 240 Volts.

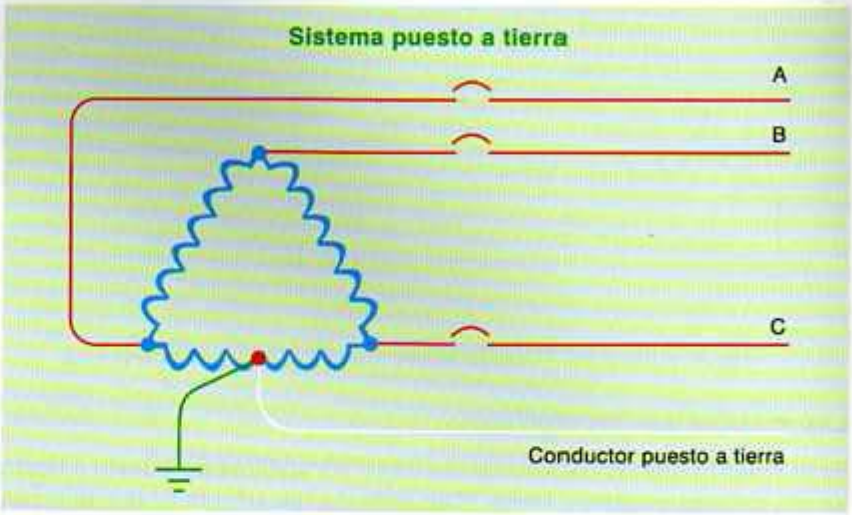


Fig. 31 Sistema con conexión delta con la mitad del devanado puesto a tierra.

En otros casos, donde los transformadores trifásicos son conectados en delta, son puestos a tierra en la mitad del devanado. Con este método es posible ganar algunas ventajas del neutro puesto a tierra por la puesta a tierra de la mitad del devanado de una fase.

Este método no provee todas las ventajas de un sistema neutro puesto a tierra y no es recomendado para voltajes mayores de 240 Volts.

Las ventajas son:

A) Los costos son aproximadamente los mismos que un sistema sólidamente puesto a tierra.

B) Disparos rápidos para fallas de fase a tierra.

C) Controles efectivos de la puesta a tierra de la mitad del devanado de una fase, niveles de seguridad y de sobretensiones.

Las desventajas son:

A) Peligro de una descarga eléctrica de la fase de tensión más alta a tierra es de 1,73 veces el voltaje de las otras 2 fases.

B) Deberá tener una identificación el conductor con el voltaje más alto a tierra, para evitar que se conecten cargas con una tensión de operación de 120 Volts.

C) Serio peligro de arcos en una falla de fase a tierra por los niveles altos de falla.

D) El costo de mantenimiento es el mismo que el sistema con el neutro puesto a tierra debido al voltaje alto y el aislamiento en una fase.

E) La puesta a tierra de la mitad del devanado, de una fase para sistemas trifásicos con voltajes de fase a fase arriba de 240 Volts, tiene pequeña aplicación.

Autotransformadores

Los autotransformadores de potencia son frecuentemente usados en sistemas de transmisión y de distribución.

Se utilizan para transformar el voltaje. Usualmente reduce el costo del transformador, o tal vez evita la creación de un nuevo sistema de puesta a tierra.

Un autotransformador trifásico en estrella, sin delta en el terciario, tiene extremadamente una impedancia de secuencia cero, alta si la conexión no está hecha al neutro.

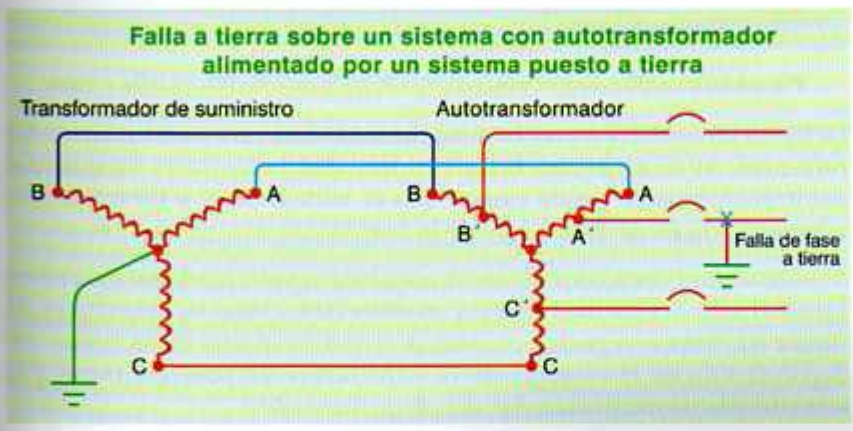


Fig. 32 Autotransformador alimentado por un sistema puesto a tierra

La figura 32 muestra que una falla a tierra en A' causará que la fuente del voltaje de fase a tierra es impuesta a través de la sección A-A' del autotransformador.

La sección del devanado será capaz de soportar este voltaje, entonces el voltaje de tierra al neutro del autotransformador, será alto en proporción de A´-N a A-A', y B' y C' deberán tener voltajes a tierra altos como B y C.

El voltaje en el secundario de línea a línea puede ser incrementado.

En la práctica normal, el devanado A-A' no podrá soportar el voltaje total, pero debe en cambio saturarse, entonces circulará una cierta cantidad de la corriente de secuencia cero.

En este proceso, se crearán componentes de alta frecuencia del voltaje, en los cuales la frecuencia de devanado puede soportar un voltaje proporcional a la frecuencia y podría existir un voltaje alto a tierra en N.

Si el secundario del autotransformador es el voltaje más alto, habrá un sobrevoltaje por la falla en el secundario de línea a tierra.

Esta referencia de los puntos de los sobrevoltajes pueden ser causados por transitorios, así como por switcheo o descargas atmosféricas, empezando a través de la sección del devanado entre las conexiones del primario y el secundario.



Fig. 33 Autotransformador reductor con conexión en estrella con falla a tierra

La figura 33 muestra a una fuente alimentando a un autotransformador reductor, si ocurre una falla a tierra del lado de la fuente del autotransformador puede causar que el voltaje de B' y C´ a tierra se acerca al voltaje de fase a fase de la fuente.

Si un autotransformador elevador aumenta el voltaje, el voltaje a tierra sobre el sistema de baja tensión se detectará, como se muestra en la figura 34, y qué se podrá conseguir, como se indica en la figura 32, dependiendo de la relación de la impedancia de puesta a tierra a la impedancia de excitación del autotransformador.

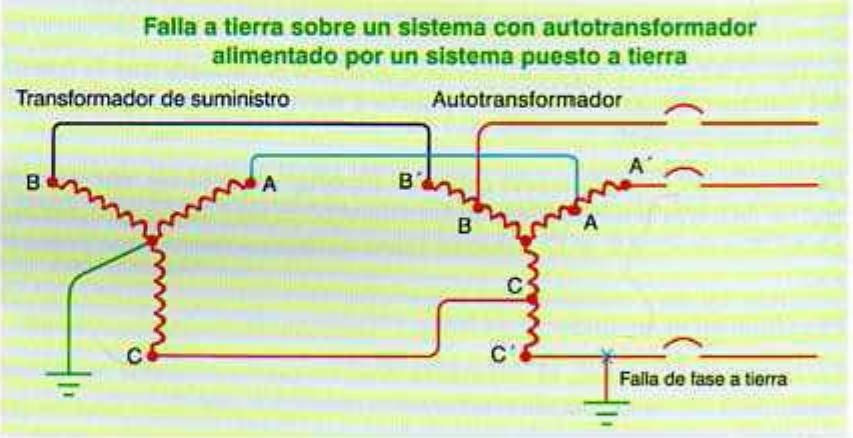


Fig. 34 Autotransformador elevador con conexión en estrella con falla a tierra

Las figuras 35 y 36 muestra autotransformadores en delta, no hay reducción del voltaje a tierra sobre un sistema de baja tensión proporcionando una reducción del voltaje de fase.

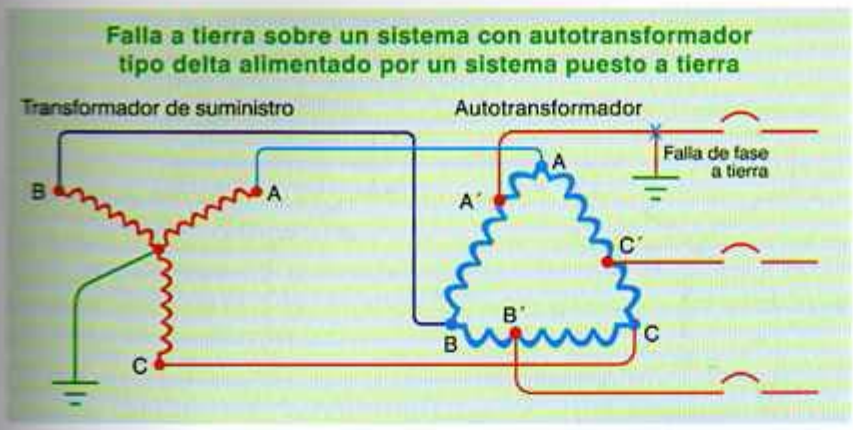


Fig. 35 Autotransformador con conexión delta

La versión de delta – abierta no ofrece reducción del voltaje máximo a tierra, pero resulta en un voltaje no desbalanceado a tierra que puede ser no deseado.

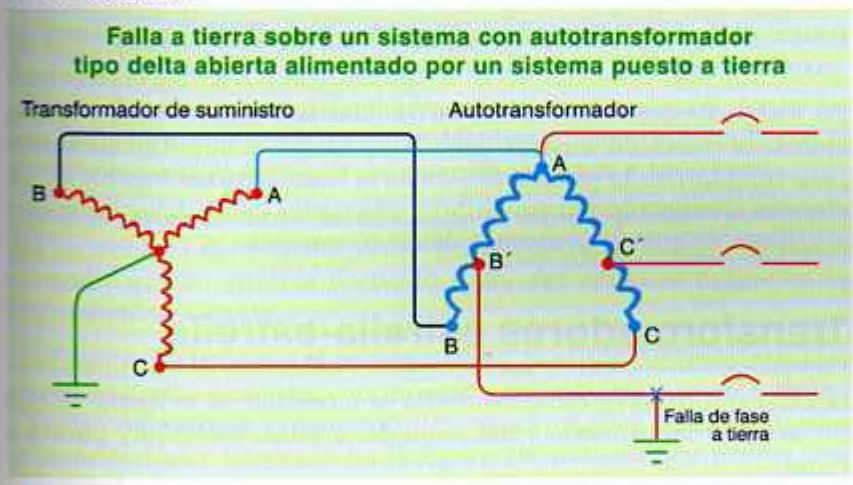


Fig. 36 Autotransformador en conexión delta abierta

En ningún caso las fallas a tierra incrementan los voltajes que aparecen en los devanados del transformador, y el voltaje de línea a tierra a cualquier voltaje no excederá el voltaje de línea a línea.

Debe utilizarse un transformador en cada caso, para reducir la clase del aislamiento en el sistema de baja tensión.

En los ejemplos anteriores hay un peligro en la seguridad debido a las percepciones de la relación del voltaje máximo al voltaje normal en el circuito. Por esta razón la Normatividad Vigente tiene restricción de cómo los autotransformadores puedan ser usados.

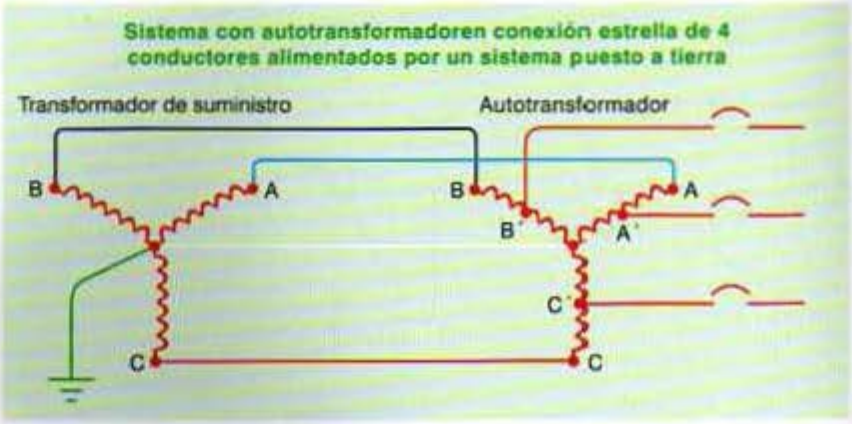


Fig. 37 Autotransformador con conexión en estrella puesta a tierra

La figura 37 muestra la configuración correcta para utilizar un autotransformador.

Hay una conexión efectiva entre el neutro del transformador y el neutro de la fuente (transformador) para que circule la corriente de secuencia cero.

En una instalación industrial en la cual la Normatividad Vigente aplica, la conexión a tierra deberá ser hecha al autotransformador para cumplir con la sección 250-23 de la Normatividad Vigente de un circuito alimentado por un autotransformador no se deberá emplear el criterio de que es un sistema derivado separado.

Transformadores estrella-estrella

Los transformadores estrella-estrella se muestran en la figura 38 con los neutros del primario y del secundario interconectado y puesto a tierra.

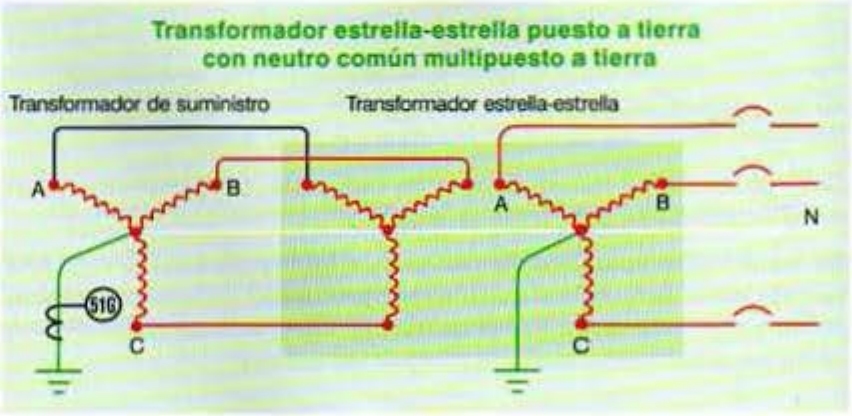


Fig. 38 Transformador estrella-estrella puesto a tierra

Esta configuración del transformador es utilizada en sistemas de distribución de utilización sólidamente puestos a tierra, particularmente en sistemas no puestos a tierra para prevenir la ferrosonancia cuando los interruptores de suministro pueden ser operados por un polo al mismo tiempo.

La utilización de la puesta a tierra en el punto neutral del primario es para minimizar el voltaje del neutro a tierra a través de la longitud de la línea de distribución y por fallas sobre sistemas no puestos a tierra utilizando los cables neutros concéntricos desnudos.

La puesta a tierra del neutro del secundario provee una acometida de bajo voltaje efectivamente puesta a tierra.

La múltiple puesta a tierra del primario de cada transformador no es esencial para prevenir la ferroresonancia o proveer la puesta a tierra en el secundario, como el cuarto conductor que corre del neutro del primario del transformador.

La conexión entre el neutro y la envolvente del transformador a tierra minimiza el voltaje del secundario del neutro a tierra durante una falla entre el primario y la envolvente del transformador.

En un sistema de distribución industrial, físicamente la longitud del circuito usualmente es corta. Los excesivos voltajes de neutro a tierra no se presentarán si el neutro común del transformador no está puesto a tierra.

La Normatividad Vigente normalmente prohíbe la puesta a tierra del neutro en el lado de la carga del medio de desconexión de la acometida, pero en la misma Normatividad permite la multipuesta a tierra del neutro de una línea aérea o de un cable directamente enterrado con el neutro desnudo, si el voltaje del circuito es mayor a 1000 Volts.

Con la conexión continua del neutro de la fuente al primario y el neutro del secundario del transformador estrella-estrella, el transformador no podrá ser un sistema derivado separado, como se define en la Normatividad Vigente.

Si el neutro de la fuente es puesto a tierra, la salida del transformador estrella-estrella será una continuación del sistema puesto a tierra, a través del voltaje secundario del transformador. Esto es similar al transformador mostrado en la figura 39, excepto que provee una seguridad adicional de tener una conexión metálica solamente entre el primario y el secundario del punto neutral.

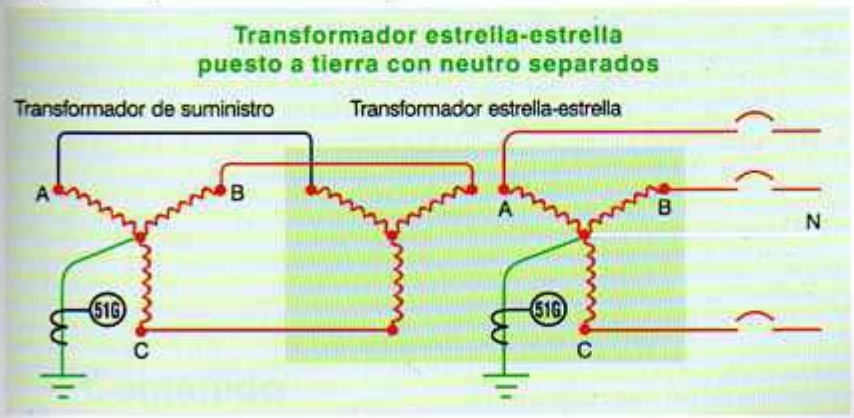


Fig. 39 Transformador estrella-estrella puesto a tierra con neutros separados

El circuito alimentado por el transformador estrella-estrella mostrado en la figura 39, debe ser considerado un sistema derivado separado. **No hay una conexión directa entre el primario y el secundario del transformador.**

Las fallas a tierra del primario y del secundario se miden separadamente.

La salida del secundario del transformador no debe ser puesto a tierra a menos que una conexión a tierra se realice en el secundario del transformador.

El secundario puede ser puesto a tierra a través de una impedancia.

La puesta a tierra del neutro del secundario requerirá una conexión del neutro del primario de la fuente al neutro del primario del transformador estrella-estrella para alimentar la corriente de secuencia cero.

Diferente a un transformador delta-estrella, el transformador estrella-estrella no es una fuente de corriente secuencia cero.

La puesta a tierra puede realizarse sin la conexión del neutro del primario si una fase del secundario como el neutro es puesto a tierra, entonces la corriente de secuencia cero no estará involucrada.

El efecto es idéntico a la puesta a tierra de la esquina de un transformador delta-delta.

El transformador estrella-estrella puede ser considerado una parte de un sistema de multivoltaje si los neutros están interconectados. Incluso pueden ser considerados como un sistema derivado separado si no están interconectados.

La simetría de una conexión estrella-estrella provee la puesta a tierra para el sistema de lado de la carga a través de la fuente y del lado de la carga puede ser intercambiada.

Dispositivos de protección contra fallas a tierra

Contenido

Dispositivos de protección contra fallas a tierra 46

Dispositivos de protección contra fallas a tierra

Los dispositivos de protección contra sobrecorriente convencionales solamente "detectan" Amperes y no distinguen las corrientes de carga de las corrientes de falla a tierra.

Por esto es necesario instalar dispositivos de detección de falla a tierra, el cual "observará" las corrientes de falla a tierra y mandará la señal al dispositivo de protección contra sobrecorriente, para que libere la falla eléctrica.

La corriente de falla a tierra regresará a su lugar de origen por el conductor de puesta a tierra.

La falla a tierra puede ocurrir por un aislamiento dañado, humedad, polvo, otros contaminantes, peligro o daño del equipo, o por un error humano.

Si la corriente de falla a tierra es muy pequeña a la corriente de disparo del dispositivo de protección, el arco eléctrico en el punto de falla producido por la corriente de falla a tierra, sino se libera la falla a tierra, puede generar altas temperaturas y daños a los equipos, además que puede ser el inicio de un incendio.

La Normatividad Vigente obliga tener protección contra fallas a tierra de equipos en los siguientes sistemas:

- **Sistemas con conexión "estrella" sólidamente puesto a tierra.**
- **Tensión eléctrica a tierra superior a 150 Volts.**
- **Voltaje entre fases menor a 600 Volts.**
- **Dispositivo de protección contra sobrecorriente de 1 000 Amperes o más.**
- **El sistema de protección contra fallas a tierra cuando ocurra una falla de fase a tierra debe funcionar abriendo todos los conductores de fase del circuito eléctrico en el que haya ocurrido la falla.**
- **El máximo ajuste de la protección contra sobrecorriente debe ser de 1 200 Amperes.**
- **El Retardo máximo t = 1 seg para corrientes de falla a tierra iguales o mayores a 3 000 Amperes.**

Se deberá realizar la prueba de funcionamiento del equipo de protección contra fallas a tierra de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Por otro lado, deberá realizarse un informe por escrito de la prueba, que esté a disposición de la autoridad competente.

Las fallas a tierra pueden tener la capacidad de destruir interruptores y tableros de distribución, en sistemas eléctricos de menos de 600 Volts.

La instalación del dispositivo de protección de fallas a tierra se debe realizar adecuadamente, ya que de lo contrario resultaría en disparos falsos del dispositivo de protección contra sobrecorriente.

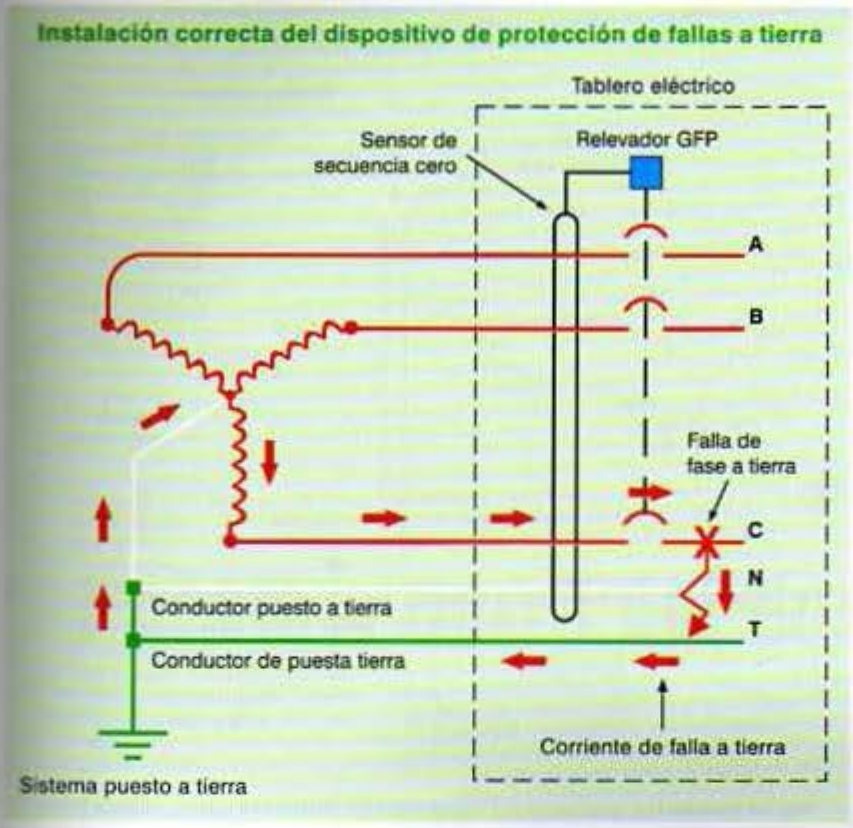


Fig. 40 Instalación del dispositivo de protección contra fallas a tierra

En la figura 40 se indica la instalación correcta del dispositivo de protección contra fallas a tierra de secuencia cero. Se debe instalar con los conductores de fase y el conductor neutro.

Si ocurre una falla a tierra, la corriente de falla circulará por el conductor de puesta a tierra hacia el neutro del sistema, por el conductor de fase y por el dispositivo de protección contra sobrecorriente.

Es importante que la corriente de falla a tierra no pase a través del sensor de falla a tierra.

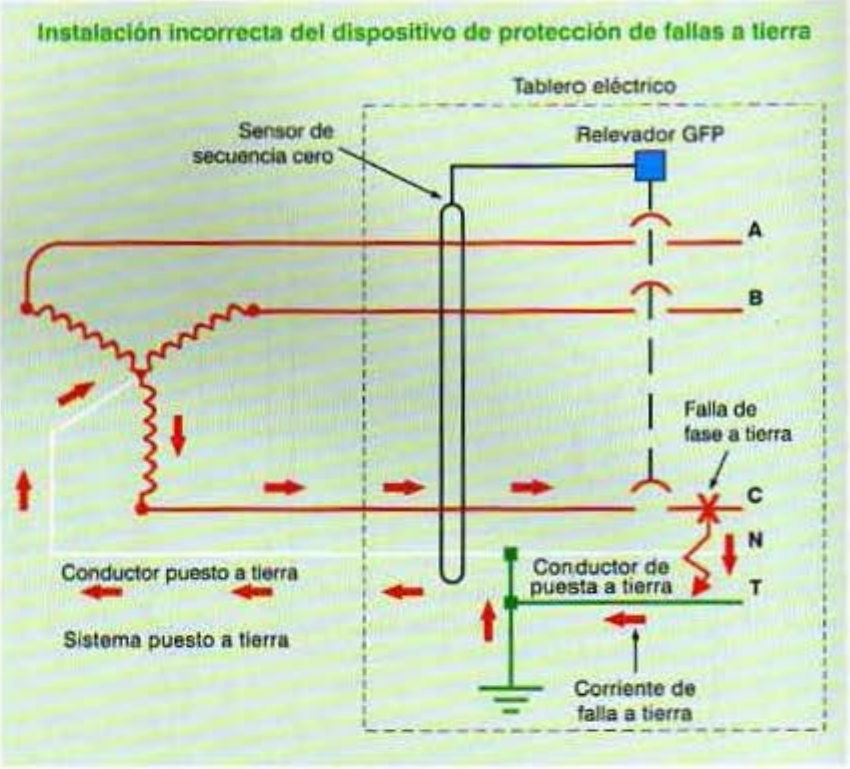


Fig. 41 Instalación incorrecta del dispositivo de protección contra fallas a tierra

La instalación errónea se ilustra en la figura 41. El sensor de falla a tierra está instalado con los conductores de fase y el neutro. Al ocurrir una falla a tierra, la corriente de falla circulará por el conductor de puesta a tierra, por el conductor neutro hasta llegar a su lugar de origen, por el conductor de fase y por el dispositivo de protección de falla a tierra.

Al circular la corriente de falla por el conductor neutro el sensor de falla a tierra verá la corriente de falla, lo cual es incorrecto.

El sensor de falla a tierra no podrá distinguir si es una corriente eléctrica de desbalance o una corriente de falla a tierra, así que el dispositivo de protección operará erróneamente.

Se deberá de corregir la instalación del sensor de secuencia cero.

Capítulo 8

Puesta a tierra del equipo

Contenido

Puesta a tierra del equipo 50
Componentes de la puesta a tierra del equipo . . .51
Exposición a una descarga eléctrica 53
Conceptos fundamentales 53
Propiedades de los conductores de puesta a tierra 57
Daño del aislamiento de los conductores 57
Tubería (conduit) metálica como conductor de puesta a tierra 58

Puesta a tierra del equipo

8

Objetivo de la puesta a tierra del equipo

A) Limitar el potencial entre las partes metálicas no conductoras de la electricidad de la planta, comercios, edificios, unidades de vivienda y de la tierra a un valor seguro bajo condiciones normales de operación y condiciones de falla eléctrica.

B) Tener un potencial uniforme en todas las partes de la estructura y de los equipos.

C) Tener una trayectoria efectiva de baja impedancia, para que circule la corriente de falla a tierra.

Cuando ocurre una falla eléctrica a tierra en un sistema eléctrico, las vidas dependerán de una adecuada instalación del equipo de puesta a tierra.

El peligro existirá en las personas cuando ocurre la falla a tierra.

La fuerza con la que circula la corriente de falla en una trayectoria de alta impedancia puede producir un potencial peligroso; en las uniones de las tuberías pudiera presentarse una alta impedancia, ya que éstas pueden estar unidas en una forma no efectiva y pueden causar que se produzca un arco eléctrico y un calentamiento entre dichas uniones. Si esto se presenta teniendo cerca materiales combustibles o gases explosivos, será la causa de un inicio de incendio.

La importancia de la puesta a tierra del equipo radica a que si no se realiza adecuadamente su instalación, se pueden derivar accidentes eléctricos en las personas y en los equipos de una planta.

El incremento de la utilización de la puesta a tierra de un sistema eléctrico se ha enfocado en una adecuada puesta a tierra. Si la puesta a tierra del equipo se ha instalado adecuadamente el resultado será que se tendrá una camino de retorno de la falla a tierra de baja impedancia.

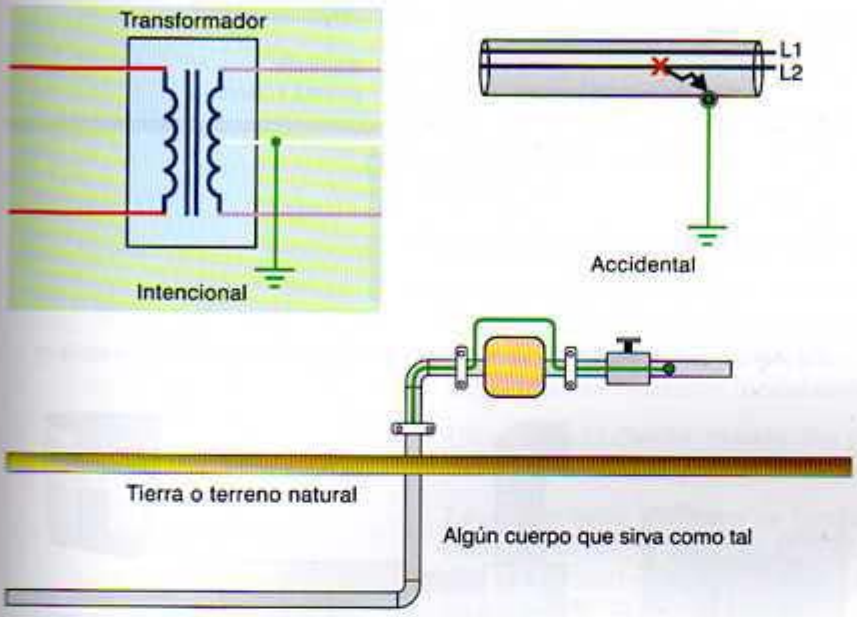
Los sistemas no puestos a tierra pueden seguir operando, cuando existe una falla a tierra, durante largos períodos de tiempo cuando ocurre una falla a tierra en un gabinete de un equipo eléctrico, el potencial del gabinete a tierra será igual al de la fase, lo cual representará un peligro para el personal.

Cuando se tienen 2 fallas de fase a tierra al mismo tiempo, a través de una trayectoria de alta impedancia, se pueden crear diferencias de potencial de grandes proporciones.

Componentes de la puesta a tierra del equipo

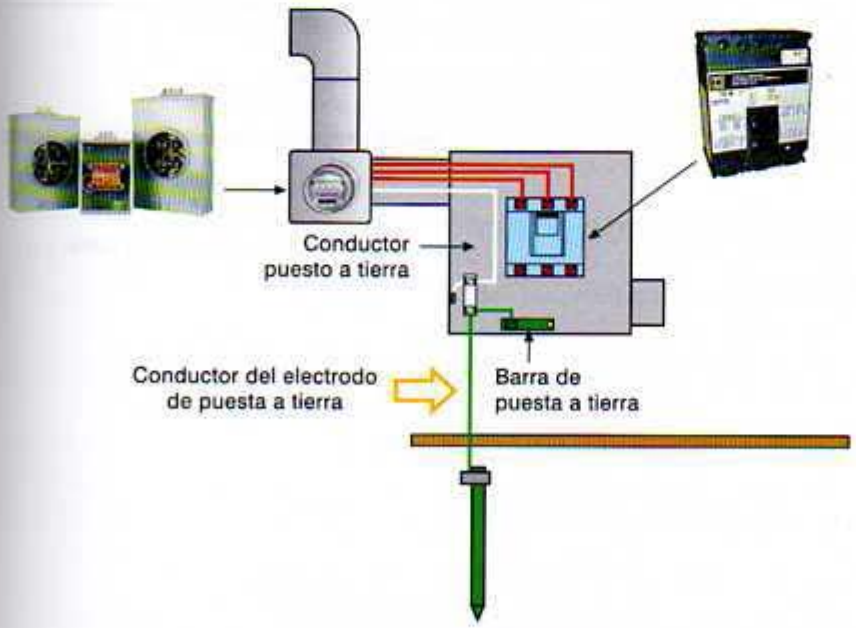
La puesta a tierra del equipo está compuesta por:

- Electrodo de puesta a tierra.
- Conductor del electrodo de puesta a tierra.
- Conductor de puesta a tierra del equipo.
- Puente de unión principal.



A tierra: conexión conductora, intencionada o accidental, entre un circuito o equipo eléctrico y el terreno natural o algún cuerpo conductor que sirva como tal.

Fig. 42 Definición de "a tierra"



Conductor del electrodo de puesta a tierra: Conductor utilizado para conectar el electrodo de puesta a tierra al conductor de puesta a tierra del equipo, al conductor puesto a tierra o a ambos, del circuito en el equipo de acometida o en la entrada de un sistema derivado separado.

Conductor desnudo: Conductor que no tiene ningún tipo de cubierta o aislamiento eléctrico.

Fig. 43 Electrodo de puesta a tierra

Conductor de puesta a tierra: Conductor utilizado para conectar un equipo o el circuito puesto a tierra de un sistema de alambrado al electrodo o electrodos de puesta a tierra.

Conductor de puesta a tierra de los equipos: Conductor utilizado para conectar las partes metálicas no conductoras de corriente eléctrica de los equipos, canalizaciones y otras envolventes al conductor del sistema puesto a tierra, al conductor del electrodo de puesta a tierra o ambos, en los equipos de acometida o en el punto de origen de un sistema derivado separado.

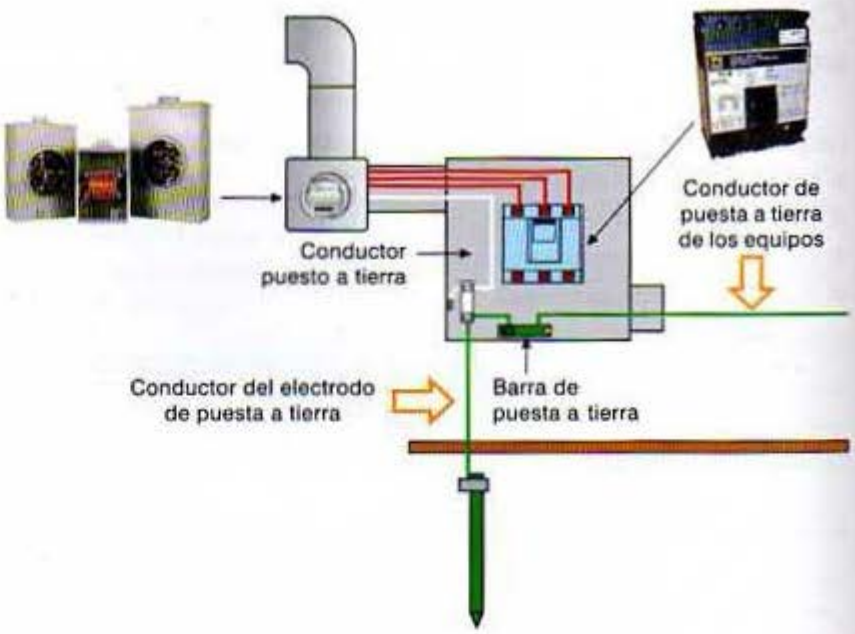


Fig. 44 Conductor de puesta a tierra y conductor de puesta a tierra de los equipos

Conductor puesto a tierra: Conductor de un sistema o circuito intencionalmente puesto a tierra.

Puesto a tierra eficazmente: Conectado al terreno natural intencionalmente a través de una interconexión o conexiones que tengan una impedancia suficientemente baja y capacidad de conducción de corriente, que prevengan la formación de tensiones eléctricas peligrosas a las personas o a los equipos conectados.

Puente de unión, circuito: Interconexión entre partes de un conductor en un circuito para mantener la capacidad de conducción de corriente requerida por el circuito.

Puente de unión, equipo: Interconexión entre dos o más partes del conductor de puesta a tierra del equipo.

Puente de unión, principal: Interconexión en la acometida entre el conductor del circuito puesto a tierra y el conductor de puesta a tierra del equipo.

Puente de unión: Conductor confiable, para asegurar la conductividad eléctrica requerida entre partes metálicas que requieren ser conectadas eléctricamente.

Puesto a tierra: Conectado al terreno natural o a algún cuerpo conductor que pueda actuar como tal.

Unión: Interconexión permanente de partes metálicas para formar una trayectoria eléctricamente conductora que asegure la continuidad y capacidad de conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica a la que puedan estar sometidas.

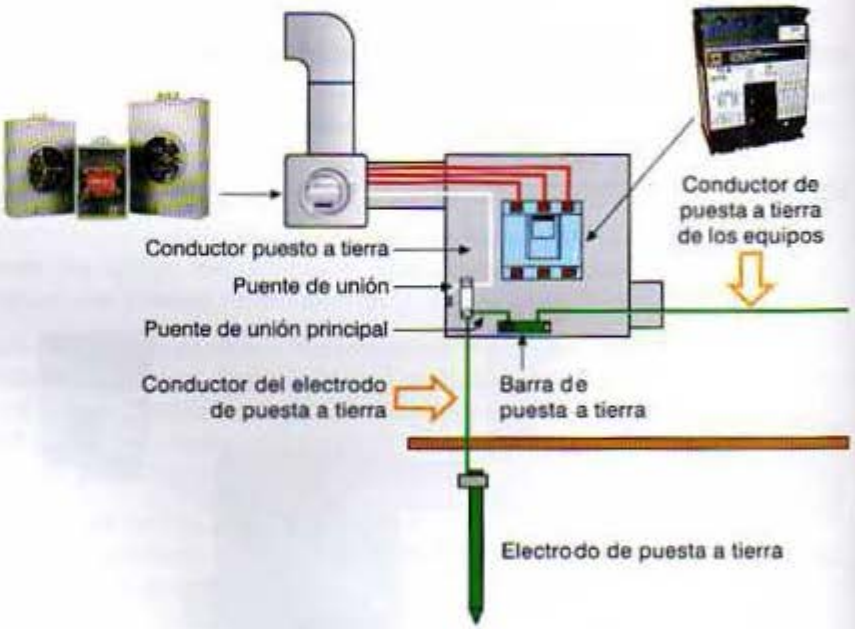


Fig. 45 Definiciones de los términos utilizados en la puesta a tierra

Exposición a una descarga eléctrica

El peligro de una descarga eléctrica en una instalación eléctrica resulta del contacto de una persona con componentes metálicos que no son intencionalmente energizados.

El deterioro o falla de aislamiento de un conductor que se encuentre energizado puede causar un contacto con la canalización en la que se aloja, provocando que la canalización se energice al mismo potencial que tiene el conductor. Es por eso que la puesta a tierra del equipo se considera una parte esencial del sistema eléctrico, para nulificar los potenciales peligrosos que pudieran presentarse y poner en riesgo de daño a las personas y a los equipos.

La impedancia de la puesta a tierra del equipo deberá ser de un valor muy bajo para que la corriente de falla a tierra no provoque potenciales peligrosos.

Capacidad adecuada del conductor de puesta a tierra

El conductor de puesta a tierra deberá de ser capaz de conducir la corriente de falla a tierra sin deteriorarse. La instalación eléctrica puede presentar trayectorias en paralelo de retorno de falla a tierra con una capacidad de corriente inadecuada.

Un adecuado diseño, instalación y mantenimiento de la puesta a tierra del equipo es vital para reducir los peligros de incendios.

La supervisión eléctrica es fundamental en la construcción de una instalación eléctrica y deberá contar con los conocimientos requeridos por la Normatividad Vigente en la ejecución adecuada de la puesta a tierra del equipo.

Liberación de la falla a tierra por el dispositivo de protección contra sobrecorriente

El dispositivo de protección contra sobrecorriente es un elemento esencial en la puesta a tierra del equipo, el cual para operar o liberar la falla rápidamente, requiere de una trayectoria de baja impedancia para la circulación de la corriente de falla a tierra.

Conceptos fundamentales

Todos los conductores que formen un circuito eléctrico para alimentar una carga deberán de instalarse juntos. Es decir, deberán estar juntos en la misma canalización: las fases, conductor puesto a tierra (cuando se requiera), conductor de puesta a tierra.

Es importante que el conductor de puesta a tierra se aloje en la misma canalización debido a que la separación del conductor de fase influye en la impedancia del conductor de puesta a tierra. Entre más cercano se encuentre al conductor de fase la impedancia será más baja y si se aleja del conductor de fase la impedancia aumentará y por lo tanto aumentará el voltaje de descarga eléctrica.

Campo magnético de un conductor de fase y un conductor de puesta a tierra

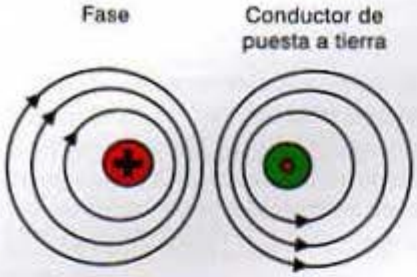


Fig. 46 Campo magnético en dos conductores

Los círculos alrededor del conductor de fase son el campo magnético que está asociado con la reactancia del conductor. Así mismo, los círculos alrededor del conductor de puesta a tierra se consideran asociados con la reactancia del propio conductor.

El acoplamiento que existe entre ellos es magnético, debido a que están separados físicamente, si el circuito es cerrado, es decir, se une el conductor de fase y el conductor de puesta a tierra, entonces habrá una circulación de corriente por el conductor de puesta a tierra.

Canalización metálica

Si los conductores de fase y el neutro son instalados dentro de una tubería (conduit) metálica y la propia tubería se utiliza como conductor de puesta a tierra, cuando ocurriera una falla a tierra, la corriente de cortocircuito de falla a tierra, se distribuirá uniformemente.

Tubería metálica como conductor de puesta a tierra

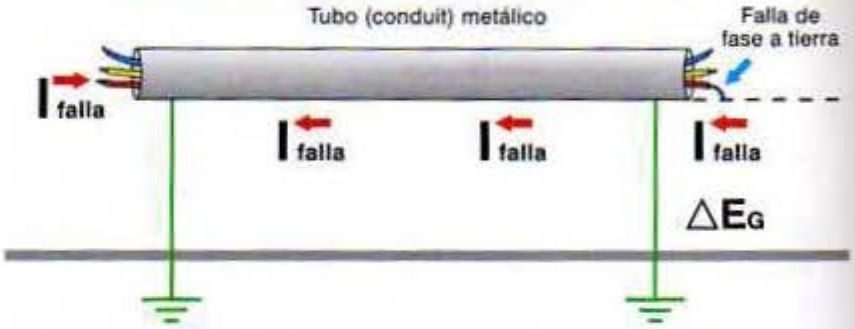


Fig. 47 Tubería metálica utilizada como conductor de puesta a tierra

Los campos eléctricos y magnéticos son contenidos dentro de la tubería (conduit) metálica y el campo en el exterior tenderá a ser cero.

La Normatividad Vigente permite utilizar la tubería (conduit) metálica como conductor de puesta a tierra; pero sus conexiones, terminaciones, conectores, deberán estar adecuadamente terminados para que no sea introducida una impedancia adicional.

La tubería (conduit) metálica es preferida para utilizarse como conductor de puesta a tierra. Al ocurrir una falla a tierra se producirá un gradiente de potencial a lo largo del conductor de puesta a tierra debido a la caída de tensión que resulta por la propia impedancia.

El efecto del material magnético dentro de la pared del tubo (conduit) metálico confina la corriente de fase a tierra de retorno a lo largo de la pared interna, penetrando a la superficie exterior como saturación magnética dentro del acero cuando ocurren corrientes de falla a tierra de larga duración.

Si se utiliza la tubería (conduit) metálica como canalización de un circuito y se adiciona en su interior un conductor de puesta a tierra, se reducirá la impedancia de puesta a tierra del equipo y el voltaje de descarga eléctrica.

Tanto la tubería (conduit) metálica como el conductor de puesta a tierra quedarán en paralelo, por lo que la impedancia de la trayectoria de retorno de la corriente de falla de a tierra se reducirá y se permitirá que la longitud del circuito alimentador se pueda incrementar.

Por lo tanto, el trabajo de un electricista que construye una instalación eléctrica no se debe de subestimar.

Componentes del circuito de impedancia

La expresión general en un sistema trifásico para una falla de fase a tierra es:

$$I_F = \frac{3 E_A}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_G}$$

Z_1 – Impedancia de Secuencia Positiva, Ohms por fase

Z_2 – Impedancia de Secuencia Negativa, Ohms por fase

Z_0 – Impedancia de Secuencia Cero = $Z_0 + 3 Z_G$

E_A – Voltaje de fase a neutro, Volts

Z_G – Impedancia del circuito de retorno a tierra, incluyendo falla por arco, el circuito de puesta a tierra y la impedancia del neutro intencional

Las múltiples conexiones de puesta a tierra muchas veces resultan en el concepto erróneo de que el resultado será favorable. Lo que se puede obtener es:

A) No se presentarán voltajes peligrosos en las conexiones de puesta a tierra a la estructura.

B) Existirán múltiples trayectorias de retorno para la corriente de falla a tierra a su lugar de origen.

Las desventajas son:

A) Debido a la división de la corriente por las múltiples trayectorias de retorno de la corriente de falla a tierra, en algunas partes en que las uniones no se encuentren firmes se pueden producir arcos eléctricos, pudiéndose iniciar un incendio o puntos de una descarga eléctrica para las personas.

B) Se incrementará la impedancia de la trayectoria de retorno de la corriente de falla a tierra cuando el conductor de puesta a tierra se encuentre alejado del conductor de fase.

Puente de unión entre la canalización metálica y el conductor de puesta a tierra.
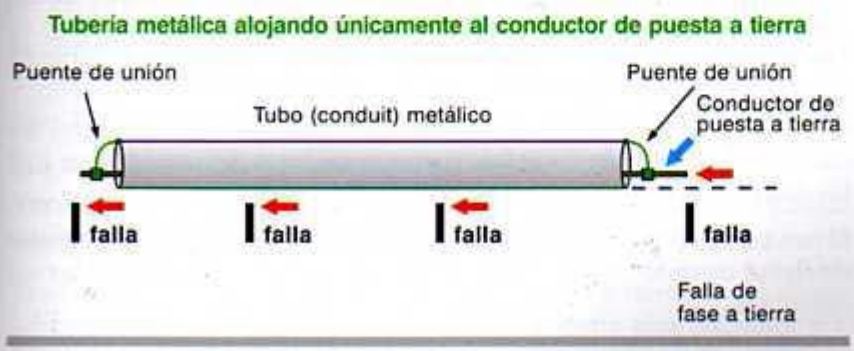


Fig. 48 Unión entre la tubería (conduit) y el conductor de puesta a tierra

Cuando se tiene una instalación, en donde instala un conductor de puesta a tierra únicamente dentro de una tubería (conduit) metálica. La función que tiene el conductor de puesta a tierra es conducir la corriente de falla a tierra a su lugar de origen. Como la canalización es metálica se incrementará el campo magnético producido por la corriente de falla a tierra.

Si la tubería (conduit) es plástica o de pvc, no se presentará este efecto.

Se deben hacer puentes de unión entre el conductor de puesta a tierra y la tubería (conduit) metálica para prevenir:

A) El aumento de la caída de tensión.
B) Caída de tensión baja, asociada a la sección transversal y a la longitud del conductor de puesta a tierra.
C) Permitir que la tubería (conduit) metálica transporte la mayor cantidad de corriente de falla a tierra.

Puesta a tierra de apartarrayos

La función que tiene el conductor de puesta a tierra en la conexión a un apartarrayos, es proveer una trayectoria efectiva a tierra, para transportar la onda de corriente de una sobretensión que pudiese dañar a los equipos eléctricos.

Alambrado de instalaciones eléctricas.

Toda la puesta a tierra del equipo de las instalaciones eléctricas se deberá de diseñar aplicando la Ingeniería Eléctrica y de acuerdo a los requerimientos mínimos de la Normatividad Vigente.

La Normatividad Vigente nos indica los requerimientos mínimos que deben cumplir las instalaciones eléctricas, pero no pueden ser adecuados para una instalación eléctrica en particular. Es por eso la importancia de realizar los cálculos eléctricos en base a la Ingeniería Eléctrica.

Circuitos eléctricos

Todo circuito eléctrico utilizado para suministrar energía eléctrica a un equipo, deberá de instalarse con sus conductores de fase, conductor neutro o conductor puesto a tierra (si se utiliza) y el conductor de puesta a tierra, en la misma canalización o cable.

El conductor de puesta a tierra deberá de conectarse a la terminal de puesta a tierra del equipo.

El conductor de puesta a tierra tiene la función principal de conducir la corriente de falla a tierra a su lugar de origen para que los dispositivos de protección operen y liberen la falla.

El conductor de puesta a tierra no deberá de conducir ninguna corriente eléctrica cuando el circuito funcione en condiciones normales de operación.

El conductor de puesta a tierra mantendrá el mismo potencial a tierra, es decir, tendrá cero potencial.

Propiedades de los conductores de puesta a tierra

Cuando se utiliza la tubería (conduit) metálica como conductor de puesta a tierra no es necesario tomar consideraciones especiales para la conducción de la corriente de falla a tierra, **pero sí tener en cuenta las uniones entre cajas, accesorios, gabinetes, accesorios de puesta a tierra.**

Cuando se utiliza un conductor de puesta a tierra monopolar dentro de la canalización ya sea metálica o no metálica, el cálculo deberá considerar el valor térmico del conductor que no sea excedido.

Exceder el valor térmico de los conductores tiene los siguientes efectos:

A) Incrementa la temperatura del conductor y por consiguiente empezará a modificar las propiedades de su aislamiento en caso que el conductor de puesta a tierra se instale con aislamiento.
Si el conductor de puesta a tierra se instala sin aislamiento (desnudo) puede dañar a los conductores adyacentes a él, cuando transporta la corriente de falla a tierra.

B) Puede fundir al conductor de puesta a tierra, creando con ello una instalación eléctrica peligrosa, debido a que los dispositivos de protección contra sobrecorriente no operarían y no liberarían la falla a tierra.

En el término $I^2 t$, **I** es la corriente de falla a tierra que circulará por el conductor de puesta a tierra y **t** es el tiempo que se tarda el dispositivo de protección contra sobrecorriente en liberar la falla a tierra.

El incremento en la temperatura puede considerarse a una alta corriente de falla a tierra o al largo tiempo en que se libera la falla.

Daño del aislamiento de los conductores

El daño en el aislamiento termoplástico, polietileno de cadena cruzada y el hule propileno-etileno, está definido por la ecuación:

$$\frac{I^2 t}{A} = 0{,}0297 \log \frac{Tm + 234}{Ti + 234}$$

I- Corriente de falla a tierra a través del conductor, en Amperes.

A- Sección transversal del conductor, en circular mils.

t- Tiempo de duración de la falla a tierra, en seg.

Ti- Temperatura de operación inicial – °C

Tm- Temperatura máxima de no daño – °C

Tm máxima para aislamiento termoplástico – 150 °C

Tm máxima para aislamiento polietileno de cadena cruzada – 250 °C

Tm máxima para aislamiento etileno-propileno – 250 °C

Si el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra no se diseñó adecuadamente para la corriente de falla a tierra que circulará y el tiempo de respuesta del dispositivo de protección contra sobrecorriente, existirá dentro de la canalización daño al aislamiento de los conductores de fase.

Tubería (conduit) metálica como conductor de puesta a tierra

Al utilizar el tubo (conduit) metálico como conductor de puesta a tierra, cuando el circuito eléctrico trabaja en condiciones normales de operación, por el tubo (conduit) metálico se inducirán corrientes Eddy como lo muestra la figura 49 (1).

Trayectoria de la corriente de falla en el tubo (conduit) metálico

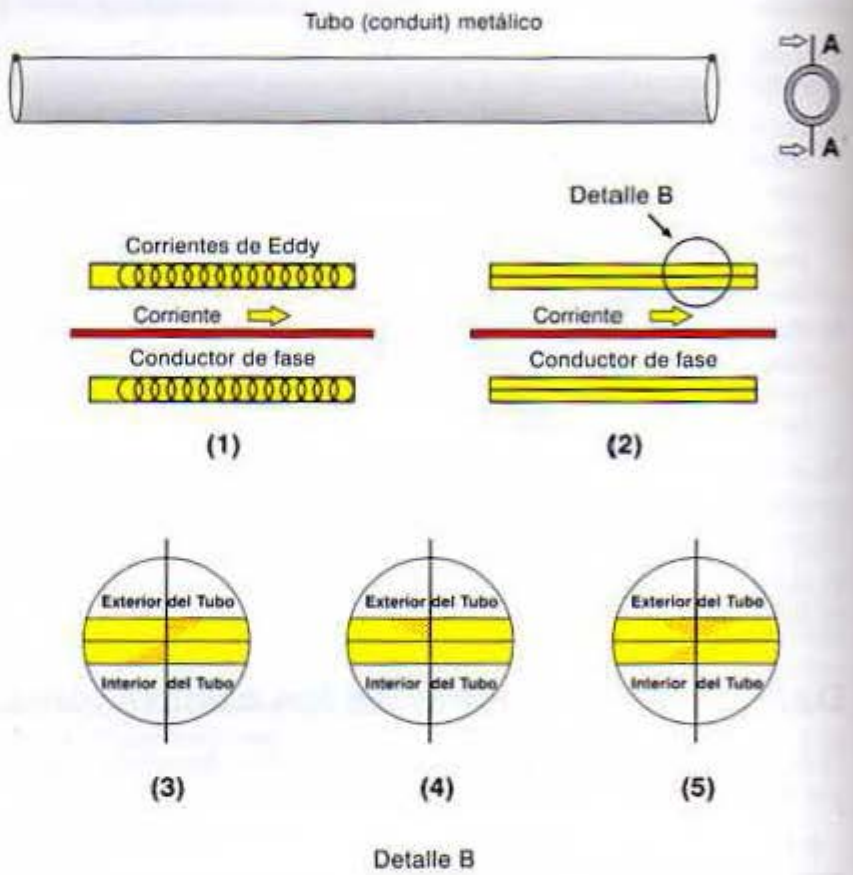


Fig. 49 Circulación de la corriente de falla por la tubería (conduit) metálica

La distribución de la corriente se muestra en la figura 49 (2) y se muestra en el detalle B (3), cuando ocurre una falla a tierra y regresa por el tubo (conduit) metálico, la corriente de falla regresará por la superficie exterior por el efecto piel, como muestra el detalle B (4), y cuando las dos corrientes se distribuyen, estas se sobrepondrían dando como resultado el detalle B (5).

Prueba de la tubería (conduit) metálica.

La prueba del tubo (conduit) metálico como conductor de puesta a tierra se realiza de la siguiente forma:

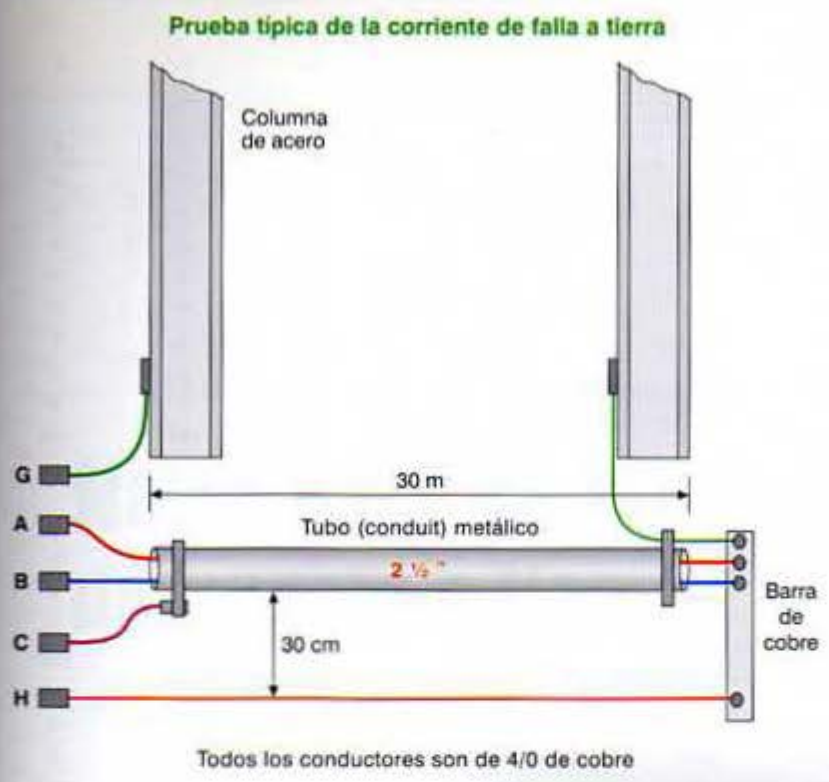


Fig. 50 Prueba de los conductores de puesta a tierra

La prueba se realiza de la siguiente manera:

- Prueba A1 (A-B) se hace circular una corriente total de 350 Amperes sobre la terminal A y la corriente de 350 Amperes regresará por la terminal B.
- Prueba A2 (A-C) se hace circular una corriente total de 350 Amperes sobre la terminal A y la corriente de 350 Amperes regresará por la terminal C.
- Prueba A3 (A-C) se hace circular una corriente total de 200 Amperes sobre la terminal A y la corriente de 200 Amperes regresará por la terminal C.
- La prueba B7 muestra una corriente que circula por el conductor A y el retorno de la corriente se realizará a través de C (tubo (conduit) metálico) y por G (estructura). La mayor parte de la corriente regresará por el tubo (conduit) metálico.
- La prueba A8, A9, B8, B9, involucra el tubo (conduit) metálico y el conductor de puesta interno en el tubo (conduit) metálico como retorno de la corriente de falla de a tierra, de lo que se observa que circulará casi la mitad de corriente de falla tanto en el tubo (conduit) metálico, como en el conductor de puesta a tierra.

Prueba No.	Corriente circulante		Magnitudes de la corriente					
	Fuera	Regresa	I_x	I_c		I_a	I_b	I_c
	Sobre	Sobre	Total	Amperes	Porcentaje del total			
Pruebas de corriente bajas								
A1	A	B	350	0	100	350	0	0
A2	A	C	350	350	100	0	0	0
A3	A	C	200	200	97	0	0	0
A4	A	CH	350	340	95	0	12	0
A5	A	CH	200	190	97	0	8	0
A6	A	CG	350	340	90	0	0	12
A7	A	CG	200	180	18	0	0	8
A8	A	CB	350	62	20	290	0	0
A9	A	CB	200	40	0	150	0	0
A10	A	GC	350	0	0	0	160	160
A11	A	GC	200	0		0	98	98
Pruebas de corriente altas								
B2	A	C	11 200	11 200	100	0	0	0
B3	A	C	11 070	11 070	100	0	0	0
B4	A	CH	11 070	11 200	101	0	1140	0
B5	A	CH	11 080	11 090	100	0	1220	0
B6	A	CG	10 830	10 770	99	0	0	1080
B7	A	CG	10 910	10 780	99	0	0	1145
B8	A	CB	11 620	5810	50	5660	0	0
B9	A	CB	11 380	6070	53	5620	0	0
B10	A	CH	8710	0	0	0	4300	4500

La siguiente tabla muestra la división de la corriente de retorno de falla a tierra cuando se utiliza el conductor de puesta a tierra dentro del tubo (conduit) metálico. Uniendo el conductor de puesta a tierra con el tubo (conduit) metálico.

Tamaño nominal AWG	Conduit mm	Corriente total Amperes	Corriente en el conductor Amperes	Corriente en el tubo (conduit) Amperes
6	16	100	3	97
6	16	300	5	295
2	21	90	7	83
2	21	350	10	340
2/0	27	150	15	135
2/0	27	590	5	585
4/0	35	225	15	210
4/0	35	885	15	870

Naturaleza de un electrodo de puesta a tierra

Contenido

Naturaleza de un electrodo de puesta a tierra . . .62
Cómo instalar un buen electrodo de puesta a tierra. 63
Tratamiento del terreno. 66

Naturaleza de un electrodo de puesta a tierra

La resistencia de un electrodo de puesta a tierra que sirve para que pase a través de él la corriente eléctrica. Actualmente tiene 3 elementos:

1. La resistencia del electrodo de puesta a tierra y sus conectores.
2. La resistencia de contacto entre el electrodo de puesta a tierra y la tierra adyacente a él.
3. La resistencia de la tierra alrededor del electrodo.

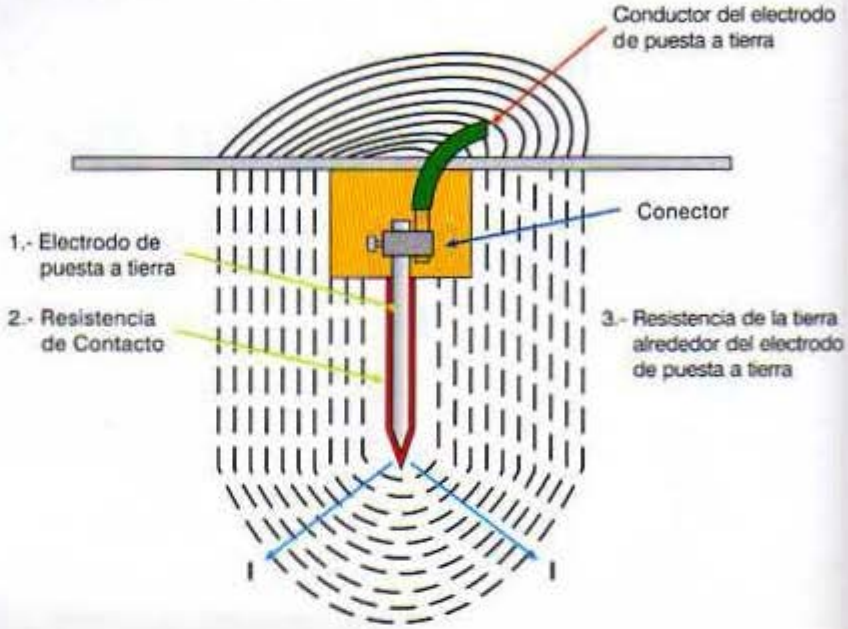


Fig. 51 Componentes del electrodo de puesta a tierra

Resistencia del electrodo de puesta a tierra. Las varillas de acero con cubierta de cobre, las tuberías metálicas de agua, la estructura metálica del inmueble, el electrodo empotrado en concreto, el anillo de tierra y otros electrodos son comúnmente utilizados como sistemas de electrodos de puesta a tierra. Estos son usualmente de una sección transversal para que su resistencia sea una parte menor de la resistencia total del sistema de tierra.

Resistencia de contacto entre el electrodo de puesta a tierra y la tierra. Esto es mucho menor de lo que se piensa. Si el electrodo de puesta a tierra está libre de pintura y grasa, y la tierra se encuentra firmemente compactada, se puede concluir que la resistencia de contacto es despreciable. La oxidación de un electrodo de acero tiene poco efecto o es despreciable; el óxido del acero esta fácilmente mojado con agua y tendrá una resistencia menor que los mejores suelos. Pero si una tubería de acero se encuentra oxidada, en la parte dañada no será efectiva y la resistencia a tierra de dicho electrodo de puesta a tierra variará.

Resistencia de la tierra alrededor del electrodo de puesta a tierra. Un electrodo de puesta a tierra que se entierre dentro de la tierra con una resistividad uniforme, radiará corriente en todas las direcciones. Alrededor de un electrodo se tienen líneas de tierra, todas son iguales en espesor.

Las líneas más cercanas al electrodo de puesta a tierra naturalmente tienen una superficie más pequeña y así presentan la resistencia más alta. Las líneas de tierra siguientes son más grandes en área y presentan menor resistencia. Finalmente se deberá conservar una distancia alrededor del electrodo puesta a tierra, de tal manera que si se adicionan líneas de tierra, no se incremente significativamente la resistencia de la tierra alrededor del electrodo de puesta a tierra.

Generalmente, la resistencia de la tierra deberá ser mayor que los tres componentes que forman la resistencia de una conexión a tierra. Los factores más severos que pueden afectar este valor se discutirán en la sección de la Resistividad del Suelo, en la cual se verá que la resistividad del suelo depende del tipo de terreno, del contenido de humedad y de la temperatura. El valor de la resistividad del suelo se maneja generalmente de 50 a 50 000 Ohms-cm.

Cómo instalar un buen electrodo de puesta a tierra

Cuando se instala un electrodo de puesta a tierra y resulta que al realizar la medición de la resistencia no tiene un valor bajo, existen las siguientes opciones para disminuir el valor de la resistencia a tierra:

- Utilizar un electrodo de puesta a tierra largo dentro del terreno.
- Utilizar electrodos de puesta a tierra múltiples.
- Tratamiento del terreno.

Al utilizar electrodos de puesta a tierra con una longitud menor a 3 mts, se obtendrán resistencias a tierra altas. Pero si se instalan varillas con una longitud de 3 mts, se obtendrá un valor de resistencia menor.

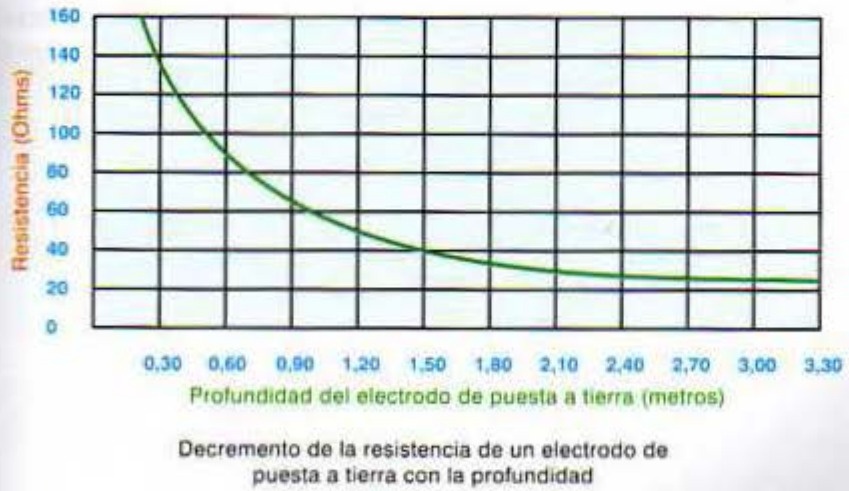


Fig. 52 Gráfica de resistencia vs profundidad del electrodo de puesta a tierra

Si se utilizan 2 ó más electrodos de puesta a tierra conectados al mismo

sistema de tierra, proveerá caminos en paralelo, hay en efecto dos resistencias en paralelo. La regla de dos resistencias en paralelo no se aplica exactamente. Esto es, el resultado de la resistencia a tierra no es la mitad de la resistencia a tierra individual (asumiendo que son de la misma longitud y están enterradas a la misma profundidad).

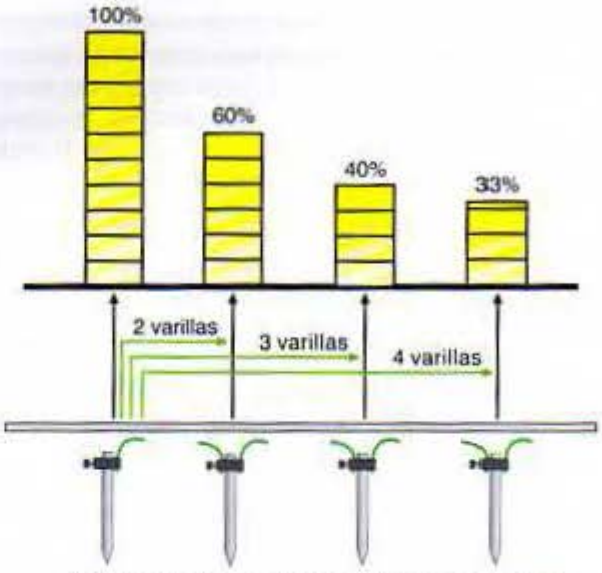


Fig. 53 Gráfica de electrodos de puesta a tierra en paralelo

La reducción de 2 electrodos de puesta a tierra iguales es aproximadamente del 60%.

Si son utilizados tres electrodos de puesta a tierra, la reducción será aproximadamente del 40%.

Si son 4 electrodos de puesta a tierra, la reducción será del 33%.

Cuando se utilizan múltiples electrodos de puesta a tierra, estos deberán

espaciarse por lo menos la longitud de ellos. Existen muchas razones teóricas para esto, pero sólo se necesita conocer la siguiente curva. Por ejemplo si se tienen dos varillas espaciadas 3 mts., la resistencia bajara aproximadamente el 60%. Si el espacio entre las varillas se incrementa a 6 mts, la reducción será aproximadamente del 50%.

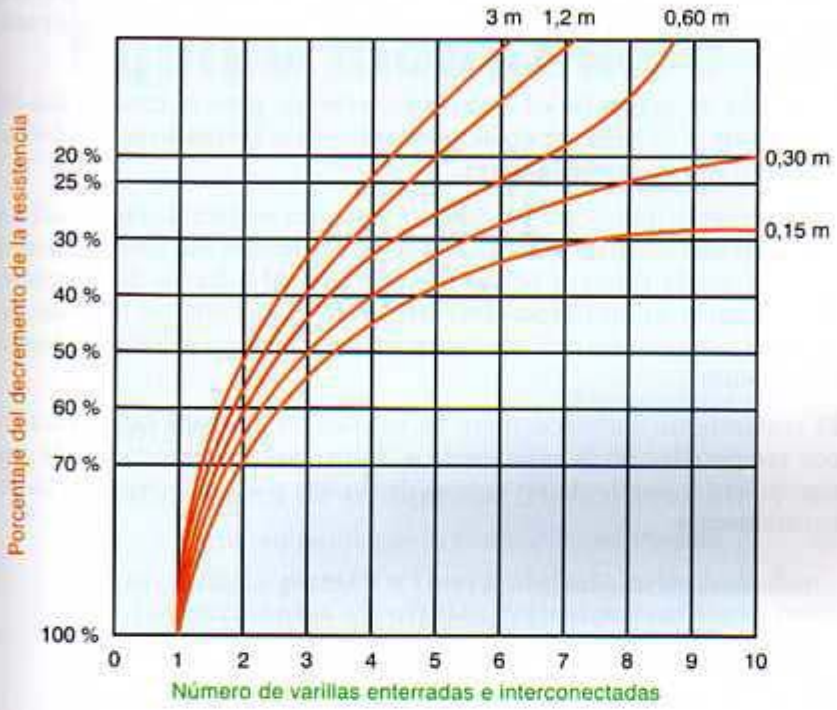


Fig. 54 Gráfica de decremento de resistencia vs número de electrodos de puesta a tierra interconectados

Tratamiento del terreno

El tratamiento químico del terreno es una buena medida para cuando la resistencia del electrodo de puesta a tierra es muy alta; cuando el terreno es muy duro o rocoso.

Se deberá considerar el efecto corrosivo sobre el electrodo de puesta a tierra; el sulfato de magnesio, el sulfato de cobre y la ordinaria roca de sal son materiales no corrosivos.

El sulfato de magnesio es el menos corrosivo, pero la roca de sal es más barata y de menor trabajo para aplicar en la trinchera alrededor del electrodo de puesta a tierra.

El tratamiento químico no es permanente para mejorar la resistencia a tierra del electrodo de puesta a tierra. Los químicos son gradualmente lavados por la lluvia y por el drenaje natural a través del terreno. Dependiendo de lo poroso del terreno y de la lluvia, el periodo de reemplazamiento variará. En las épocas más severas se requerirá otro tratamiento.

El tratamiento químico tiene la ventaja de reducir la variación por temporadas en la resistencia a tierra, que los resultados de un terreno sin tratamiento en épocas de lluvias y épocas secas no tiene naturalmente.

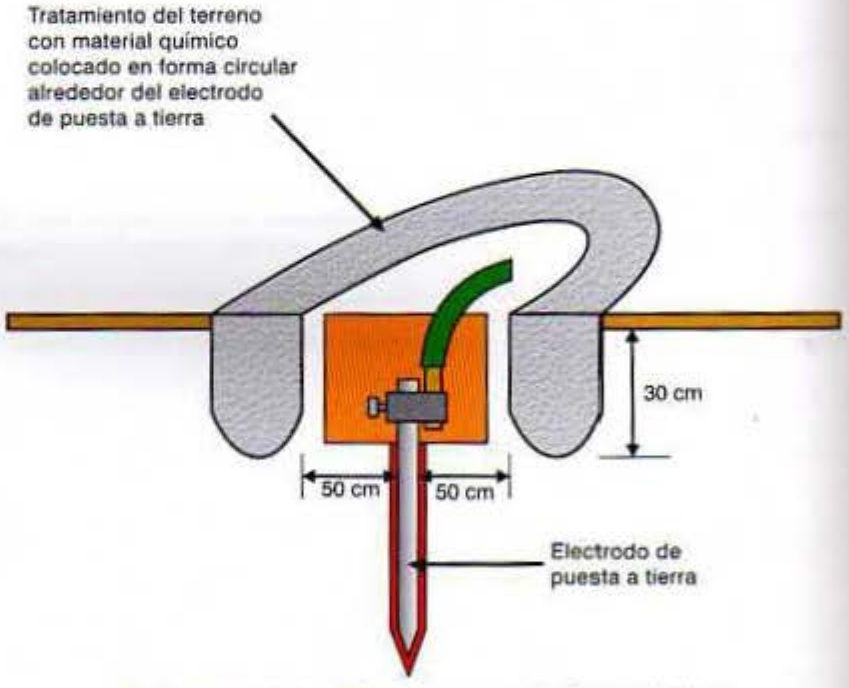


Fig. 55 Tratamiento químico del terreno

Puesta a tierra de equipo electrónico sensible

Contenido

Puesta a tierra de equipo electrónico sensible . . . 68

Puesta a tierra requerida por la Normatividad Vigente. 69

Técnica de la puesta a tierra aislada relacionada con las corrientes y voltajes errantes 69

Receptáculo con terminal de puesta a tierra aislada 71

Bus de tierra aislada 71

Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra aislados. 71

Subsistemas de puesta a tierra 73

Conceptos básicos de la puesta a tierra y puentes de unión. 74

Efectos resonantes en los conductores de puesta a tierra y puentes de unión. 75

Subsistema de electrodo de puesta a tierra 75

Subsistema de puesta a tierra de protección de falla para el personal. 76

Introducción al sistema de puesta a tierra de referencia de señal 77

Puesta a tierra en un sólo punto 78

Subsistema de protección contra descargas atmosféricas 84

Puesta a tierra de equipos electrónicos sensibles 85

Configuración de la puesta a tierra de alta frecuencia. 85

Puesta a tierra de equipo electrónico sensible

El equipo electrónico sensible es aquél que es altamente sensible a las cargas generadas como la estática generada por movimientos del cuerpo humano, a los voltajes inducidos en la tierra (terreno natural) durante las descargas atmosféricas, así como a las corrientes no deseables en los conductores de puesta a tierra y en el sistema de tierra.

La calidad de la energía para los equipos electrónicos sensibles depende de un adecuado diseño e instalación del sistema de tierra.

Los equipos electrónicos sensibles son:

- Computadoras
- Servidores
- Equipos de control de antenas parabólicas
- Sistemas de telefonía
- Controladores lógicos programables (PLC)
- Procesos de plantas
- Sistemas de control, etc.

La puesta a tierra sin ruido es aquella que tiene conductores de puesta a tierra aislados de los conductores de puesta a tierra convencionales (requeridos en un sistema eléctrico por la Normatividad Vigente).

El ruido eléctrico en el sistema de tierra es una conexión eléctrica en algún punto que produce o inyecta voltajes dentro de los equipos electrónicos sensibles a través del sistema de tierra.

La puesta a tierra aislada de los equipos tiene como finalidad no introducir ruido electromagnético, corrientes errantes y voltajes, a los equipos electrónicos sensibles.

Esto no quiere decir que los electrodos de puesta a tierra estén aislados ya que la tierra (terreno natural) presenta una resistencia eléctrica que deberá tomarse en cuenta en un circuito eléctrico.

Siempre existirán corrientes circulantes por la tierra (terreno natural) que producirán diferencias de potencial entre electrodos de puesta a tierra, cuando se encuentran muy juntos.

Las diferencias de potencial entre electrodos de puesta a tierra se acentúan durante las tormentas eléctricas.

Los sistemas eléctricos requeridos por los equipos electrónicos sensibles deberán de cumplir con la Normatividad Vigente.

Generalmente, los fabricantes de estos equipos electrónicos diseñan y realizan la instalación eléctrica, lo que ocasiona problemas frecuentes entre los dos sistemas eléctricos.

También los ingenieros que instalan estos equipos tienen problemas con el ruido eléctrico.

Utilizan métodos de puesta a tierra que violan la Normatividad Vigente, con lo que trae como consecuencia que la instalación eléctrica sea insegura y los equipos que cuestan grandes cantidades de dinero se puedan dañar, ocasionando grandes pérdidas a las compañías.

Para prevenir el ruido eléctrico que afecta a los equipos, primero el diseño y la instalación eléctrica del sistema de distribución deberá de cumplir con la Normatividad Vigente, segundo se deberá de diseñar e instalar un sistema de puesta a tierra de referencia para el ruido de alta frecuencia.

Puesta a tierra requerida por la Normatividad Vigente.

La puesta a tierra de un sistema eléctrico es esencial para la de las personas y para su funcionamiento adecuado.

La puesta a tierra:

- Provee una trayectoria de baja impedancia para que regresen las corrientes de falla a tierra a su lugar de origen, así como el funcionamiento rápido de los dispositivos de protección para liberar la falla a tierra.
- Mantener el mismo potencial entre partes metálicas que normalmente no conducen corriente eléctrica, para la protección de las personas.
- Control de sobrevoltajes.

Técnica de la puesta a tierra aislada relacionada con las corrientes y voltajes errantes

La puesta a tierra aislada para la puesta a tierra de los equipos electrónicos sensibles nace en el mismo punto que la puesta a tierra de seguridad o convencional (requerida por la Normatividad Vigente), como se indica en la figura 56.

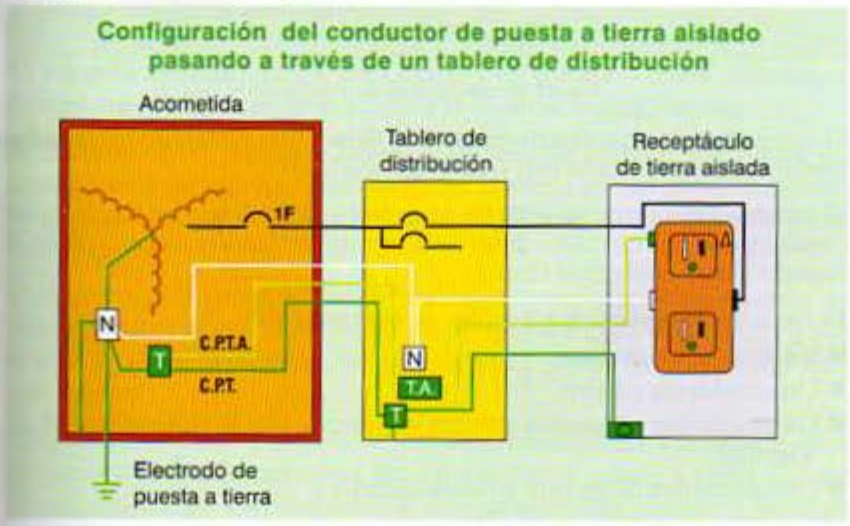


Fig. 56 Puesta a tierra aislada

Después de ese punto de unión entre el conductor de puesta a tierra aislada y el conductor de puesta a tierra de seguridad o convencional

(requerido por la Normatividad Vigente) ya sea en la fuente de suministro o en el primer medio de desconexión no se deberá de unir en ningún punto.

Los errores típicos de alambrado que producen las corrientes indeseables en los conductores de puesta a tierra son:

- Las uniones entre el conductor neutro y el conductor de puesta a tierra en los subtableros de distribución.
- La conexión inadecuada en un receptáculo con terminal de puesta a tierra aislada del conductor neutro en la terminal de puesta a tierra y del conductor de puesta a tierra aislada en la terminal del neutro del receptáculo.
- La conexión inadecuada entre el conductor de puesta a tierra aislada y el conductor neutro en las terminales de la carga.

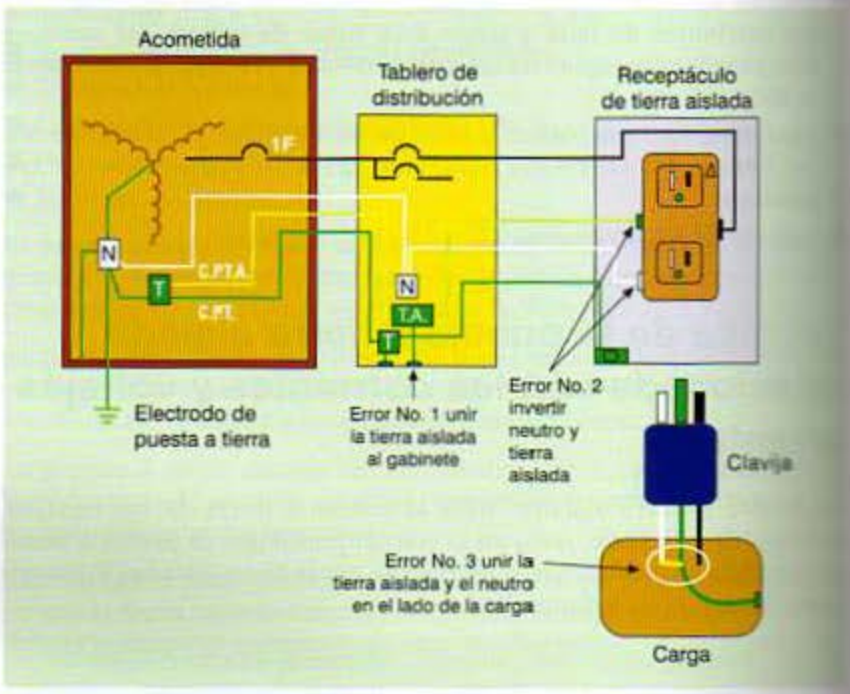


Fig. 57 Errores típicos de alambrado

El conductor de puesta a tierra aislado debe tener aislamiento de color verde o de color verde con franjas amarillas.

El conductor de puesta a tierra aislado se deberá de instalar con los conductores del circuito, dentro de la misma canalización o cable, o soporte para cables tipo charola.

El circuito monofásico a 2 hilos, se compone de:

- Un conductor de fase
- Un conductor neutro
- Un conductor de puesta a tierra (requerido por la Normatividad Vigente)
- Un conductor de puesta a tierra aislado.

El circuito monofásico a 3 hilos, se compone de:

- Dos conductores de fase
- Un conductor de puesta a tierra (requerido por la Normatividad Vigente)

- Un conductor de puesta a tierra aislado

El circuito trifásico 3 fases, 4 hilos, se compone de:

- Tres conductores de fase
- Un conductor neutro
- Un conductor de puesta a tierra (requerido por la Normatividad Vigente)
- Un conductor de puesta a tierra aislado

Receptáculo con terminal de puesta a tierra aislada

Los receptáculos con terminal de puesta a tierra aislada están identificados permanentemente por un color anaranjado y un triángulo o delta sobre la cara del receptáculo.

Desde fábrica la terminal de puesta a tierra se encuentra aislada del chasis.

Al utilizar el sistema de puesta a tierra aislada, se deberá de usar solamente receptáculos con terminal de puesta a tierra aislada.

Bus de tierra aislada

En el tablero principal, en los tableros de distribución u otro equipo eléctrico en los que se instale un bus de puesta a tierra aislada, no se deberá de unir a ninguna parte metálica de los mismos.

La separación de los buses del neutro, del conductor de puesta a tierra y del conductor de puesta a tierra aislada, facilitará las mediciones de corriente o de voltaje cuando sean requeridas.

Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra aislados.

El tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra aislados se deberá de seleccionar de acuerdo a la Normatividad Vigente.

El conductor de puesta a tierra se deberá de instalar junto con los conductores de mismo circuito; de no hacerlo así, se incrementará la impedancia durante el funcionamiento normal o cuando ocurra una falla a tierra.

Esta condición puede afectar significativamente la operación en caso de falla de los dispositivos de protección contra sobrecorriente, dispositivos de protección de transitorios y filtros instalados del lado del equipo.

El uso de cualquier electrodo de puesta a tierra aislado o separado, para el uso del punto de conexión del conductor de puesta a tierra aislado en un equipo, es una violación a la Normatividad Vigente y pone en peligro de daño a los equipos.

La instalación inadecuada del conductor de puesta a tierra aislada puede traer las siguientes consecuencias:

- Los dispositivos de protección contra sobrecorriente en caso de falla a tierra no liberarán la falla, debido a que se presentará un camino de alta impedancia para el retorno de la corriente de falla a su origen.
- Existirán diferencias de potencial en el electrodo de puesta a tierra aislado, gabinetes, equipo conectado y otros equipos puestos a tierra.

Durante las tormentas eléctricas se crearán condiciones inseguras debido a los millones de Volts que se presentan, al caer una descarga atmosférica, entre dos o más electrodos de puesta a tierra.

Fuentes de disturbios por voltajes transitorios:

- Caídas de tensión frecuentes.
- Corrientes Inrush de: transformadores, motores, filtros LC.
- Corrientes de falla a tierra.
- Interacciones con los reguladores de voltaje.
- Cargas lineales y no lineales.

La carga lineal es aquella que tiene una onda de corriente senoidal cuando se alimenta de una fuente de voltaje senoidal.

La carga no lineal es aquella que tiene una onda de corriente no-senoidal cuando se alimenta de una fuente de voltaje senoidal.

El efecto que presentan las cargas no lineales es el equivalente a adicionar una o más fuentes de corrientes al sistema eléctrico que producen la circulación de corrientes armónicas entre la fuente y el suministrador.

Cuando las corrientes armónicas originadas por las cargas no-lineales circulan a través de la impedancia interna de la fuente de alimentación de corriente alterna producirá una caída de tensión en la impedancia interna de la fuente por cada corriente armónica, en adición a lo que ocurre con la corriente fundamental.

Sobre una base de Amper, un Amper de la 3ª armónica producirá aproximadamente 3 veces la caída de tensión de 1 Ampere de la corriente fundamental y así sucesivamente.

Los transformadores normales se calentarán debido a las corrientes armónicas.

Para alimentar cargas no-lineales se deberá de instalar un transformador tipo seco con factor-K. Es decir, nos indica que es apropiado para cargas con corrientes de onda no-senoidales.

El factor K relaciona la capacidad de un transformador de servir varios grados de la capacidad de las cargas no-lineales, sin exceder los límites de temperatura.

Además del calentamiento del transformador, el conductor neutro en un sistema trifásico de 3 fases, 4 hilos, conectado en estrella, se deberá diseñar para tener la capacidad de conducir continuamente 2 veces la máxima corriente de fase. Es decir, diseñarlo al 200% de la capacidad de corriente del conductor de fase.

Esto es, debido a que las cargas no-lineales se conectan de fase a neutro, las corrientes armónicas asociadas con los múltiplos de 3 se adicionarán algebraicamente en el conductor neutro.

Subsistemas de Puesta a Tierra

Para propósitos de seguridad, los sistemas electrónicos deberán ser puestos a tierra, directamente conectados con la tierra y la puesta a tierra del equipo, como es requerida por la Normatividad Vigente.

Los sistemas de puesta a tierra diseñados para equipo electrónico pueden ser conceptualizados como sólidamente (galvánicamente interconectados):

A) La Normatividad Vigente describe la protección del personal y de la instalación eléctrica contra falla a tierra:
- **1)** Puesta a tierra de sistemas de C.A. Y C.D.
- **2)** Sistema de puesta a tierra de equipos.
- **3)** Electrodos de puesta a tierra.

B) Sistema de tierra de referencia para altas frecuencias.
- **1)** Típicamente instalada de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

C) Subsistema de protección contra descargas atmosféricas.
- **1)** Diseñado e instalado de acuerdo a la NFPA 780-2004.
- **2)** De acuerdo con la Normatividad Vigente.

D) Subsistema de puesta a tierra de protección de circuitos de señalización de telecomunicaciones y transmisión de datos.
- **1)** Equipo instalado de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- **2)** Instalado conforme a la Normatividad Vigente.

Hay que hacer notar que estos subsistemas para propósitos de una descarga o de fuego, se deberán interconectar a un sólo sistema de electrodos de puesta a tierra, como lo indica la Normatividad Vigente, NEC®, NFPA® 780-2004.

De acuerdo a la Normatividad Vigente otros electrodos de puesta a tierra deben estar interconectados con varios subsistemas de puesta a tierra, pero estos no pueden estar aislados uno de otros o del electrodo de puesta a tierra del suministrador.

Todos los subsistemas de puesta a tierra descritos deberán ser eléctricamente comunes uno de otro, utilizando el conductor de puesta a tierra, interconectado por el sistema de electrodos de puesta a tierra (naturales) del lugar.

En caso de una falla a tierra será necesario realizar puentes de unión, debido a que accidentalmente una persona puede estar conectada entre dos sistemas de puesta a tierra aislados y con ello tener potenciales peligrosos.

Estos potenciales pueden ser debidos a fallas en sistemas de C.A. o C.D., descargas atmosféricas y otras corrientes errantes.

Este problema siempre existe cuando los sistemas de puesta a tierra tienen un valor de resistencia de 1 Ohm, debido a que si existe una descarga atmosférica de 20 a 40 kA, se producirá una diferencia de potencial de 20 kV y 40 kV entre los sistemas de puesta a tierra. Este es un potencial muy alto que puede provocar daños a los equipos o producir fuego.

Conceptos básicos de la puesta a tierra y puentes de unión

10

Para los propósitos de puesta a tierra, los puentes de unión consisten en un conjunto de conductores de puesta a tierra y de terminaciones, accesorios, interconectados que entre ellos forman una trayectoria de baja impedancia (para todas las frecuencias) para las corrientes que circularán por ellos. Si esto no se realiza adecuadamente se presentarán potenciales no conocidos, a través de las terminaciones de los puentes de unión.

El propósito de cada unión es asegurar las propiedades eléctricas de la trayectoria total de puesta a tierra, que está en función de que todos los elementos estén conectados.

Una pobre unión es muchas veces la causa principal de la producción de muchos daños a los equipos e inicio de un incendio, de ruido eléctrico y de resistencia alta en la trayectoria de puesta a tierra.

Una gran sección transversal del conductor de puesta a tierra se convertirá en pequeña si la conexión de los puentes de unión es pobre.

Las características de baja y alta frecuencia necesariamente requieren de técnicas adecuadas de puesta a tierra y de los puentes de unión.

Las características de la alta frecuencia son de gran importancia para la mayoría del equipo electrónico donde el bajo y alto nivel, corta duración y la rápida transición de los impulsos son las típicas corrientes que se propagan en el conductor del puente de unión y los conductores de puesta a tierra.

Los siguientes factores son importantes en los métodos de los puntes de unión:

Resistencia de contacto. La resistencia de contacto del conductor y las terminaciones de blindaje y su envejecimiento, son de vital importancia.

Materiales diferentes. Son problemáticos por el efecto galvánico y pueden resultar en la generación de interferencia electromagnética en la unión, y puede resultar una falla en la conexión por corrosión.

Efecto piel. Las corrientes de altas frecuencias hacen que no penetren profundamente en los materiales de alta conductividad. Es por ello que la impedancia de alta frecuencia deberá de determinarse.

Reactancia de unión. El tamaño nominal del puente de unión, la geometría y la relación física entre los conductores unidos pueden introducir componentes reactivas dentro de la impedancia del puente de unión. La minimización de la inductancia misma en la trayectoria es de suma importancia para la alta frecuencia.

Resistencia del conductor. La resistencia total del conductor de puesta a tierra es importante cuando las características IR (para c.d. y baja frecuencia), para un nivel de corriente específico, muchos potenciales pueden desarrollarse a través de la trayectoria de la conexión efectiva.

Punto de fusión y sobrecalentamiento. La selección del conductor y de los puentes de unión se deberá de realizar adecuadamente de acuerdo a la Normatividad Vigente, o de acuerdo a las características del conductor o de los puentes de unión, en función de I^2t.

Efectos resonantes en los conductores de puesta a tierra y puentes de unión

La resonancia ocurre en los conductores primeramente debido a la falta de elementos capacitivos e inductivos que son reemplazados y distribuidos a lo largo del conductor.

Los conductores de puesta a tierra actúan como fuentes inadvertidas (o receptores) de ruidos y pueden radiar (o recibir) ruido por la actuación como antenas.

La resonancia ocurre cuando la longitud del conductor eléctrico es igual o múltiplos impares de un cuarto de onda, de la onda de voltaje.

Para minimizar el efecto inductivo en el diseño de un sistema de tierra de referencia de señal, este deberá de construirse como un plano o una malla.

También llamado plano de referencia de señal y malla de puesta a tierra de referencia de señal.

Cuando se interconectan directamente la puesta a tierra y los puentes de unión del sistema de tierra de referencia de señal con una baja inductancia de los conductores de puesta a tierra, los transitorios en modo común del voltaje y de corriente prácticamente son eliminados.

Subsistema de electrodo de puesta a tierra

El subsistema de electrodos de puesta a tierra establece la referencia para las descargas atmosféricas, incendio y descargas eléctricas peligrosas.

Una conexión impropia de las partes de un sistema electrónico dentro de un subsistema de electrodos de puesta a tierra ocasionará problemas en el funcionamiento, en la seguridad eléctrica, bajo condiciones de energización y desenergización, de falla a tierra y de descargas atmosféricas.

La instalación del sistema de puesta a tierra de los equipos se indica en la Normatividad Vigente.

La conexión de puesta a tierra implica un incremento de la impedancia con la frecuencia. Esto limita efectivamente al electrodo de puesta a tierra en relación al control efectivo del ruido de alta frecuencia.

Lo anterior indica principalmente que el sistema de electrodos de puesta a tierra no es un medio efectivo para el control de los efectos asociados con los componentes de alta frecuencia de una descarga atmosférica.

Cualquier corriente que circule por el conductor de puesta a tierra genera campos desbalanceados debido a la corriente que circula sobre él; por lo que el conductor de puesta a tierra se convierte en una fuente de interferencia electromagnética. **Por lo tanto la corriente que circule por el conductor de puesta a tierra, deberá eliminarse.**

En una conexión a tierra de 1 Ohm asociada con una falla a tierra en un voltaje de 120 Volts de C.A., la corriente que circulará será de 120 Amperes. Lo cual es suficiente para que algunos dispositivos de protección contra sobrecorriente operen y liberen la falla.

En relación a la Normatividad Vigente, se exige que el sistema de electrodos de puesta a tierra tenga un valor de resistencia menor a **25 Ohms.**

Si un electrodo de puesta a tierra tiene una resistencia de 1 Ohm, y esté conectado un conductor de puesta a tierra que a una determinada frecuencia tiene una impedancia de 1000 Ohms.

El total de la impedancia es 1001 Ohms, entonces existe una relación de 1000:1 entre el final del conductor de puesta a tierra y la conexión a tierra; entonces si solamente circula una corriente de 1 Amper en la trayectoria, entonces existirá 1 KV entre la tierra (terreno natural) y el equipo conectado al conductor de puesta a tierra.

Subsistema de puesta a tierra de protección de falla para el personal

Este subsistema se conoce como el sistema de puesta a tierra del equipo de acuerdo a la Normatividad Vigente. Consiste en la unión y la puesta a tierra de las envolventes de los equipos, canalizaciones, soporte para cables tipo charola, armaduras de cables y de los conductores de puesta a tierra de equipo, desnudos y aislados; exigidos por la Normatividad Vigente.

Es importante que el conductor de puesta a tierra del equipo sea instalado junto con los conductores del circuito alimentador o derivado.

Una baja impedancia del subsistema de puesta a tierra no es suficiente para prevenir los daños a los componentes de los equipos electrónicos por los potenciales que se presentan en caso de una falla a tierra.

Es por eso que el subsistema de puesta a tierra convencional se conjunta con el plano de tierra de referencia de señal o malla de puesta a tierra de referencia de señal, para eliminar o minimizar el problema que involucra el evento de las fallas a tierra.

Introducción al sistema de puesta a tierra de referencia de señal

Un sistema de puesta a tierra de referencia de señal es una red instalada externamente de conductores utilizados para interconectar las envolventes metálicas, gabinetes y equipos de alimentación para el equipo electrónico.

Este sistema de puesta a tierra es una recomendación para los ingenieros de diseño y para los fabricantes de equipos electrónicos.

El sistema de puesta a tierra de referencia de señal no deberá estar aislado galvánicamente, ni aislado del sistema de electrodos de puesta a tierra del sistema eléctrico.

La finalidad del sistema de puesta a tierra de referencia de señal es:

A) Mejorar la seguridad en la transferencia de señal por la reducción de ruido eléctrico sobre la banda de frecuencia entre la interconexión de equipos.

B) Proveer una trayectoria de baja impedancia para prevenir el daño de los circuitos de señal, una referencia a tierra para todos los equipos de telecomunicación, servidores, computadoras, racks de equipos, chasis de equipos.

C) Prevenir daño a los equipos electrónicos y a los circuitos de señal cuando pueda ocurrir una falla a tierra.

Las trayectorias de puesta a tierra son:

1. El conductor de puesta a tierra requerida por la Normatividad Vigente.
2. Los puentes de unión o derivaciones conectadas entre unidades.

Los sistemas de puesta a tierra convencionales no están preparados para utilizarse con corrientes de alta frecuencia de 100 Hz hasta kHz.

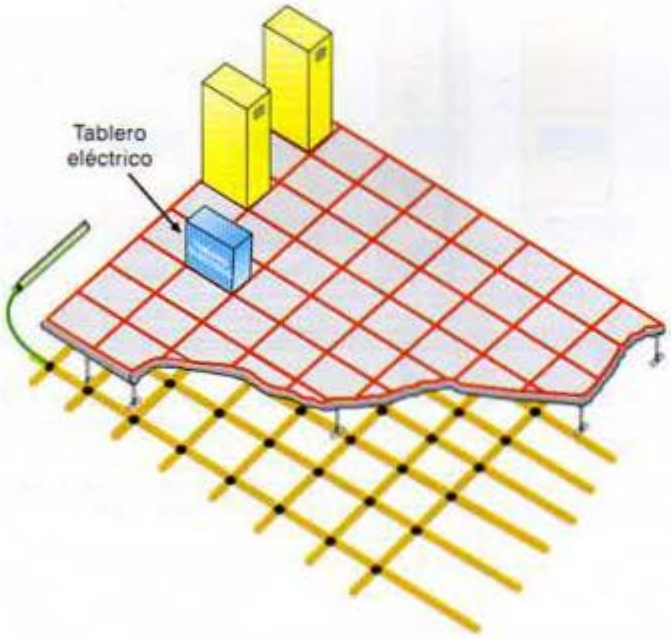


Fig. 58 Malla de referencia de señal

Consideraciones para la instalación de un sistema de tierra de referencia de señal:

Cuando los equipos electrónicos tienen una terminal conectada a su envolvente metálica, y se alimentan en corriente alterna o corriente directa.

Cuando las terminales comunes de los circuitos de señal y la alimentación de C.A. Y C.D., están dieléctricamente aisladas o aisladas galvánicamente de la tierra del equipo.

Cuando el funcionamiento del equipo tiene problemas con el ruido eléctrico o una interferencia similar relacionada con el sistema de puesta a tierra, por el diseño, por el nivel de la señal, o por el sistema de cableado entre las unidades.

Puesta a tierra en un sólo punto

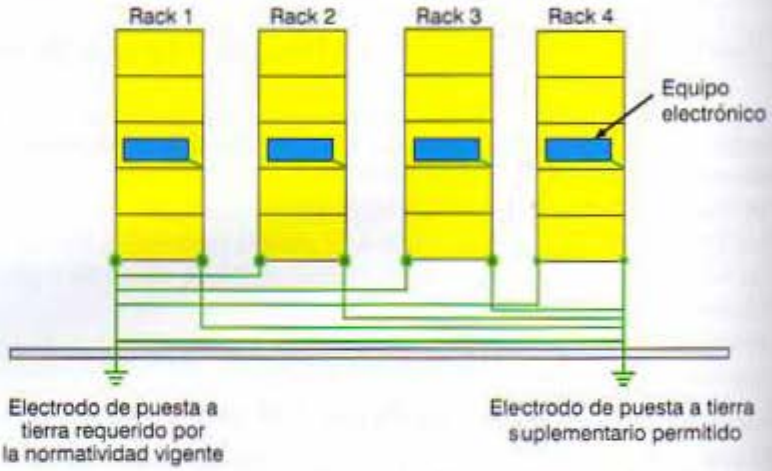
El método recomendable para la puesta a tierra de equipo electrónico sensible es utilizar solamente un sólo punto de puesta a tierra. Con esto se evitará las diferencias de potencial que puedan ser inducidas dentro de los circuitos eléctricos.

Al utilizar varios puntos de puesta a tierra trae como consecuencia serios problemas de ruido eléctrico.

Todos los equipos electrónicos sensibles deberán ser puestos a tierra desde un solo punto. Se recomienda que el sistema de electrodos tenga una resistencia a tierra de un valor menor de 1 Ohm.

10

El arreglo de la figura 59 cumple con la Normatividad Vigente, pero puede producir ruido eléctrico, no se utiliza la puesta a tierra en un solo punto, además se tiene una puesta a tierra pobre porque se realiza a través del rack metálico.

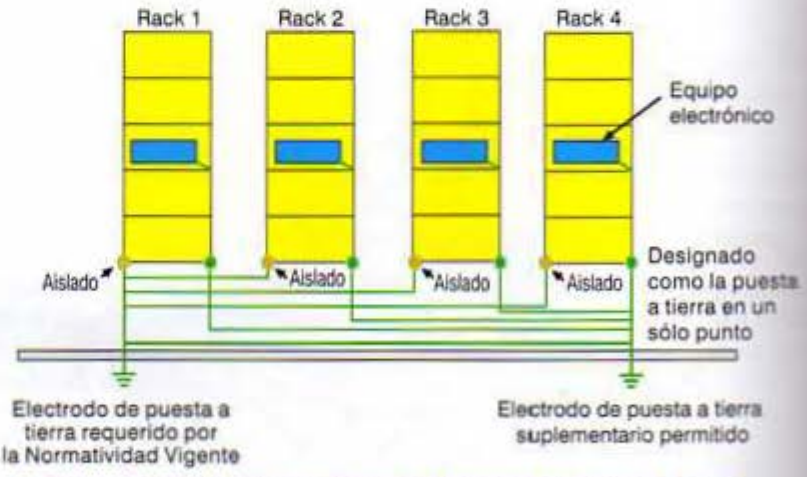


Puesta a tierra del equipo utilizando un electrodo de puesta a tierra suplementario e interconectado cumple con la Normatividad Vigente

Fig. 59 Puesta a tierra de racks inadecuada

El esquema de la figura 60 no cumple con la Normatividad Vigente, se tendrán problemas de ruido eléctrico. En adición, al instalar una puesta a tierra en un solo punto pone en peligro la instalación eléctrica y los equipos electrónicos.

No cumple con las exigencias de la Normatividad Vigente, se interrumpe la trayectoria efectiva de puesta a tierra para la corriente de falla a tierra, el diseño es muy vulnerable a las descargas atmosféricas.



Puesta a tierra del equipo utilizando un electrodo de puesta a tierra suplementario no cumple con la Normatividad Vigente

Fig. 60 Puesta a tierra de racks inadecuada

Puesta a tierra de quipos con electrodos de puesta a tierra independientes.

Si ocurre una falla de fase a tierra en el equipo, el cual tiene un electrodo de puesta a tierra independiente con un solo conductor de puesta a tierra, la corriente de falla circulará por el conductor del electrodo de puesta a tierra, por el electrodo de puesta a tierra, por terreno natural dependiendo de la impedancia que puede ser baja o alta. Posteriormente circulará por el electrodo de puesta a tierra del tablero general, por el conductor del electrodo de puesta a tierra y retornará por el conductor puesto a tierra a la fuente de alimentación.

Circulará una corriente de falla por el conductor de la fase con la falla y circulará por el dispositivo de protección contra sobrecorriente que alimenta al equipo. Si la corriente que circula por el dispositivo de protección no es suficiente para que opere, la instalación eléctrica se encuentra en peligro de ocasionar un incendio.

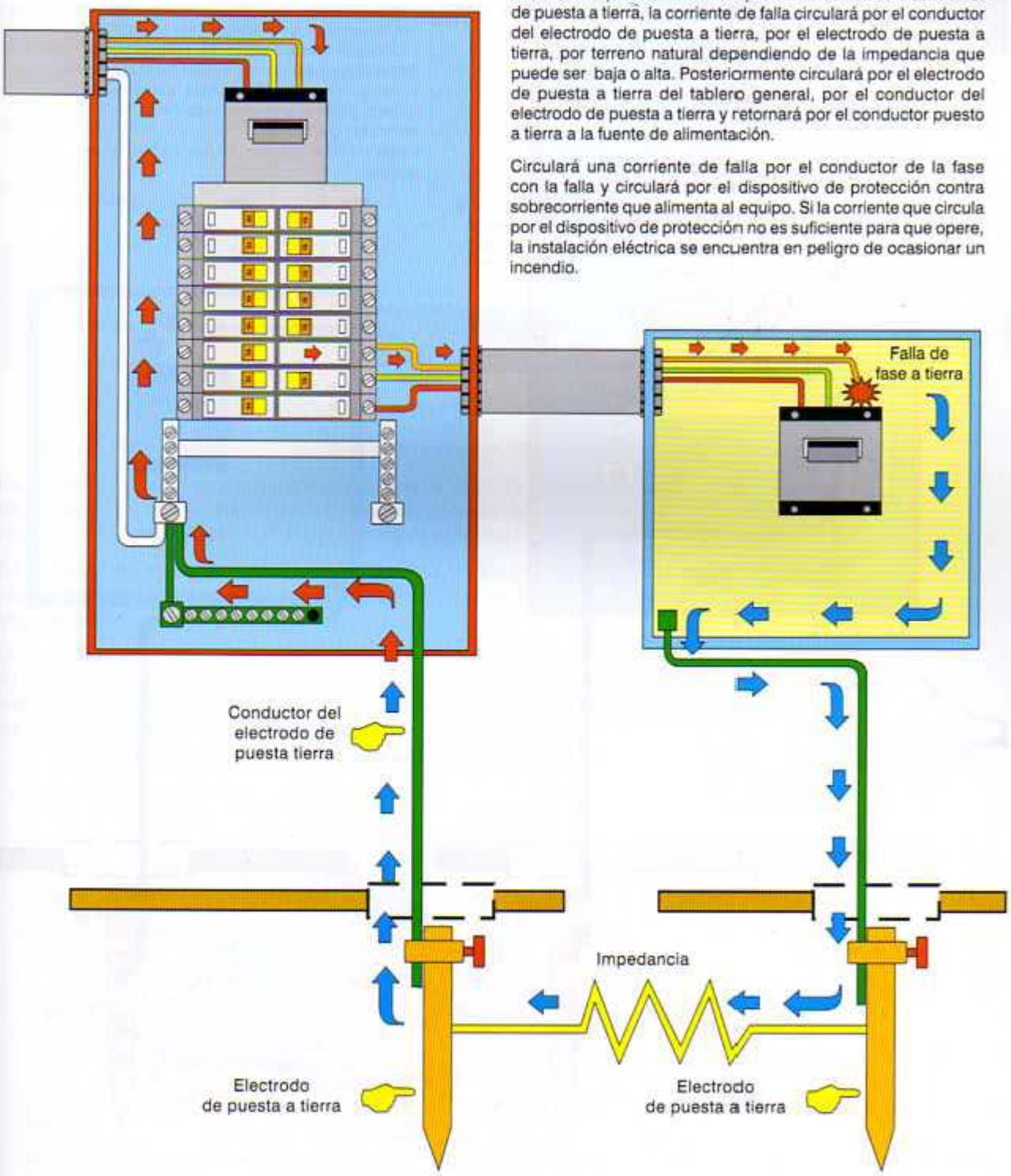


Fig. 61 Puesta a tierra de un equipo con un electrodo de puesta a tierra independiente

Puesta a tierra de equipos con electrodos de puesta a tierra independientes.

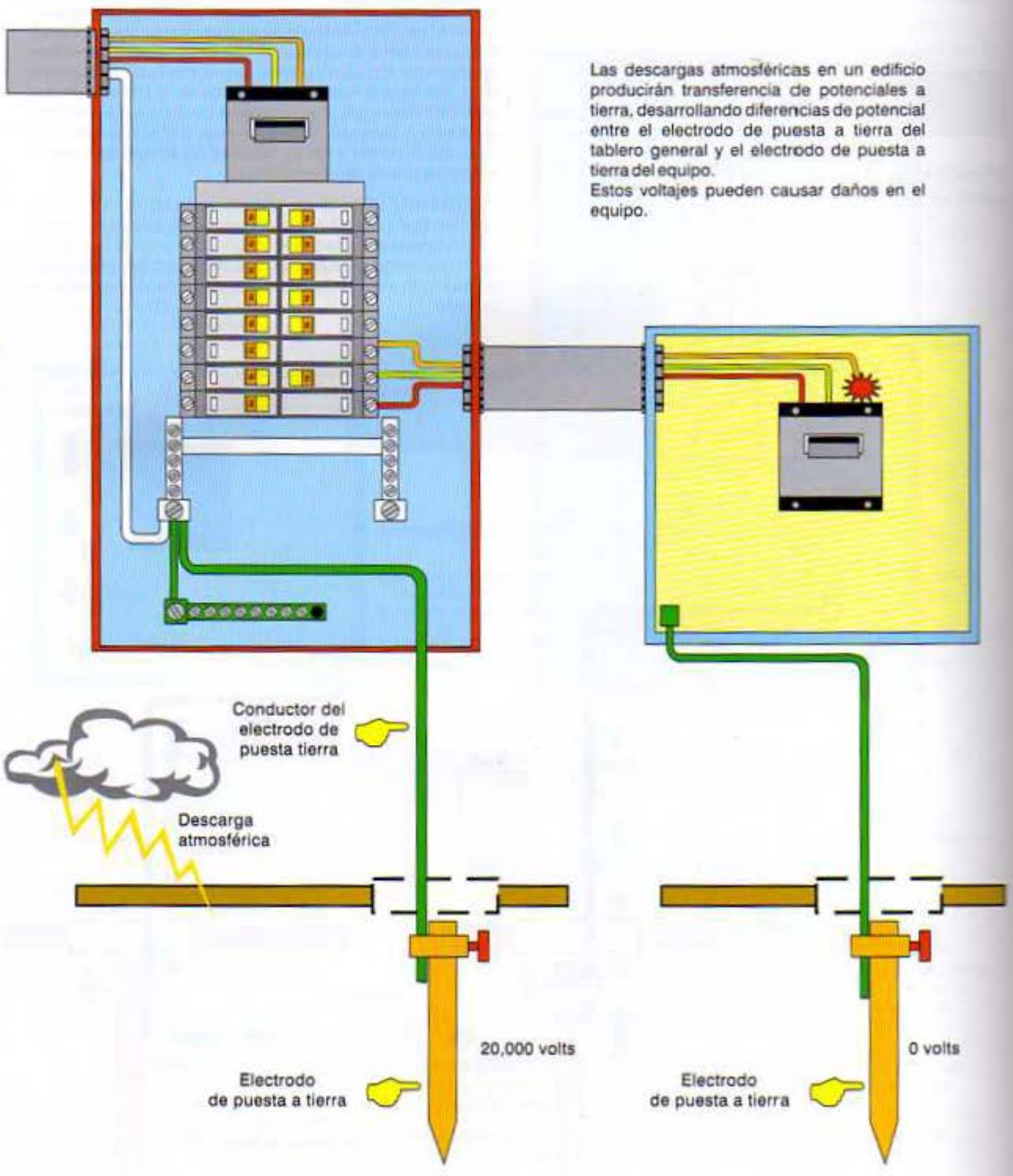


Fig. 62 Puesta a tierra de un equipo con un electrodo de puesta a tierra independiente

Un sistema de puesta a tierra emplea conductores de puesta a tierra largos, con ello se tendrá altas impedancias y altas frecuencias, y esto no es lo deseable.

Impedancia de los conductores de puesta a tierra

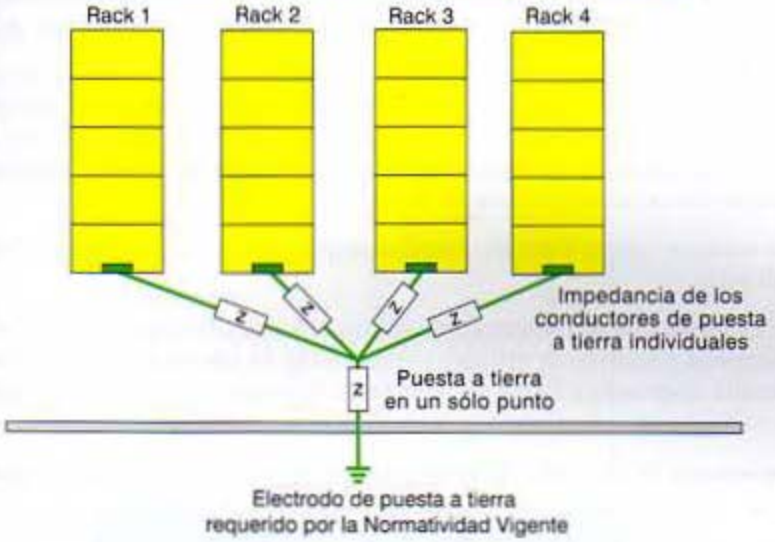


Fig. 63 Impedancia de los conductores de puesta a tierra

La impedancia de los conductores de puesta a tierra generalmente no se controla, por lo que es necesaria la existencia de una malla de referencia de señal para tener un plano equipotencial.

En la figura 63 se observa que las trayectorias de los conductores de puesta a tierra son de menor longitud, con lo que se disminuyen las impedancias.

El resultado que se tiene con la malla de puesta a tierra de referencia de señal es un adecuado funcionamiento, que es compatible con las telecomunicaciones modernas y otros equipos que están basados en los circuitos de señal, así como también las computadoras.

Malla de referencia de señal fabricada de cinta de cobre

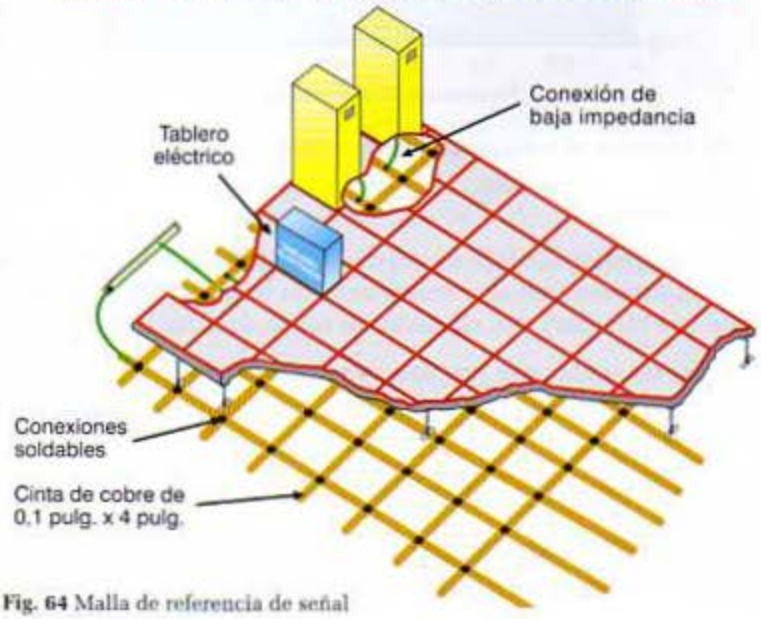


Fig. 64 Malla de referencia de señal

Con esto se eliminan los conflictos con la Normatividad Vigente y con los requerimientos de instalación de los equipos.

Los componentes de la onda de alta frecuencia requieren trayectorias de retorno de baja impedancia, de lo contrario con impedancias altas se pueden presentar potenciales altos que pueden afectar a los equipos.

Para ondas con amplitudes del orden de 100 Volts pueden destruir los circuitos digitales; por lo tanto la malla de puesta a tierra de referencia de señal deberá de tener trayectorias de baja impedancia para frecuencias mayores a 10 MHz.

Los equipos comerciales se consideran que tienen un rango de 25 MHz a 30 MHz.

Un ejemplo, cuando se emplean conductores de puesta a tierra aislados solamente y cuando se utilizan conductores de puesta a tierra aislada y la malla de puesta a tierra de referencia de señal, se ilustra en la figura 65, reduciendo significativamente la alta frecuencia.

Impedancia de los conductores de puesta a tierra para sistemas de cómputo

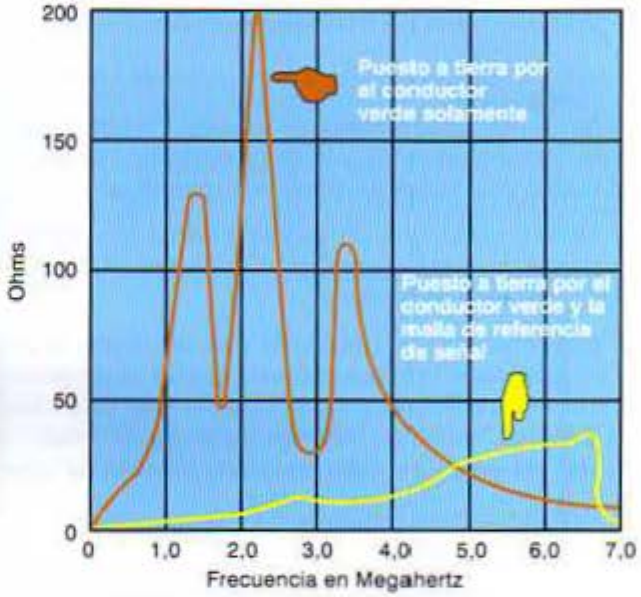


Fig. 65 Curvas de la impedancia de los conductores de puesta a tierra

Plano equipotencial

Un plano equipotencial es la unión de los materiales conductivos que proveen uniformemente una trayectoria de baja impedancia para la corriente que circulará por él, sobre un rango de altas frecuencias.

Las ventajas de contar con un plano equipotencial son:

- Una trayectoria de baja impedancia para las corrientes de ruido de radio frecuencias.
- Contener el ruido electromagnético entre su fuente (cable, etc.) y el plano.
- Incrementar el filtrado efectivo de los campos electromagnéticos.
- Proteger a los circuitos adyacentes y al equipo.

El plano equipotencial se puede realizar por:

- Una malla embebida en concreto, unida a, o en piso de concreto.
- Una malla metálica bajo el falso piso.
- Una malla en el techo sobre el equipo.
- Los soportes de acceso al techo (cuartos de cómputo, etc.).

A continuación de tratarán los diagramas de impedancia de la malla de puesta a tierra de referencia de señal.

Vista de planta de la impedancia de un plano de referencia de señal

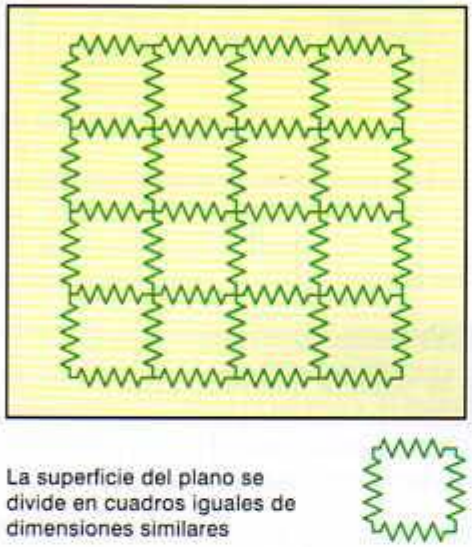
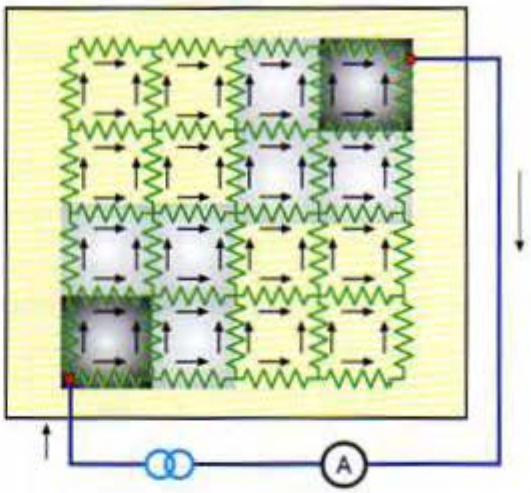


Fig. 66 Impedancias del plano de referencia de señal

En una malla de puesta a tierra de referencia de señal es deseable que presente una baja cantidad de densidad de corriente por cuadrado cuando circula una corriente.

La corriente a tierra está directamente relacionada con la frecuencia, con la imagen de la amplitud de la corriente del conductor de puesta a tierra acoplado y la imagen de la geometría del conductor.



La densidad de corriente es mayor en los cuadros más oscuros y decrece en los cuadros menos oscuros.

Vista de planta de un plano de referencia de señal en la que circula una corriente y retorna a través del plano de referencia, considerando la impedancia.

Fig. 67 Circulación de corriente en una malla de referencia

10

En la figura 67 se observa que las corrientes transitorias (fallas y ruidos) introducidos a la malla de puesta a tierra de referencia de señal, circulará por las trayectorias entre el punto de inyección y los puntos de salida donde la corriente tiene que retornar.

Las corrientes se dispersarán rápidamente en el punto de inyección en las trayectorias de baja resistencia en miliohms, estas corrientes se reducirán en mA, y de mA a microamperes, por lo que se minimizará la caída de tensión entre dos puntos de la malla de puesta a tierra de referencia de señal.

Subsistema de protección contra descargas atmosféricas

El objetivo principal del subsistema de protección contra descargas atmosféricas es transportar con seguridad las corrientes relacionadas con las descargas atmosféricas, a la tierra a través del subsistema de electrodos de puesta a tierra.

Este subsistema proveerá una trayectoria altamente efectiva a tierra, minimizando otras trayectorias a tierra.

La Normatividad Vigente no requiere un valor de la resistencia que debe presentar el subsistema de protección contra descargas atmosféricas. La norma de trabajo y la norma voluntaria exige un valor máximo de 10 Ohms.

Un valor bajo de resistencia favorece que la corriente de la descarga atmosférica tenga un camino adecuado a tierra, reduciendo así los arcos que pudieran producirse.

Puesta a tierra de equipos electrónicos sensibles

Transformador de aislamiento

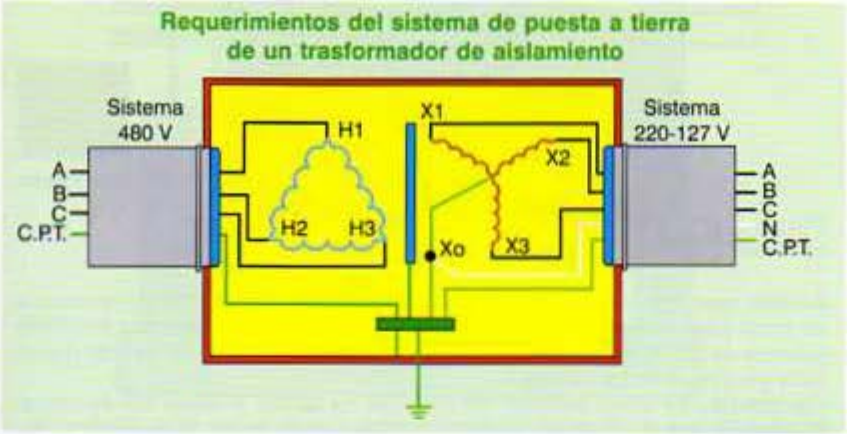


Fig. 68 Transformador de aislamiento

La puesta a tierra de un transformador de aislamiento se ilustra en la figura 68 cumpliendo con la Normatividad Vigente. Se mantiene el aislamiento con el sistema del lado primario y la reinyección de ruido, requerido en un sistema de cómputo.

Este tipo de instalación es requerida para minimizar los métodos erróneos de instalación de la tierra aislada, que en algunos casos no cumplen con la Normatividad Vigente y puede crear peligros de descargas eléctricas a las personas. Las técnicas de puesta a tierra son necesarias para la seguridad, operación del equipo, y por razones de funcionamiento.

La puesta a tierra del sistema eléctrico y de los equipos electrónicos sensibles deberá de cumplir con la Normatividad Vigente.

Se deberá de utilizar un sistema eléctrico sólidamente puesto a tierra e instalar conductores de puesta a tierra aislada.

Todas las partes metálicas de gabinetes, racks, canalizaciones, tubo (conduit) metálico, conductores de puesta a tierra, y todos los electrodos de puesta a tierra deberán de unirse entre ellos para formar un sistema eléctricamente continuo.

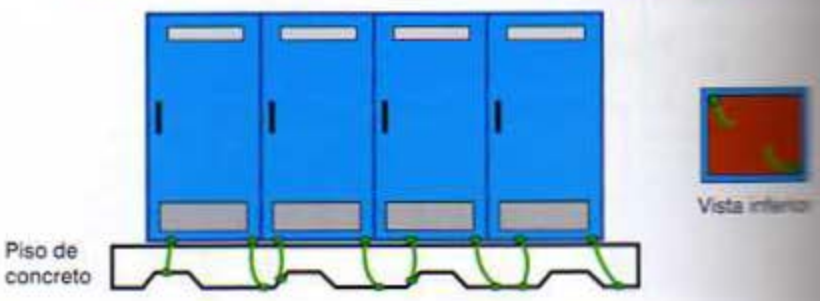
De acuerdo a la Normatividad Vigente, NFPA-780-2004, los sistemas de electrodos de puesta a tierra utilizados para el sistema eléctrico, el sistema de telecomunicaciones, el sistema de protección contra descargas atmosféricas, deberán estar unidos efectivamente y permanentemente.

Configuración de la puesta a tierra de alta frecuencia

Una malla de puesta a tierra de referencia de señal para altas frecuencias es un medio básico para las corrientes de altas frecuencias, un adecuado diseño e instalación igualará el potencial a tierra.

Una malla de puesta a tierra de referencia de señal puede ser construida empleando los siguientes métodos:

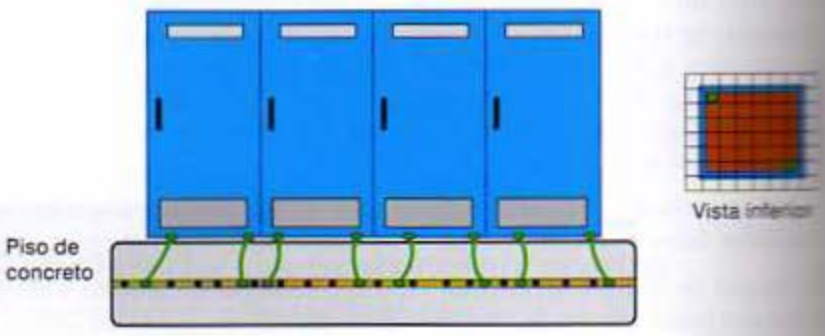
Plano de referencia de señal utilizando piso galvanizado



En este caso el piso galvanizado, se puede utilizar como plano de referencia de señal para corrientes de alta frecuencia, por lo que es necesario adicionar puentes de unión lo más corto posible, para que la impedancia sea de menor valor para las altas frecuencias.
Los puentes de unión deberán ser menores de 50 cm. Pueden ser de cobre, aluminio o acero. El acero tiene la ventaja de no crear el par galvánico. Las conexiones se deberán de realizar en cada esquina de la parte inferior del gabinete.

Fig. 69 Plano de referencia de señal con piso galvanizado

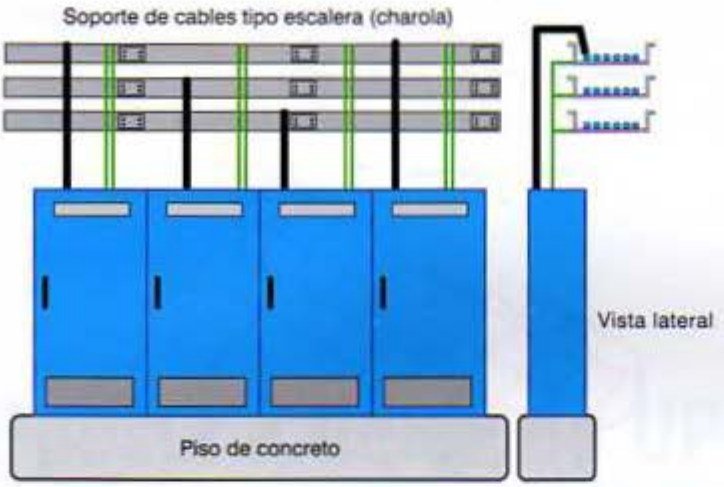
Plano de referencia de señal utilizando la malla de varillas



La malla formada por la varilla, sirve para tener una malla de referencia de señal deberá estar soldada para crear una malla continua, en intervalos no mayores a 50 cm.
Los puentes de unión deberán ser lo más cortos como sea posible. Se recomienda que no sean mayores a 50 cm. Deberán estar soldados por medio de soldadura exotérmica.
Los puentes de unión con acero pueden soldarse por medio de soldadura de arco.
Los equipos electrónicos deberán tener por lo menos dos puentes de unión.

Fig. 70 Plano de referencia de señal con malla de acero soldada

Plano de referencia de señal utilizando los soportes para cable tipo charola.



El soporte para cables tipo escalera, tiene una superficie grande y provee baja impedancia para altas frecuencias.
Este sistema se utiliza en construcciones existentes, donde no es posible construir una malla de referencia de señal y puede ser usada en una construcción nueva, siempre y cuando se adicione a un plano de referencia de señal en el piso.

Fig. 71 Plano de referencia de señal con charola para soportes de cables

Malla de referencia de señal fabricada de cinta de cobre

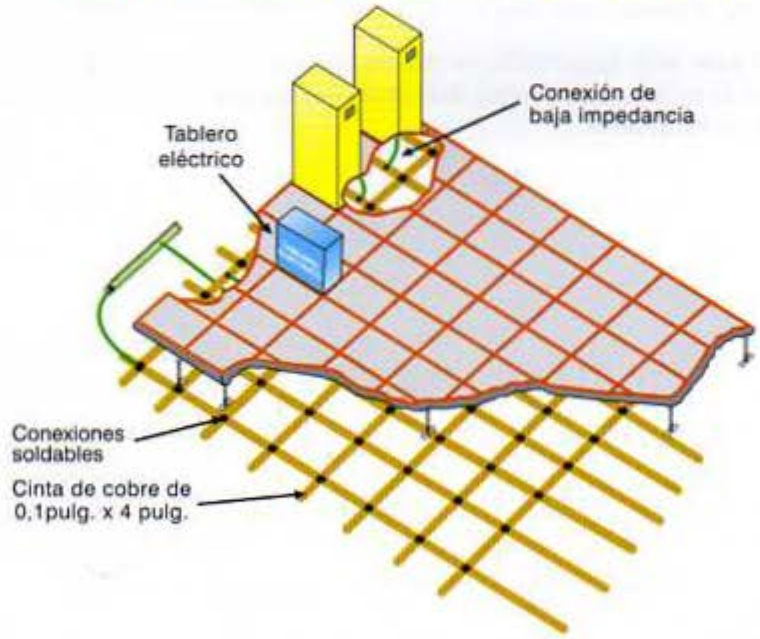


Fig. 72 Malla de referencia de señal

Esta malla de referencia de señal puede ser prefabricada o ensamblada en campo; generalmente no requiere mantenimiento y se instala directamente en el piso de concreto.

La alta capacitancia entre la malla de referencia y los cables incrementa la protección de los circuitos contra el ruido y los campos magnéticos.

Si se utilizan conductores, estos deberán ser del tamaño nominal del No.6 AWG al No.2 AWG de cobre, unidos con soldadura, conectores mecánicos, conectores de compresión.

La estructura del piso utilizada como malla de referencia de señal

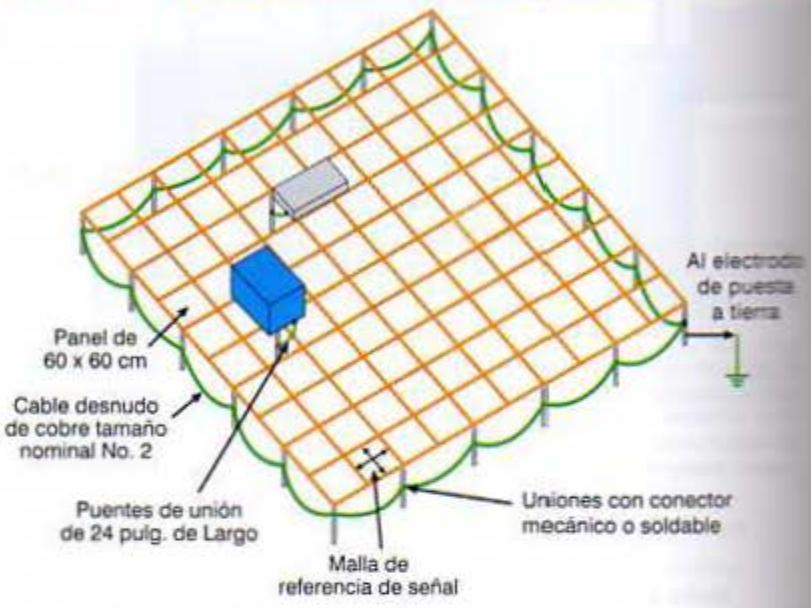


Fig. 73 Estructura del falso piso utilizada como malla de referencia de señal

Si el piso está disponible, se puede utilizar como malla de puesta a tierra de referencia de señal, deberá ser puesta a tierra en un sólo punto o en varios puntos.

Capítulo 11

Puesta a tierra de UPS
(Sistemas Ininterrumpibles de Energía)

Contenido

Puesta a tierra de UPS
(Sistemas Ininterrumpibles de Energía) 90

Puesta a tierra de UPS (Sistemas Ininterrumpibles de Energía)

Configuración 1
Un módulo de UPS, con BY-PASS no aislado y acometida en estrella

En el arreglo 1, la acometida está en conexión estrella y es conectada al by-pass y al módulo interno del UPS y el tablero de distribución no tiene un transformador de aislamiento.

El conductor neutro está unido con el conductor de puesta a tierra en la acometida y conectado al neutro interno del UPS. Al conectarse los dos neutros el sistema UPS no se considera un sistema derivado separado.

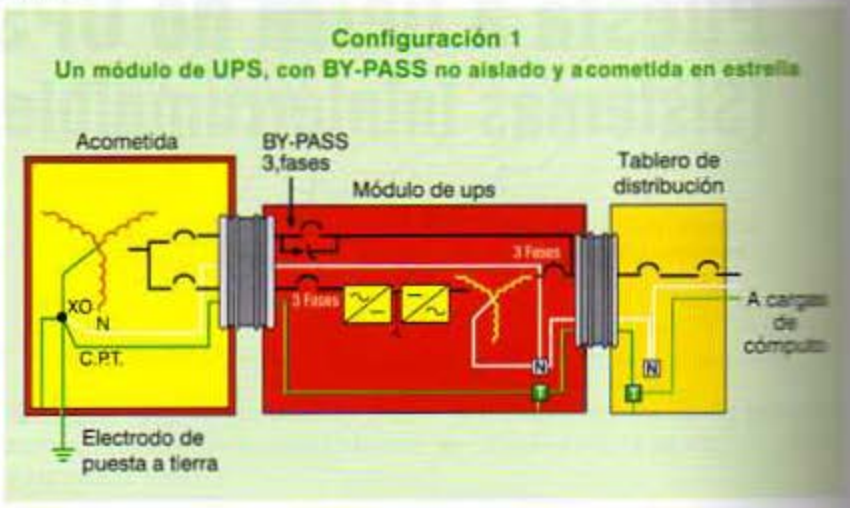


Fig. 74 Instalación de un UPS, configuración 1

11

En este caso el sistema UPS no se considera un sistema derivado separado, debido a las conexiones entre neutros.

En el sistema UPS, el neutro no deberá de unirse al conductor de puesta a tierra.

En el sistema UPS, no deberá de instalarse un electrodo de puesta a tierra local.

Este sistema no provee ningún aislamiento o una atenuación de ruido en modo común para cargas sensibles.

Configuración 2
Un modulo de UPS, con BY-PASS aislado y acometida en estrella

En el arreglo 2, se utiliza un transformador independiente usado como by-pass. El UPS se considera un sistema derivado separado y deberá de unirse al conductor de puesta a tierra en la parte interna.

El transformador provee un asilamiento.

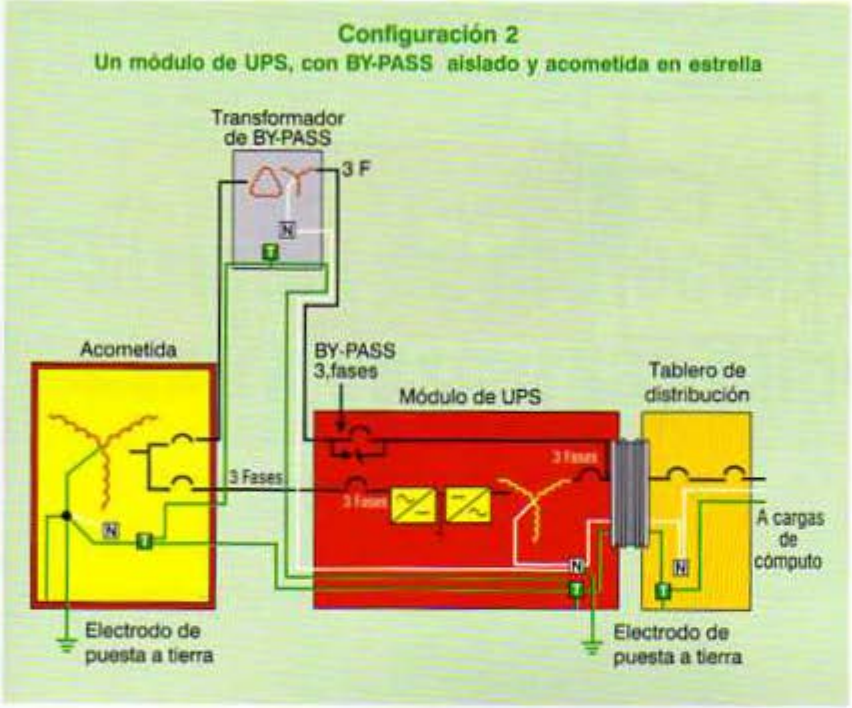


Fig. 75 Instalación de un UPS, configuración 2

En esta configuración se utiliza un transformador de aislamiento para alimentar el BY-PASS del UPS.

El transformador del BY-PASS y el módulo del UPS, constituyen un sistema derivado separado, debido a que no existe una conexión eléctrica directa entre la acometida y los conductores de salida del sistema UPS.

En este arreglo la atenuación del ruido en modo común se puede obtener si el UPS y el transformador del BY-PASS se localiza cerca del tablero de distribución y de las cargas sensibles.

Configuración 3
Un módulo de UPS, con BY-PASS no aislado y un centro de distribución aislado

Arreglo 3, la acometida está en estrella y se interconecta con el neutro del UPS.

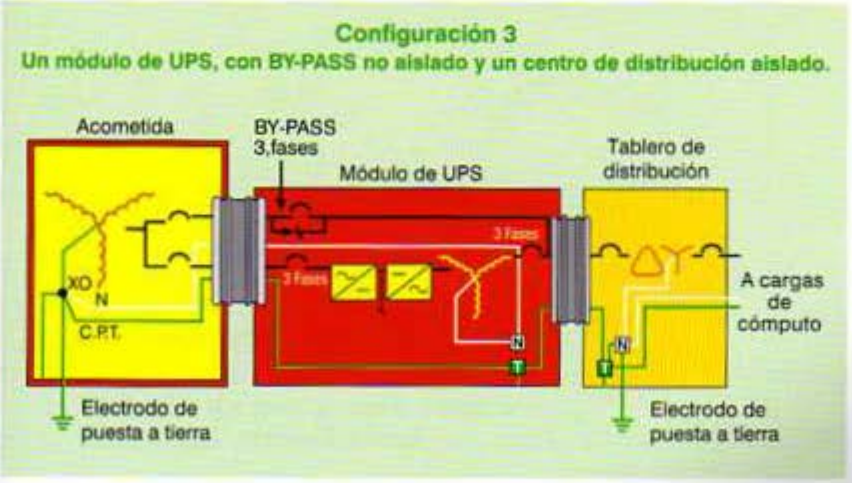


Fig. 76 Instalación de un UPS, configuración 3

En este caso el sistema UPS no se considera un sistema derivado separado, debido a las conexiones entre neutros.

En el sistema UPS, el neutro no deberá de unirse al conductor de puesta a tierra.

El tablero de distribución cuenta con un transformador de aislamiento y se considera como un sistema derivado separado y por lo tanto el neutro deberá ser unido al conductor de puesta a tierra.

La atenuación del ruido en modo común es mucho mejor en este arreglo.

Configuración 4
Un módulo de UPS, con BY-PASS no aislado y un centro de distribución aislado

El arreglo 4, es igual al arreglo 3, excepto que el neutro de la cometida no se utiliza en el UPS.

En este caso el sistema UPS se considera un sistema derivado separado, por lo que se deberá instalar un electrodo de puesta a tierra local.

En el sistema UPS, el neutro deberá de unirse al conductor de puesta a tierra. El tablero de distribución cuenta con un transformador de aislamiento y se considera como un sistema derivado separado y por lo tanto el neutro deberá ser unido al conductor de puesta a tierra.

La atenuación del ruido en modo común es mucho mejor en este arreglo.

El neutro no se requiere para las cargas del UPS.

La reducción del ruido en modo común se obtiene, si el tablero de distribución se encuentra lo más cercano posible a la carga sensible.

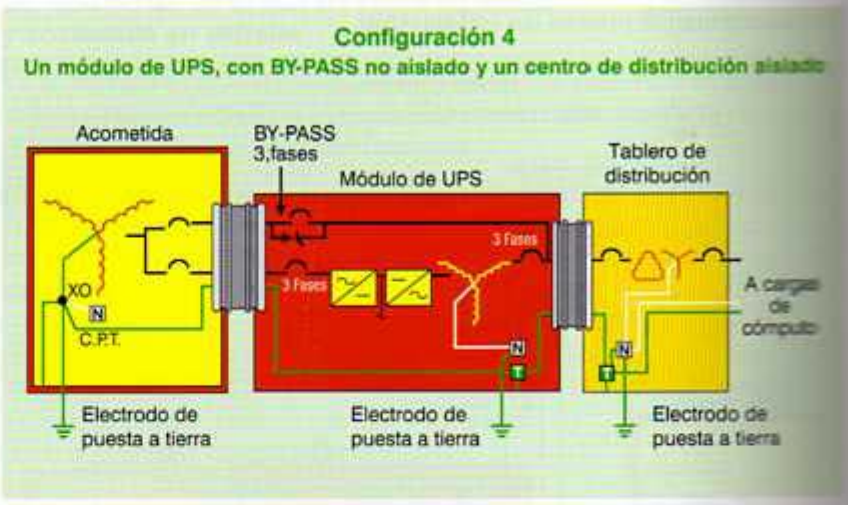


Fig. 77 Instalación de un UPS, configuración 4

Capítulo 12

Sistema de protección contra descargas atmosféricas

Contenido

Sistema de protección contra descargas atmosféricas 94

Sistema de protección contra descargas atmosféricas

Los voltajes inducidos en los sistemas eléctricos resultan del potencial existente entre la nube y la tierra.

Cuando se rompe el dieléctrico entre la nube y la tierra, se desarrolla una corriente de descarga.

Estas corrientes van de unos cientos de Amperes a más de 50 KA. La duración es rápida, del orden de 50 a 100 microsegundos.

Los niveles grandes de corriente asociados a la descarga atmosférica en la tierra crean un volumen ionizante dentro de la tierra (región ionizante). Esta región es de particular importancia en el impacto de la descarga atmosférica sobre los circuitos electrónicos cercanos y de los cables conductores.

Las descargas eléctricas entre nubes pueden inducir transitorios en los conductores enterrados o aéreos.

La proximidad de los equipos y circuitos a un evento de descarga atmosférica pueden producir campos electromagnéticos destructivos a una distancia de 6 a 9 mts, debido a que los voltajes de descarga están entre 5 a 40 kV y los niveles de energía tienden a ser de orden de unidades de milijoules hasta cientos de milijoules.

Los circuitos electrónicos que físicamente están cercanos, pero que no están en contacto directo con la trayectoria de la descarga atmosférica, pueden tener interferencias con la señal de proceso y siempre en peligro cuando ocurre una descarga atmosférica.

12

El voltaje inducido dentro del circuito electrónico esta en función de:

A) La geometría relacionada al área ($A = d_2 \times L$) encerrado por el circuito.

B) La orientación (en paralelo o en otro ángulo) de la descarga atmosférica para propósitos de acoplamiento.

C) La distancia del conductor de bajada del sistema de protección contra descargas atmosféricas.

D) El tiempo de la relación (di/dt) de la onda de corriente, que produce un valor alto de cambio (d/dt) para el flujo magnético.

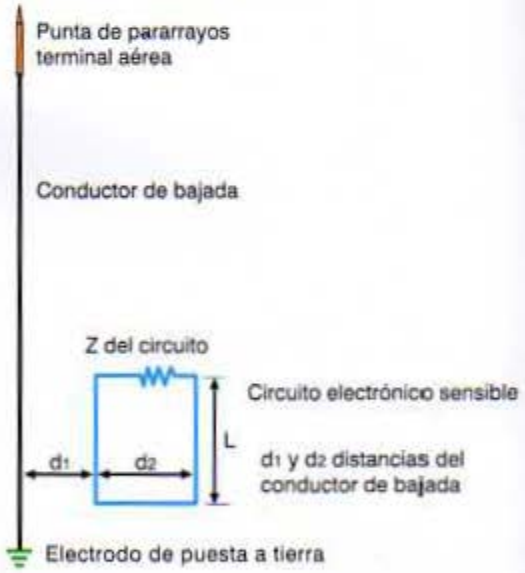


Fig. 78 Voltaje inducido en un circuito electrónico sensible

Los voltajes inducidos magnéticamente dentro de los circuitos no están en función de la impedancia del circuito, es decir, la magnitud de los voltajes inducidos son los mismos para circuitos de baja o alta impedancia.

Capítulo 13

Sistema de puesta a tierra para subestaciones eléctricas

Contenido

Sistema de puesta a tierra para subestaciones eléctricas **96**

Circuitos equivalentes accidentales 100

Procedimiento de diseño 103

Cálculo de los potenciales máximos de paso y de contacto **115**

Puesta a tierra de la malla de alambre que rodea el terreno de una subestación eléctrica 118

Sistema de puesta a tierra para subestaciones eléctricas

Basado en la guía de la IEEE para la seguridad en una subestación de corriente alterna puesta a tierra IEEE Std 80-2000

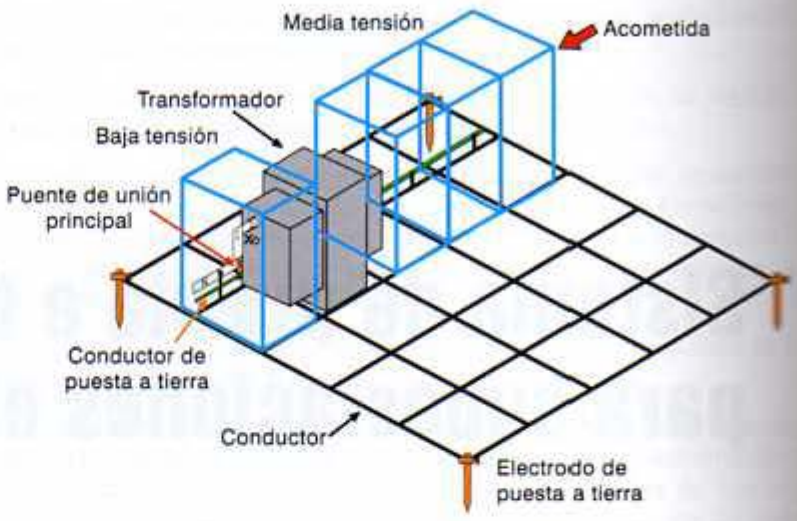


Fig. 79 Malla de puesta a tierra en una subestación eléctrica

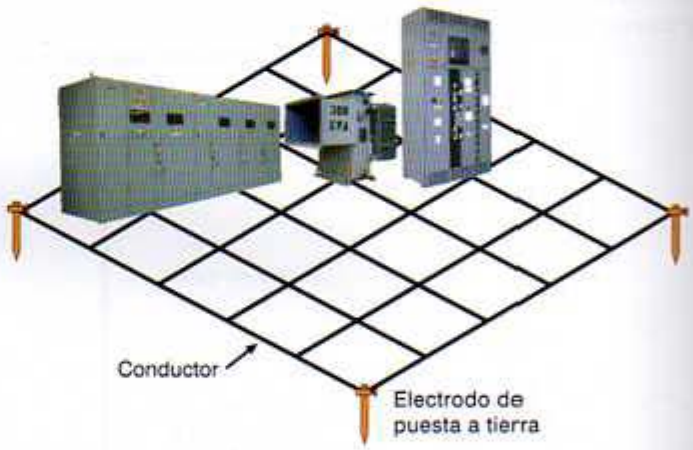


Fig. 80 Malla de puesta a tierra en una subestación eléctrica

En la puesta a tierra de una subestación eléctrica tipo interior o abierta, se deberá de realizar primero un diseño de la malla de tierra, basado en la guía de la IEEE para la seguridad en una subestación de corriente alterna puesta a tierra IEEE Std 80-2000, debido a que cuando ocurre una falla a tierra en los devanados de media tensión o alta tensión, la corriente de falla a tierra al tomar su trayectoria de retorno a su lugar de origen por el terreno natural provocará una tensión de paso y tensión de contacto que puede ser peligrosa para el ser humano y los animales.

En la figura 79 se ilustra una malla de tierra compuesta por una cuadrícula formada por conductores de cobre, electrodos de puesta a tierra, derivaciones con conductor de cobre para la puesta a tierra de los

gabinetes de media tensión en 2 puntos mínimo, puesta a tierra de la envolvente del transformador, puesta a tierra del conductor neutro.

Una subestación eléctrica es un conjunto de equipos eléctricos, cuya función principal es la transformación de voltajes, la conexión y desconexión de circuitos eléctricos.

Los equipos eléctricos principales de una subestación eléctricas son:

- ❒ Transformadores de potencia o distribución.
- ❒ Interruptores de potencia.
- ❒ Cuchillas deconectadoras o de paso.
- ❒ Apartarrayos.
- ❒ Transformadores de corriente.
- ❒ Transformadores de potencial.
- ❒ Equipo de medición por parte del suministrador.
- ❒ Fusibles.
- ❒ Resistencias o reactancias de puesta a tierra.

El sistema de puesta a tierra para subestaciones eléctricas tiene como finalidad:

- ■ Proveer los medios adecuados para transportar las corrientes eléctricas dentro de la tierra (terreno natural), bajo condiciones normales y de falla, sin exceder los límites de operación del equipo sin afectar la continuidad del servicio.
- ■ Asegurar que las personas en la vecindad de industrias puestas a tierra no estén expuestas a peligros de descarga eléctrica crítica.

La práctica de la puesta a tierra segura se esfuerza para controlar la interacción de dos sistemas de puesta a tierra:

- ■ La tierra intencional consiste en los electrodos enterrados a la misma profundidad de la superficie de la tierra.
- ■ Una tierra accidental, es cuando una persona está expuesta temporalmente a un gradiente de potencial en la vecindad de una industria puesta a tierra.

La mayoría de las personas asumen que cualquier objeto puesto a tierra puede tocarse sin sufrir daño alguno.

Si el sistema de puesta a tierra de una subestación eléctrica tiene una resistencia a tierra baja, no garantiza que sea segura.

Cuando la corriente de falla de fase a tierra entra a la tierra, causará que se presente potencial de paso a tierra elevados.

Si el suministro se realiza con un conductor con cubierta protectora, y esta cubierta es utilizada como trayectoria de retorno de una parte de la corriente de falla a tierra directamente a la fuente de origen; proveerá una trayectoria de baja impedancia en paralelo a la trayectoria de retorno del circuito, por lo que el potencial a tierra será mucho menor.

La corriente de falla a tierra que entra a la tierra (terreno natural) deberá de analizarse.

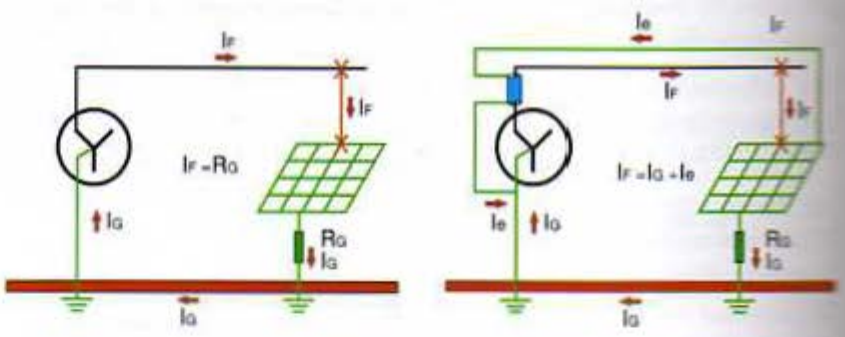


Fig. 81 Falla a tierra en una subestación eléctrica

Durante condiciones de falla a tierra, la corriente que circula por la tierra (terreno natural) producirá gradientes de potencial dentro y alrededor de la subestación eléctrica.

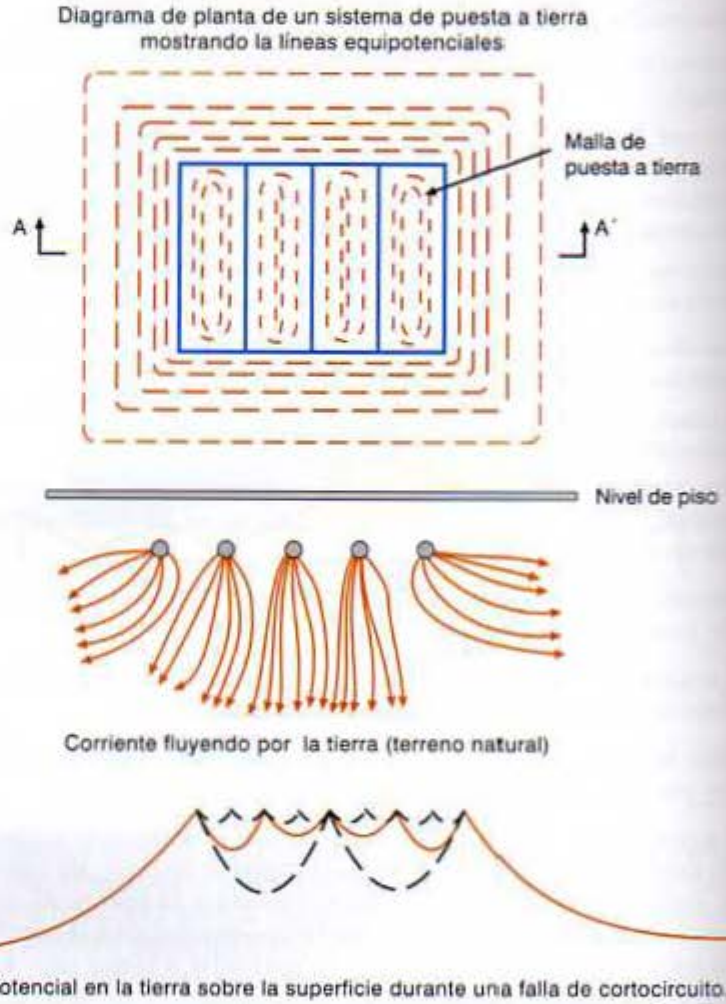


Fig. 82 Gradientes de potencial en una malla de tierra

Los efectos que produce la corriente eléctrica que pasa a través del cuerpo humano dependen de la duración, magnitud y frecuencia. La consecuencia más peligrosa es cuando el corazón esté expuesto a la condición de fibrilación ventricular.

Es muy significativo que los dispositivos de protección contra sobrecorriente liberen la falla a tierra lo más rápido que sea posible por las siguientes razones:

- La posibilidad que una persona esté expuesta a una descarga eléctrica se reduce significativamente, en contraste a cuando las corrientes de falla a tierra que persisten o duran horas, trayendo como consecuencia el posible inicio de un incendio.
- Se reduce la posibilidad de daño o muerte de una persona si se reduce la duración de la corriente, que fluirá por el cuerpo humano.

La magnitud y la duración de la corriente eléctrica que pase a través del cuerpo humano a 50 o 60 Hz deberán ser menores a la corriente que pudiera producir fibrilación ventricular del corazón.

Basados en los estudios de Dalziel y Lee se asume que el 99.5% de las personas pueden estar seguras sin fibrilación ventricular aplicando la siguiente fórmula:

Para personas de 50 Kg de peso

$$I_B = \frac{0{,}116}{\sqrt{t_s}} \quad \text{ec. 1}$$

para t_s = 1 seg , resulta un valor de corriente de 116 mA

para t_s = 0.1 seg , resulta un valor de corriente de 367 mA

Para personas de 70 Kg de peso

$$I_B = \frac{0{,}157}{\sqrt{t_s}} \quad \text{ec. 2}$$

Para el diseño del sistema de puesta a tierra de una subestación eléctrica, se asume que la resistencia en serie con el cuerpo humano es:

A) La resistencia de contacto de mano a pie es igual a cero.

B) Las resistencias del zapato y guante es igual a cero.

Circuitos equivalentes accidentales

Circuito de una persona tocando una envolvente o estructura puesta a tierra

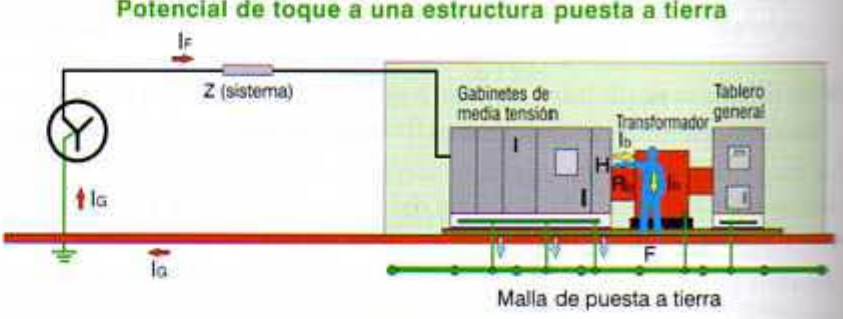


Fig. 83 Potencial de toque

La corriente tolerable por el cuerpo humano, está definida por las ecuaciones 1 y 2, se utiliza para definir la tensión total tolerable cuando ocurre una falla de cortocircuito a tierra.

La corriente que circulará por el cuerpo humano Ib es igual a la corriente tolerable por el cuerpo humano IB.

La figura 83 muestra un circuito eléctrico, cuando ocurre una falla a tierra, la corriente de falla IF circulará por el sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica y por la persona que se encuentra tocando en ese momento un gabinete puesto a tierra.

Varias impedancias están involucradas en el circuito. En la figura 84, el punto H es un punto del sistema que tiene el mismo potencial que la malla de puesta a tierra, dentro de la cual la corriente de falla a tierra circulará.

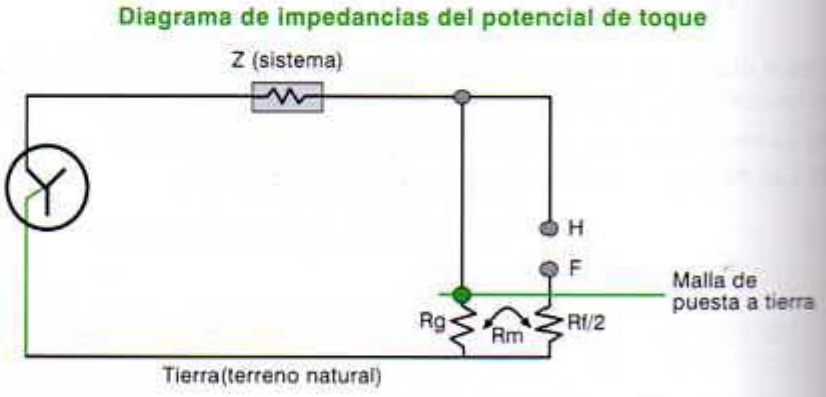


Fig. 84 Diagrama de impedancias del potencial de toque

El punto F es un área pequeña sobre la superficie de la tierra que está en contacto a través de los dos pies de la persona.

La corriente Ib circulará del punto H a través del cuerpo de la persona a tierra por el punto F.

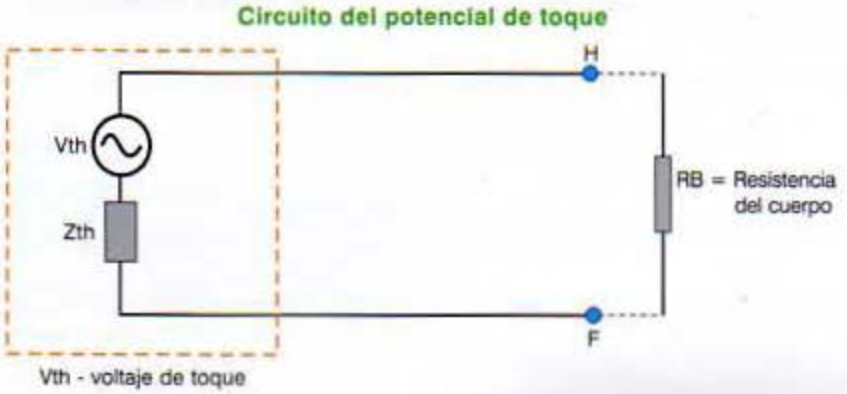


Fig. 85 Circuito del potencial de toque

El voltaje de Thevenin Vth es el voltaje entre los puntos H Y F cuando la persona no está presente.

La impedancia Zth es la impedancia vista de los puntos H y F con las fuentes de voltaje en cortocircuito.

La corriente Ib a través del cuerpo humano que está en contacto con los puntos H y F es:

$$Ib = \frac{Vth}{Zth + R_B} \quad \text{ec. 3}$$

R_B – Resistencia del cuerpo humano en Ohms

$$Zth = \frac{Rf}{2} \quad \text{ec. 4}$$

Rf – resistencia de un pie en Ohms

La resistencia a tierra en Ohms de un disco metálico de radio b (mts) sobre una superficie de tierra homogénea ρ (Ohms-metro) está dada por la fórmula de **Laurent:**

$$Rf = \frac{\rho}{4b} \quad \text{ec. 5}$$

Tradicionalmente, un disco metálico representando un pie toma una placa circular de radio de 0,08 mts, por lo que:

La impedancia equivalente para un circuito de voltaje de toque es:

$$Zth = 1{,}5\,\rho \quad \text{ec. 6}$$

La tensión de toque total permisible que tolera el cuerpo humano es:

$$E_{toque} = I_B (R_B + 1{,}5\,\rho) \quad \text{ec. 7}$$

Circuito de una persona caminando dentro de una subestación eléctrica



Fig. 86 Potencial de paso

La figura 86 muestra un circuito eléctrico cuando ocurre una falla a tierra, la corriente de falla I_F circulará por el sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica.

La corriente Ib circulará por uno de los pies F1 de la persona al otro pie F2.

Los puntos F1 y F2 son áreas sobre la superficie de la tierra que están en contacto con los dos pies, respectivamente.

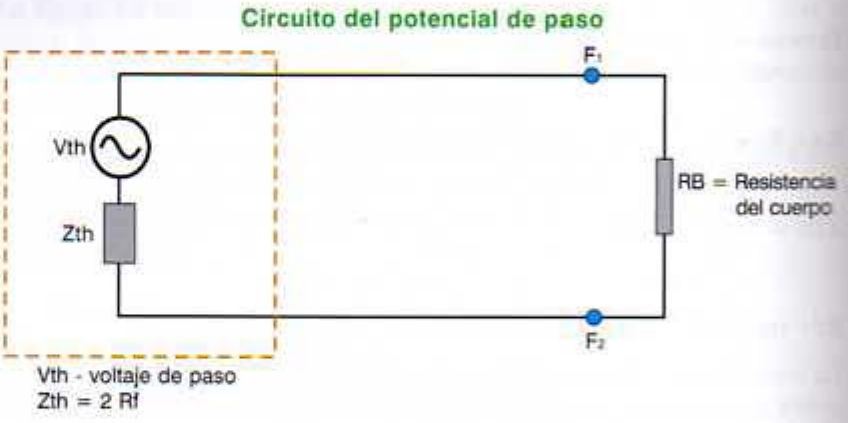


Fig. 87 Circuito del potencial de paso

En la figura 87 se observa el teorema de Thevenin representando los dos puntos F1 y F2, el voltaje Vth es el voltaje entre las terminales F1 y F2 cuando la persona no está presente.

La impedancia de Thevenin Zth es la impedancia del sistema vista por las terminales F1 y F2 con las fuentes de voltaje cortocircuitadas.

La corriente Ib a través del cuerpo humano está dada por la ecuación No. 3.

El voltaje de paso está dado por:

Zth = 2Rf ec. 8

Rf – resistencia de un pie en Ohms.

La impedancia equivalente para un circuito de voltaje de paso

Zth = 6,0 ρ ec. 9

El voltaje de paso total permisible tolerable por el cuerpo humano es

E paso = I_B (R_B + 6,0 ρ) ec. 10

Procedimiento de diseño

Con los potenciales de paso y de contacto tolerables por el cuerpo humano, se puede iniciar el diseño y la construcción del sistema de puesta a tierra para una subestación eléctrica, utilizando el siguiente procedimiento paso a paso:

A) Investigación de las características del terreno, la resistividad eléctrica.
B) Calcular la máxima corriente de falla a tierra.
C) Diseño preliminar del sistema de puesta a tierra.
D) Cálculo de la resistencia a tierra del sistema de puesta a tierra.
E) Cálculo del máximo potencial de malla.
F) Cálculo de los potenciales de paso en la periferia.
G) Cálculo de los voltajes de paso y de contacto en el sistema de puesta a tierra.
H) Investigación de los potenciales de transferencia y puntos especiales de peligro.
I) Corrección o afirmación del diseño preliminar.
J) Construcción del sistema de puesta a tierra.
K) Medición en campo de la resistencia a tierra del sistema de puesta a tierra.

Efecto de la resistividad del suelo

La investigación del lugar donde se va a instalar una subestación eléctrica es de suma importancia para la determinación de la composición del suelo. En la siguiente tabla se indica los valores de resistividad que se pueden obtener de un terreno homogéneo.

Tabla 1

Tipo de terreno	Resistividad en Ohms-metro
Suelo orgánico mojado	10
Suelo húmedo	100
Suelo seco	1000
Cama de roca	10 000



Equipo de medición

Debido a que los terrenos no tienen un suelo uniforme es necesario realizar mediciones de la resistividad real del terreno, con instrumentos de medición adecuados y calibrados, utilizando uno de los siguientes métodos:

1.- Método de Wenner o de los cuatro puntos.

2.- Método de Schlumberger-Palmer.

La resistividad puede variar en las diferentes épocas del año. Si el terreno tiene mucha humedad y sales disueltas la resistividad disminuirá.

Al incrementarse la temperatura del terreno decrecerá la resistividad y si disminuye la temperatura como en el Polo Norte, se incrementará la resistividad.

Las mediciones se deberán de realizar en varios puntos del terreno, con diferentes espaciamientos de los electrodos de prueba, para conseguir las variaciones que tiene la resistividad con la profundidad.

Éstas se deben realizar trazando una línea recta en la parte central del terreno, otras trazando líneas diagonales en el terreno.



Medición de un terreno

Vista de planta del terreno con los ejes de medición para la resistividad del terreno

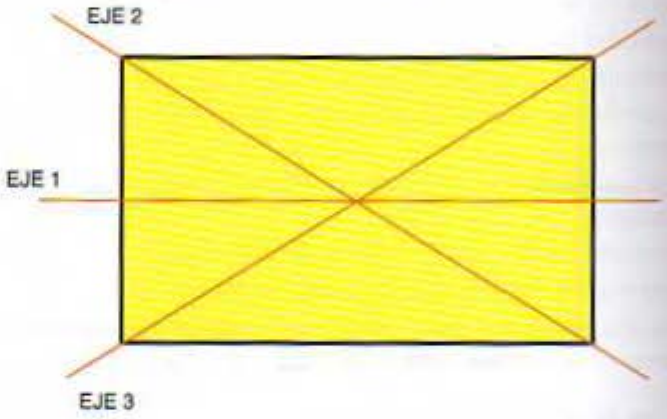


Fig. 88 Trazo de ejes para medición de resistividad del terreno

Es mucho mejor realizar las mediciones cuando el terreno se encuentra limpio, sin tener ninguna construcción del sistema de puesta a tierra o cimentaciones de los equipos.

Interpretación de las mediciones de la resistividad del terreno

De las mediciones obtenidas se tendrá un modelo de la composición del terreno en el que se instalará la malla de puesta a tierra. El modelo obtenido será una aproximación del terreno real.

Si se obtuvo un terreno de composición uniforme, la resistividad del terreno será:

$$\rho = \frac{\rho 1 + \rho 2 + \rho 3 + \rho n}{n} \quad \text{ec. 11}$$

ρ1 + ρ2 + ρ3 + ρn = son la mediciones realizadas en diferentes puntos del terreno, Ohms-metro

n = número de mediciones realizadas.

El ingeniero deberá de interpretar adecuadamente los resultados obtenidos para el diseño de la malla de puesta a tierra.

Si se obtuvo un terreno de composición no uniforme, el factor de reflexión será:

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2} \quad \text{ec. 12}$$

ρ_1 = la resistividad de la capa superior.

ρ_2 = la resistividad de la capa inferior.

Determinación de la máxima corriente de falla en el sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica

A) Se deberá de determinar cuál de los diferentes tipos de falla a tierra producirá la corriente más alta de falla a tierra, que circulará entre la malla de tierra y la tierra (terreno natural) que la rodea.

B) Determinar, el factor de división de corriente **Sf** para las fallas a tierra seleccionadas y establecer los valores correspondientes a la corriente simétrica en la malla **Ig**.

C) Para cada falla, determinar el valor de decremento **Df** basado en el tiempo de duración **tf**.

D) Seleccionar el valor más alto del producto **Df x Ig**.

Tipos de fallas a tierra

Diferentes fallas a tierra pueden ocurrir en un sistema eléctrico, por lo que se puede dificultar determinar el tipo y el lugar en que ocurre la falla de más alto valor, porque no se aplican reglas sencillas.

En los siguientes esquemas se muestran las fallas que pueden ocurrir.

Falla local dentro de una subestación, el sistema está puesto a tierra

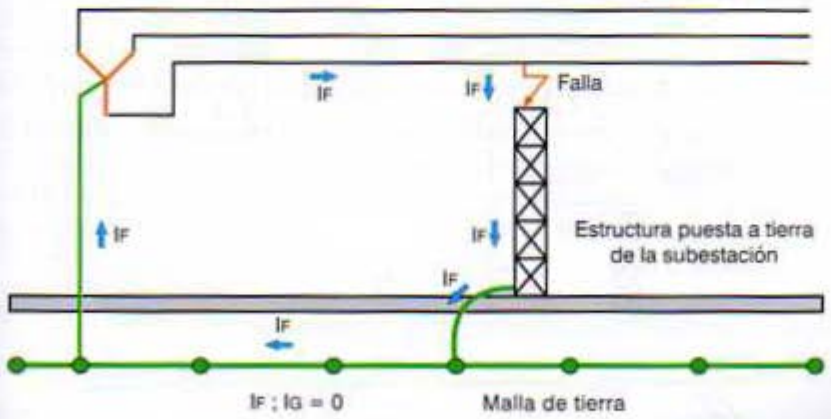
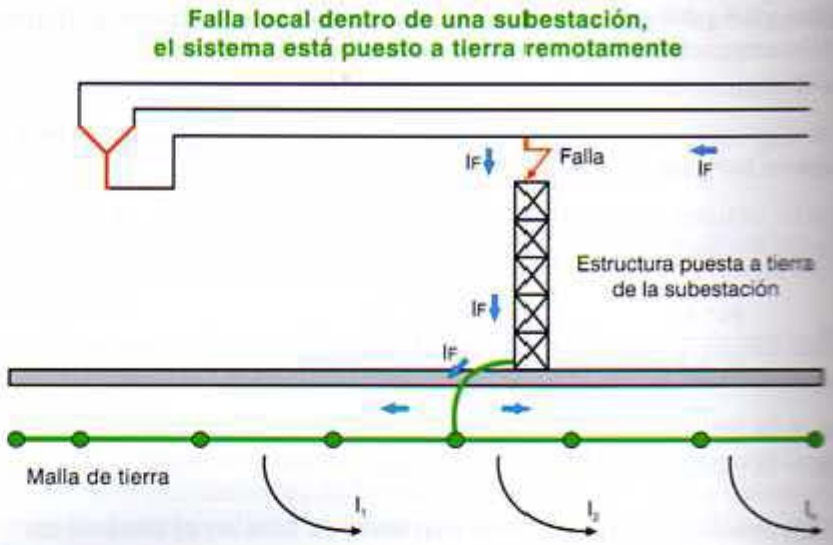


Fig. 89 Falla a tierra dentro de una subestación eléctrica

Fig. 90 Falla a tierra dentro de una subestación eléctrica el sistema no está puesto a tierra



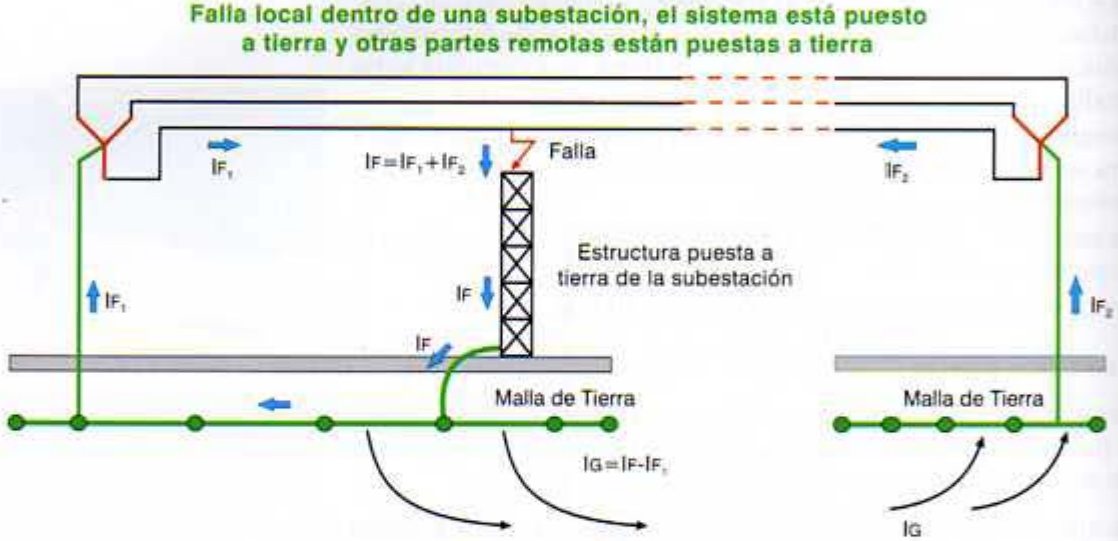


Fig. 91 Falla a tierra dentro de una subestación eléctrica con el sistema puesto a tierra

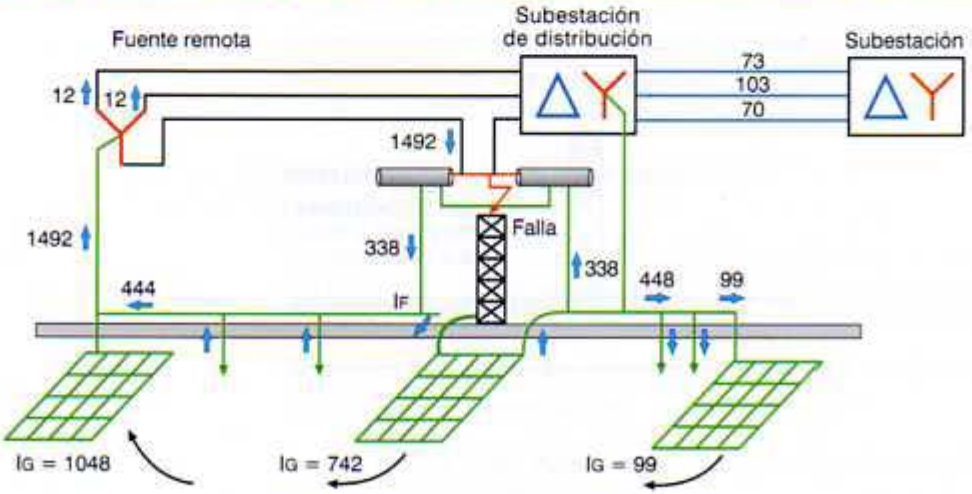


Fig. 92 División de corrientes de falla a tierra

La recomendación por razones prácticas, es que el cálculo se deberá de realizar para una falla de fase a tierra y para una falla de dos fases a tierra.

Para calcular la corriente de secuencia cero para una falla de **fase a tierra** se deberá de utilizar la siguiente fórmula:

$$I_0 = \frac{E}{X_1 + X_2 + X_0} \quad \text{ec. 13}$$

Para calcular la corriente de secuencia cero para una falla de **dos fases a tierra** se deberá de utilizar la siguiente fórmula:

$$I_0 = \frac{E(X_2)}{X_1 (X_0 + X_2) + (X_2 + X_0)} \quad \text{ec. 14}$$

I_0 - Corriente rms simétrica de secuencia cero en Amperes

E - Tensión de fase a neutro en el punto de falla en Volts

X_1- Reactancia equivalente de secuencia positiva en el punto de falla (Ohms)

X_2- Reactancia equivalente de secuencia negativa en el punto de falla (Ohms)

X_0- Reactancia equivalente de secuencia cero en el punto de falla (Ohms)

En la mayoría de los casos es suficiente calcular la corriente máxima en la malla de puesta a tierra de la subestación I_G, despreciando la resistencia del sistema, la resistencia a tierra de la subestación y la resistencia de la falla.

El error que se introduce es pequeño, por lo que no se afecta la seguridad del sistema de puesta a tierra de la subestación.

La corriente simétrica de malla es una parte de la corriente simétrica de falla a tierra que circula entre la malla de puesta a tierra y el terreno que la rodea, y está dada por:

$$I_g = S_f \times I_f \quad \text{ec. 15}$$

I_g - Corriente rms simétrica de malla, en Amperes

S_f - Factor de división de corriente, en Amperes

I_f - Valor de la corriente rms simétrica de falla a tierra, en Amperes

El factor de división de la corriente de falla es el factor que representa el inverso del valor de la corriente de falla simétrica a una parte de la corriente que circula entre la malla de puesta a tierra y el terreno que la rodea, y está dado por:

$$S_f = \frac{Ig}{3\ I_0} \quad \text{ec. 16}$$

$I_f = 3\ I_0$

S_f – Factor de división de corriente en Amperes

I_g – Corriente simétrica rms de malla en Amperes

I_0 - Corriente rms simétrica de secuencia cero en Amperes

La corriente máxima de malla se define por:

$I_G = D_f \times I_g$ **ec.17**

I_G – Corriente máxima de malla en Amperes

D_f – Factor de decremento para un tiempo de duración de la falla t_f en segundos

I_g – Corriente simétrica rms en la malla en Amperes.

En el diseño de la malla de puesta a tierra se deberá de considerar la corriente asimétrica; es por eso que el factor de decremento toma en cuenta el efecto de desplazamiento de la componente de corriente directa.

$$D_f = \sqrt{\left(1 + \frac{T_a}{t_f}\left[1 - e^{-2t_f/T_a}\right]\right)} \quad \text{ec.4}$$

t_f – Tiempo de duración de la falla en segundos

T_a – Constante de tiempo subtransistoria en segundos

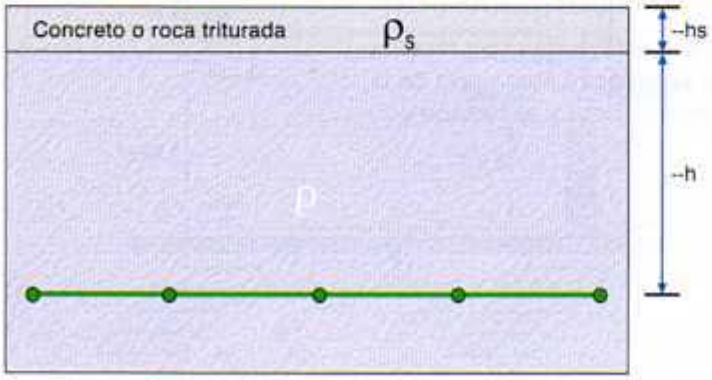
Resistividad de la capa superficial (ρs)

VALORES DE D_f

Duración de la Falla T_c			Factor de Decremento D_f		
Segundos	Ciclos a 60 HZ	X/R=10	X/R=20	X/R=30	X/R=40
0,00833	0.5	1,576	1,648	1,675	1,688
0,05	3	1,232	1,378	1,462	1,515
0,10	6	1,125	1,232	1,316	1,378
0,20	12	1,064	1,125	1,181	1,232
0,30	18	1,043	1,085	1,125	1,163
0,40	24	1,033	1,064	1,095	1,125
0,50	30	1,026	1,052	1,077	1,101
0,75	45	1,018	1,035	1,052	1,068
1,00	60	1,013	1,026	1,039	1,052

Referencia: Tabla 10 - IEEE Std 80-2000

Capa superficial y capa profunda del terreno de la subestación



El material de la capa superficial ayuda a limitar la corriente en el cuerpo humano por la adición de la resistencia a la resistencia equivalente del cuerpo humano.

La reducción de la corriente depende de los valores relativos de las resistividades del suelo y del material de la superficie.

Fig. 93 Resistividad del suelo

El factor de reflexión es:

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad \text{ec. 19}$$

ρ_s = La resistividad de la capa superior puede ser concreto o roca triturada Ohms-metro

ρ = La resistividad del terreno Ohms-metro.

hs – Espesor de la capa superficial concreto o roca triturada en metros.

h – Profundidad de enterramiento de la malla de puesta a tierra.

El valor de Cs puede calcularse por:

$$Cs = 1 - \frac{0{,}09\ (\ 1 - \frac{\rho}{\rho s})}{2\ hs\ +\ 0{,}09} \quad \text{ec. 20}$$

La ecuación anterior es empírica, los valores obtenidos de Cs están dentro del 5% de los valores obtenidos con el método analítico.

Potencial de paso tolerable

El potencial de paso tolerable se calcula por:

$$E\ paso = I_B\ (R_B + 2R_f\ ) \quad \text{ec. 21}$$

Para una persona de 50 Kg.

$$E\ paso = (1000 + 6\ Cs\ \rho s\ )\ \frac{0{,}116}{\sqrt{ts}} \quad \text{ec. 22}$$

Para una persona de 70 Kg.

$$E\ paso = (1000 + 6\ Cs\ \rho s\ )\ \frac{0{,}157}{\sqrt{ts}} \quad \text{ec. 23}$$

Potencial de contacto tolerable

El potencial de contacto tolerable se calcula por:

$$E\ contacto = I_B\ (R_B + \frac{Rf}{2}) \quad \text{ec. 24}$$

Para una persona de 50 Kg.

$$E\ contacto = (1000 + 1{,}5\ Cs\ \rho s)\ \frac{0{,}116}{\sqrt{ts}} \quad \text{ec. 25}$$

Para una persona de 70 Kg.

$$\textbf{E contacto} = (1000 + 1{,}5\ Cs\ \rho s)\frac{0{,}157}{\sqrt{ts}} \quad \textbf{ec. 26}$$

E paso – es el potencial de paso en Volts

E contacto – es el potencial de contacto en Volts.

Cs – es determinado por curvas.

ρs – es la resistividad del material de la superficie en Ohms-metro

ts – es la duración de la corriente de descarga eléctrica en segundos.

Cs – es igual a 1 cuando no existe capa superficial en la subestación y $\rho_s=\rho$

Cuando se tiene contacto metal con metal de mano a mano, y de mano a pie, resulta una resistividad **ρs = 0**, por lo que la resistencia total del circuito accidental es igual a la resistencia del cuerpo **Rs**.

El voltaje de toque de metal a metal es:

Para una persona de 50 Kg.

$$\textbf{E contacto de metal a metal} = \frac{0{,}116}{\sqrt{ts}} \quad \textbf{ec. 27}$$

Para una persona de 70 Kg.

$$\textbf{E contacto de metal a metal} = \frac{0{,}157}{\sqrt{ts}} \quad \textbf{ec. 28}$$

Selección de conductores y conexiones

Cada elemento del sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica:

- Conductores de malla
- Conexiones
- Conexiones a los equipos
- Electrodos de puesta a tierra
  - Deberán ser diseñados para una larga duración de vida.
  - Deberán tener la capacidad suficiente de conductividad y no contribuir substancialmente a diferencias de potencial.
  - Deberán ser resistentes a la fusión y al deterioro mecánico bajo las condiciones de duración y magnitud de la falla.
  - Deberán ser seguros y robustos mecánicamente.
  - Deberán mantener su función cuando estén expuestos a la corrosión y al daño físico.

Material

El cobre es el material más utilizado para la puesta a tierra.

Los conductores de cobre tienen la ventaja que son resistentes a la corrosión cuando se encuentran enterrados en la tierra.

El aluminio es el material menos utilizado para las mallas de puesta a tierra, en algunos suelos el mismo se puede corroer; al corroerse el aluminio pasa a ser un material no conductivo.

Las corrientes alternas causan una gradual corrosión y pueden ocasionar problemas.

Tamaño nominal del conductor de la malla de puesta a tierra

La alta temperatura en un tiempo corto en el conductor de puesta a tierra de la malla de puesta a tierra de la subestación o el tamaño nominal del conductor requerido está en función de la corriente del conductor.

Cálculo de la sección transversal del conductor de la malla de puesta a tierra

$$I = Amm^2 \sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_c\, \alpha_r\, \rho_r}\right)} \ln\left(\frac{Ko + Tm}{Ko + Ta}\right) \text{ ec. 29}$$

I – Corriente de falla rms en kiloamperes

A – Sección transversal del conductor en mm^2

Tm – Temperatura máxima disponible en °C

Ta – Temperatura ambiente en °C

Tr – Temperatura de referencia para las constantes del material en °C

α_o – Coeficiente térmico de la resistividad a 0 oC en 1/ °C

α_r – Coeficiente térmico de la resistividad a la temperatura de referencia Tr en 1/ °C

ρ_r – Resistividad del del conductor de puesta a tierra a una temperatura de referencia Tr en $\mu\Omega$-cm

Ko – $1/\alpha_o$ ó $(1/\alpha_r)$ – Tr en °C

t_c – Es el tiempo de duración de la corriente en segundos

TCAP – Es la capacidad térmica por unidad de volumen en J/(cm^3 x °C)

Si se calcula la sección transversal en KCM la ecuación queda:

$$I = 5{,}07 \times 10^{-3} A_{KCM} \sqrt{\left(\frac{TCAP}{t_c\, \alpha_r\, C_r}\right)} \ln\left(\frac{Ko + Tm}{Ko + Ta}\right) \text{ ec.30}$$

La fórmula simplificada en unidades inglesas se simplifica por:

$$A_{KCM} = I \times K_f \times \sqrt{t_c} \text{ ec. 31}$$

A_{KCM} – es el área del conductor en KCM

I – corriente de falla rms en kiloamperes

t_c – es el tiempo de duración de la corriente en segundos

K_f – es la constante del material

Para el conductor de cobre con el 100% de conductividad Kf= 7.00

$$A_{KCM} = 7{,}0 \times I \times \sqrt{t_c} \quad \text{ec. 32}$$

Evaluación de la resistencia a tierra del sistema de puesta a tierra de la subestación

Un buen sistema de puesta a tierra deberá tener una baja resistencia para minimizar los potenciales que se pudieran presentar en la subestación eléctrica durante una falla a tierra.

Para subestaciones de transmisión y otras más grandes, el valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra deberá ser de 1 Ohm o menor.

En subestaciones de distribución pequeñas, el valor aceptable de la resistencia del sistema de puesta a tierra debe estar ente 1 Ohm y 5 Ohms, dependiendo de las condiciones locales.

Cálculos simplificados

La estimación de la resistencia total es uno de los primeros pasos para determinar el tamaño y el arreglo básico del sistema de puesta a tierra.

La resistencia depende del área ocupada por el sistema de puesta a tierra, la cual es conocida desde que se inicia el proyecto eléctrico.

Conociendo el valor de la resistividad del suelo, una aproximación del valor del sistema de puesta a tierra puede calcularse por medio de la fórmula de una placa metálica circular a una profundidad de cero metros, en un terreno uniforme:

$$Rg = \frac{\rho}{4}\sqrt{\left(\frac{\pi}{A}\right)} \quad \text{ec. 33}$$

Rg – es la resistencia a tierra de la susbestación en Ohms

ρ – es la resistividad del suelo en Ohms-metro

A – es el área ocupada por la malla de tierra en m^2

En el límite superior de una subestación, la resistencia a tierra se puede obtener agregando un segundo término:

$$Rg = \frac{\rho}{4}\sqrt{\left(\frac{\pi}{A}\right)} + \frac{\rho}{L_T} \quad \text{ec. 34}$$

L_T – es la longitud total de los conductores enterrados en metros.

Sverak expandió la fórmula tomando en cuenta el efecto de la profundidad de la malla de tierra.

$$Rg = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{(20\,A)}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\,\sqrt{(20/A)}}\right)\right] \quad \text{ec. 35}$$

h - es la profundidad de la malla de tierra en metros

Ecuaciones de Schwarz

Schwarz desarrolló las siguientes ecuaciones para determinar la resistencia total en un suelo homogéneo de un sistema de puesta a tierra, con una malla de tierra horizontal y de electrodos de puesta a tierra verticales.

La resistencia total del sistema de puesta a tierra, tomando en cuenta la resistencia de la malla, electrodos de puesta a tierra y la resistencia mutua a tierra.

$$Rg = \frac{R_1 R_2 - R^2 m}{R_1 + R_2 - 2Rm} \quad \text{ec. 36}$$

R_1 – resistencia a tierra de los conductores de la malla de tierra.

R_2 – resistencia a tierra de todos los electrodos de puesta a tierra

Rm – resistencia mutua a tierra entre el grupo de conductores de la malla de tierra, R_1 y el grupo de los electrodos de puesta a tierra, R_2, en Ohms.

La resistencia a tierra de la malla de tierra está dada por:

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_C}\left[\ln\left(\frac{2L_C}{a'}\right) + \frac{k_1 \times L_C}{\sqrt{A}} - k_2\right] \quad \text{ec. 37}$$

ρ – es la resistividad del suelo en Ohms- metro

L_C – es la longitud total de los conductores conectados de la malla de tierra, en metros

a' – es $\sqrt{(a \times 2h)}$ para conductores enterrados a una profundidad h en metros ó

a' – es **a** para conductores sobre la superficie de la tierra en metros

2a – es el diámetro del conductor en metros.

A – es el área que cubre los conductores en m^2

k_1, k_2, son los coeficientes (ver gráficas A y B)

La resistencia a tierra de la cama de electrodos de puesta a tierra está dada por:

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_R L_R}\left[\ln\left(\frac{4L_R}{b}\right) - 1 + \frac{2k_1 \times L_r}{\sqrt{A}}(\sqrt{n_R} - 1)^2\right] \text{ec. 38}$$

13

Lr – es la longitud de cada electrodo de puesta a tierra

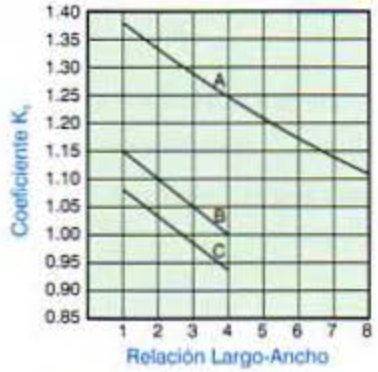
2b – es el diámetro de la varilla en metros

n_R – número de electrodos de puesta a tierra en el lugar

La resistencia mutua a tierra entre la malla de tierra y la cama de electrodos de puesta a tierra:

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_C}\left[\ln\left(\frac{2L_C}{Lr}\right) + \frac{k_1 \times L_C}{\sqrt{A}} - k_2 + 1\right] \quad \text{ec. 39}$$

Gráfica A

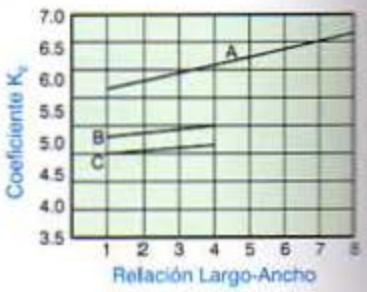


Curva A para profundidad h=0
$Y_A = -0.04x + 1.41$

Curva B para profundidad $h = \frac{1}{10\sqrt{Area}}$
$Y_B = -0.05x + 1.20$

Curva C para profundidad $h = \frac{1}{6\sqrt{Area}}$
$Y_C = -0.05x + 1.13$

Gráfica B



Curva A para profundidad h=0
$Y_A = 0.15x + 5.50$

Curva B para profundidad $h = \frac{1}{10\sqrt{Area}}$
$Y_B = 0.10x + 4.68$

Curva C para profundidad $h = \frac{1}{6\sqrt{Area}}$
$Y_C = -0.05x + 4.40$

Cálculo de los potenciales máximos de paso y de contacto

Potencial de contacto (potencial de malla)

Los valores del potencial de contacto son obtenidos por el producto del factor geométrico Km, el factor de corrección Ki, la resistividad del suelo ρ y la corriente promedio por unidad de longitud del conductor enterrado del sistema de puesta a tierra (I_G/L_M)

$$Em = \frac{\rho \, Km \, Ki \, I_G}{L_M} \quad \text{ec. 40}$$

El factor geométrico Km esta dado por:

$$Km = \frac{1}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d}\right) + \frac{K_{ii}}{K_h}\ln\left(\frac{8}{\pi(2n-1)}\right)\right] \quad \text{ec. 41}$$

$K_{ii} = 1$ para mallas de tierra con electrodos de puesta a tierra a lo largo del perímetro o mallas de tierra con electrodos de puesta a tierra en las esquinas, así como también a lo largo del perímetro y dentro del área de la malla de tierra.

Para mallas de tierra sin electrodos de puesta a tierra o mallas de tierra que contengan algunos electrodos de puesta a tierra, ningún electrodo de puesta a tierra en las esquinas ni en el perímetro.

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} \quad \text{ec. 42}$$

$$K_h = \sqrt{(1 + h/h_o)} \quad \text{ec. 43}$$

$h_o = 1$ m (profundidad de referencia de la malla de tierra)

El número efectivo de conductores en paralelo en una malla **n** , puede aplicarse a mallas de tierra rectangulares o irregulares y representa el número de conductores en paralelo de una malla de tierra rectangular equivalente.

$$n = n_a \times n_b \times n_c \times n_d \quad \text{ec. 44}$$

donde:

$$n_a = \frac{2L_C}{L_p} \quad \text{ec. 45}$$

$n_b = 1$ para mallas de tierra cuadradas

$n_c = 1$ para mallas de tierra cuadradas y rectangulares

$n_d = 1$ para mallas de tierra cuadradas, rectangulares y en forma de L.

En otro caso:

$$n_b = \sqrt{\left(\frac{L_p}{4\sqrt{A}}\right)} \quad \text{ec. 46}$$

$$n_c = \left[\frac{(Lx)(Ly)}{A}\right]^{0.7A/LxLy} \quad \text{ec. 47}$$

$$n_d = \frac{Dm}{\sqrt{(L^2x + L^2y)}} \quad \text{ec. 48}$$

Lc – es la longitud total del conductor horizontal de la malla de tierra, en metros.

Lp – es la longitud perimetral de la malla de tierra, en metros.

A – es el área de la malla de tierra en m^2.

Lx – es la máxima longitud de la malla de tierra en la dirección x, en metros.

Ly – es la máxima longitud de la malla de tierra en la dirección y, en metros.

Dm – es la máxima distancia entre dos puntos de la malla de tierra en metros.

D – distancia entre conductores en paralelo, en metros.

h – profundidad de los conductores de la malla de tierra.

d – diámetro del conductor de la malla de tierra, en metros.

El factor de irregularidad Ki, está definido por:

Ki = 0,644 + 0,148 n ec. 49

Para mallas de tierra sin electrodos de puesta a tierra o mallas de tierra con pocos electrodos de puesta a tierra dentro de la malla, pero ninguno en las esquinas ni en el perímetro de la malla. La longitud efectiva enterrada es:

$L_M = L_C + L_R$ ec.50

L_R es la longitud total de todos los electrodos de puesta a tierra, en metros.

Para mallas de tierra con electrodos de puesta a tierra en las esquinas y a lo largo de su perímetro y dentro de la malla de tierra, la longitud efectiva enterrada es:

$$L_M = L_C + \left[1{,}55 + 1{,}22\left(\frac{Lr}{\sqrt{(L^2x + L^2y)}}\right)\right] L_R \quad \text{ec.51}$$

Lr – es la longitud de cada electrodo de puesta a tierra, en metros.

Las mallas de tierra más comunes en una subestación eléctrica son:

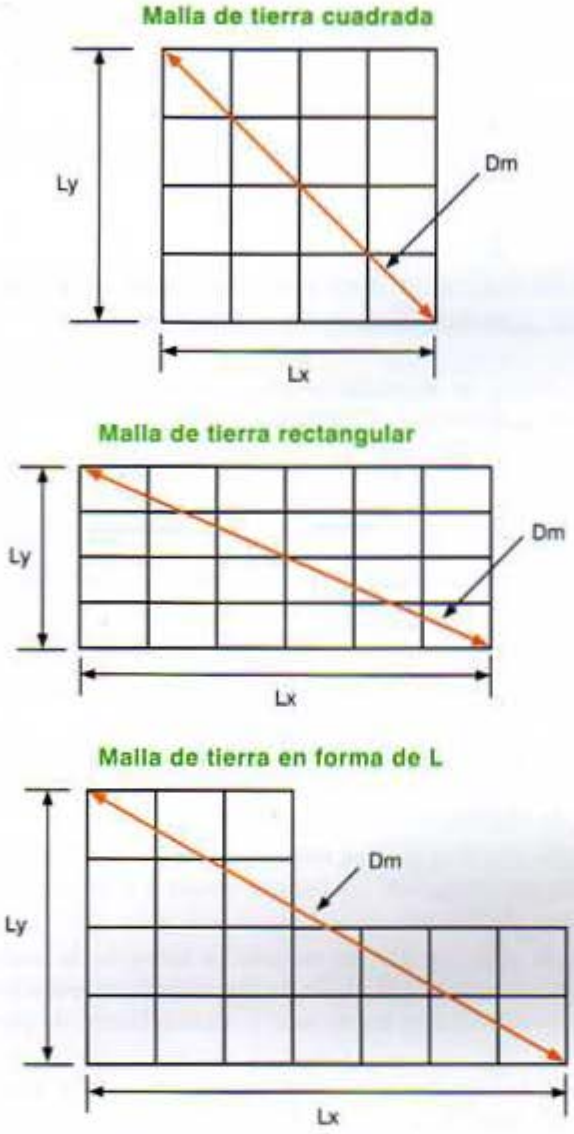


Fig. 94 Tipos de malla de puesta a tierra, mostrando la distancia máxima entre dos puntos de la malla

Potencial de paso

El potencial de paso se obtiene por el producto del factor geométrico Ks, el factor de corrección Ki, la resistividad del suelo ρ y la corriente promedio por unidad de longitud del conductor enterrado del sistema de puesta a tierra de la subestación.

$$Es = \frac{\rho \, Ks \; K i \; I_G}{Ls} \quad \text{ec. 52}$$

Para mallas de tierra con o sin electrodos de puesta a tierra, la longitud efectiva del conductor enterrado es:

$$Ls = 0{,}75\, L_C + 0{,}85\, L_R \quad \text{ec. 53}$$

Se asume que el máximo potencial de paso ocurre a una distancia de un metro, en el exterior del conductor perimetral y se extiende sobre la bisectriz del ángulo que forma la esquina de la malla de tierra.

Para una profundidad de la malla de tierra **0,25 m < h < 2,5 m**

$$Ks = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D}\left(1 - 0{,}5^{n-2}\right)\right] \quad \text{ec. 54}$$

Puesta a tierra de la malla de alambre que rodea el terreno de una subestación eléctrica

La puesta a tierra de la malla de alambre es de mucha importancia debido a que es accesible al público en general.

El diseño del sistema de puesta a tierra de una subestación eléctrica deberá de comprender el potencial de toque sobre la malla de alambre, calculando el potencial de toque máximo tolerable.

Las formas en que usualmente se encuentran conectadas las mallas de alambre son:

- La malla de alambre metálica puesta a tierra requerirá de un puente de unión entre ella y la malla de tierra de la subestación eléctrica o tener electrodos de puesta a tierra separados.
- La malla de alambre que se encuentre dentro de la malla de tierra, deberá de conectarse por medio de un puente de unión a la malla de tierra de la subestación eléctrica.
- La malla de alambre que se encuentre fuera de la malla de tierra y se conecta por medio de un puente unión a la malla de tierra de la subestación eléctrica.
- La malla de alambre que se encuentra fuera de la malla de tierra, pero no es conectada a la malla de tierra de la subestación eléctrica. La malla de alambre es conectada a un conductor de puesta a tierra separado.
- En la malla de alambre que se encuentra fuera de la malla de tierra, pero no es conectada a la malla de tierra de la subestación eléctrica ni a un conductor de puesta a tierra separado, el contacto será realizado a través de la tierra; es por eso que se deberá de considerar que la malla de alambre puede energizarse.
- Los potenciales de paso y de contacto que se presentarán en ambos lados de la malla de alambre serán los mismos que se presenten en la malla de tierra de la subestación eléctrica al presentarse una falla.

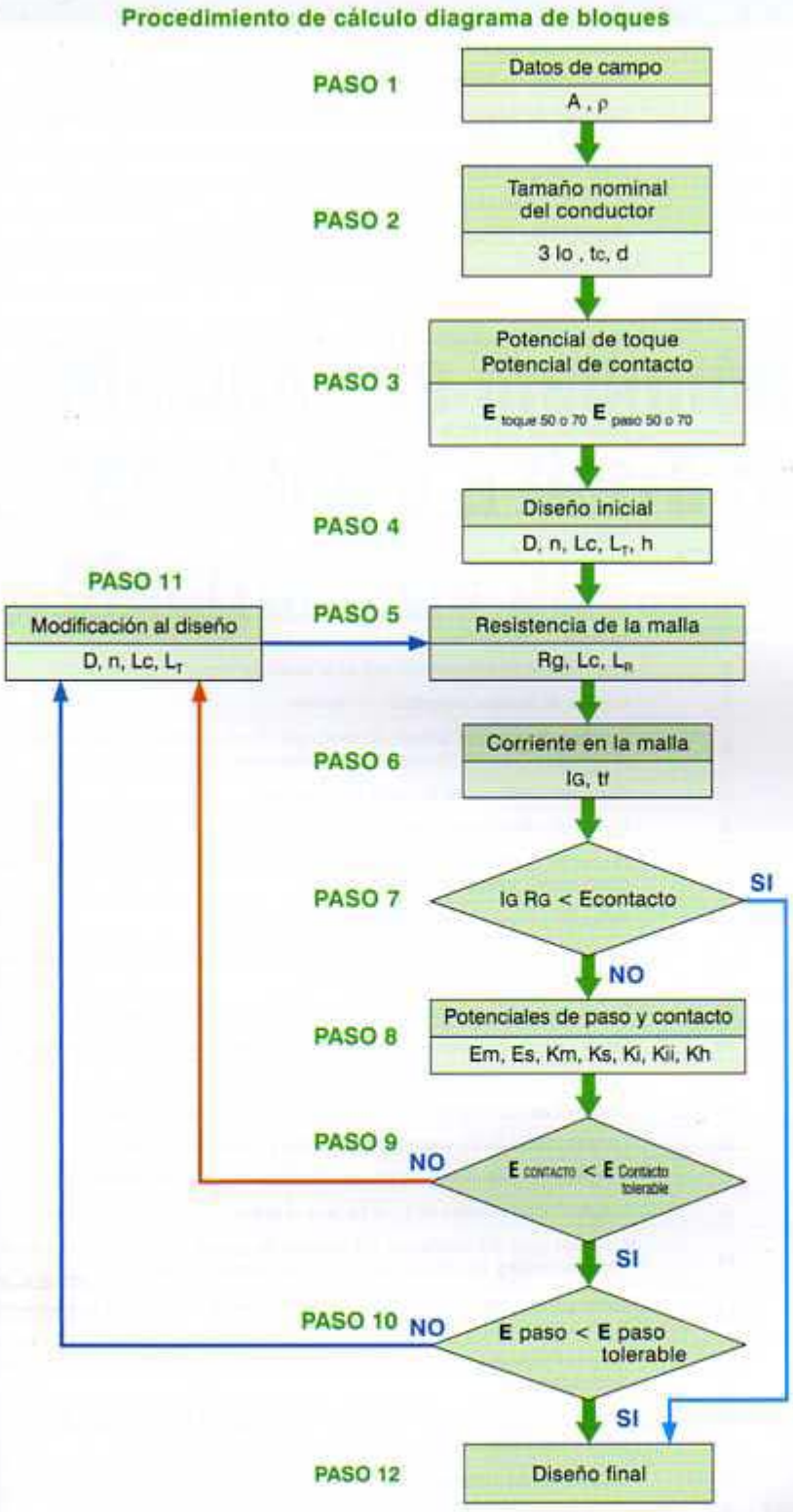


Fig. 95 Diagrama de bloques del procedimiento de cálculo

SIMBOLO	DESCRIPCION
ρ	Resistividad del suelo, Ohms, metro
ρ_s	Resistividad de la capa superficial, Ohms - metro
$3I_o$	Corriente de falla simétrica en la subestación para el tamaño del conductor en Amperes
A	Área total que ocupa la malla de tierra en m^2
Cs	Factor de decremento de la capa superficial
d	Diámetro del conductor de la malla de tierra, en metros
D	Espaciamiento entre conductores en paralelo, en metros
D_f	Factor de decremento para determinar Ic
D_m	Distancia máxima entre 2 puntos cualesquiera de la malla de tierra, en metros
$E_{CONTACTO}$	Potencial de contacto en la malla de tierra, en Volts
E_{PASO}	Potencial de paso en la malla de tierra, en Volts
$E_{PASO\ 50}$	Potencial de paso tolerable por el cuerpo humano con un peso de 50 kg, en Volts
$E_{PASO\ 70}$	Potencial de paso tolerable por el cuerpo humano con un peso de 70 kg, en Volts
$E_{CONTACTO\ 50}$	Potencial de contacto tolerable por el cuerpo humano con un peso de 50 kg, en Volts
$E_{CONTACTO\ 70}$	Potencial de contacto tolerable por el cuerpo humano con un peso de 70 kg, en Volts
h	Profundidad de los conductores de la malla de tierra, en metros
h_s	Espesor de la capa superficial, en metros
Ic	Corriente máxima en la malla de tierra que circulará entre la malla de tierra y el terreno adyacente (incluyendo la componente de c.d.) en Amperes
Ig	Corriente simétrica en la malla, en Amperes
K	Factor de reflexión entre diferentes resistividades
K_h	Factor de corrección que enfatiza los efectos de la profundidad de los conductores, método simplificado
K_i	Factor de corrección geométrico de la malla de tierra
K_{ii}	Factor de corrección que ajusta los efectos de los conductores interiores de la malla de tierra. Método simplificado
K_m	Factor de espaciamiento para el voltaje de malla método simplificado
Ks	Factor de espaciamiento para el potencial de paso, método simplificado
Lc	Longitud total del conductor de la malla de tierra, en metros
Lm	Longitud efectiva de Lc + Lr para el potencial de malla, en metros
Lr	Longitud total de los electrodos de puesta a tierra, en metros
L_r	Longitud de cada electrodo de puesta a tierra (varilla) en metros
L_s	Longitud total efectiva de Lc + Lr para el potencial de paso, en metros
LT	Longitud total del conductor del sistema de puesta a tierra, incluyendo la malla de tierra y los electrodos de puesta a tierra, en metros
Lx	Longitud máxima de los conductores de la malla de tierra en la dirección X, en metros
Ly	Longitud máxima de los conductores de la malla de tierra en la dirección Y, en metros
n	Factor geométrico compuesto por los factores n_a, n_b, n_c, n_d
n_R	Número de varillas (electrodos de puesta a tierra) en el área **A**
R_g	Resistencia del sistema de puesta a tierra, en Ohms
S_f	Factor de división de corriente
t_c	Tiempo de duración de la corriente para determinar el tamaño del conductor de la malla de tierra , en segundos
t_f	Tiempo de duración de la corriente para determinar el factor de decremento, **s**
t_s	Tiempo de duración de la corriente de descarga eléctrica para determinar la corriente en el cuerpo humano, en segundos

Capítulo 14

Métodos de medición de la resistencia a tierra de un electrodo de puesta a tierra

Contenido

Métodos de medición de la resistencia a tierra de un electrodo de puesta a tierra 122
Métodos de medición de la resistencia a tierra . 125
Valor teórico de la resistencia a tierra 127

Métodos de medición de la resistencia a tierra de un electrodo de puesta a tierra

Métodos de medición de la resistencia a tierra de un electrodo de puesta a tierra

La resistencia a tierra de cualquier sistema de electrodos de puesta a tierra, teóricamente puede ser calculada por fórmulas basadas en la siguiente fórmula general:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{ec. 55}$$

Donde:

ρ Resistividad del terreno en Ohms-m

L Es la longitud en metros

A Área de la sección transversal en m^2

Existen muchos factores indeterminados en cualquier fórmula para el cálculo de la resistencia a tierra, como por ejemplo, la resistividad del terreno variará inversamente con la temperatura del terreno y directamente con el contenido de humedad y con la profundidad.

Es necesario realizar la medición de la resistencia a tierra por un método directo después de que el sistema de puesta a tierra ha sido terminado; además se recomienda que se efectúen las mediciones de la resistencia a tierra de cada uno de los electrodos de puesta a tierra durante su instalación.

Los principios utilizados en la medición de la resistencia a tierra son esencialmente los mismos que son usados para la medición de otros tipos de resistencia. Es muy importante que las mediciones de la resistencia a tierra se hagan durante la instalación y periódicamente durante un año, para observar los cambios que sufre con el tiempo; se recomienda que se efectúen 2 mediciones cada año, una durante la época de lluvias y otra durante la época de secas, y los resultados asentarlos en una bitácora única del mantenimiento del sistema de puesta a tierra.

Estás mediciones se efectúan con un instrumento de medición de resistencia de tierra calibrado, de 3 ó 4 puntos.

Para entender el principio de la medición de la resistencia a tierra, se considerará el siguiente diagrama eléctrico:

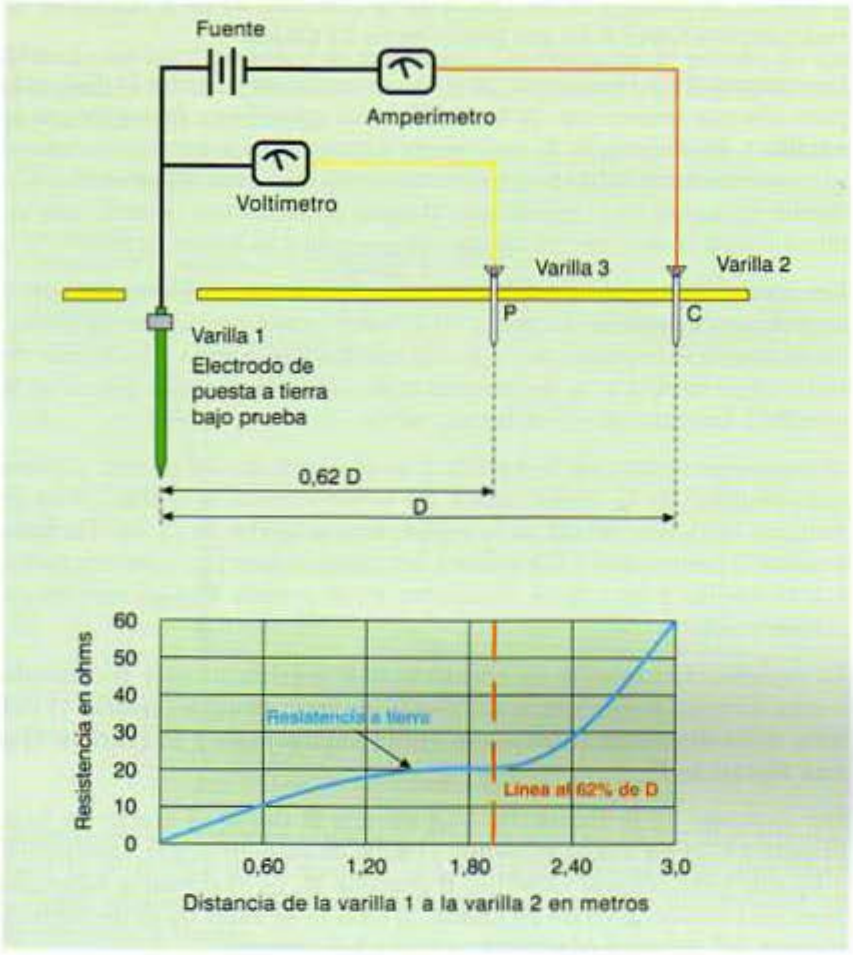


Fig. 96 Principio de medición de la resistencia a tierra

Teniendo como base un electrodo de puesta a tierra como el de la figura 96, cuando se incrementa la distancia afuera del electrodo de puesta a tierra, las líneas de tierra son más grandes en superficie y por lo tanto la resistencia es baja. Ahora, asumiendo que las 3 varillas se encuentran dentro del terreno y distanciadas, se aplicará un voltaje, tal y como lo muestra la figura 96.

La corriente que pasa a través de las **varillas 1 y 2**, es medida por un ampermetro, el voltaje entre las **varillas 1 y 3** será medido por un vóltmetro.

Si la varilla 3 es localizada en varios puntos entre la **varilla 1 y 2**, preferentemente en una línea, se podrá conseguir una serie de lecturas de voltaje. Por la **Ley de Ohm**.

$$R = \frac{E}{I} \quad \text{ec. 56}$$

Se puede determinar la resistencia a tierra de cualquier punto de medición. Por ejemplo, si la medición del voltaje entre la **varilla 1 y 3** es de 30 Volts, y la medición de la corriente es de 2 Amperes, la resistencia a tierra **R** en ese punto es de **15 Ohms**.

Los valores de la resistencia pueden ser graficados contra la distancia para obtener una curva. Si la **varilla 3** es movida en dirección de la **varilla 1**, los valores de la resistencia a tierra se incrementarán pero el incremento conseguido será menos y menos hasta un punto alcanzado, donde el rango del incremento llegará a ser menor, por lo que se considerará constante (20 Ohms, de acuerdo a la figura 96).

Las líneas de tierra entre las dos **varillas (1 y 3)** tienen una gran superficie que adicionan poco, en el valor la resistencia total a tierra. Entonces en este punto, así como la **varilla 3** se acerca a las líneas de tierra de la **varilla 2**, la resistencia gradualmente se eleva. Cerca de la **varilla 2** los valores suben bruscamente.

Ahora, se observa que la **varilla 1** es el electrodo de puesta a tierra bajo prueba, de la curva típica de la resistencia a tierra, como lo muestra la figura, **¿Cuál es la resistencia a tierra de la varilla bajo prueba?** Llamaremos a la **varilla 2** la corriente de referencia de prueba **C** y la **varilla 3**, el voltaje de referencia de prueba **P** (para una mejor interpretación).

La resistencia correcta es obtenida si P (varilla 3) está localizada a una distancia del centro del electrodo bajo prueba (varilla 1) del 62% de la distancia entre el electrodo bajo prueba y C_2 (varilla 2) a una distancia D.

Por ejemplo, en la figura 96, la distancia **D** desde el electrodo bajo prueba a **C** es de 3 mts, tomando el **62%** de está distancia, tendremos 1,82 mts para colocar el punto **P (varilla 3)**. La resistencia obtenida para está distancia es de **20 Ohms**, la cual es el valor de la resistencia a tierra del electrodo de puesta a tierra bajo prueba.

Además, se deberá conocer más acerca del sistema de puesta a tierra. Finalmente, el punto **C**, deberá estar lejos del sistema de electrodos de puesta a tierra así como de la distancia del **62%**, estará fuera de la **"influencia de la esfera"** del electrodo de puesta a tierra.

Por lo que para minimizar la interferencia entre electrodos, se recomienda que el punto **C (varilla 2)** se localice a una distancia del electrodo bajo prueba de **5D**, por ejemplo, para una varilla de 3 mts de longitud el punto **C** (varilla 2) se deberá localizar a 15 mts y el punto P (varilla 3) a una distancia de 15 mts x 0,62 = 9,3 mts.

Métodos de medición de la resistencia a tierra

Método de los 3 puntos o de potencial. Este método de prueba de los tres puntos fue descrito con referencia a la figura 97 y es recomendado por la IEEE Std 1100-1992.

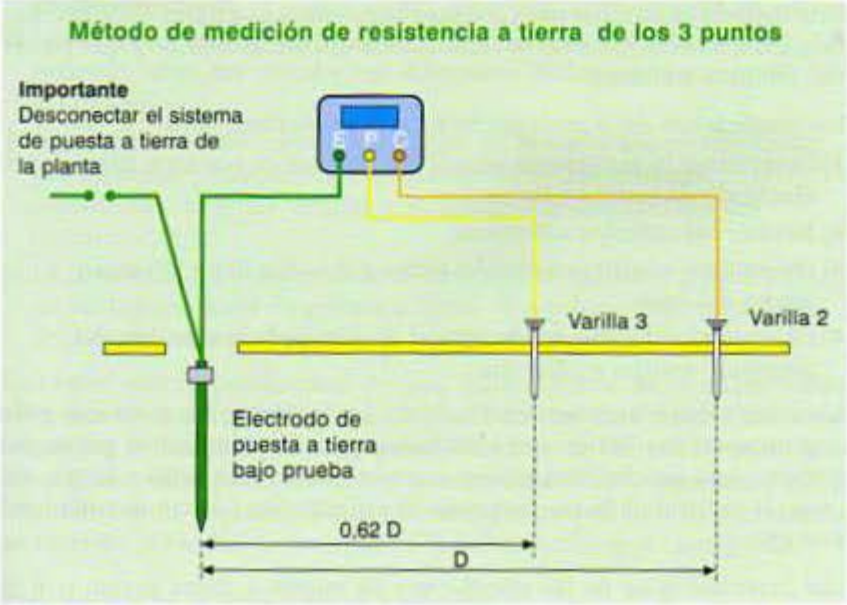


Fig. 97 Método de medición de los tres puntos

Método de los 2 puntos o método directo. Es uno de los más simples para la obtención de la resistencia a tierra de un electrodo de puesta a tierra; una lectura con resistencia baja indicará una alta calidad en la conexión a tierra.

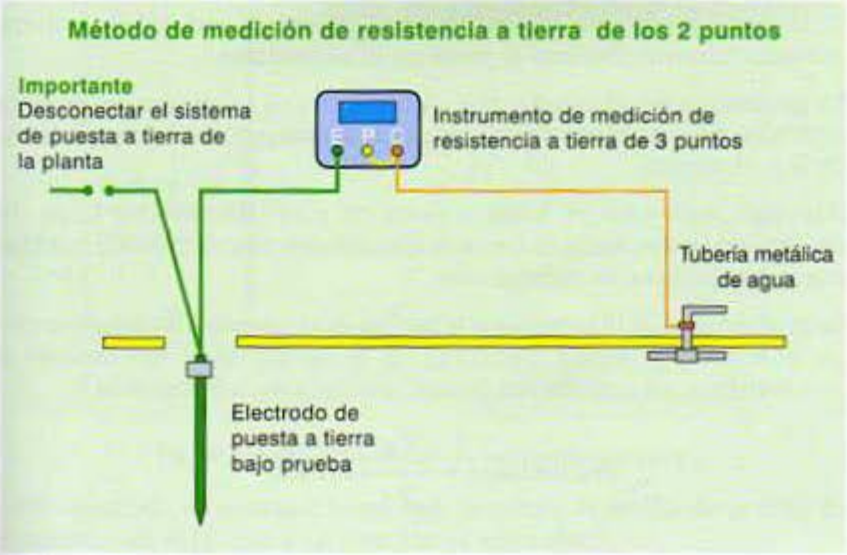


Fig. 98 Método de medición de los dos puntos o aproximado

Este método se utiliza cuando no existe terreno natural para enterrar las varillas de prueba y se deberá de considerar que:

1) La tubería de agua deberá estar en contacto con el suelo y deberá de tener una baja resistencia.

2) La tubería de agua deberá ser metálica sin conexiones aisladas.

3) La tubería de agua deberá estar afuera de la influencia de la esfera.

Este método es auxiliar para conocer la resistencia a tierra del electrodo de puesta a tierra, pero no se recomienda utilizarla, debido a que puede dar lecturas erróneas.

Las mediciones de la resistencia a tierra se realizan para:

1) Determinar la resistencia actual del sistema de puesta a tierra o del electrodo de puesta a tierra.

2) Revisar los cálculos eléctricos.

3) Determinar el alto potencial a tierra y la variación a lo largo y ancho del área.

4) Obtener el valor necesario para el diseño de la protección del personal, equipo y edificios.

Las conexiones de puesta a tierra de los sistemas de potencia y de comunicaciones deben ser estudiadas para determinar el potencial a tierra, que puede encontrarse cuando ocurra una falla a tierra, así como la seguridad de las personas, el aislamiento y la continuidad del servicio.

Las características de las conexiones de puesta a tierra varían con el estado físico, la composición del terreno, la extensión y la configuración del electrodo de puesta a tierra.

Los cálculos y la experiencia muestran que para un terreno la efectividad de la malla de tierra depende de la longitud y del tamaño nominal del conductor.

Después de la instalación de la subestación, el terreno cambia con el ciclo anual de lluvias, lo cual tiende a reducir la resistencia a tierra substancialmente durante el primer y el segundo año.

La resistencia del electrodo de puesta a tierra es generalmente medida en Ohms porque la reactancia es nula con respecto a la componente de la resistencia.

Algunas corrientes de fallas a tierra de una falla en una línea de transmisión a una malla de tierra de una subestación, tenderán a circular siguiendo la línea de transmisión.

La profundidad de la trayectoria principal de la corriente es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la resistividad del terreno e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia.

$$\text{Profundidad} = \frac{\sqrt{\rho}}{\sqrt{f}} \quad \textbf{ec. 57}$$

La resistencia tiende a incrementar el área de la sección transversal de la trayectoria de la corriente de falla, considerando que la reactancia tiende a decrecer y se cerrará en la línea de transmisión. Esta tendencia afectará la dirección de la trayectoria de la corriente al electrodo de puesta a tierra.

Valor teórico de la resistencia a tierra

El valor teórico calculado de la resistencia de un electrodo de puesta a tierra varía considerablemente al valor medido por el instrumento, debido a los siguientes factores:

1) La exactitud de las ecuaciones analíticas utilizada en los cálculos de la resistencia.
2) Las condiciones del terreno cuando se realiza la medición, las resistividades del terreno son diferentes de los datos asumidos en los cálculos.
3) Inexactitud o extensión insuficiente de la resistividad estudiada: por ejemplo, el número y espaciamiento de las pruebas, espaciamiento entre varillas y la utilización inadecuada del instrumento.
4) La presencia en el terreno de estructuras metálicas adyacentes y de los conductores de puesta a tierra, los cables de prueba deben desviarse a una distancia de la corriente de prueba.

Es cierto que la posibilidad de una falla a tierra en la subestación eléctrica es remota y puede ocurrir cuando las varillas de prueba se empiezan a instalar, pero esta posibilidad no se deberá de pasar por alto; el uso de zapatos aislantes, guantes, casco de seguridad y otros dispositivos de protección son recomendados que se utilicen cuando se realicen las mediciones cuando la subestación está energizada.

Electrodos de puesta a tierra esféricos

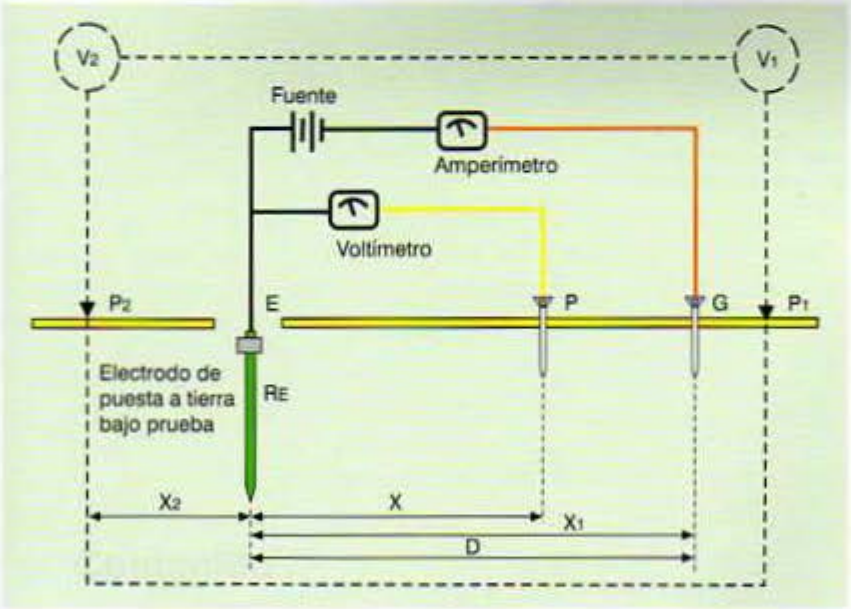


Fig. 99 Principio de medición de la resistencia a tierra

Si el electrodo de puesta a tierra bajo prueba y la varilla de prueba de corriente son esféricos y su relación es pequeña.

Si el electrodo E y G son esféricos y su relación es pequeña comparada a (x) y (D) y si el terreno es uniforme, entonces las funciones de potencial ϕ, η y φ son inversamente proporcionales a la distancia relativa al centro de la esfera si el origen de las (x) es el centro de la esfera E,

entonces la ecuación queda:

$$\frac{1}{(D-x)} \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{x} = 0 \quad \text{ec.58}$$

La raíz positiva de la ecuación 58 es la ubicación exacta de la varilla de prueba de potencial X_0:

$X_0 = 0{,}618\ D$ ec. 59

Esto es la regla general del 61.8%

Si la varilla de prueba de potencial P es localizada en P_2 (de lado izquierdo de E, ver figura 99) entonces (D – x) debe ser reemplaza por (D + x) en la ecuación. En este caso la ecuación tiene raíces complejas solamente. Si P se localiza en P1 (del lado de G, ver figura 99) entonces (D – x) debe ser reemplazo de (x – D) en la ecuación, la raíz positiva de la ecuación es:

$X_0 = 1{,}618\ D$ ec. 60

Caso General

Si el terreno no es uniforme o los electrodos E y G tienen configuraciones complejas o ambas, entonces, las funciones ϕ, η y φ no son fáciles de calcular. En muchos casos, las soluciones por computadora son generalmente requeridas.

Capítulo 15

Métodos de medición de resistividad eléctrica de la tierra (suelo, terreno natural)

Contenido

Métodos de medición de resistividad eléctrica de la tierra (suelo, terreno natural) . . . 130
Método de 4 puntos 131
Método de Schlumberger-Palmer 132
Método de los 3 puntos o método aproximado . 133

Métodos de medición de resistividad eléctrica de la tierra (suelo, terreno natural)

La resistividad eléctrica del suelo o resistencia específica del suelo, es la resistencia de un volumen que tenga una sección transversal y longitud unitarias y sus unidades son Ohms-metro.

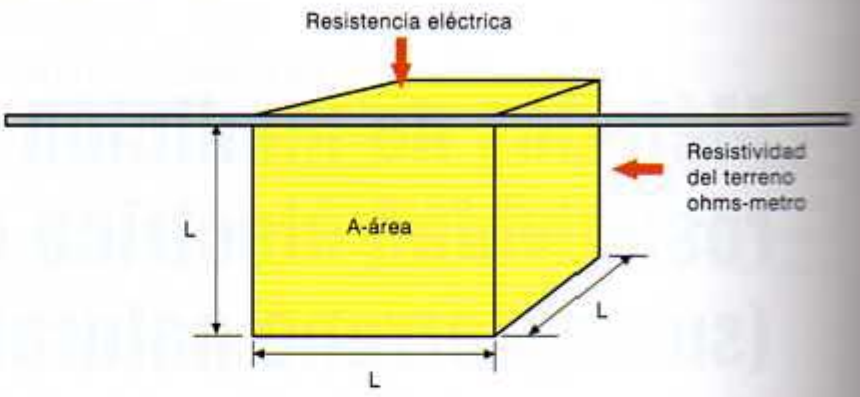


Fig.100 Resistividad del terreno

La resistividad del terreno es una variable básica que afecta la resistencia a tierra de un sistema de puesta a tierra. Ahora, se considerarán otros campos donde el valor de la resistividad del terreno es medida, así como también los factores que afectan en la prueba.

La medición de la resistividad del terreno es usualmente utilizada para buscar el mejor lugar y profundidad para la instalación de los electrodos de puesta a tierra de baja resistencia. Estos estudios deben ser hechos para nuevas unidades eléctricas que son construidas como por ejemplo estaciones de generación, subestaciones eléctricas, torres de transmisión, central telefónica, etc.

Finalmente, la resistividad del terreno se usa para indicar el grado de corrosión que se espera debajo de la tierra para tuberías de agua, aceite, gasolinas, gas, etc. En general, los lugares donde los valores de la resistividad son bajos tienden a incrementar la corrosión, por lo que está información será una buena guía para la instalación de la protección catódica.

Cómo medir la resistividad eléctrica del terreno

El instrumento de medición que se utiliza para la medición de la resistividad del terreno es un instrumento de medición de resistencia a tierra, ya sea de 3 puntos ó 4 puntos.

Método de 4 puntos

El Doctor Frank Wenner de la U.S. Bureau of Standards desarrolló la teoría de esta prueba en 1915 y es la más empleada.

Se utilizan 4 electrodos de prueba iguales y se entierran en el suelo apartados a una distancia igual en línea recta y se conectan por medio de 4 conductores de prueba al aparato de medición de resistencia a tierra.

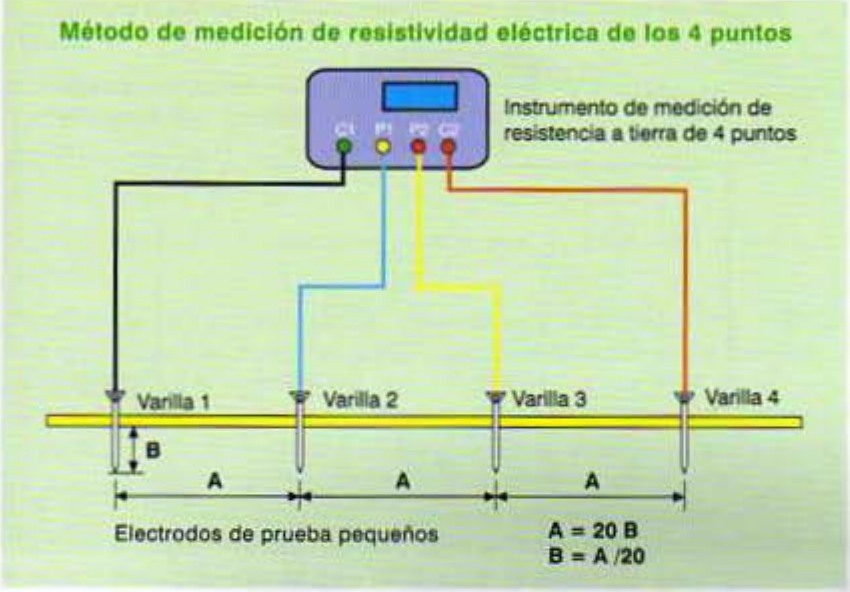


Fig. 101 Método de medición de Frank Wenner

De las lecturas resultan un valor de resistencia a tierra R, con dicho valor se aplica la siguiente fórmula:

$$\rho = 2 \pi A R \quad \text{ec. 61}$$

Donde:

ρ = resistividad del terreno en Ohms-metro

A = distanciamiento entre electrodos de prueba.

R = resistencia a tierra medida por el aparato de medición.

Con lo cual resultan valores de la resistividad del terreno y se promedian para obtener la resistividad del terreno.

Método de Schlumberger-Palmer

Este método es una modificación del método de Wenner, ya que también emplea 4 electrodos de prueba, pero en este caso la separación entre los electrodos centrales o de potencial se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los electrodos interiores a distancias múltiples (na) de la separación base de los electrodos internos (a).

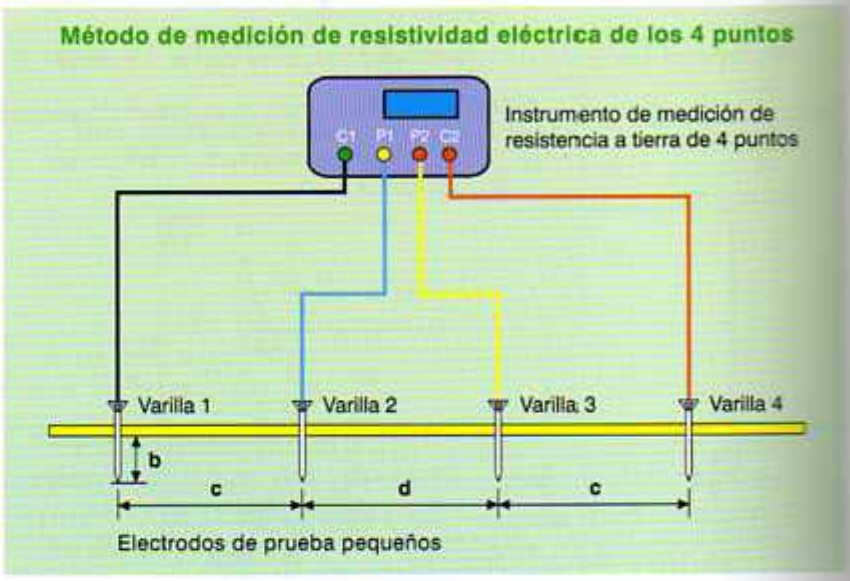


Fig. 102 Método de medición de Schlumberger-Palmer

Con el valor obtenido de la resistencia a tierra, se utiliza la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{\pi\, c(c+d)\, R}{d} \quad \text{ec. 62}$$

Donde:

ρ = resistividad del terreno en Ohms-metro
d = distanciamiento entre electrodos interiores de prueba.
c = distanciamiento entre electrodos interiores y exteriores.
R = resistencia a tierra medida por el aparato de medición.

Método de los 3 puntos o método aproximado

Este método de los 3 puntos es el que se explicó anteriormente, y con la siguiente expresión se encuentra la resistividad del terreno:

$$\rho = \frac{R}{2\pi L}\left(\ln \frac{2{,}943\ L}{d}\right) \quad \text{ec. 63}$$

Donde:

ρ = Resistividad del terreno.

L = Longitud de la varilla enterrada.

d = diámetro de la varilla enterrada.

R = resistencia medida con el aparato de medición.

La resistividad del terreno decrece con la humedad y las sales disueltas.

En el suelo, la conducción de corriente es grandemente electrolítica. Así la cantidad de humedad y del contenido de sal en el suelo afectará radicalmente a la resistividad. Si la cantidad de agua en el suelo varia, de acuerdo con el clima, los meses del año, la naturaleza del subsuelo y la profundidad permanente del nivel friático, la resistividad variará.

Los efectos típicos del agua en el suelo:

Cuando el suelo está seco los dos tipos de suelo son buenos aisladores (resistividad más grande que 1000×10^6 Ohms-cm).

Con el contenido de humedad del 15%, la resistividad del terreno decrece (por un factor alrededor de 100 000).

Actualmente, el **agua pura tiene una resistividad infinitamente alta**. Naturalmente, la sal dentro de la tierra, disuelta en agua, baja la resistividad. Sólo un pequeño aumento de sal puede reducir la resistividad del terreno.

Efecto de la temperatura sobre la resistividad del terreno.

Existen dos factores que se manifiestan al incrementarse la temperatura y podrá decrecer la resistividad:

1. El agua presente en el suelo principalmente determina la resistividad.
2. Un incremento en la temperatura marcadamente decrecerá la resistividad con el agua.

Cuando el agua está congelada en el suelo, la resistividad salta apreciablemente: el hielo tiene una resistividad alta. Por lo que al decrecer la temperatura hacia la congelación, se tendrá un valor realmente alto, como en el Polo Norte.

Variaciones de la resistividad del terreno en diferentes épocas

La resistividad del terreno varía considerablemente en diferentes épocas del año, esto es particularmente cierto en lugares donde existen cambios extremos de temperatura, lugares lluviosos, secos y otras variaciones de temporadas.

Capítulo 16

Interpretación de la Normatividad Vigente

Contenido

A) Disposiciones generales 136

B) Puesta a tierra de circuitos y sistemas eléctricos 138

C) Ubicación de las conexiones de puesta a tierra de los sistemas 147

D) Puesta a tierra de envolventes y canalizaciones. 168

E) Puesta a tierra del equipo 170

F) Métodos de puesta a tierra 176

G) Puentes de Unión (Unión) 187

H) Sistema de electrodos de puesta a tierra 200

I) Conductores de puesta a tierra 207

J) Conexiones de los conductores de puesta a tierra 220

Fuente: Norma Oficial Mexicana, NOM-001-SEDE-1999, publicada en el Diario Oficial de la Federación, el 27 de septiembre de 1999.

A) Disposiciones generales

Sección 250-1

El alcance del artículo 250 puesta a tierra abarca los requisitos generales para la puesta a tierra y los puentes de unión que deberán de instalarse en las instalaciones eléctricas, residenciales, comerciales, industriales, de los suministradores, etc.

También se dan las especificaciones:

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

Los sistemas se conectan a tierra para:

a) Limitar las sobretensiones eléctricas debidas a descargas atmosféricas
b) Limitar los transitorios en la red o contacto accidental con líneas de alta tensión
c) Estabilizar la tensión eléctrica a tierra durante su funcionamiento normal.

Los equipos se conectan a tierra para que ofrezcan una trayectoria de baja impedancia para las corrientes eléctricas de falla, y que faciliten el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en caso de falla a tierra.

Los materiales conductores que rodean a conductores o equipo eléctricos o que forman parte de dicho equipo, se conectan a tierra para limitar la tensión a tierra de esos materiales y para facilitar el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en caso de falla a tierra.

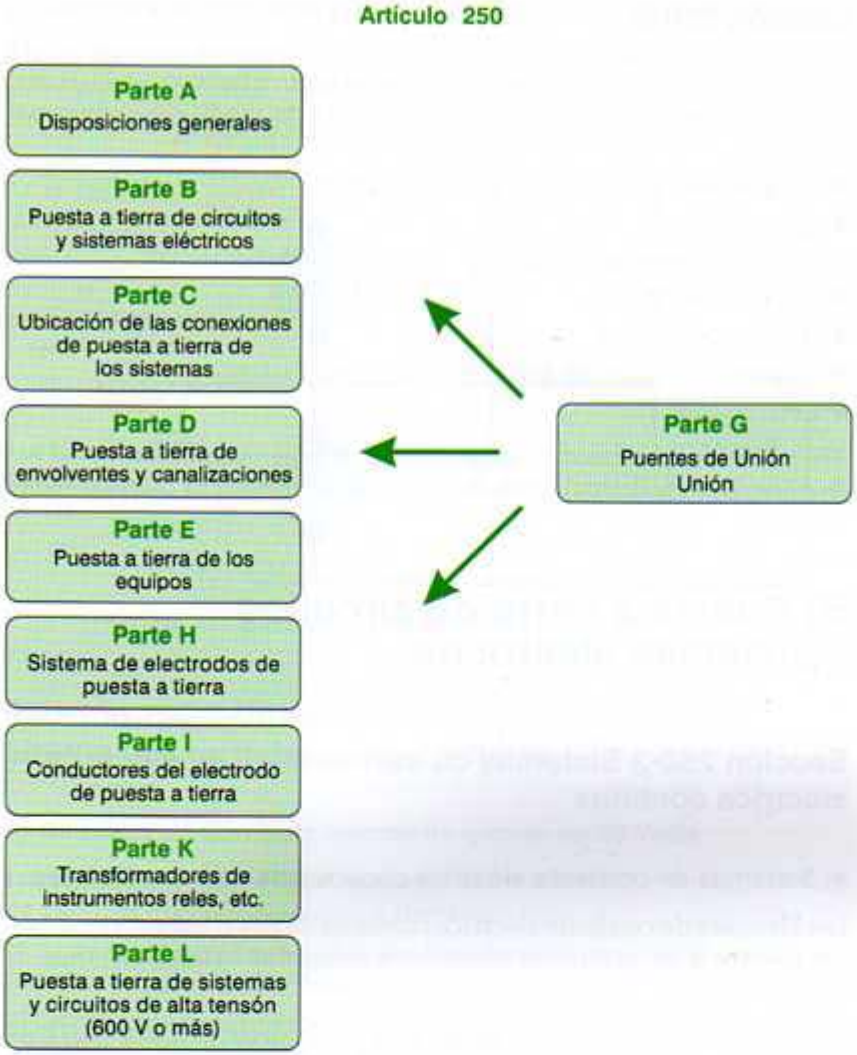


Fig. 103 Partes que integran al Artículo de puesta a tierra

En el diagrama de bloques se especifican las partes en que está estructurado el artículo 250, y en la que todos están unidos fundamentalmente por los puentes de unión (uniones), que son los esenciales para la trayectoria efectiva de la puesta a tierra.

Sección 250-2

La puesta a tierra aplica también a casos particulares y también hay otros requisitos adicionales a este artículo o lo modifican, como por ejemplo:

- Acometidas
- Capacitores
- Construcciones agrícolas
- Equipos de rayos x
- Grúas y polipastos
- Motores, circuitos de motores y sus controladores
- Etc.

Al realizar la instalación eléctrica de un equipo específico se deberá de consultar su Artículo que le aplica de acuerdo a la Normatividad Vigente.

B) Puesta a tierra de circuitos y sistemas eléctricos

Sección 250-3 Sistemas de corriente eléctrica continua

a) Sistemas de corriente eléctrica continua de dos conductores

Los sistemas de corriente eléctrica continua de dos conductores deben ser puestos a tierra cuando suministre energía al sistema eléctrico de los usuarios.

Existen varias excepciones en las que no se debe poner a tierra un sistema de corriente eléctrica continua de dos conductores, como es el caso de un sistema de corriente continua, derivado de un rectificador y alimentado de un sistema de corriente alterna.

250-3 (a) Exc. 4 Sistema de C.C. derivado de un rectificador y alimentado desde un sistema de C.A.

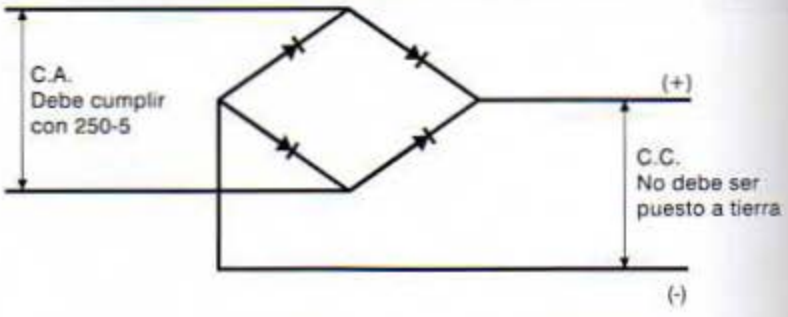


Fig. 104 Excepción a la puesta a tierra de sistemas de corriente continua

c) Sistemas de corriente eléctrica continua de tres conductores

En un sistema de corriente eléctrica continua de tres conductores se debe poner a tierra el neutro.

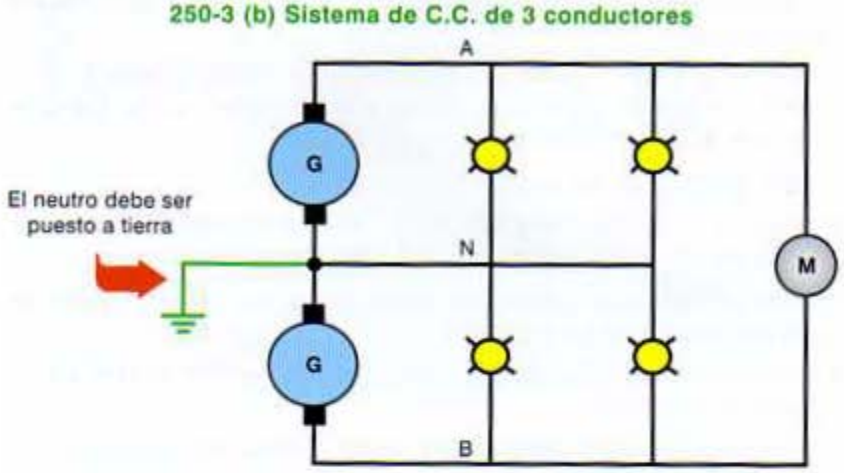


Fig. 105 Sistema de corriente continua de 3 conductores

Sección 250-5 Circuitos y sistemas de corriente alterna que se deben poner a tierra

a) Circuitos de corriente alterna de menos de 50 Volts

Los circuitos eléctricos que se alimenten de corriente alterna de menos de 50 Volts deben ser puestos a tierra si:

1) Se encuentran alimentados por transformadores con un voltaje a tierra de más de 150 Volts.
2) Se encuentran alimentados por transformadores y el alimentador del transformador no esta puesto a tierra.
3) Cuando estén instalados fuera de los inmuebles como conductores aéreos.

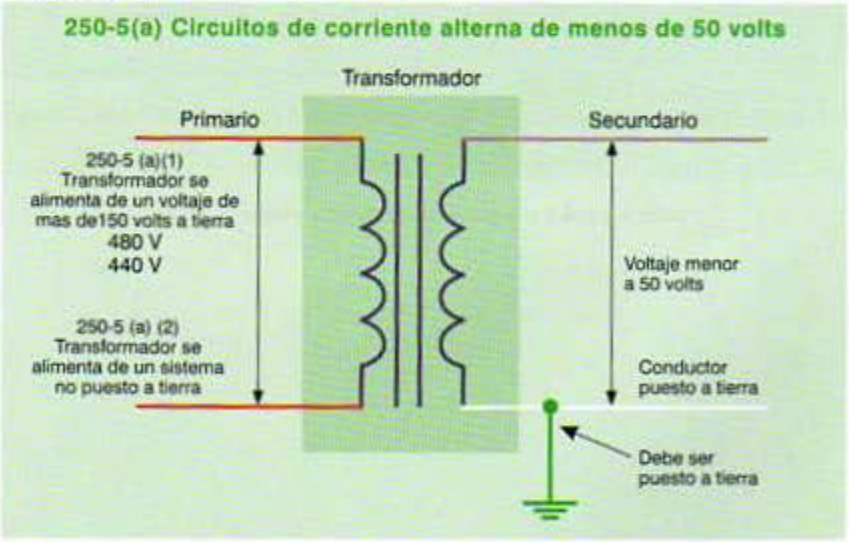




Fig. 106 Puesta a tierra de circuitos de corriente alterna de menos de 50 Volts.

b) Sistemas de corriente alterna de 50 a 1000 Volts

Los sistemas de corriente alterna de 50 a 1000 Volts que suministren energía eléctrica a instalaciones eléctricas y sistemas de alambrado de usuarios deberán estar puestos a tierra, como se indica a continuación:

1) Cuando se tiene un sistema eléctrico que pueda ser puesto a tierra y la tensión eléctrica máxima a tierra de los conductores de fase sea menor de 150 Volts.

En este caso se pueden tener:

- Sistemas monofásicos de 120 Volts, con una tensión de fase a tierra de 120 Volts.

Cuando se tiene este sistema eléctrico, puede ser puesto a tierra en cualquier conductor L1 o L2.

- Sistemas monofásicos de 220 Volts, con una tensión de fase a a tierra de 120 Volts.

Este sistema es puesto a tierra en el punto central del devanado

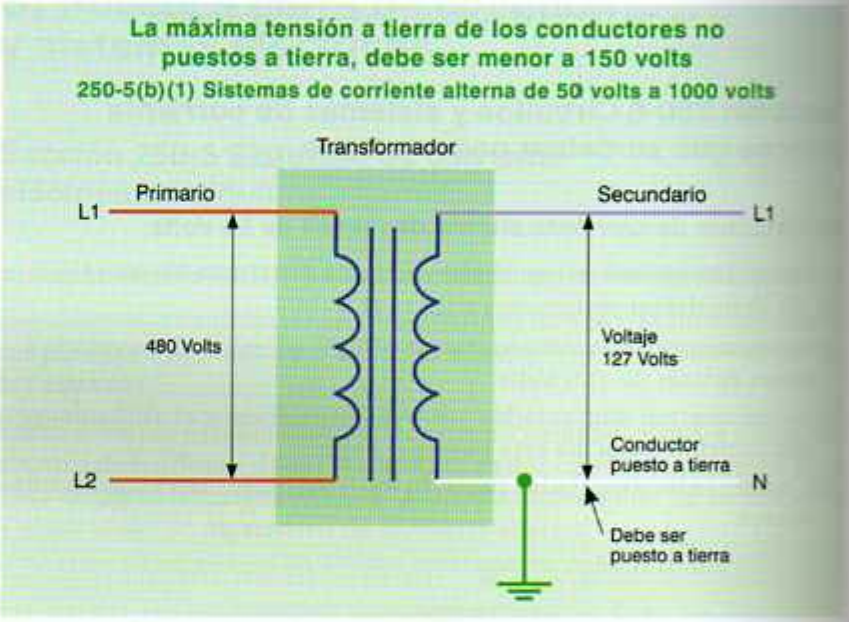


Fig. 107 Puesta a tierra de circuitos de corriente alterna menos de 150 Volts a tierra

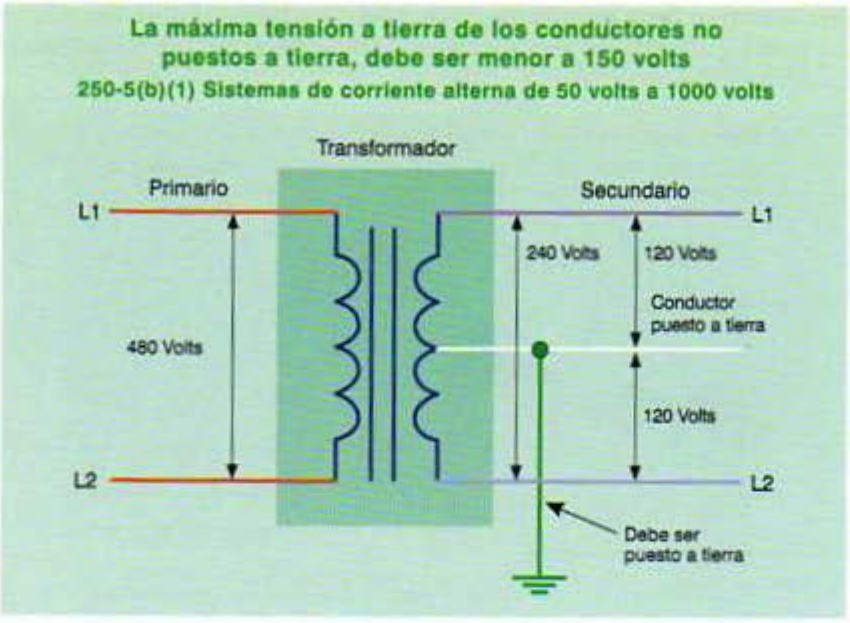


Fig. 108 Puesta a tierra de circuitos de corriente alterna menos de 150 Volts a tierra

2) Cuando se tiene un sistema eléctrico de tres fases, 4 hilos, conectado en estrella y el conductor neutro se utiliza como conductor de circuito.

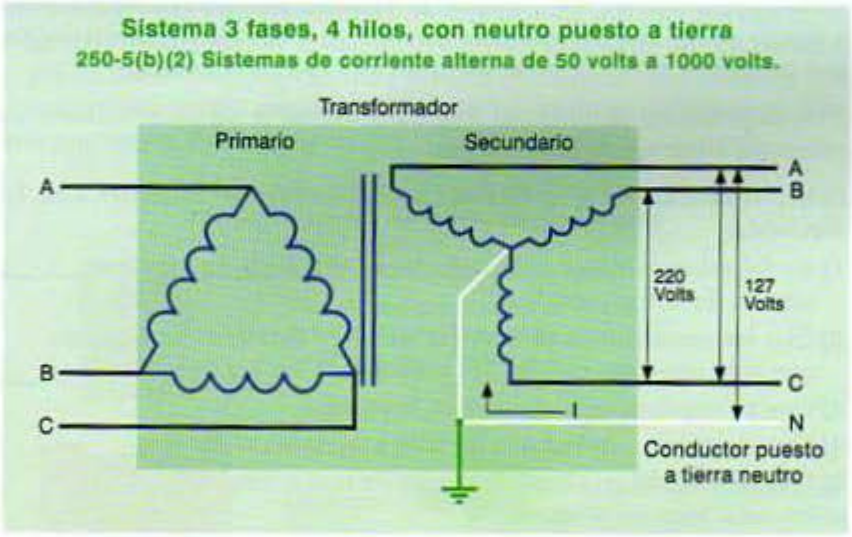


Fig. 109 Puesta a tierra de un sistema a 3 fases, 4 hilos



Transformador trifásico tipo seco

3) Cuando se tiene un sistema eléctrico de tres fases, 4 hilos, conectado en conexión delta y el punto de medio de un devanado se utiliza como conductor del circuito.

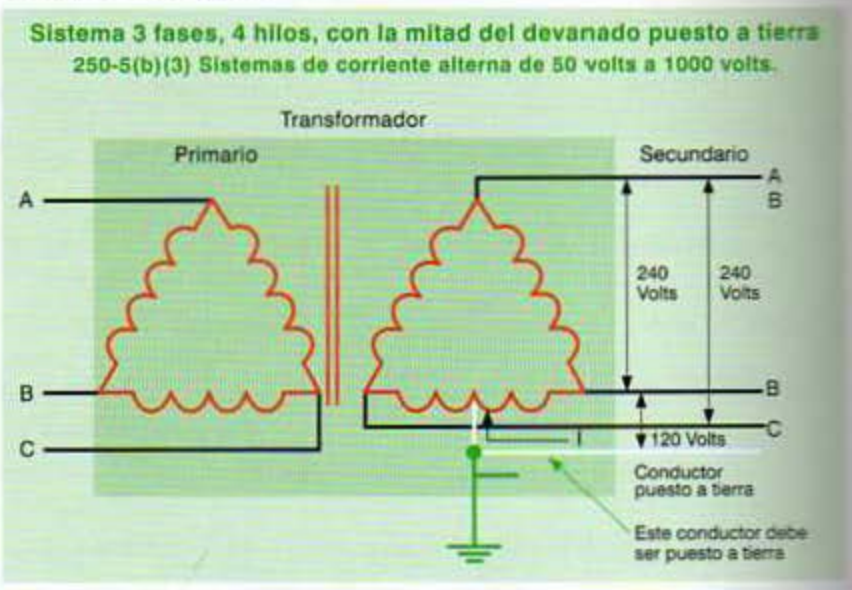


Fig. 110 Puesta a tierra de un sistema 3 fase, 4 hilos, con la mitad del devanado puesto a tierra

En la sección 250-5 b) excepción 5, se tratan los sistemas puestos a tierra a través de un alta impedancia: Cuando se tiene un sistema trifásico con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.

Esta impedancia tiene como finalidad limitar a un valor mínimo la corriente eléctrica de falla a tierra.

Estos sistemas de alta impedancia deberán de cumplir con lo siguiente:

1) Se deberá de utilizar en instalaciones trifásicas de corriente alterna de 480 a 1000 V

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

3) Que se requiera continuidad en la energía.

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

5) Que el sistema no alimente cargas de fase a neutro.

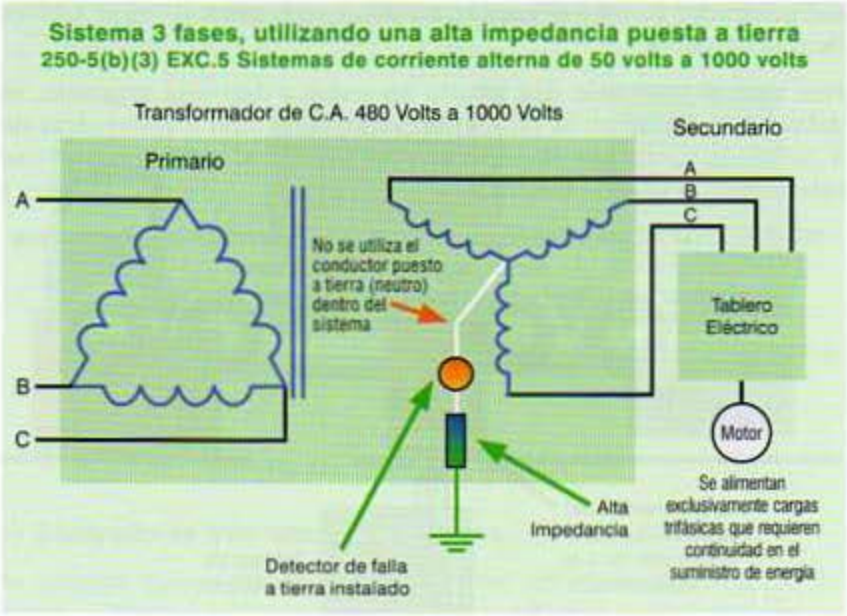


Fig. 111 Sistema puesto a tierra a través de una alta impedancia

d) Sistemas derivados separadamente

Un sistema derivado separadamente es un sistema de alambrado de una propiedad, cuya energía procede de una batería, sistema fotoeléctrico solar o de un generador, transformador o devanados de un convertidor y que no tiene conexión eléctrica directa, incluyendo al conductor del circuito sólidamente puesto a tierra, con los conductores de suministro que provengan de otro sistema.

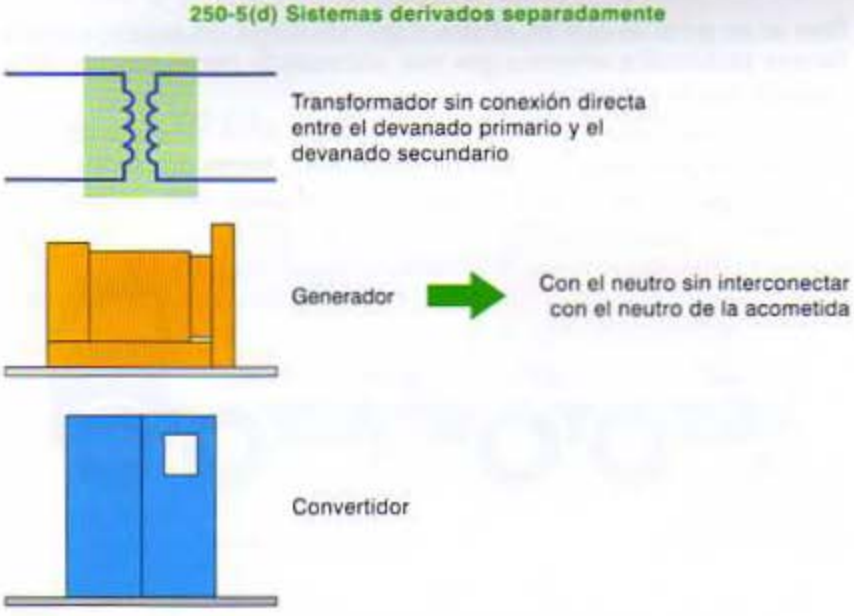




Fig. 112 Sistemas derivados separadamente

Cuando los conductores neutros se interconectan el sistema deja de ser un sistema derivado separado, como es el caso de un generador en el que se encuentran interconectados los conductores neutros, tanto

del generador como del suministro de energía normal, en el tablero de transferencia.

Para que el generador siga siendo un sistema derivado separado, se deberá de utilizar en el tablero de emergencia una transferencia de 4 polos, es decir, que conecte las tres fases y el neutro cuando se interrumpa la energía eléctrica.

250-5(d) Nota 1 Este sistema no es un sistema derivado separadamente

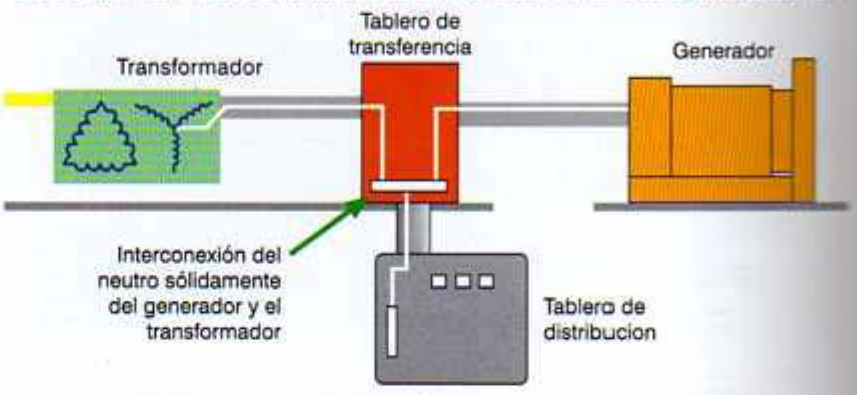


Fig. 113 En este caso el generador no es un sistema derivado separado

Sección 250-6. Generadores portátiles y montados en vehículos

a) Generadores portátiles

En un generador portátil de energía eléctrica no se exige que la armazón sea puesta a tierra.

Pero si se permite que se utilice como electrodo de puesta a tierra de una instalación eléctrica que sea alimentada por el mismo, debe cumplir con lo siguiente:

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

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

250-6 (a) Generadores portátiles

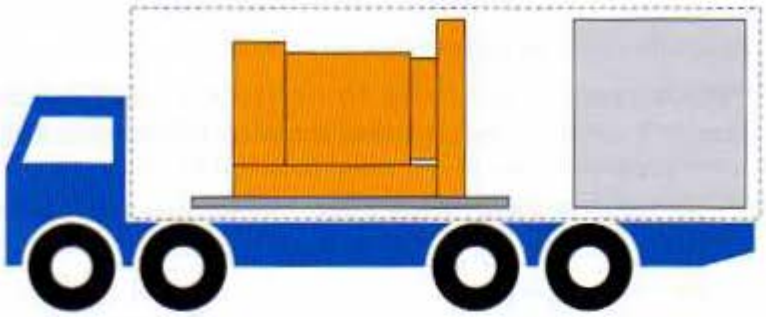
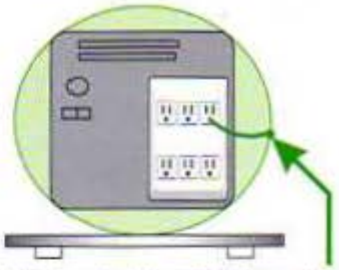


Fig. 114 Generadores portátiles



Unión entre la terminal de puesta a tierra de los receptáculos y el armazón

Generador portátil

No se exige que sea puesto a tierra, se permite que se utilice como electrodo de puesta a tierra para la instalación que alimenta, siempre que:
Alimente equipo montado en él, o equipo conectado por cordón y clavija.

b) Generadores montados en vehículos

Se permite que el chasis del vehículo se utilice como electrodo de puesta a tierra del sistema, alimentado por el generador instalado en el vehículo, siempre que cumpla con lo siguiente:

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

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

3) Que las partes metálicas no conductoras de corriente eléctrica del equipo y las terminales de puesta a tierra de los receptáculos se conecten al armazón del generador.

4) Que el sistema cumpla todas las demás disposiciones del artículo 250.

250-6 (b) Generador montado en vehículos

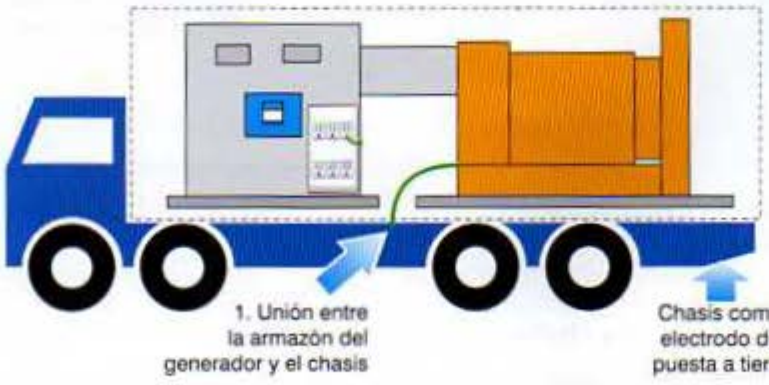


Fig. 115 Generador montado en un vehículo

Sección 250-7. Circuitos que no se deben poner a tierra

Los siguientes circuitos no se deben poner a tierra:

a) Grúas.

Las grúas eléctricas que se instalen y funcionen sobre fibras combustibles en lugares peligrosos clase III, consultar sección 503-13

b) Instituciones de salud (clínicas y hospitales).

Los circuitos eléctricos que se indican en el Artículo 517.

c) Celdas electrolíticas.

Los circuitos eléctricos que se indican en el Artículo 668

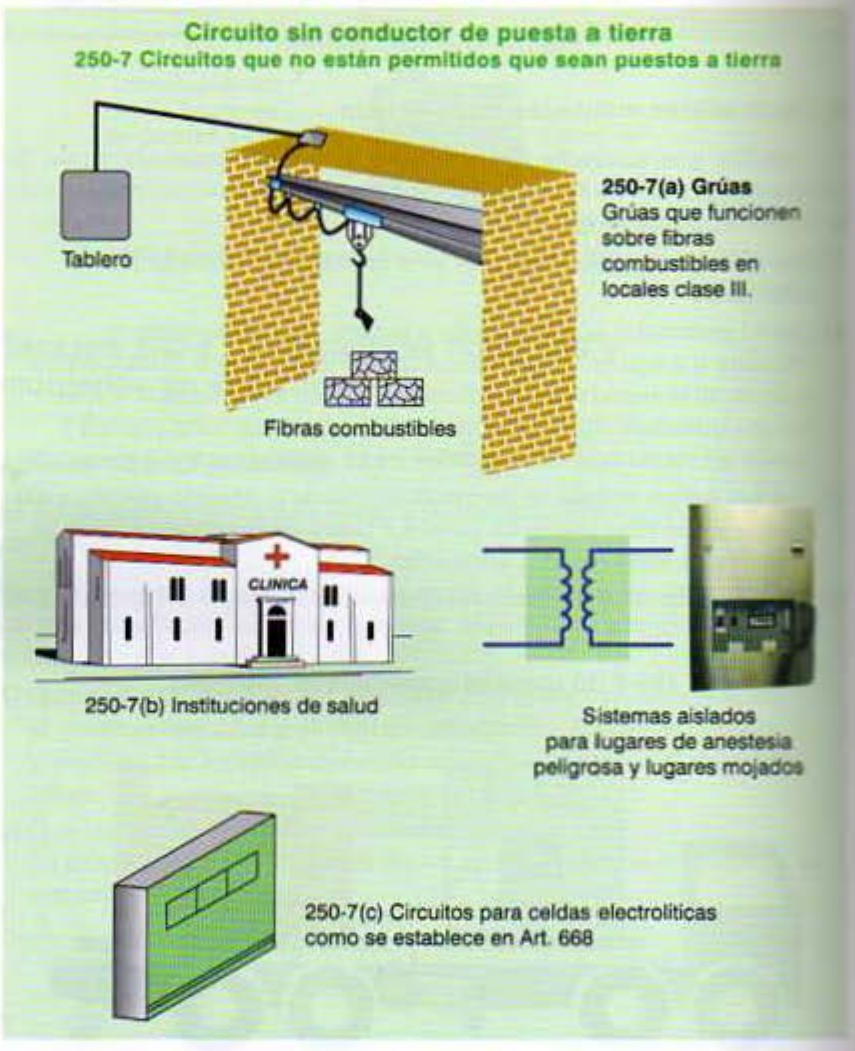


Fig. 116 Circuitos que no deben ser puestos a tierra

C) Ubicación de las conexiones de puesta a tierra de los sistemas

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

a) Arreglo del sistema para evitar corrientes eléctricas indeseables

La puesta a tierra de los sistemas eléctricos, de los conductores de los circuitos, apartarrayos , materiales y partes conductivas que no transportan corriente eléctrica, se deberá de instalar y conectar de modo que se evite en lo posible la circulación de corrientes eléctricas indeseables en los conductores de puesta a tierra.

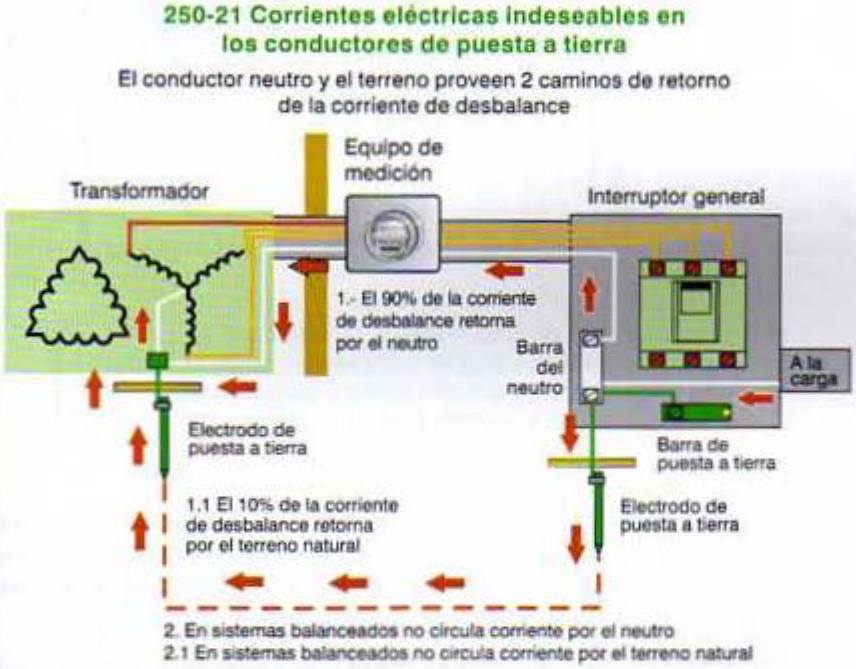


Fig. 117 Corrientes eléctricas indeseables

Las corrientes indeseables se pueden presentar en las instalaciones eléctricas por diferentes errores humanos en las conexiones de los conductores de puesta a tierra y de los conductores puestos a tierra (neutro).

También se pueden provocar por las corrientes eléctricas de desbalance y las múltiples puestas a tierra que puedan existir en una instalación eléctrica.

En la figura 117 se muestra la corriente de desbalance que circula por el conductor puesto a tierra, en este caso neutro, la corriente eléctrica al llegar a la barra del neutro como es un nodo, la corriente eléctrica se dividirá dependiendo de la resistencia.

Entre menor resistencia se tendrá mayor flujo de corriente eléctrica y entre mayor resistencia se tendrá menor circulación de corriente.

Aproximadamente circulará por terreno natural el 10% de la corriente eléctrica de desbalance y el 90% de la corriente eléctrica de desbalance circulará por el conductor neutro del suministrador.

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

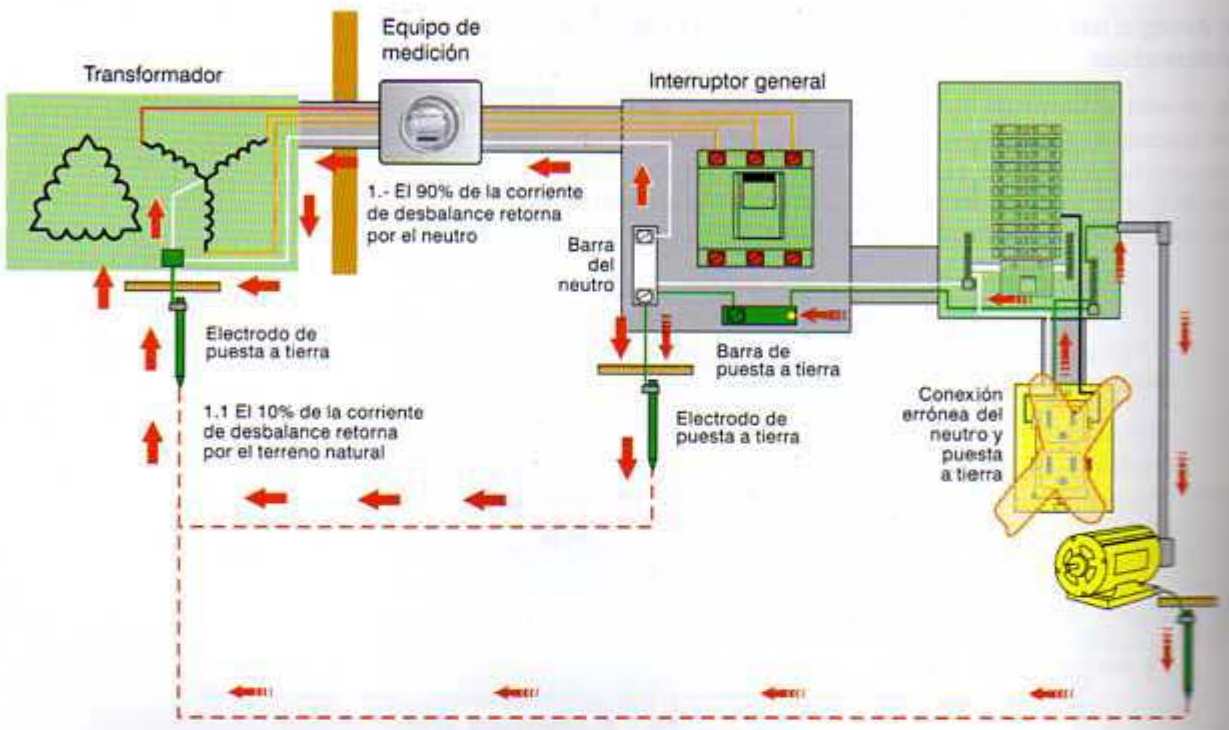


Fig. 118 División de la corriente por conexiones erróneas

En la figura 118 se tiene un error muy común en las instalaciones eléctricas, en un receptáculo con terminal de puesta a tierra, el neutro se conectó en la terminal de puesta a tierra y el conductor de puesta a tierra se instaló en la terminal del neutro del receptáculo.

Al realizar estas conexiones erróneas la corriente eléctrica de desbalance debe regresar a su origen, entonces la trayectoria que seguirá la corriente eléctrica de desbalance será por conductor de puesta a tierra del receptáculo, del motor, del tablero eléctrico, por el electrodo de puesta a tierra del motor, por el electrodo de puesta a tierra de la acometida, por terreno natural, por el conductor neutro del tablero y por el conductor neutro de la acometida.

De lo anterior observamos que las corrientes indeseables estarán presentes en la instalación eléctrica, por conductores de puesta a tierra, por canalizaciones metálicas, soportes para cables tipo charola, estructuras del edificio o por terreno natural.

b) Modificaciones para evitar corrientes eléctricas indeseables

Si la instalación eléctrica presenta circulación de corriente eléctrica indeseable, es necesario corregir las conexiones de puesta a tierra erróneas, tomando las siguientes acciones:

1) Retirar y corregir las conexiones de puesta a tierra, sin desconectar las requeridas por la normatividad vigente.
2) Si es necesario, reubicar las conexiones de puesta a tierra.
3) Interrumpir la continuidad del conductor de puesta a tierra o la trayectoria de conducción de las conexiones de puesta a tierra.
4) Tomar otras medidas adecuadas que ayuden a resolver el problema, pero acatando la Normatividad Vigente.

Si la instalación de varias conexiones de puesta a tierra produce un flujo de corrientes eléctricas indeseables, se permite hacer una o más de las siguientes modificaciones, siempre que se cumplan los requisitos de 250-51:

1) Eliminar una o más de dichas conexiones de puesta a tierra, pero no todas.
2) Cambiar la posición de las conexiones de puesta a tierra.
3) Interrumpir la continuidad del conductor o de la trayectoria conductora de las conexiones de puesta a tierra.
4) Tomar otras medidas adecuadas.

c) Corriente eléctrica temporal que no se considera indeseable

La corriente eléctrica de cortocircuito de falla a tierra no se considera como corriente indeseable, debido a que la función principal de los conductores de puesta a tierra es transportar la corriente eléctrica de falla a tierra para la operación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente.

250-21(c) La corriente de cortocircuito de fase a tierra, no se considera corriente indeseable, es una corriente de falla a tierra, y por el conductor puesto a tierra retorna la corriente de cortocircuito durante la falla de fase a tierra

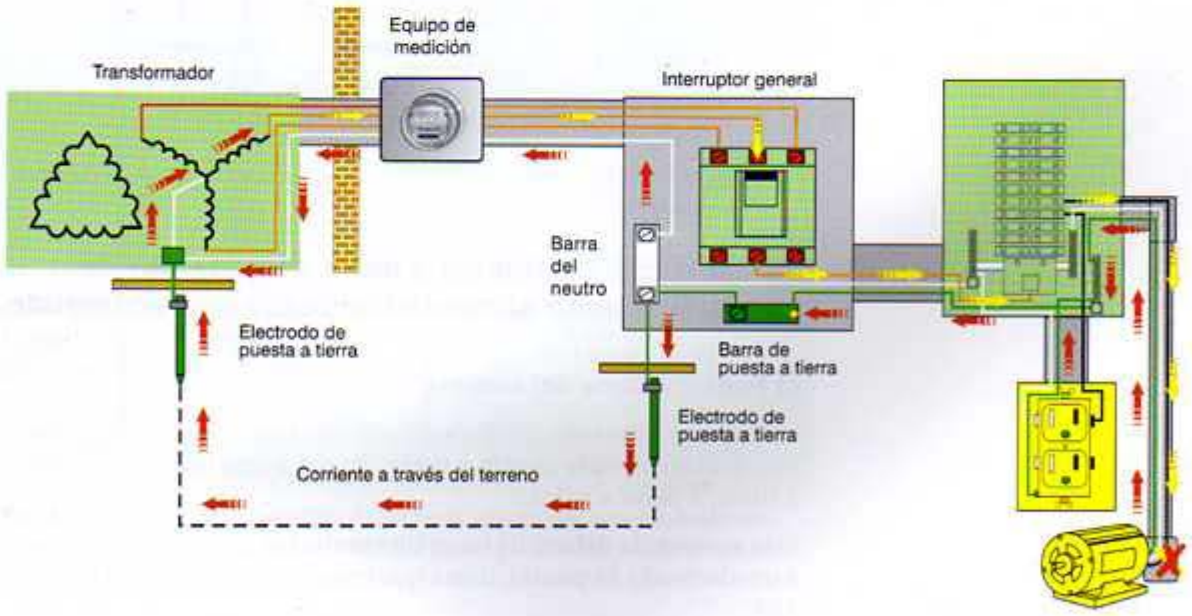


Fig. 119 Camino de la corriente de cortocircuito de una falla a tierra

d) Limitaciones a las alteraciones permitidas

Las indicaciones dadas en esta sección no se deben tomar como un permiso para la utilización de equipo electrónico sensible que se utilice en instalaciones eléctricas o circuitos derivados de corriente alterna que no estén puestos a tierra.

Las corrientes eléctricas que originan ruidos eléctricos o errores en el envió de los datos de equipos electrónicos no se consideran como las corrientes eléctricas indeseables de las que trata esta sección.

Sección 250-22. Punto de conexión de sistemas de corriente continua

Los sistemas eléctricos de corriente continua se deben poner a tierra solamente en la acometida. En los circuitos derivados o en algún otro punto no deben ser puestas a tierra.

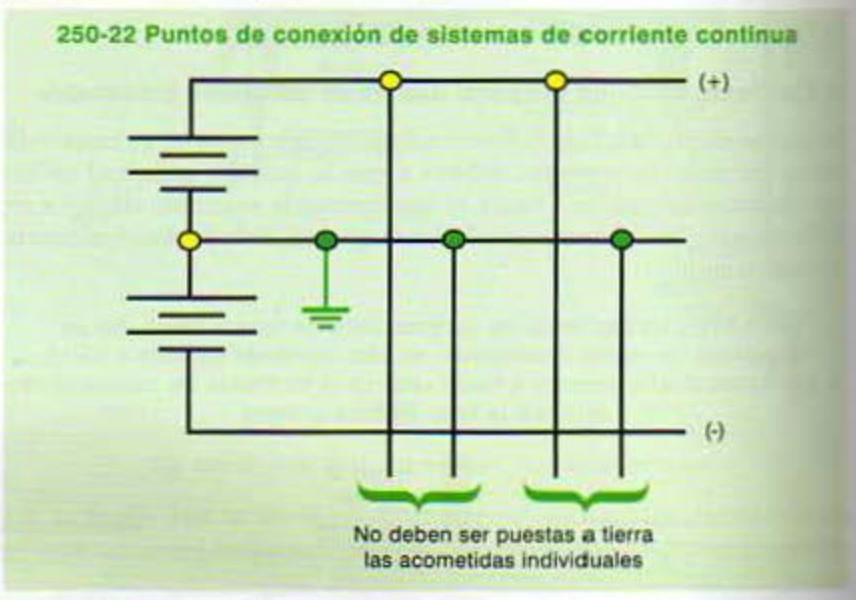


Fig. 120 Conexión de la puesta a tierra de un sistema de corriente continua

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

a) Puesta a tierra del sistema

Cuando se alimenta un sistema eléctrico de corriente alterna desde una sola acometida puesta a tierra, ya sea a una fase 2 hilos, dos fases 3 hilos, 3 fases 4 hilos.

Esta acometida deberá de tener un conductor puesto a tierra conectado a un electrodo de puesta tierra que cumpla con la parte H del Artículo 250.

El conductor del electrodo de puesta a tierra deberá de conectarse al conductor puesto a tierra de la acometida en un lugar accesible del lado de la carga y a la terminal o barra a la cual el conductor puesto a tierra es conectado en el medio de desconexión de la acometida.

Si el transformador que alimenta la acometida se encuentra ubicado en el exterior del inmueble, deberá tener una conexión de puesta a tierra adicional, ésta se deberá de realizar con el conductor puesto a tierra de la acometida a un electrodo de puesta a tierra, en el transformador o en otra parte en el exterior del edificio.

Después del medio de desconexión de la acometida, no se deberá de realizar ninguna conexión de puesta a tierra del conductor puesto a tierra.

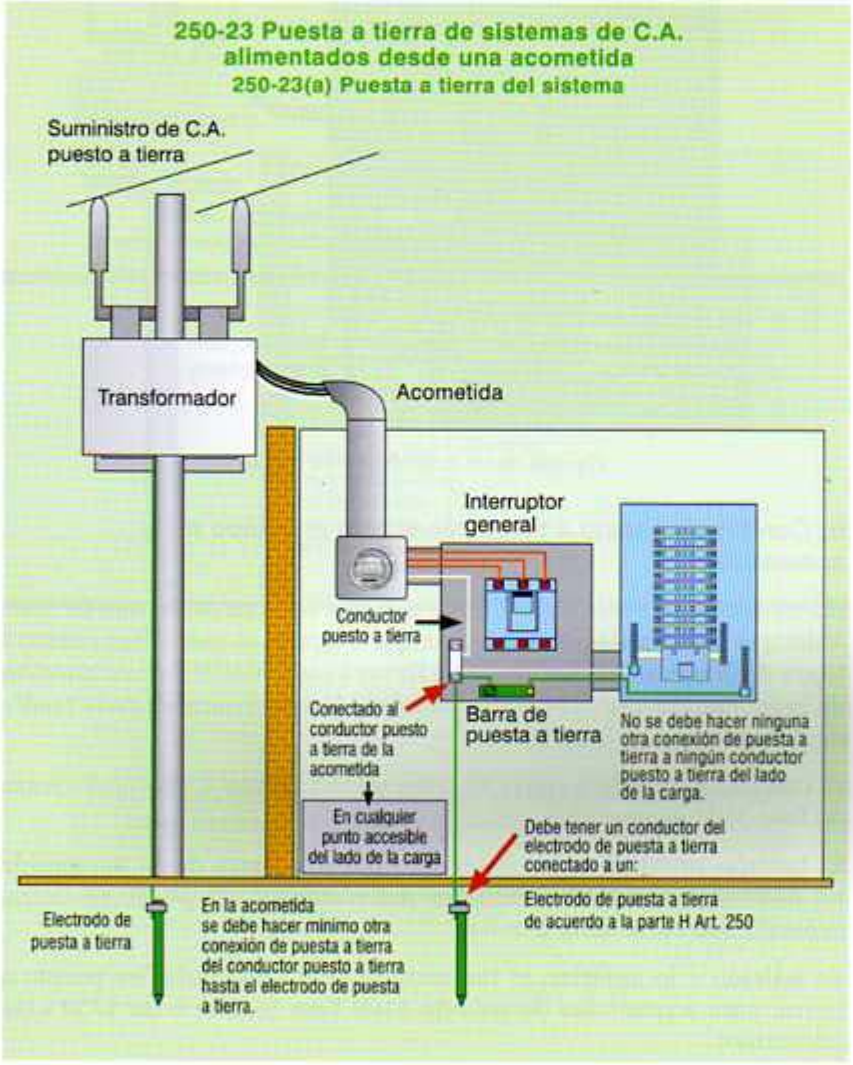


Fig. 121 Puesta a tierra de sistemas de corriente alterna alimentados desde una acometida

En la excepción 4 se indica que cuando se tengan 2 acometidas en un mismo edificio, si se alojan en un mismo equipo o están agrupadas en envolventes individuales con una conexión al secundario, se permite una sola conexión al electrodo de puesta a tierra al punto de conexión de los conductores puestos a tierra de cada fuente de alimentación.

250-23(a) EXC.4 Acometidas con doble conexión a la red

Acometidas con doble conexión a la red en un envolvente común

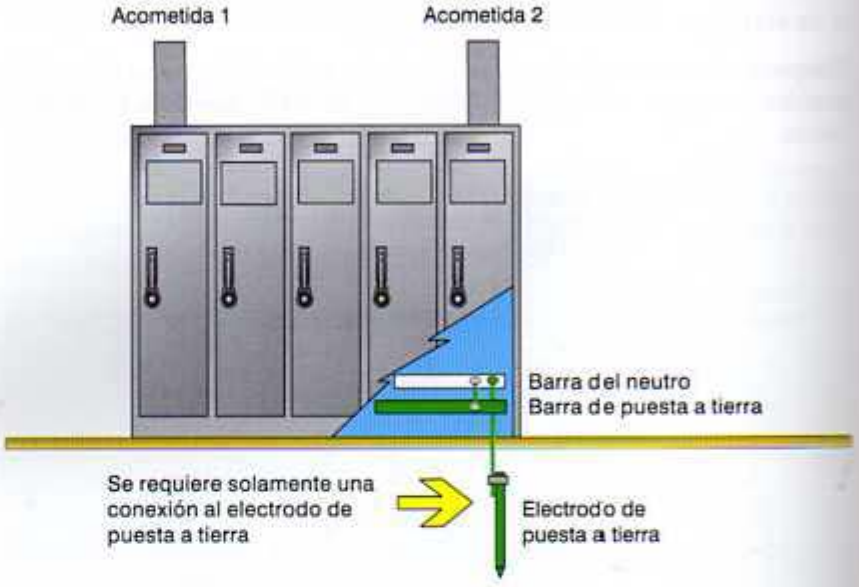


Fig. 122 Doble acometida a un predio

b) Conductor puesto a tierra conectado al equipo de la acometida

En un sistema de corriente alterna con una tensión de menos de 1000 Volts que está puesto a tierra en cualquier punto, el conductor puesto a tierra de la acometida se deberá de llevar a cada medio de desconexión de la acometida y se deberá de conectar a la envolvente de cada medio de desconexión.

El conductor puesto a tierra se debe instalar junto a los conductores de fase de la acometida.

El tamaño nominal del conductor puesto a tierra de la acometida no debe ser menor al conductor del electrodo de puesta a tierra, especificado en la tabla 250-94.

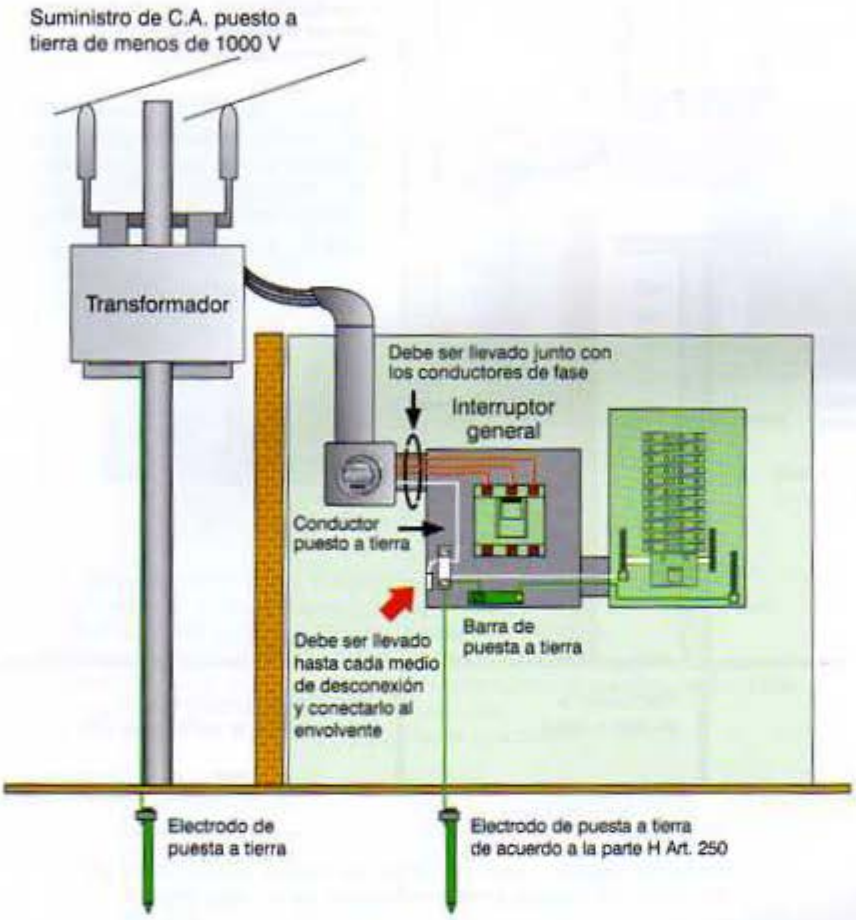
En adición a lo anterior, el tamaño nominal del conductor puesto a tierra, para acometidas de más de 1100 kcm (cobre) o de 1750 kcm (aluminio):

No debe ser menor al 12,5% del tamaño nominal mayor de los conductores de fase de la acometida.

Si la acometida contiene conductores en paralelo, el tamaño nominal del conductor puesto a tierra se calcula con la sección transversal equivalente para los conductores en paralelo.

250-23 Puesta a tierra de sistemas de C.A. alimentados desde una acometida

250-23(b) Conductor puesto a tierra conectado al equipo de la acometida

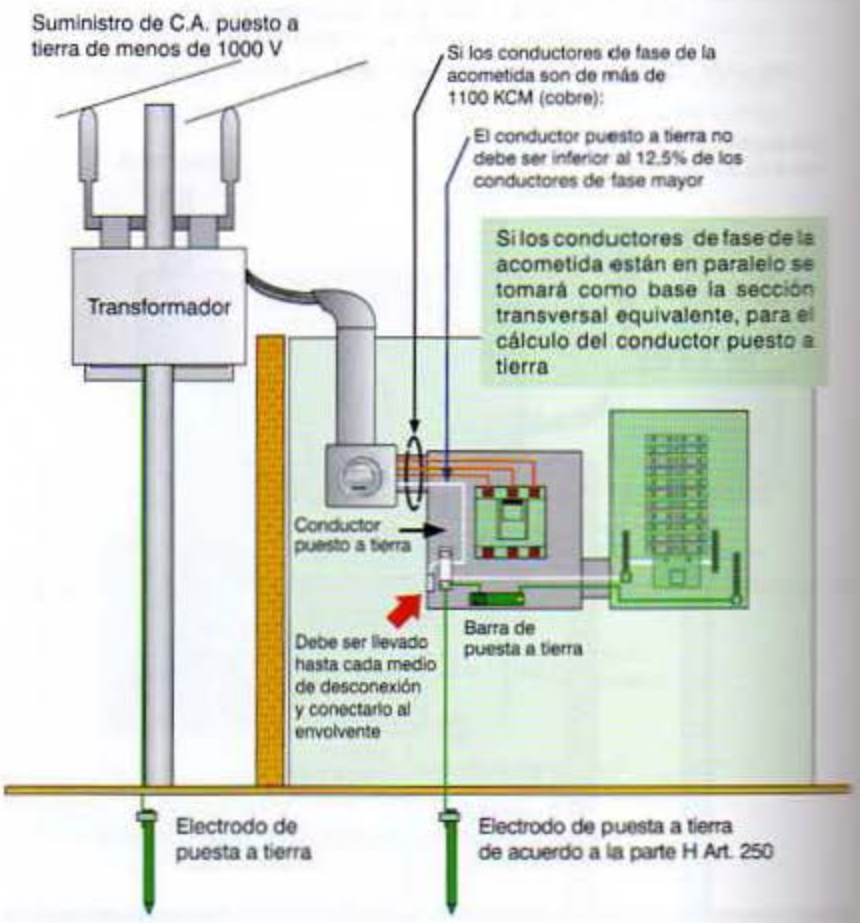


El conductor puesto a tierra no debe ser menor al conductor del electrodo de puesta a tierra requerido en la tabla 250-94.

Fig. 123 Conductor puesto a tierra conectado al equipo de la acometida

250-23 Puesta a tierra de sistemas de C.A. alimentados desde una acometida

250-23(b) Conductor puesto a tierra conectado al equipo de la acometida

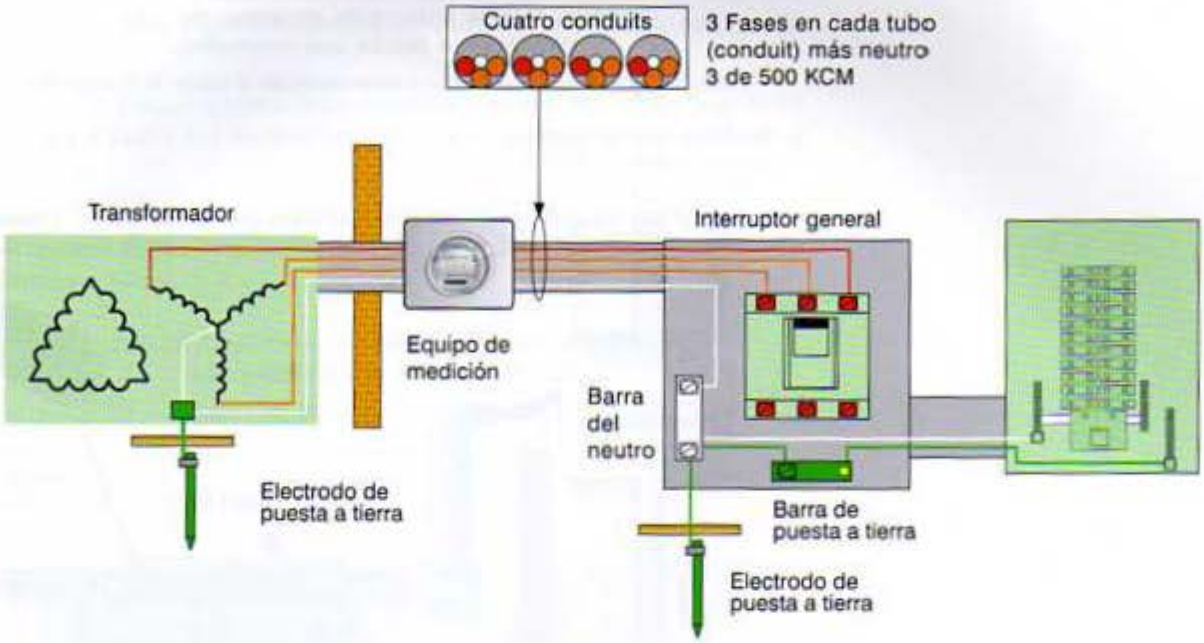


El conductor puesto a tierra no debe ser menor al conductor del electrodo de puesta a tierra requerido en la tabla 250-94.

Fig. 124 Conductor puesto a tierra en la acometida

250-23 (b) Conductor puesto a tierra conectado al equipo de la acometida

250-23 Puesta a tierra de sistemas de C.A. alimentados desde una acometida



El área equivalente de 4 X 500 KCM ES : 4X 253,4 =1013,6 mm^2
Aplicando el 12,5% del área equivalente, se tiene una área =126,7 mm^2
Diviendo entre 4 tubos (conduit), resulta = 31,675 mm^2
Corresponde a calibre No. 2 AWG, para el conductor neutro.
Debido a que el conductor mínimo para circuitos en paralelo es 1/0 AWG, entonces el circuito quedará compuesto por:
3-500 KCM y 1-1/0 AWG en cada tubería (conduit).

El conductor puesto a tierra no debe ser menor al conductor de puesta a tierra requerido en la tabla 250-94.

Fig. 125 Cálculo del conductor puesto a tierra en la acometida

En la excepción 3 se indica que cuando se tenga más de un medio de desconexión de la acometida, en un ensamble aprobado y listado, el conductor puesto a tierra de la acometida debe instalarse y conectarse a cada envolvente.

250-23 Puesta a tierra de sistemas de C.A. alimentados desde una acometida

250-23(b) EXC 3 Conductor puesto a tierra conectado al equipo de la acometida

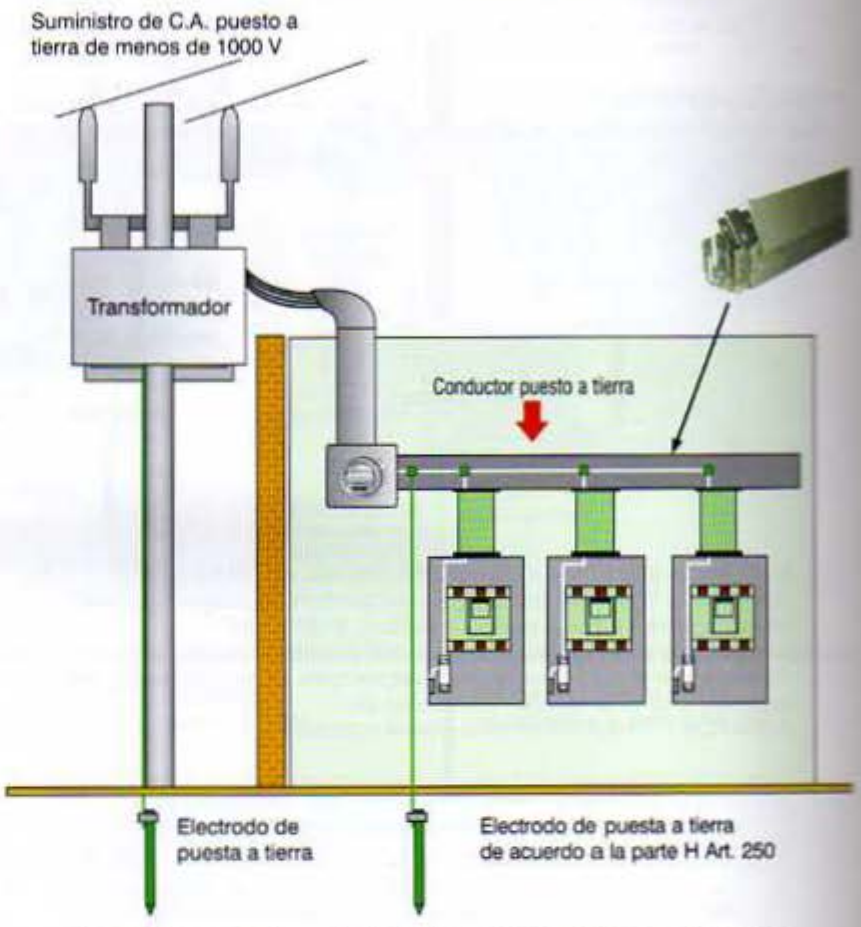


Fig. 126 Conductor puesto a tierra conectado a los medios de desconexión

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

a) Sistemas eléctricos puestos a tierra

Si se suministra energía eléctrica de corriente alterna a dos o más edificios con una acometida común, el sistema puesto a tierra de cada edificio debe de tener un electrodo de puesta a tierra de acuerdo a la parte H, ya sea que se instale o no el conductor de puesta a tierra junto al alimentador.

El electrodo de puesta a tierra deberá de estar conectado a la envolvente del medio de desconexión del edificio y al conductor puesto a tierra del

circuito del sistema de corriente alterna en el medio de desconexión en la entrada del edificio.

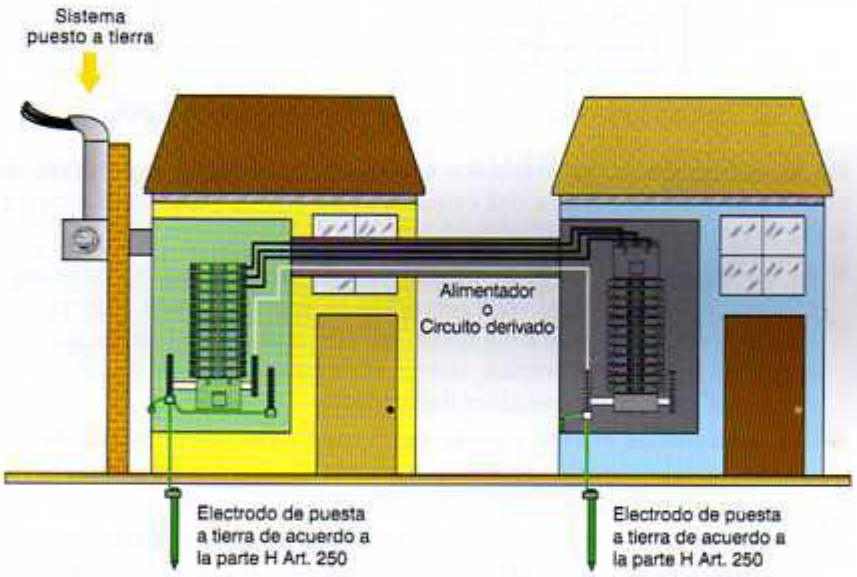
Si el conductor de puesta a tierra no se instala con los conductores del circuito alimentador al segundo edificio, el tamaño nominal del conductor puesto a tierra no deberá ser menor a lo indicado en la tabla 250-95.

El conductor puesto a tierra debe conectarse al conductor del electrodo de puesta a tierra y a la envolvente del medio de desconexión de la acometida.

El acero estructural del edificio, los medios de desconexión y las tuberías metálicas interiores de agua se deben de unir al electrodo de puesta a tierra.

250-24 Suministro de energía desde la misma acometida a dos o más edificios

250-24 (a) Sistemas puestos a tierra



Si el conductor de puesta a tierra del circuito de alimentación no se instala,el conductor puesto a tierra no debe ser menor al requerido para los conductores de puesta a tierra del equipo de acuerdo a la tabla 250-95.

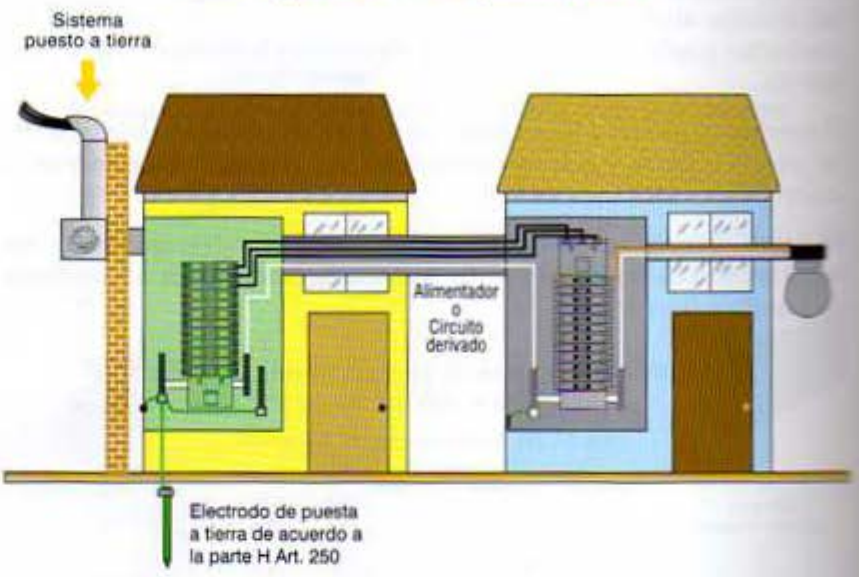
Fig. 127 Suministro de energía a dos o más edificios

En la excepción 1, no exige que se instale un electrodo de puesta a tierra en la segunda edificación si:

- Solamente se alimenta un sólo circuito derivado.
- No hay equipo que necesite ser puesto a tierra.

250-24 Suministro de energía desde la misma acometida a dos o más edificios

250-24 (a) EXC. 1 sistemas puestos a tierra



No se requiere un electrodo de puesta a tierra si solamente se alimenta un circuito derivado y que no haya equipo que requiera ser puesto a tierra.

Fig. 128 Excepción 1 segunda edificación sin electrodo de puesta a tierra

En la excepción 2, se establece que no será necesario conectar el conductor puesto a tierra del circuito al electrodo de puesta a tierra en la segunda edificación si:

- Se instala un conductor de puesta a tierra con los conductores del circuito alimentador al segundo edificio, para la puesta a tierra de cualquier parte metálica de un equipo que normalmente no conduce corriente eléctrica, sistemas de tuberías metálicas de agua y la estructura metálica del edificio.
- El conductor de puesta a tierra del equipo es unido al medio de desconexión del segundo edificio y a los electrodos de puesta a tierra existentes, descritos en la parte H.
- Si no existen electrodos de puesta a tierra, se debe instalar un electrodo de puesta a tierra como se indica en la parte H, cuando el edificio se alimente por más de un circuito derivado.
- En los establos, la longitud del conductor de puesta a tierra que se instale en forma subterránea al medio de desconexión deberá ser de cobre y debe estar aislado o forrado.



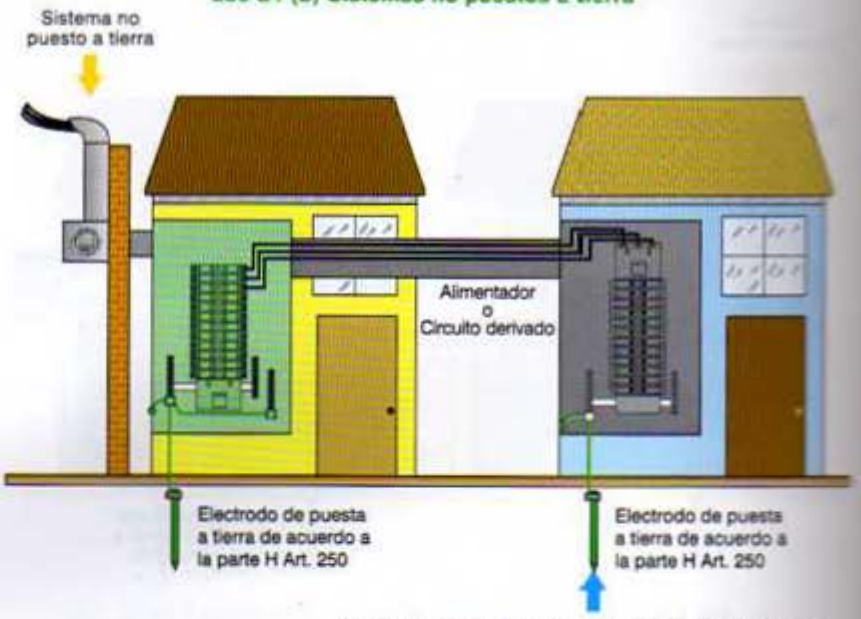
Fig. 129 Excepción 2 se instala el conductor de puesta a tierra

b) Sistemas no-puestos a tierra

Si dos o más edificios o inmuebles se alimentan por una acometida común con un sistema no puesto a tierra, en cada edificio deberá de instalarse un electrodo de puesta a tierra como se especifica en la parte H, el cual se deberá de unir a la envolvente metálica de los medios de desconexión de los edificios.

250-24 Suministro de energía desde la misma acometida a dos o más edificios

250-24 (b) Sistemas no puestos a tierra



EXC1. No se requiere un electrodo de puesta a tierra si sólo se alimenta un circuito derivado y no haya equipo que requiera ser puesto a tierra

EXC2. No se requiere electrodo de puesta a tierra si:
a. Se instala un conductor de puesta a tierra.
b. No existan electrodos de puesta a tierra, de acuerdo a la parte H.
c. En establos, el conductor de puesta a tierra debe ser de cobre aislado o forrado, en instalaciones subterráneas.

Fig. 130 Dos o más edificaciones alimentadas por una acometida no puesta a tierra

En la excepción 1, se establece que en el segundo edificio no se requiere electrodo de puesta a tierra si sólo se alimenta un circuito derivado y no hay equipo que requiera ser puesto a tierra.

En la excepción 2, se indica que la conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra y el electrodo de puesta a tierra a la envolvente metálica no se requiere que se realice en los medios de reconexión del edificio, siempre que se cumpla con lo siguiente:

- Se instala un conductor de puesta a tierra con los conductores del circuito alimentador al segundo edificio, para la puesta a tierra de cualquier parte metálica de un equipo que normalmente no conduce corriente eléctrica, sistemas de tuberías metálicas de agua y la estructura metálica del edificio.
- No existen electrodos de puesta a tierra como se describen en la parte H.
- El edificio está alimentado por un sólo circuito derivado.
- En los establos, la longitud del conductor de puesta a tierra que se instale en forma subterránea al medio de desconexión deberá ser de cobre y estar aislado o forrado.

c) Medios de desconexión localizados en edificios separados sobre la misma administración

Cuando uno o más medios de desconexión alimenten a uno o más edificios bajo la misma administración, y estos medios de desconexión estén ubicados en estos edificios de acuerdo a la sección 225-8 (b), excepciones 1 y 2, se debe cumplir lo siguiente:

1) No se deberá de realizar la conexión del conductor puesto a tierra del circuito al electrodo de puesta a tierra del edificio independiente (segundo edificio).

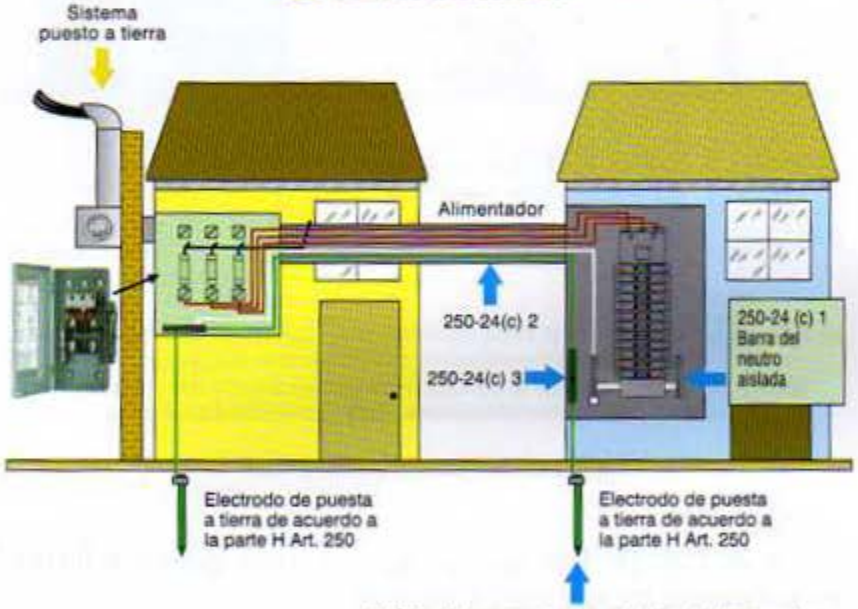
2) Se instala un conductor de puesta a tierra con los conductores del circuito alimentador al segundo edificio, para la puesta a tierra de cualquier parte metálica de un equipo que normalmente no conduce corriente eléctrica, sistemas de tuberías metálicas de agua y la estructura metálica del edificio.

- Si no existen electrodos de puesta a tierra, se debe instalar un electrodo de puesta a tierra como se indica en la parte H, cuando el edificio se alimente por más de un circuito derivado.

3) La unión entre el conductor de puesta a tierra del equipo al electrodo de puesta a tierra en el segundo edificio se deberá de realizar en una caja de conexiones, tablero, o envolvente similar ubicada inmediatamente dentro o fuera del edificio.

250-24 Suministro de energía desde la misma acometida a dos o más edificios

250-24 (c) Medios de desconexión situados en diversos sistemas de alambrado de usuarios



EXC1. No se requiere un electrodo de puesta a tierra si sólo se alimenta un circuito derivado y no haya equipo que requiera ser puesto a tierra

EXC2. En establos, el conductor de puesta a tierra debe ser de cobre aislado o forrado, en instalaciones subterráneas.

Fig. 131 Medios de desconexión ubicados en diferentes sistemas de alambrados de usuarios

d) Conductor de puesta a tierra.

El tamaño nominal del conductor de puesta a tierra al electrodo de puesta a tierra, no debe ser menor a lo indicado en la tabla 250-95.

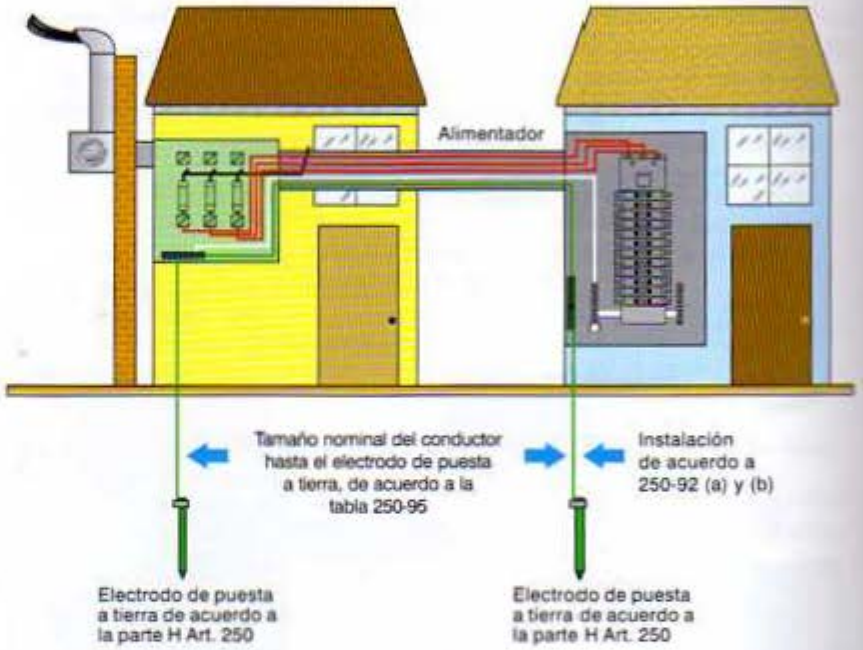
El tamaño nominal del conductor de puesta a tierra se debe seleccionar en base al valor del dispositivo de protección contra sobrecorriente del alimentador al segundo edificio.

Si los conductores de fase se calculan por caída de tensión, el conductor de puesta a tierra se debe de incrementar proporcionalmente.

La instalación del conductor de puesta a tierra debe cumplir con la sección 250-92 (a) y (b).

250-24 Suministro de energía desde la misma acometida a dos o más edificios

250-24 (d) Conductor de puesta a tierra



EXC1. No se requiere que el conductor de puesta a tierra sea de tamaño nominal mayor que el de los conductores de fase de la acometida.

Fig. 132 Conductor de puesta a tierra

Sección 250-25. Conductor que se debe poner a tierra en sistemas de corriente alterna

Esta sección se trabaja y complementa con la sección 250-5 (b), la cual indica los sistemas de corriente alterna que deben se puestos a tierra.

Para los sistemas de corriente alterna, el conductor que debe ser puesto a tierra son:

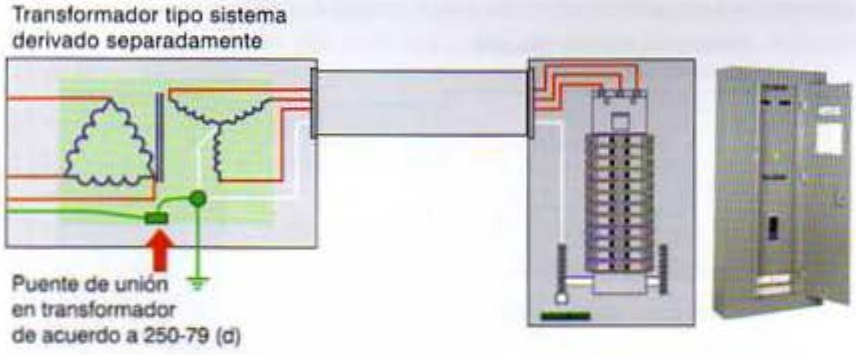
1) Sistemas monofásicos de dos conductores: un conductor.
2) Sistemas monofásicos de tres conductores: el neutro.
3) Sistemas de varias fases con un común a todas las fases: el conductor común.
4) Sistemas de varias fases en las que se deba poner a tierra una fase: el conductor de una fase.
5) Sistemas de varias fases en las que una fase se utilice como la (2) anterior: el neutro.

Sección 250-26. Puesta a tierra de los sistemas de corriente alterna derivados separadamente

La puesta a tierra de un sistema de corriente alterna derivado separado, es requerida por la sección 250-5 y se deberá realizar de la siguiente manera:

a) Puente de unión

Se deberá de instalar un puente de unión para conectar los conductores de puesta a tierra del equipo del sistema derivado al conductor puesto a tierra.



La conexión del puente de unión está permitida entre la fuente y el primer medio de desconexión o dispositivo de protección contra sobrecorriente del sistema.

Fig. 133 Puesta a tierra de sistemas derivados separados

El tamaño nominal del puente de unión deberá de estar de acuerdo a la sección 250-79(d).

La conexión del puente de unión se deberá de realizar en cualquier punto del sistema derivado separadamente, desde la fuente hasta el primer medio de desconexión o dispositivo de protección contra sobrecorriente.

250-26 Puesta a tierra de los sistemas de C.A. derivados separadamente

250-26 (a) Puente de unión

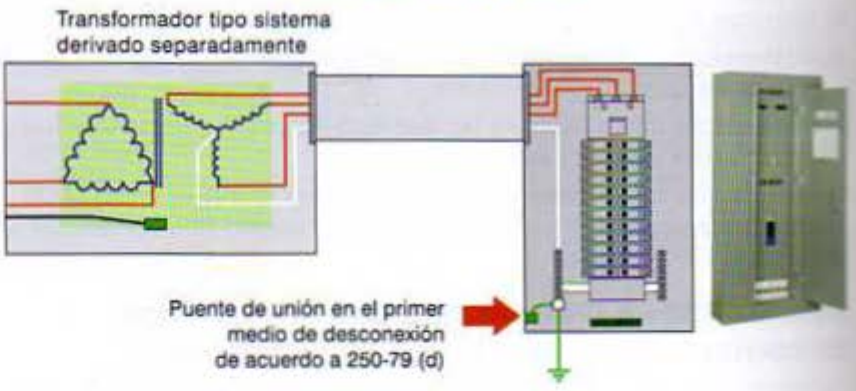
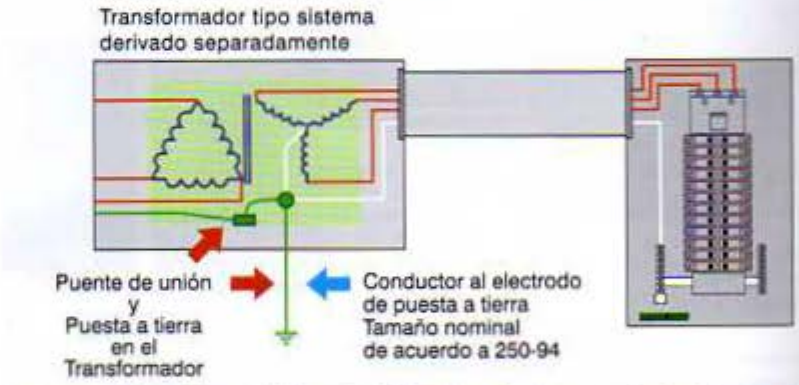


Fig. 134 Puesta a tierra de sistemas derivados separados

b) Conductor al electrodo de puesta a tierra

Se deberá de instalar un conductor del electrodo de puesta a tierra para conectar al conductor puesto a tierra con el electrodo de puesta a tierra.

El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra se deberá de calcular de acuerdo a la sección 250-94.



Esta conexión está permitida entre la fuente y el primer medio de desconexión o dispositivo de protección contra sobrecorriente del sistema.

Fig. 135 Conductor del electrodo de puesta a tierra

250-26 Puesta a tierra de los sistemas de C.A. derivados separadamente

250-26 (b) Conductor al electrodo de puesta a tierra

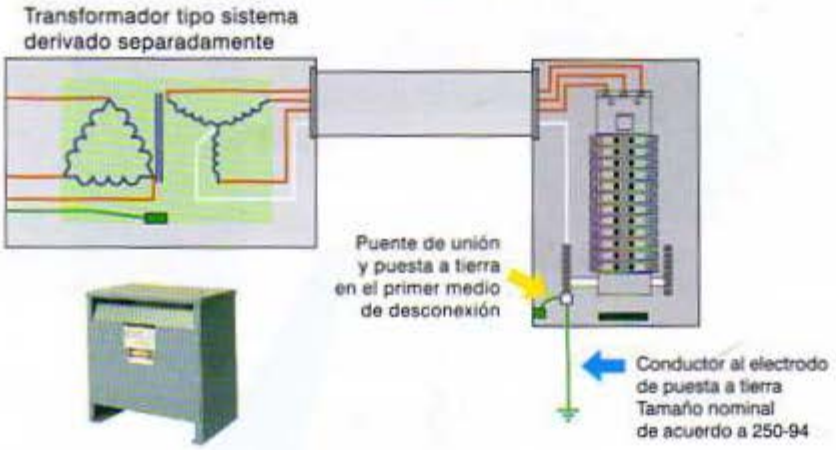


Fig. 136 Conductor del electrodo de puesta a tierra

c) Electrodo de puesta a tierra

El electrodo de puesta a tierra se deberá de instalar lo más cerca posible y deberá ser accesible, preferentemente en la misma zona en la que se encuentre la conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra al sistema eléctrico.

El electrodo de puesta a tierra deberá ser:

1) Un elemento metálico de la estructura puesto a tierra que se encuentre cerca ó

2) La tubería metálica de agua que se encuentre cerca ó

3) Los electrodos de puesta a tierra indicados en la sección 250-81 y 250-83 cuando los electrodos de puesta a tierra indicados en (1) y (2) no se encuentran disponibles.

250-26 Puesta a tierra de los sistemas de C.A. derivados separadamente

250-26 (c) Electrodo de puesta a tierra

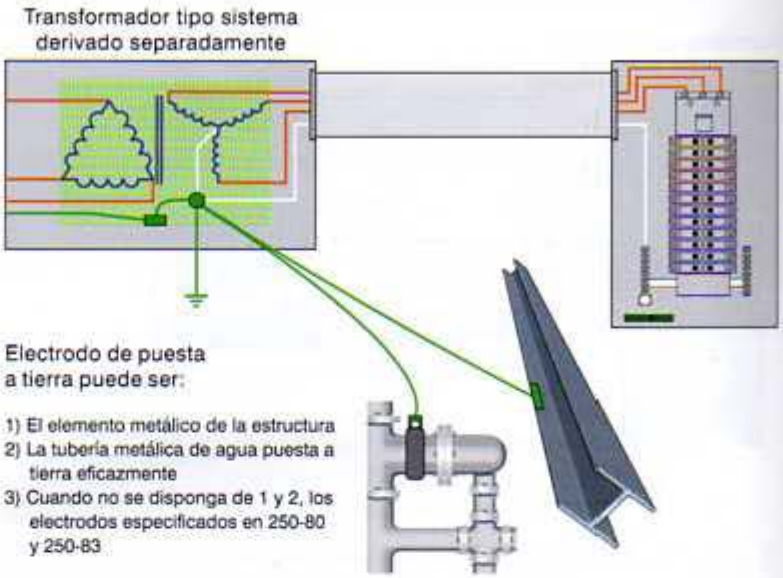
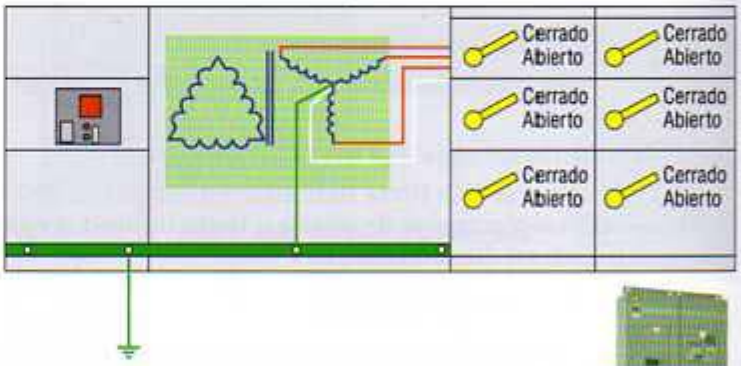


Fig. 137 Electrodos de puesta a tierra

250-26 Puesta a tierra de los sistemas de C.A. derivados separadamente

250-26 (c) Electrodo de puesta a tierra

Sistema derivado separadamente en C.C.M.



Electrodo de puesta a tierra puede ser:

1) El elemento metálico de la estructura
2) La tubería metálica de agua puesta a tierra eficazmente
3) Cuando no se disponga de 1 y 2, los electrodos especificados en 250-80 y 250-83

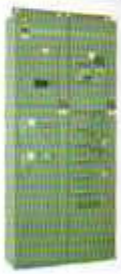


Fig. 138 Electrodo de puesta a tierra de un sistema derivado separado instalado dentro de un C.C.M

Sección 250-27. Conexiones de un sistema con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia

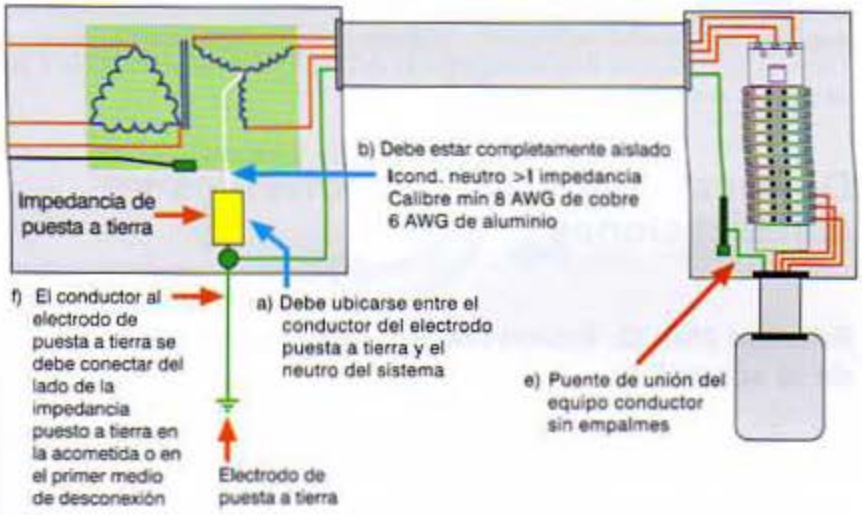
Los sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia, deben cumplir con las siguientes condiciones:

a) Ubicación de la impedancia de puesta a tierra

La impedancia se deberá de instalar entre el conductor neutro del sistema y el conductor del electrodo de puesta a tierra.

Cuando no exista neutro disponible, la impedancia de puesta a tierra deberá de instalarse entre el neutro derivado de un transformador de puesta a tierra y el conductor del electrodo de puesta a tierra.

250-27 Conexiones de un sistema con neutro puesto a tierra a través de una (alta) impedancia



c) El neutro del sistema no se debe poner a tierra excepto a través de la impedancia de puesta a tierra.

d) El conductor neutro se permite que sea instalado en una canalización independiente.

De acuerdo a 250-5 b) exc5:

Se permiten estos sistemas en instalaciones trifásicas de C.A. de 480 a 1000 V. cumpliendo:

A. Que las atienda personal calificado.

B. Que se requiera continuidad en la energía.

C. Instalación de detector de falla a tierra en el sistema.

D. No se alimente cargas de línea a neutro.

Se utiliza en plantas industriales que tienen procesos continuos y que rara vez tienen la necesidad de interrumpir la energía eléctrica y se elige normalmente para limitar la intensidad de una corriente eléctrica de falla a tierra.

Fig. 139 Conexión del neutro a una alta impedancia

b) Conductor neutro

El conductor neutro deberá estar completamente aislado desde el punto neutro del transformador hasta la conexión con la impedancia de puesta a tierra.

El conductor neutro deberá tener una capacidad de corriente no menor a la corriente máxima nominal de la impedancia.

El conductor neutro no deberá ser menor a:

- Si es de cobre no menor a 8 AWG.
- Si es de aluminio ni menor a 6 AWG.

c) Conexión del neutro del sistema

El neutro del sistema deberá ser puesto a tierra a través de una impedancia.

d) Trayectoria del conductor neutro

Se permite que la instalación del conductor neutro se realice en una

canalización separada desde el punto neutro del transformador hasta la impedancia de puesta a tierra.

No se exige que el conductor neutro vaya junto con los conductores de fase al primer medio de desconexión o dispositivo de protección contra sobrecorriente.

e) Puente de unión del equipo

El puente de unión del equipo, es decir, la conexión entre los conductores de puesta a tierra de los equipos y la impedancia de puesta a tierra, deberá ser:

Un conductor sin empalmes y que se instale desde el primer medio de desconexión del sistema o dispositivo de protección contra sobrecorriente al lado de la impedancia que esté puesto a tierra.

f) Ubicación del conductor al electrodo de puesta a tierra

El conductor del electrodo de puesta a tierra deberá estar unido en cualquier punto del lado puesto a tierra de la impedancia de puesta a tierra a la conexión de puesta a tierra del equipo en la acometida o en el primer medio de desconexión.

D) Puesta a tierra de envolventes y canalizaciones

Sección 250-32. Envolventes y canalizaciones de la acometida

16

Las envolventes y canalizaciones de los conductores de acometida y del equipo deberán ser puestas a tierra.

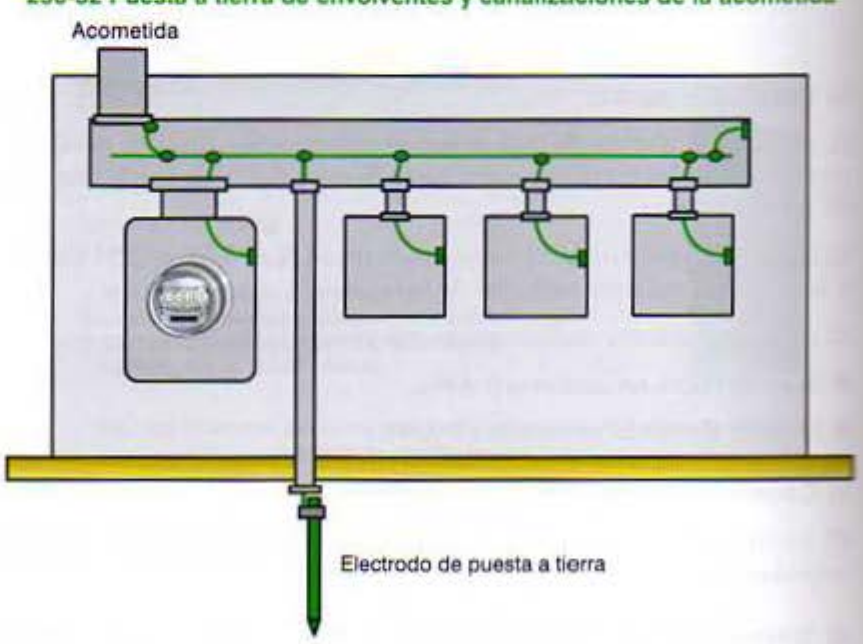


Fig. 140 Puesta a tierra de envolventes y canalizaciones en la acometida

De acuerdo a la excepción, no se exige que sea puesto a tierra un codo metálico instalado en una instalación subterránea de tubo (conduit) rígido no metálico y que el codo se encuentre aislado de un posible contacto por 45.7 cm de cualquier parte.

250-32 EXC, 250-33 EXC 4, el codo metálico en estos casos no se requiere que sea puesto a tierra

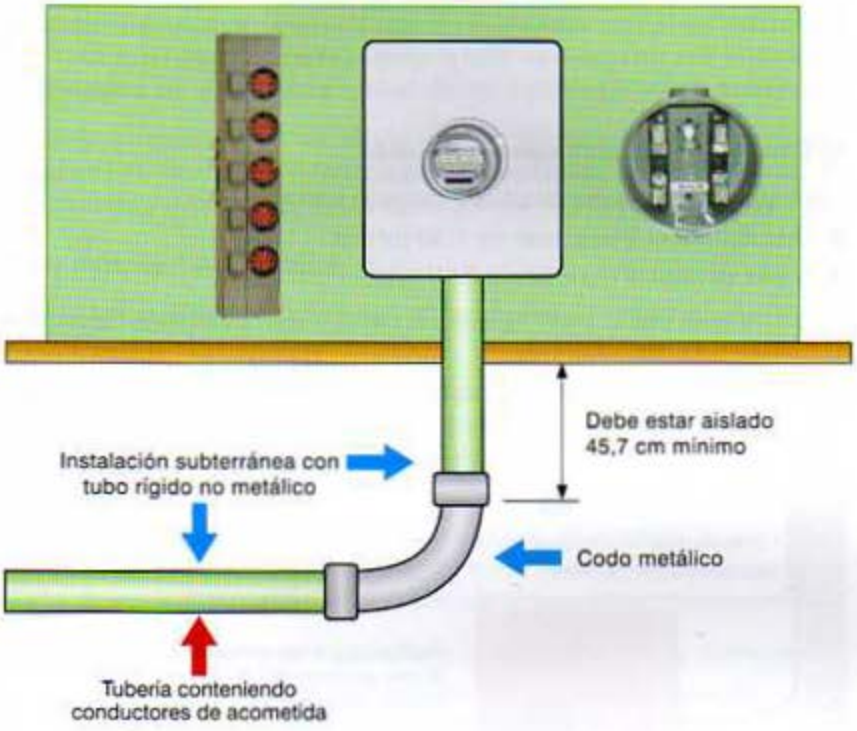


Fig. 141 Excepción 4 no se exige la puesta a tierra de un codo metálico

Sección 250-33. Envolventes y canalizaciones para otros conductores

Todas las envolventes y canalizaciones metálicas donde se alojen otros conductores que no sean los de acometida deben ser puestas a tierra.

En la excepción 2 se indica que no es necesaria la puesta a tierra de partes cortas de canalizaciones o cubiertas metálicas, si solamente son como soportes o protección de los cables contra daños físicos.

250-33 EXC. Envolventes y canalizaciones para otros conductores

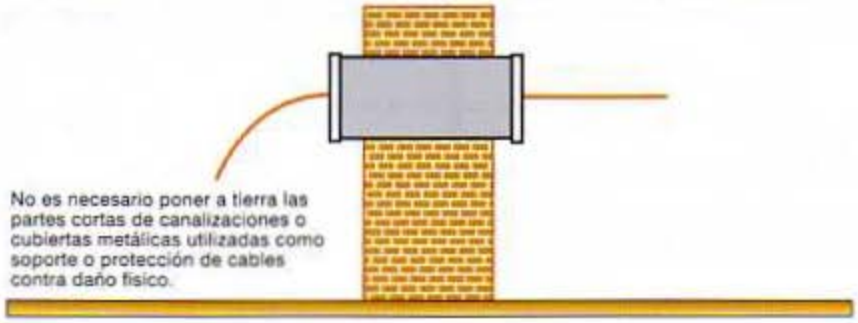


Fig. 142 Canalizaciones cortas como soportes de cables

E) Puesta a tierra del equipo

Sección 250-42. Equipo fijo o conectados de forma permanente

Las partes metálicas expuestas no conductoras de corriente eléctrica de equipo fijo que puedan energizarse, deben ser puestas a tierra en cualquiera de las siguientes condiciones:

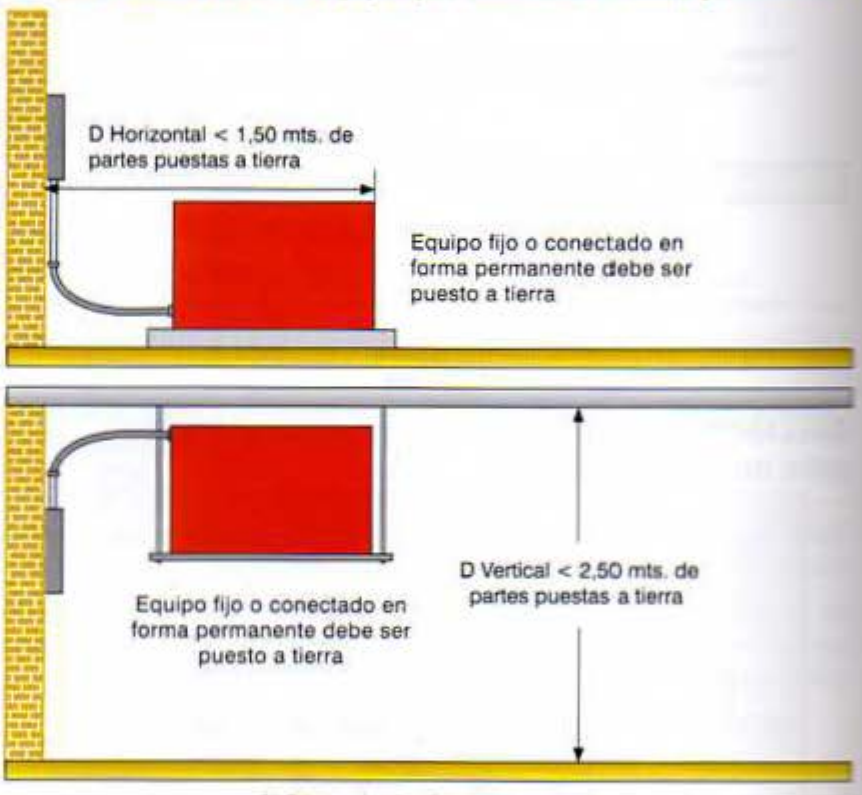
a) Distancias horizontales y verticales

Los equipos deben ser puestos a tierra si están a:

- Una distancia horizontal de 1,50 mts ó
- A una distancia vertical de 2,50 mts

De tierra o de algún objeto puesto a tierra y que puedan estar sujetos al contacto de las personas.

250-42 Puesta a tierra de equipo fijo o conectado en forma permanente



A) Distancias horizontal y vertical

Fig. 143 Puesta a tierra de equipo fijo

El equipo de ponerse a tierra si se presenta cualquiera de las siguientes circunstancias.

a) Distancias horizontal y vertical.
b) En lugares mojados o húmedos.
c) Cuando estén en contacto eléctrico con metales.
d) En lugares peligrosos Art. 500-517.
e) Cuando se alimenten con cables de forro metálico
f) Cuando el equipo funcione con cualquier terminal a mas de 150 Volts a tierra.

b) Lugares mojados o húmedos

Cuando el equipo fijo se encuentre en locales o lugares mojados o húmedos debe ser puesto a tierra.

c) Contacto eléctrico

Cuando el equipo fijo se encuentre en contacto eléctrico con metales.

d) Locales peligrosos (clasificados)

Si el equipo fijo se encuentra en lugares (clasificados) peligrosos debe ser puesto a tierra.

e) Métodos de alambrado

Cuando el equipo fijo se alimente por cable con forro metálico, recubiertos de metal, canalizaciones metálicas, u otro método de alambrado que pueda servir como la puesta a tierra del equipo.

f) De más de 150 V a tierra

Cuando el equipo fijo funcione con cualquier terminal a más de 150 Volts a tierra.

En la excepción 3, se indica que no se exige la puesta a tierra cuando los equipos eléctricos se encuentran instalados en postes de madera y a una altura de 2.50 metros, por ejemplo se tienen los transformadores, capacitores, etc.

En la excepción 4, se indica que cuando el equipo tiene doble aislamiento y está listado y aprobado, no se requiere que sea puesto a tierra. Estos equipos eléctricos deben estar marcados claramente.

250-42 Puesta a tierra de equipo fijo o conectado en forma permanente

250-42 EXC 3 Equipo de distribución, por ejemplo tanques de transformadores y de capacitores

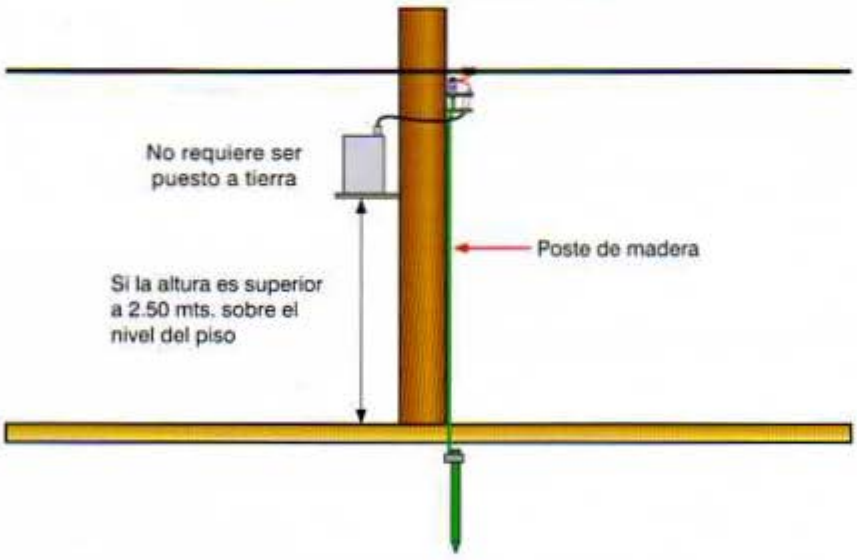


Fig. 144 Excepción 3 equipos que no deben ser puestos a tierra

Sección 250-43. Equipo fijo o conectado de forma permanente

Las partes metálicas y expuestas que no transporten corriente eléctrica de equipo eléctrico deben ser puestas a tierra, independientemente de su tensión eléctrica; a continuación se indica:

a) Armazones y estructuras de tableros de distribución.

b) Órganos de tubos.

c) Carcasa de motores.

d) Envolventes de controladores de motores.

e) Elevadores y grúas. El equipo eléctrico de elevadores y grúas.

f) El equipo eléctrico en estacionamientos comerciales, teatros, y estudios cinematográficos.

g) Anuncios luminosos, alumbrado de realce y equipo asociado.

h) Equipo de proyección cinematográfica.

i) Circuitos de control remoto, señalización y circuitos de alarma contra incendio de potencia limitada.

En los **circuitos de alarma contra incendio** que operan a cualquier tensión eléctrica deben ser puestos a tierra, por lo que se requiere el conductor de puesta a tierra para la puesta a tierra de las partes metálicas no conductoras de la corriente eléctrica.

j) Luminarias.

Se deben poner a tierra las partes metálicas que no transportan corriente eléctrica y las envolventes de los siguientes equipos, independientemente de su tensión eléctrica:

k) Bombas de agua operados por un motor.

Se incluyen las bombas sumergibles.

l) Ademe metálico de pozos.

Para prevenir un descarga eléctrica y reducir las corrientes errantes durante el mantenimiento.

250-42 Puesta a tierra de equipo fijo o conectado en forma permanente independientemente de su tensión de operación

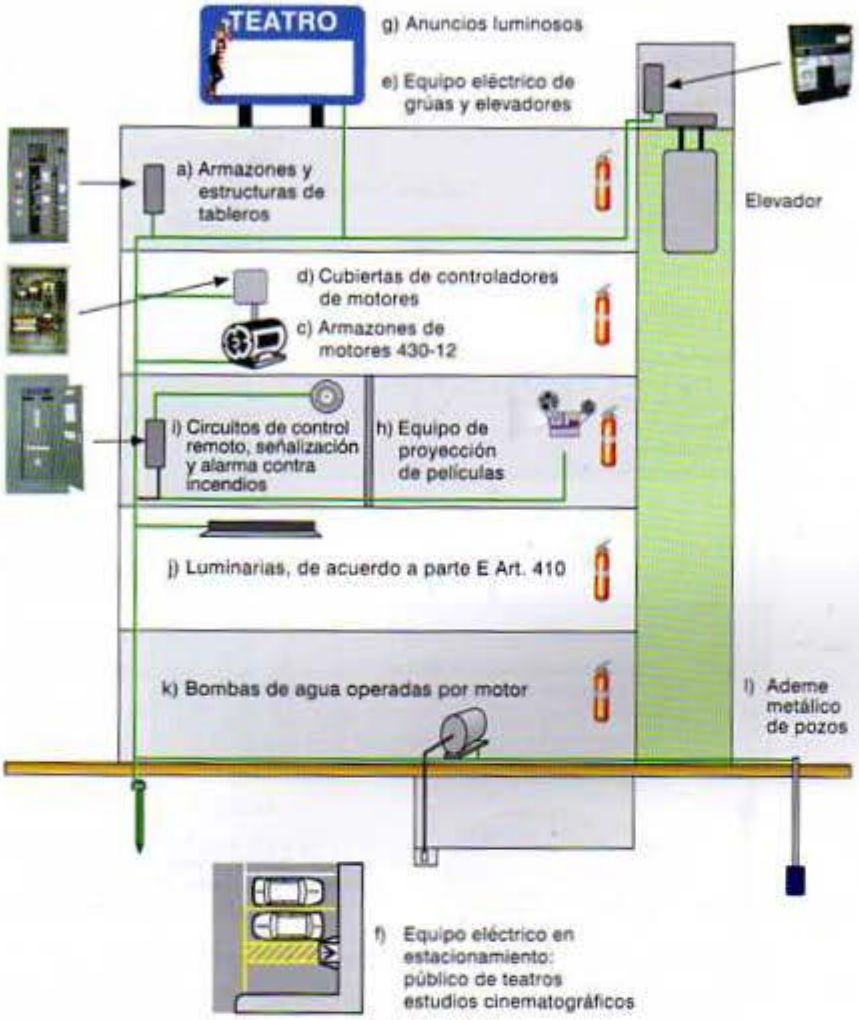


Fig. 145 Puesta a tierra de equipo fijo o conectado permanentemente

Sección 250-44. Equipo no-eléctrico

Las partes metálicas de equipo no eléctrico que se indica a continuación deben ser puestas a tierra:

a) Grúas y elevadores.

Las estructuras y rieles metálicos de grúas y elevadores operados eléctricamente.

b) Elevadores de carros

Las estructuras de elevadores no eléctricos de carros en los que están conectados por conductores eléctricos.

c) Elevadores eléctricos

Los cables metálicos manuales o los cables de elevadores eléctricos.

d) Separaciones metálicas.

Las separaciones metálicas, rejillas de trabajo y envolventes metálicas similares alrededor de equipo eléctrico de 1 kV o más entre conductores. Excepto las subestaciones o bóvedas que estén en responsabilidad del suministrador.

e) Casas móviles y vehículos recreativos.

250-44 Puesta a tierra de las partes metálicas de equipo no eléctrico

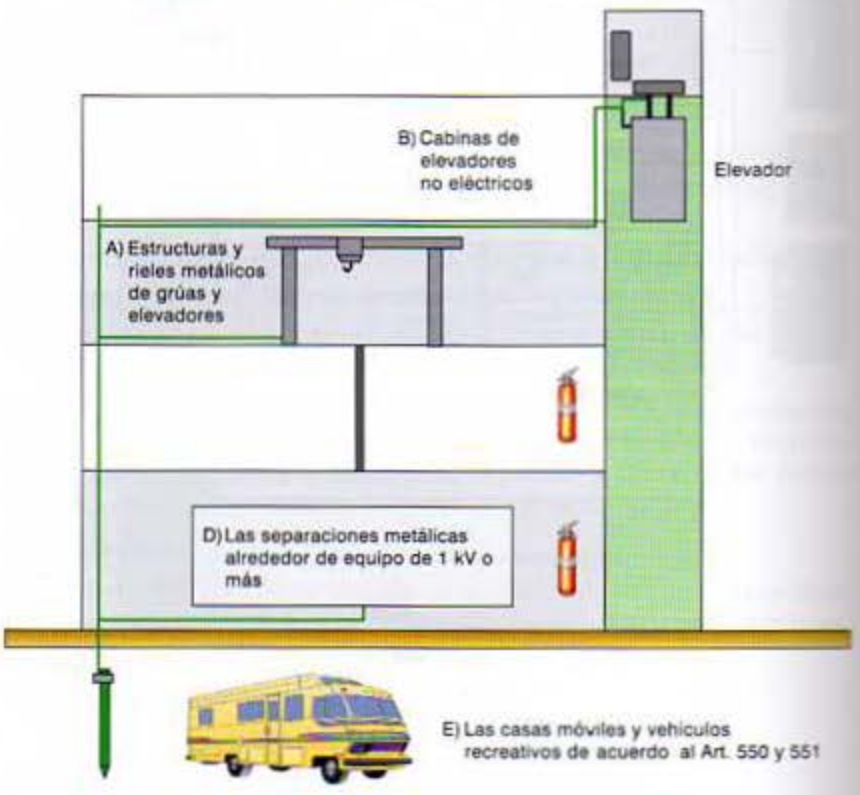


Fig. 146 Puesta a tierra de partes metálicas de equipo no eléctrico

Sección 250-45. Equipo conectado con cordón y clavija

Las partes metálicas que no transporten corriente eléctrica de equipos que se conecten por medio de cordón y clavija, deben ser puestas a tierra, en cualquiera de las siguientes condiciones:

a) En lugares peligrosos (clasificados).

b) Cuando funcionen a más de 150 Volts a tierra.

c) En construcciones residenciales:

- Refrigeradores
- Congeladores
- Equipos de aire acondicionado
- Lavadoras
- Secadoras
- Lavavajillas
- Trituradores de basura
- Bombas de sumideros

- Equipo eléctrico de acuarios
- Herramientas con motor
- Limpiadoras de pisos
- Podadoras de césped
- Esparcidores de nieve
- Lavadoras móviles
- Lámparas portátiles

d) En construcciones no-residenciales:

- Refrigeradores
- Congeladores
- Equipos de aire acondicionado
- Lavadoras
- Secadoras
- Lavavajillas
- Computadoras electrónicas
- Bombas de sumideros
- Equipo eléctrico de acuarios
- Herramientas con motor
- Podadoras de césped
- Esparcidores de nieve
- Lavadoras móviles
- Los aparatos eléctricos con cordón y clavija utilizados en locales húmedos y mojados o por personas que permanecen de pie sobre la tierra o sobre pisos metálicos o que trabajen dentro de tanques o calderas metálicas
- Las herramientas que se utilizan en lugares mojados o conductivos
- Lámparas portátiles

Sección 250-46. Separación de los conductores de bajada de los pararrayos

Cuando existan canalizaciones metálicas, estructuras y otras partes metálicas de equipo eléctrico que no transportan corriente eléctrica instaladas en la cercanía de los conductores de bajada del sistema de protección contra descargas atmosféricas, estas deben de mantener una separación mínima de 1,80 mts.

Si la separación no se puede mantener y es menor a 1,80 mts, se deberá de instalar un puente de unión entre ellos.

Se deberá de consultar las recomendaciones prácticas de la NFPA 780-2004.

250-46 Separación de los conductores de los pararrayos

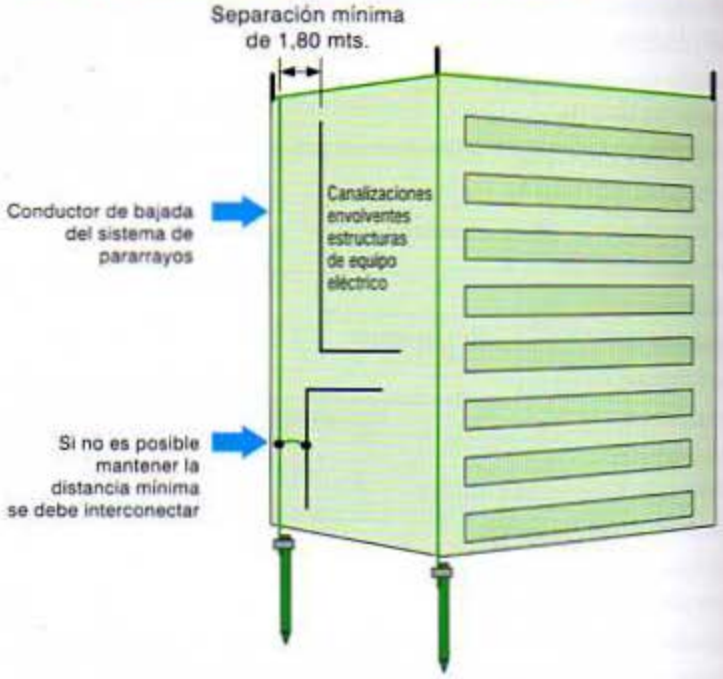


Fig. 147 Separación de los conductores de bajada del sistema de protección contra descargas atmosféricas

F) Métodos de puesta a tierra

16

Sección 250-50. Conexiones del conductor de puesta a tierra del equipo

Las conexiones del conductor de puesta a tierra del equipo de la fuente de un sistema derivado separado, se deberá de realizar de acuerdo a la sección 250-26 (a).

Las conexiones del conductor de puesta a tierra del equipo en equipo de la acometida se deberán de hacer como se indica a continuación:

a) Para sistemas puestos a tierra

En sistemas puestos a tierra la conexión se deberá de hacer por un puente de unión del conductor de puesta a tierra del equipo al conductor puesto a tierra de la acometida y al conductor del electrodo de puesta a tierra.

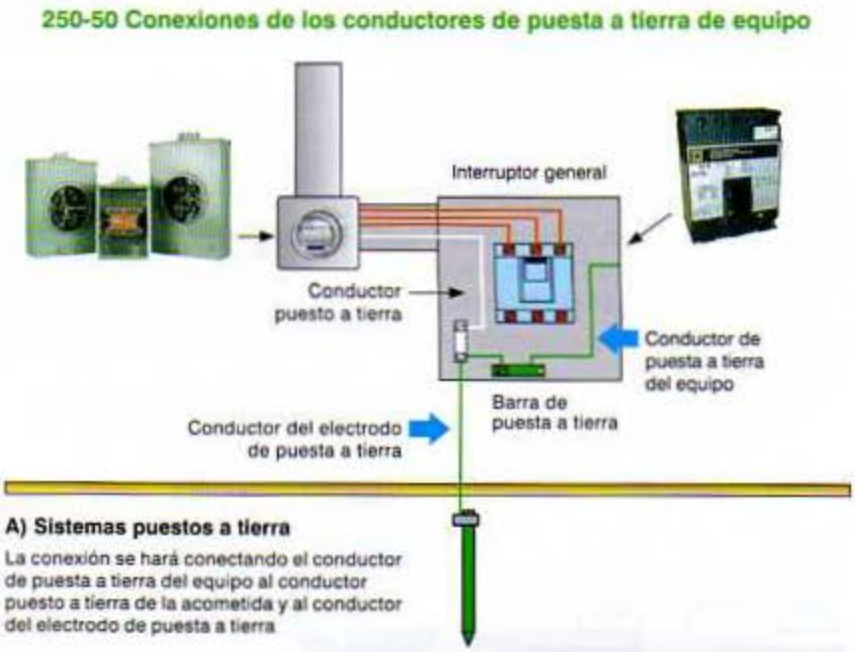


Fig. 148 Conexión del conductor de puesta a tierra en la acometida de un sistema puesto a tierra

b) En sistemas no-puestos a tierra

En sistemas no puestos a tierra la conexión se deberá de hacer por un puente de unión del conductor de puesta a tierra del equipo al conductor del electrodo de puesta a tierra.

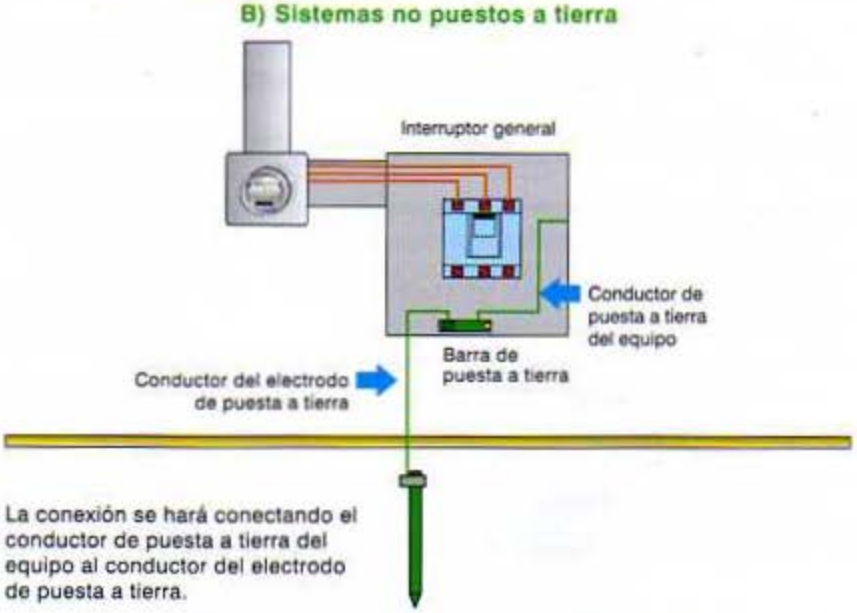


Fig. 149 Conexión del conductor de puesta a tierra en la acometida de un sistema no puesto a tierra

La excepción que aplica para los dos sistemas puestos a tierra y no puestos a tierra, es en los casos que:

Se cambien los receptáculos sin terminal de puesta tierra por receptáculos con terminal de puesta a tierra y para ampliaciones de instalaciones existentes, en los que no existe el conductor de puesta a tierra, se deberá de realizar lo siguiente:

- La conexión de la terminal de puesta a tierra del receptáculo se realizará a cualquier punto accesible del sistema de electrodos de puesta a tierra indicados en la sección 250-81, ó
- A cualquier punto accesible del conductor del electrodo de puesta a tierra.

250-50 Conexiones de los conductores de puesta a tierra de equipo

250-50 EXC. Reemplazo e instalación de receptáculos con terminal de puesta a tierra

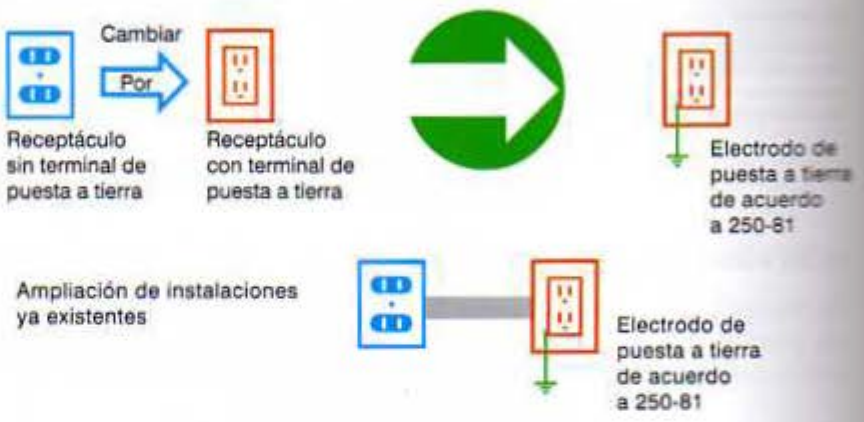


Fig. 150 Excepción para reemplazo de receptáculos

Sección 250-51. Trayectoria efectiva de puesta a tierra

La trayectoria de la puesta a tierra es de vital importancia de los circuitos, equipos, cubiertas metálicas de conductores.

La trayectoria de la puesta a tierra deberá ser:

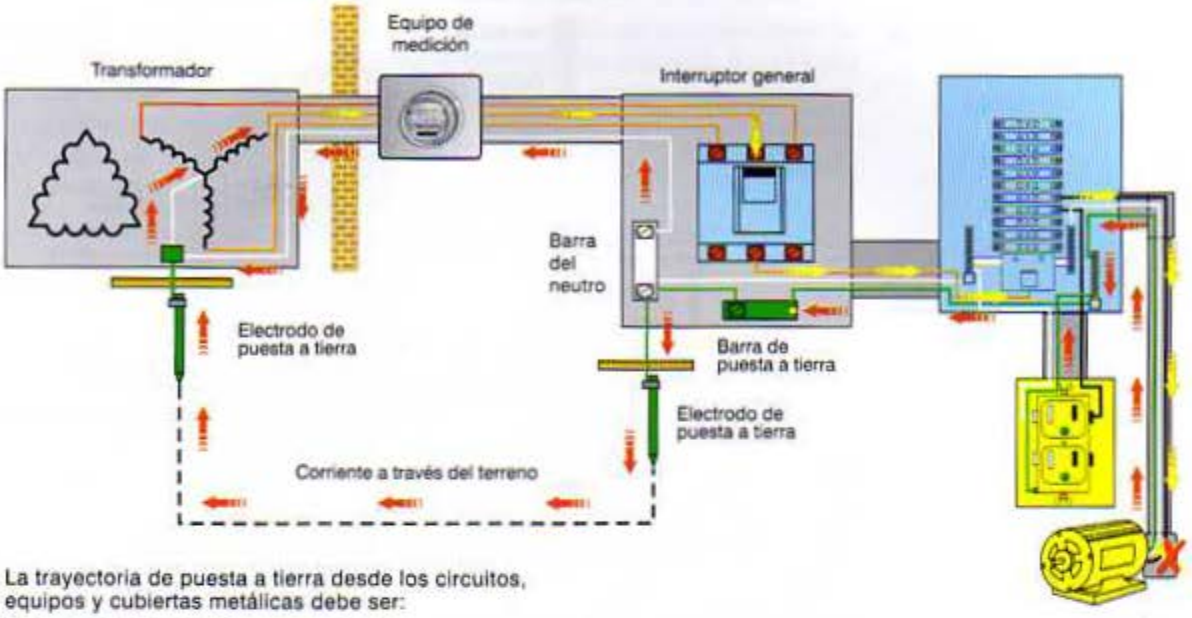
1) Permanente y eléctricamente contínua.

2) Tener la capacidad de conducir en forma segura cualquier corriente eléctrica de falla a tierra que pudiera presentarse.

3) Tener una impedancia suficientemente baja que limite la tensión eléctrica a tierra y facilite la operación de los dispositivos de protección del circuito.

La tierra no se deberá de utilizar como el único conductor de puesta a tierra del equipo

250-51 Trayectoria efectiva de puesta a tierra



La trayectoria de puesta a tierra desde los circuitos, equipos y cubiertas metálicas debe ser:

1) Permanente y eléctricamente continua
2) De capacidad suficiente para conducir la corriente de falla.
3) Tener una impedancia suficientemente baja.

El terreno natural no debe utilizarse como único conductor de puesta a tierra del equipo

Fig. 151 Trayectoria efectiva de la puesta a tierra

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

a) Conductor del electrodo de puesta a tierra

El conductor del electrodo de puesta a tierra se deberá de utilizar para conectar a los conductores de puesta a tierra de los equipos, las envolventes del equipo de la acometida y cuando el sistema es puesto a tierra, conectar el conductor puesto a tierra con el electrodo de puesta a tierra.

b) Puente de unión principal

Cuando se tiene un sistema puesto a tierra, se deberá de utilizar un puente de unión principal sin empalmes, para conectar el conductor de puesta a tierra del equipo y la envolvente del medio de desconexión de la acometida, al conductor puesto a tierra del sistema en cada medio de desconexión de la acometida.

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

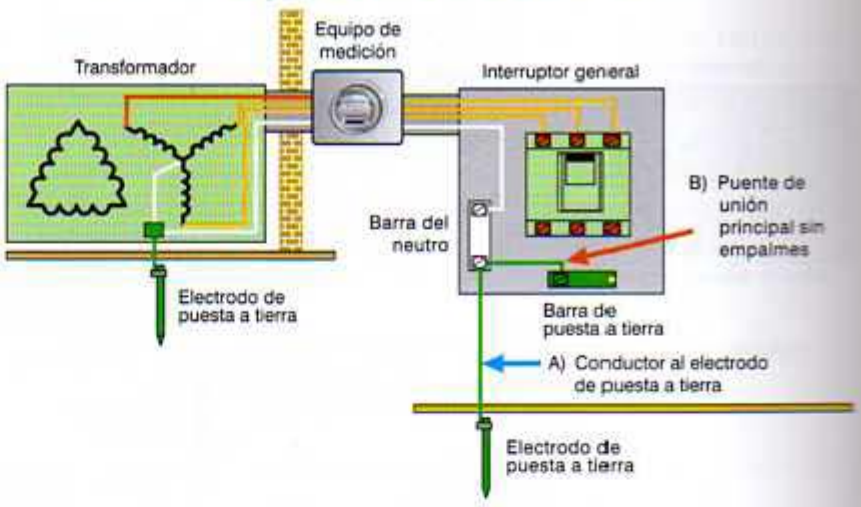


Fig. 152 Trayectoria de la puesta a tierra hasta el electrodo de puesta a tierra de la acometida

Sección 250-54. Electrodo común de puesta a tierra

Cuando un sistema de corriente alterna es conectado a un electrodo de puesta a tierra dentro o a un edificio, este mismo electrodo de puesta a tierra se deberá de utilizar para la puesta a tierra de los envolventes y del equipo dentro o a un edificio.

Si se tienen dos acometidas a un mismo edificio que suministren de energía eléctrica, y se requiere que se conecten a un electrodo de puesta a tierra, el mismo electrodo de puesta a tierra deberá de utilizarse para las dos acometidas.

Cuando se conectan efectivamente dos o más electrodos de puesta a tierra, se consideran como un sólo electrodo de puesta a tierra.

250-54 Electrodo común de puesta a tierra

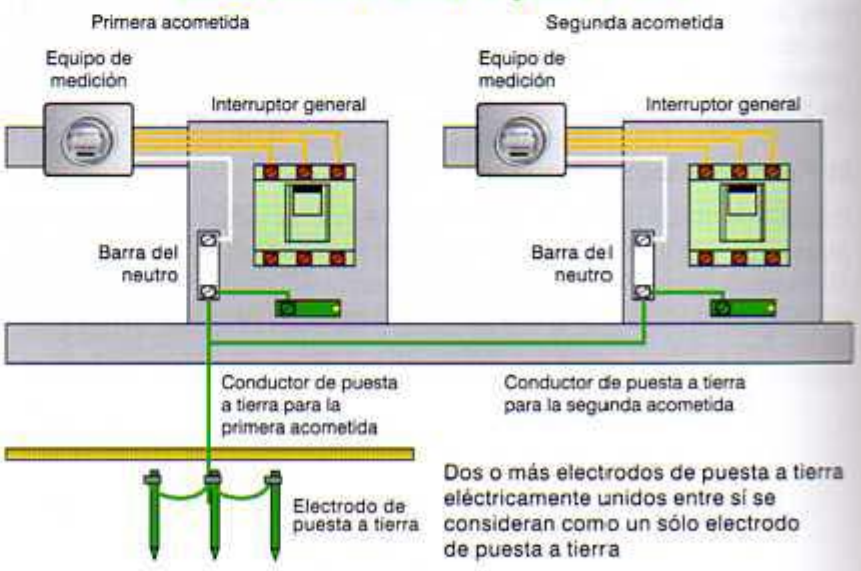


Fig. 153 Dos o más electrodos de puesta a tierra

Sección 250-55. Cable subterráneo de acometida

Cuando un edificio de alimenta por medio de una acometida subterránea con un cable subterráneo con cubierta metálica, la cubierta o la armadura del cable de acometida conectada al sistema subterráneo o al tubo (conduit) de acometida, debe ser puesto a tierra en el edificio, al igual que la tubería interior.

Nota: En la Nueva Norma no se permite realizar esta conexión.

250-55 Puesta a tierra del cable subterráneo de acometida

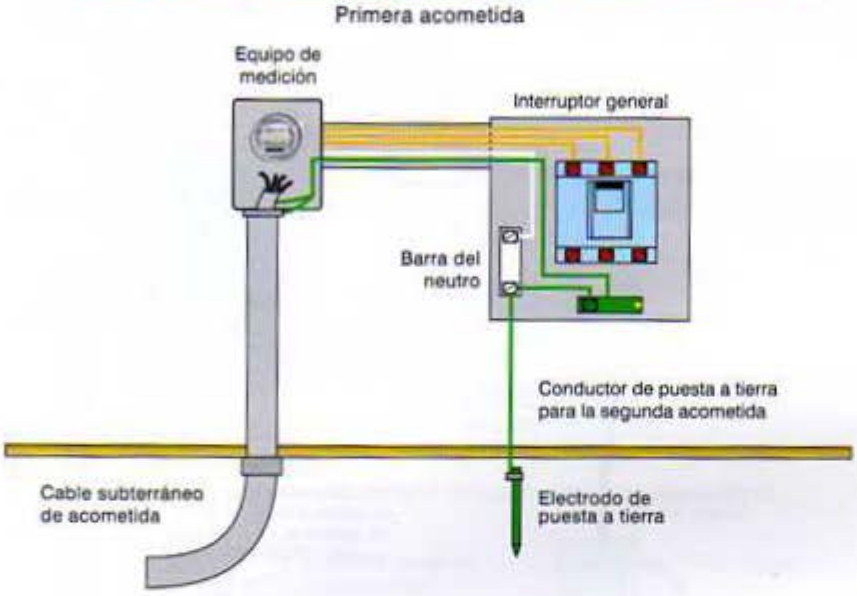


Fig. 154 Puesta a tierra del cable subterráneo

16

Sección 250-57. Equipo fijo o conectado por un método de alambrado permanente (fijo): puesta a tierra

Cuando se requiera que sean puestos a tierra, las partes metálicas que no transportan corriente eléctrica de equipos, canalizaciones, y otras envolventes, deberán ser puestas a tierra por medio de uno de los siguientes métodos:

a) Tipos de conductores de puesta a tierra

Por medio de los conductores de puesta a tierra, los permitidos en la sección 250-91 (b).

b) Con los conductores del circuito

Por medio de un conductor de puesta a tierra que se encuentre instalado dentro de la misma canalización, cable, cordón o conductores de puesta a tierra aislados.

Los conductores de puesta a tierra individuales aislados o cubiertos, deben tener:

- Un acabado exterior contínuo, de color verde liso o verde con una o más franjas amarillas.

En la excepción 1, se indica que si se instalan conductores mayores al tamaño nominal No.6 AWG, de cobre o aluminio, se deberá de identificar permanentemente como conductor de puesta a tierra en sus dos extremos y en todos los puntos en el que sea accesible. Esta identificación deberá de realizarse de la siguiente manera:

a. Retirando el aislamiento o el recubrimiento en la parte expuesta.

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

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

B) Conductores de puesta a tierra:

Desnudos, cubiertos o aislados.



Cubiertos o aislados:
acabado verde liso
verde con una o mas franjas amarillas.



EXC1. Conductores mayores de tamaño nominal superior a calibre No. 6 AWG



- Quitando el aislamiento.
- Pintando de verde el aislamiento.
- Marcando el aislamiento con cintas color verde.

250-57 Puesta a tierra de equipo fijo o conectado por un método de alambrado permanente

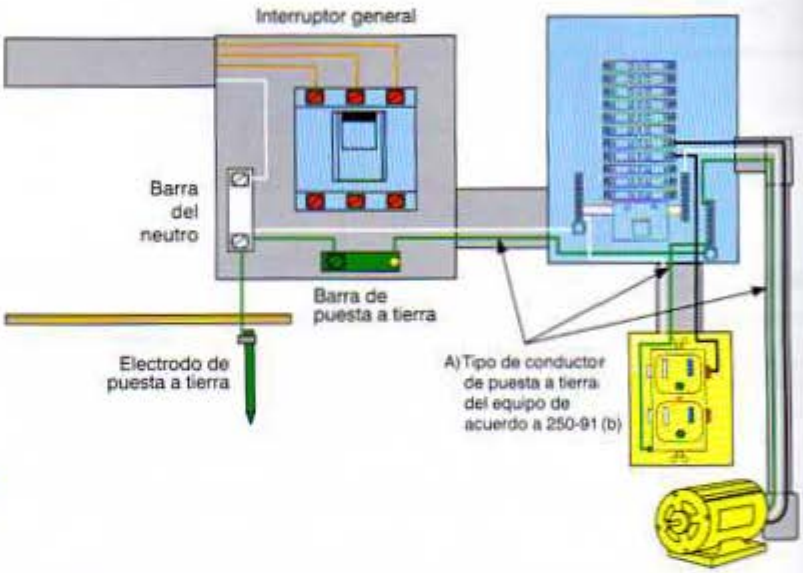


Fig. 155 Identificación de los conductores de puesta a tierra

Sección 250-58. Equipo considerado eficazmente puesto a tierra

Las partes metálicas no conductoras de corriente eléctrica del equipo deberán ser consideradas efectivamente puestas a tierra si:

a) Los equipos están sujetos a soportes metálicos puestos a tierra

Cuando los equipos eléctricos soportados y en contacto eléctrico con bastidores o estructuras metálicas diseñados para su soporte y están puestos a tierra por un medio de los indicados en la sección 250-57.

La estructura metálica de un edificio no se deberá de utilizar como conductor de puesta a tierra del equipo para equipos de corriente alterna.



Fig. 156 Equipo considerado puesto a tierra

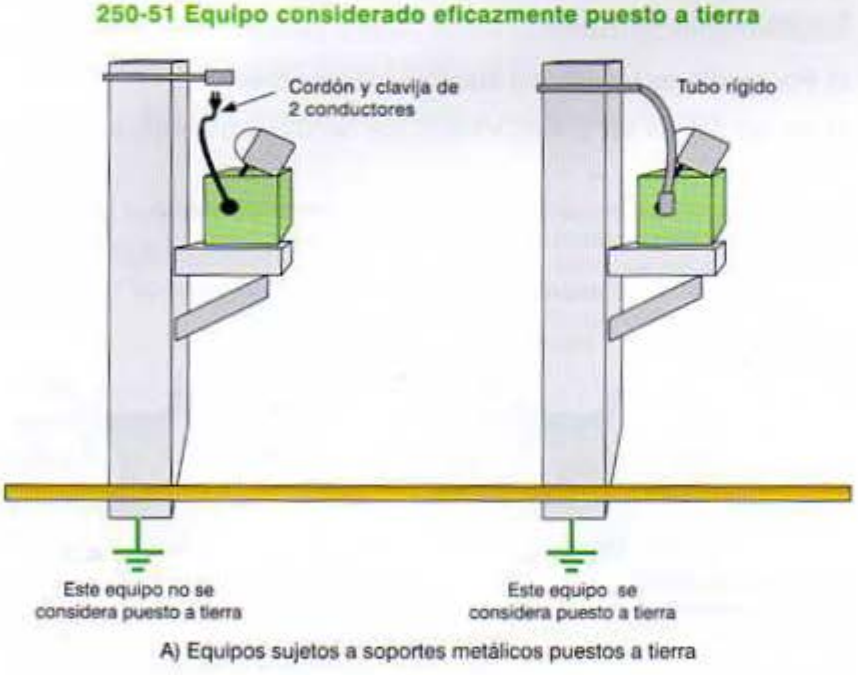


Fig. 157 Equipo considerado puesto a tierra

b) Estructura de ascensores metálicos de carros

Las estructuras de ascensores de carros metálicos, sujetos con cables metálicos que los elevan, unidos o que corren sobre carretes o tambores metálicos de las máquinas de los ascensores puestos a tierra por alguno de los métodos indicados en la sección 250-57.

Sección 250-59. Equipos conectados con cordón y clavija

Los equipos eléctricos que se conecten por medio de cordón y clavija y que tengan partes metálicas no conductoras de corriente eléctrica que requieran ser puestas a tierra, se deberá de hacer por uno de los siguientes métodos:

a) Por medio de la envolvente metálica

El equipo deberá ser puesto a tierra a través de la evolvente metálica de los conductores que la alimentan.

Esta envolvente deberá tener un contacto fijo con el equipo y con la clavija que debe ser del tipo con terminal de puesta a tierra, utilizando los conectadores apropiados y aprobados.

b) Por medio del conductor de puesta a tierra de equipo

El equipo deberá ser puesto a tierra mediante el conductor de puesta a tierra que se instale junto a los conductores de alimentación, que puede ser un cable ensamblado o cordón flexible que termine en una clavija con terminal de puesta a tierra con un contacto fijo de puesta a tierra.

Se permite que el conductor de puesta a tierra esté sin aislamiento y si esta con aislamiento deberá ser de color verde contínuo o verde con franjas de color amarillo.

c) Por medio de un cable o alambre independiente

El equipo deberá ser puesto a tierra por medio de un cable o alambre separado.

Este cable o alambre puede ser desnudo o con aislamiento, y protegido contra daño físico cuando sea parte del equipo.



Fig. 158 Equipos conectados por medio de cordón y clavija

Sección 250-60. Carcasas de estufas y secadoras de ropa

Está sección se deberá aplicar solamente en instalaciones existentes

Las carcasas de estufas eléctricas, hornos eléctricos montados en la pared, secadoras de ropa y las salidas o cajas de conexiones que formen parte del circuito de alimentación deberán ser puestas a tierra.

Excepto para casas móviles y vehículos recreativos, se permite que sean puestos a tierra por el conductor puesto a tierra del circuito, si se cumple con todas las siguientes condiciones:

a) El circuito de alimentación tiene una tensión eléctrica de

- 120/240 Volts, una fase, 3 conductores ó
- 208 Y /120 Volts derivado de un sistema trifásico, 4 conductores conectado en estrella.

b) El tamaño nominal del conductor puesto a tierra no es menor al No. 10 AWG en cobre o al No.6 AWG en aluminio.

c) El conductor puesto a tierra es un conductor aislado o el conductor puesto a tierra se encuentra sin aislamiento y forma parte del cable de acometida tipo SE.

El circuito derivado se origina en el equipo de la acometida.

d) Los contactos de puesta a tierra de los receptáculos suministrados como parte del equipo están unidos al equipo.

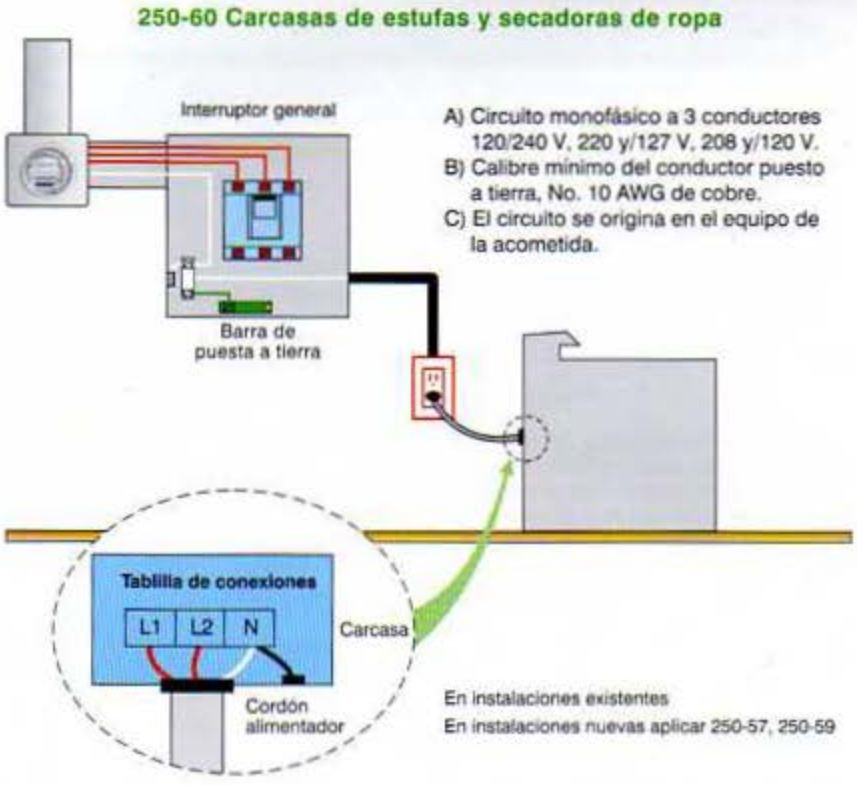


Fig. 159 Equipo puesto a tierra a través del conductor puesto a tierra

Sección 250-61. Uso del conductor puesto a tierra para la puesta a tierra del equipo

a) Equipo del lado del suministro

Se permite que el conductor puesto a tierra del circuito se utilice para la puesta a tierra de las partes metálicas que no transporten corriente eléctrica de equipos, canalizaciones y otras envolventes en cualquiera de los siguientes lugares:

1) En el lado de alimentación de los medios de desconexión de la acometida.

2) En el lado de alimentación de los medios de desconexión principales para edificios separados como se indica en la sección 250-24.

3) En el lado de alimentación de los medios de desconexión o dispositivos de protección contra sobrecorriente en un sistema derivado separado.

b) Equipo del lado de la carga

El conductor puesto a tierra del circuito no se deberá de utilizar para la puesta a tierra de las partes metálicas que no transportan corriente eléctrica del equipo del lado de la carga de los medios de desconexión de la acometida, o del lado de la carga de los medios de desconexión de un sistema derivado separado, o de los dispositivos de protección contra sobrecorriente de un sistema derivado separado, si no tiene medios de desconexión principales.

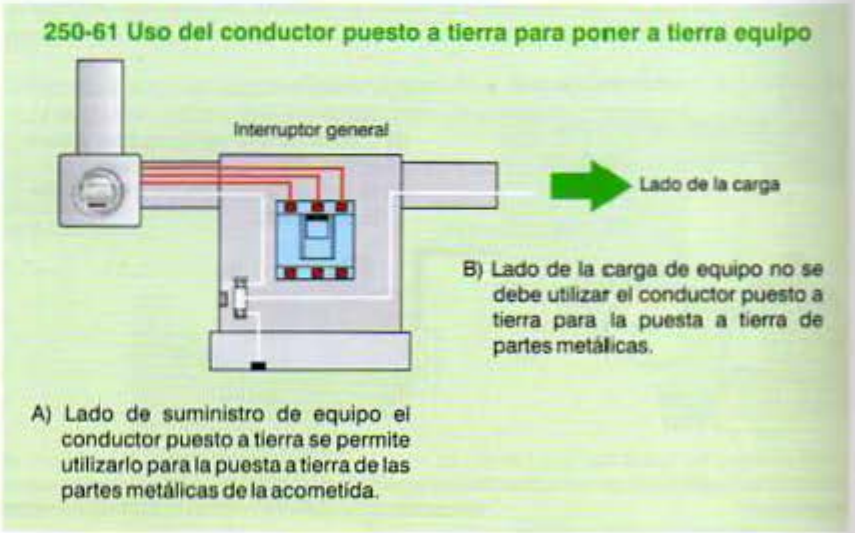


Fig. 160 Uso del conductor puesto a tierra

G) Puentes de Unión (Unión)

Sección 250-70. Disposiciones generales

Cuando sea necesario para asegurar la continuidad eléctrica y la capacidad de conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica que pudiera producirse por falla a tierra, se deben hacer los puentes de unión pertinentes.

Puente de Unión (Unión)

Conductor confiable para asegurar la conductividad eléctrica, requerida entre partes metálicas que requieren ser conectadas eléctricamente

Sección 250-71. Equipo de la acometida

a) Puente de unión del equipo de la acometida

Las partes metálicas que no transportan corriente eléctrica del equipo, que se indica a continuación, deben estar efectivamente unidas entre sí:

1) Las canalizaciones de acometida, charolas, estructuras de electroductos, armadura o blindaje de cables.
2) Todas las envolventes del equipo de la acometida que contengan a los conductores de la acometida, incluyendo la conexión de medidores, cajas o similares, que se encuentren interpuestos entre la canalización o armadura de la acometida.
3) La canalización o armadura metálica en la que se aloje el conductor del electrodo de puesta a tierra, como lo indica la sección 250-92(a).

El puente de unión se deberá de realizar en cada extremo y a todas las canalizaciones, cajas y envolventes entre el equipo de acometida y al electrodo de puesta a tierra.

250-71 A) Puente de unión del equipo de la acometida

1) Las canalizaciones de acometida, charolas, estructuras de electroductos, armadura y blindaje de conductores.

2) Todos los envolventes de equipo de acometida que contengan conductores, conexión de medidores, cajas o similares, interpuestos en la canalización o blindaje.

3) Cualquier metálica o envolvente por los que se lleve un conductor al electrodo de puesta a tierra.

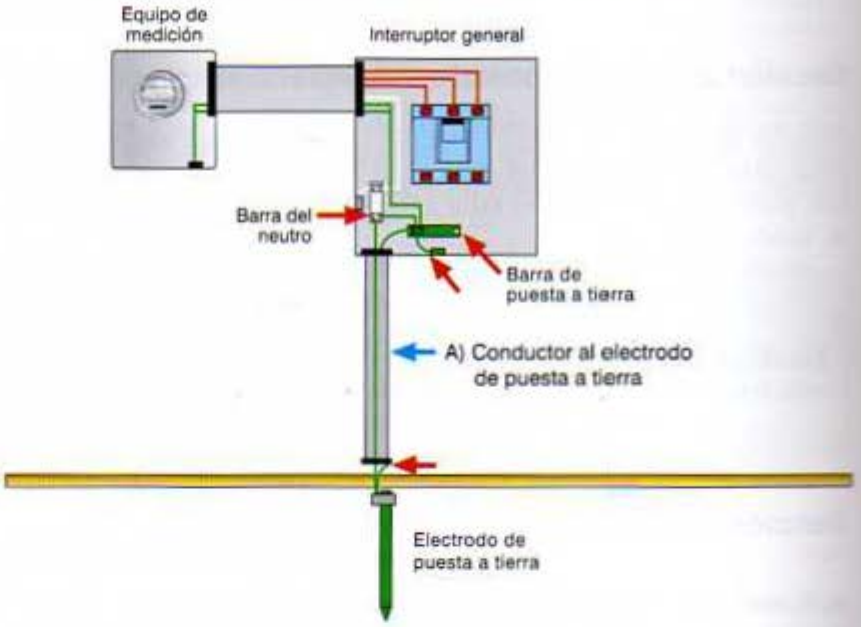


Fig. 161 Puente de unión en el equipo de la acometida

b) Puente de unión con otros sistemas

Cuando se tengan varios sistemas de puesta a tierra o sistemas de tuberías metálicas, se deberá de tener un medio accesible externo a los envolventes para la unión con otros sistemas y con los conductores de puesta a tierra, en cada acometida por uno de los siguientes medios.

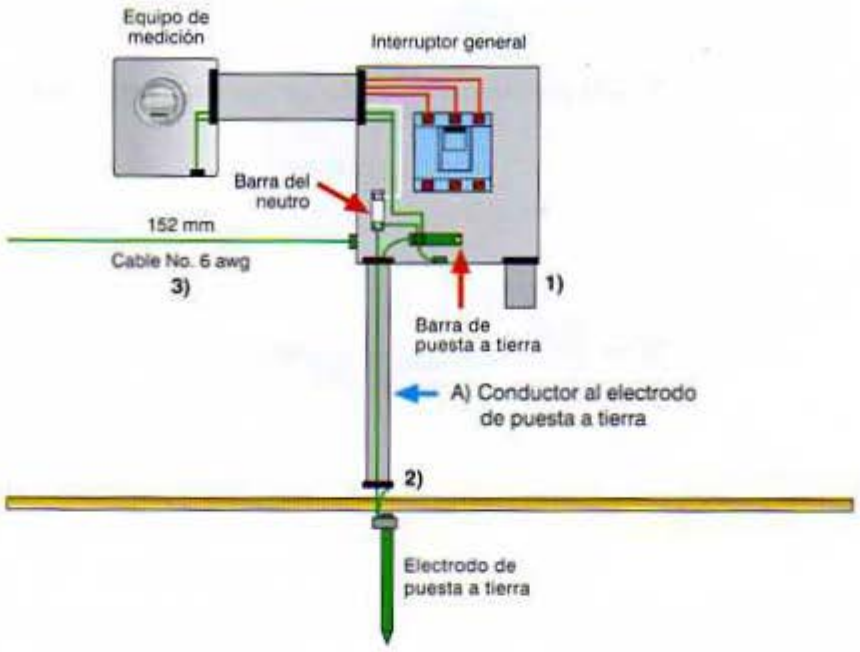
1) Canalizaciones metálicas expuestas de la acometida

2) El conductor del electrodo de puesta a tierra expuesto

3) Un medio aprobado para la conexión externa del puente de unión o del conductor de puesta a tierra de cobre u otro elemento resistente a la corrosión con la canalización o equipo de acometida.

Un ejemplo del medio aprobado para la unión de varios sistemas puede ser un conductor de cobre de tamaño nominal del No. 6 AWG, con uno de sus extremos conectado a la canalización o equipo de la acometida con una longitud de 1,52 mts.

250-71 B) Puente de unión con otros sistemas



Debe haber como mínimo un medio accesible fuera de los envolventes para conectar los puentes de unión y de puesta a tierra de otros sistemas por medio de:

1) Canalización metálica expuesta.
2) El conductor al electrodo de puesta a tierra expuesto.
3) Conductor de cobre u otro elemento resistente a la corrosión.

Ejemplo: conductor de cobre No. 6 AWG con 152 mm del otro extremo

Fig. 162 Puente de unión con otros sistemas

Sección 250-72. Método para puentes de unión del equipo de la acometida

En el equipo de la acometida se deberá de asegurar la continuidad eléctrica por uno de los siguientes métodos:

a) Conductor puesto a tierra de acometida

La unión entre el conductor puesto a tierra de la acometida y el equipo, se deberá de realizar de acuerdo a la sección 250-113.

b) Conexiones roscadas

Cuando se instale tubo (conduit) metálico tipo pesado o semipesado, las uniones mediante roscas o tubos roscados a los envolventes, se deberán de apretar con llaves.

c) Conexiones y conectadores sin rosca

Para los puentes de unión se deberán de utilizar tuercas y conexiones aprobadas para la puesta a tierra.

d) Puentes de unión

Los puentes de unión que cumplan con los requisitos de este artículo se deben de utilizar en tomas concéntricas o excéntricas perforadas o hechos de cualquier otra forma que no se afecte la conexión eléctrica de puesta a tierra.

e) Otros dispositivos

Los dispositivos aprobados para la puesta a tierra como contratuercas y monitores.

250-72 Método para puentes de unión del equipo de la acometida

La continuidad del equipo de acometida debe estar asegurada por:

A) Conductor puesto a tierra.
250-113 Los conductores de puesta a tierra y los puentes de unión se deben conectar mediante:
Soldadura exotérmica
Conectadores a presión
Abrazaderas u otros medios aprobados
No se deben usar pijas

B) Conexiones roscadas: coples roscados.

C) Conexiones y conectadores sin rosca.

D) Puente de unión.

E) Otros dispositivos: contratuercas y monitores de puesta a tierra.

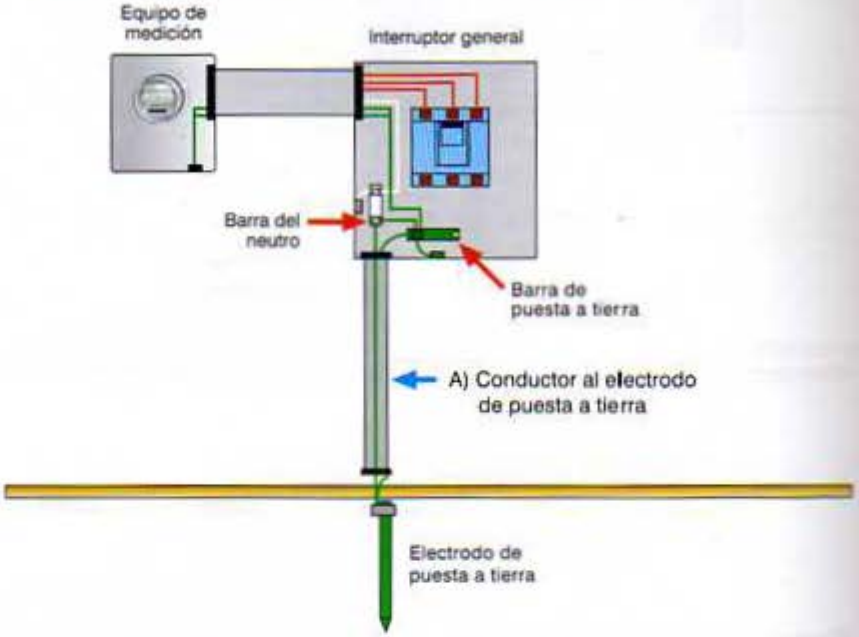


Fig. 163 Método de uniones en el equipo de la acometida

16

Sección 250-74. Conexión de la terminal de puesta a tierra de un receptáculo a la caja

Se deberá de utilizar un puente de unión del equipo para la conexión de la terminal de puesta a tierra de un receptáculo del tipo de puesta a tierra, para la puesta a tierra de la caja.

En la excepción 1, se indica de que si la caja esta montada en una superficie, con contacto directo de metal a metal, la caja quedará puesta a tierra con el contacto del chasis.

En la excepción 2, se indica que los soportes o dispositivos de contacto diseñados, aprobados y listados para este fin, formen junto a los tornillos que los sujetan el circuito de puesta a tierra entre el soporte del dispositivo y la caja.

En la excepción 3, se indica que cuando las cajas en el piso están diseñadas y aprobadas para proveer satisfactoriamente la continuidad de puesta a tierra entre el dispositivo y la caja.

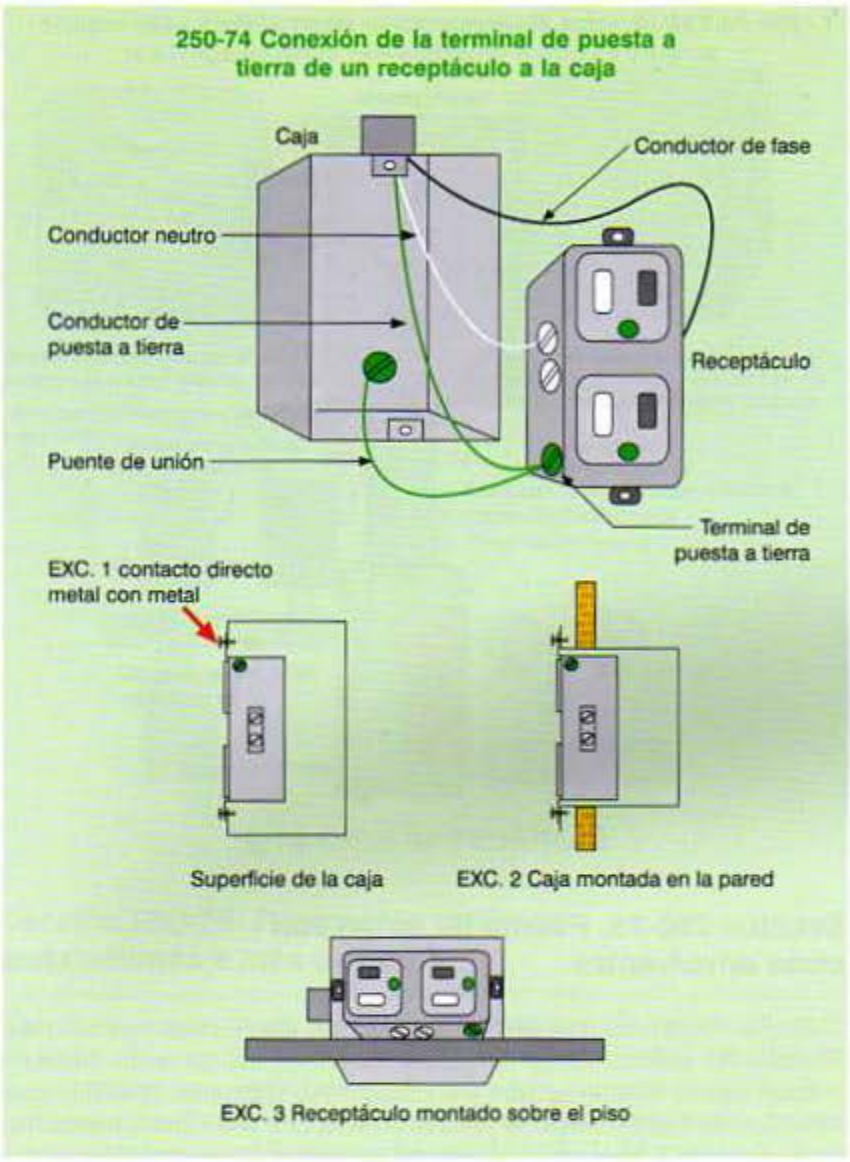


Fig. 164 Conexión de la terminal de puesta a tierra de un receptáculo a la caja

En la excepción 4, se permite que se instale un receptáculo con la terminal de puesta a tierra aislada cuando se requiera reducir el ruido eléctrico (interferencia electromagnética) en el circuito de puesta a tierra.

La terminal de puesta a tierra del receptáculo de puesta a tierra aislada deberá ser puesta a tierra por el conductor de puesta a tierra aislado del circuito eléctrico.

Se permite que el conductor de puesta a tierra aislada pase a través de los tableros eléctricos sin conexión alguna a la terminal de puesta a tierra.

El uso del conductor de puesta a tierra aislado no quita el requisito del requerimiento de la puesta a tierra del sistema de canalización a la caja de salida

250-74 EXC. 4, Nota, Receptáculo de tierra aislada para reducir el ruido eléctrico (interferencia electromagnética)

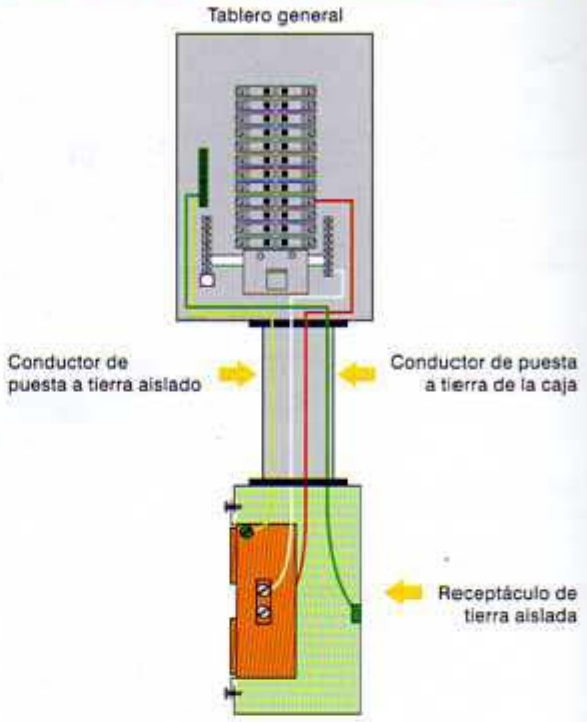


Fig. 165 Receptáculo de tierra aislada

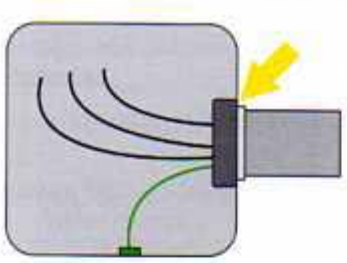
16

Sección 250-75. Puente de unión con otras envolventes

Todas las canalizaciones metálicas, soportes para cables tipo charola, blindaje de cables, forros de cables, envolventes, carcasas, herrajes y otras partes metálicas que no transportan corriente eléctrica que sirven como conductores de puesta a tierra, con o sin los conductores suplementarios de puesta a tierra, deberán estar efectivamente unidos cuando sea necesario para asegurar la continuidad eléctrica y la capacidad de conducir en forma segura cualquier corriente de falla a tierra que pueda ocurrir en el mismo.

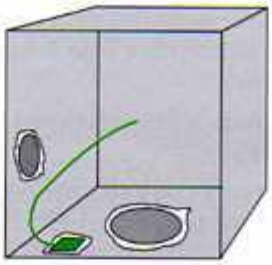
Se deberá de retirar de las roscas, puntos y superficies de contacto la pintura, barniz o recubrimiento similar no conductor

250-75 Puente de unión con otras estructuras

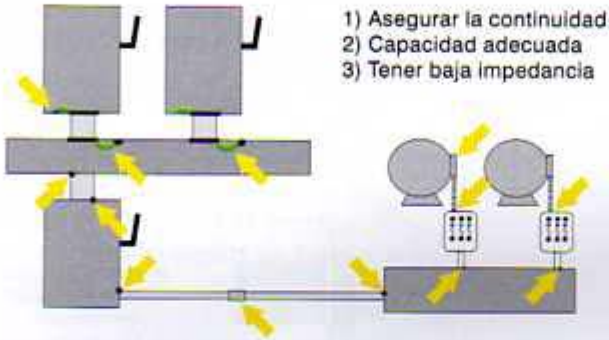


Monitor aislado puede cortar la continuidad eléctrica de los sistemas de canalizaciones.

Por lo que se debe instalar un conductor de puesta a tierra.



Se deberá de remover la pintura, barnices o recubrimientos similares no conductores, de las roscas, puntos y superficies de contacto.



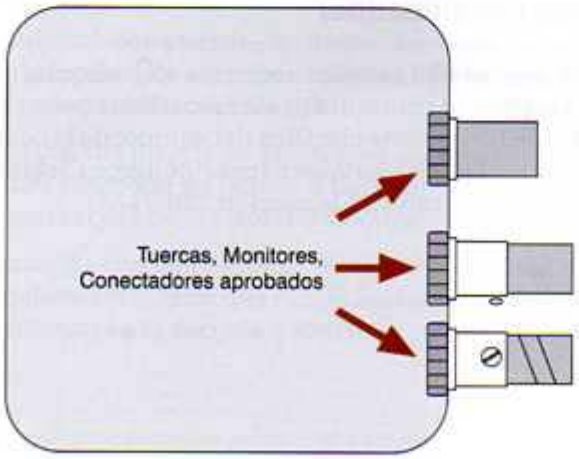
1) Asegurar la continuidad eléctrica
2) Capacidad adecuada
3) Tener baja impedancia

Fig. 166 Uniones con otras estructuras

Sección 250-76. Puentes de unión en instalaciones a más de 250 V

Cuando se tienen circuitos eléctricos con una tensión eléctrica de más de 250 Volts a tierra se debe de asegurar la continuidad eléctrica de las canalizaciones metálicas y de cables con cubierta metálica, que contengan conductores que no son los de acometida por medio de uno o más métodos especificados en la sección 250-70 (b) a (e)

250-76 Puentes de unión en instalaciones a mas de 250 Volts a tierra



Método de puentes de unión:

B) Conexiones roscadas

C) Conexiones y conectadores sin rosca

D) Puentes de unión

E) Otros dispositos: contratuercas y monitores de puesta a tierra

Fig. 167 Uniones en instalaciones de más de 250 Volts a tierra

En la excepción se indica que cuando no existan tapas de las cajas de conexiones de mayor tamaño nominal, concéntricas o excéntricas o cuando se hayan probado las tapas concéntricas o excéntricas y la caja o envolvente esta listado para el uso, se permiten los siguientes métodos:

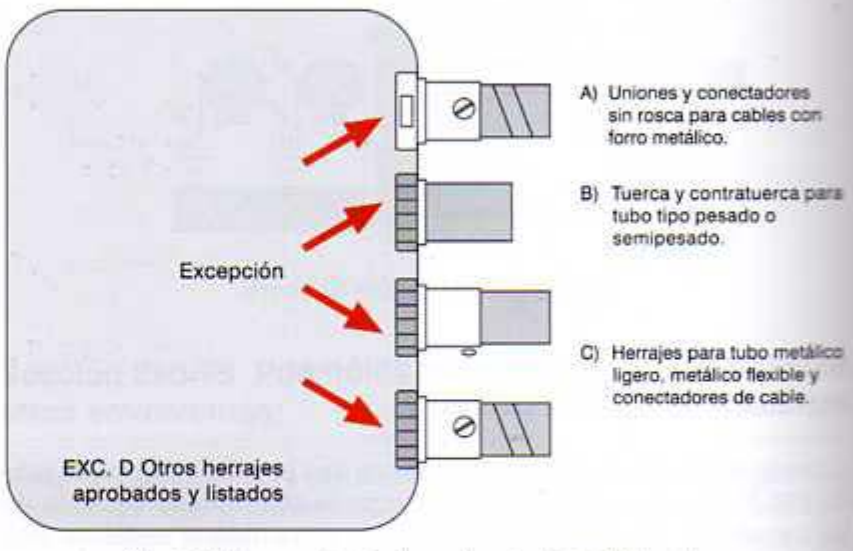
a. Uniones y conectadores sin rosca para cables con cubierta metálica.

b. Tuerca y contratuerca en un tubo (conduit) metálico tipo pesado o semipesado, una dentro y otra fuera de la caja o envolvente.

c. Herrajes con lengüetas que asienten firmemente al envolvente, como los conectadores para tubo (conduit) metálico tipo ligero, conectadores para tubo (conduit) metálico flexible y conectadores de cables con una tuerca dentro de cajas y envolventes.

d. Otros herrajes aprobados y listados.

250-76 Puentes de unión en instalaciones a mas de 250 Volts a tierra



Método de puentes de unión:

B) Conexiones roscadas

C) Conexiones y conectadores sin rosca

D) Puentes de unión

E) Otros dispositos: contratuercas y monitores de puesta a tierra

Fig. 168 Uniones en instalaciones de más de 250 Volts a tierra

Sección 250-78. Puentes de unión en lugares peligrosos (clasificados)

Cualquiera que sea la tensión eléctrica del sistema eléctrico, se deberá de asegurar la continuidad eléctrica de las partes metálicas no conductoras de la corriente eléctrica del equipo, de las canalizaciones y otras envolventes en cualquier lugar peligroso (clasificado), por cualquier medio indicado en la sección 250-72.

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

a) Material

El puente de unión principal y el puente de unión del equipo deben ser de:

- Cobre o de otro material resistente a la corrosión.

El puente de unión principal o un puente de unión requerido en la sección 250-26 (a) puede ser:

- Un cable, un alambre, un tornillo o un conductor similar, adecuado.

b) Construcción

Cuando el puente de unión principal es un tornillo solamente, se deberá de identificar mediante un color verde que sea visible.

c) Sujeción

El puente de unión principal y el puente de unión del equipo se deben de unir como se indica en la sección 250-113 para los circuitos y el equipo y para los electrodos de puesta a tierra como se indica en la sección 250-115.

d) Tamaño nominal del puente del equipo y del puente de unión principal en el lado de suministro de la acometida

El tamaño nominal del puente de unión no deberá ser menor que los tamaños nominales indicados en la 250-94 para los conductores del electrodo de puesta a tierra.

Si los conductores de fase de entrada de la acometida son de cobre de más de 1000KCM o de aluminio de más de 1750 KCM:

El puente de unión debe tener un tamaño nominal no menor al 12.5% de la sección transversal del conductor de fase más grande.

Cuando los conductores de la acometida están en paralelo en 2 o más canalizaciones o cables, el puente de unión del equipo deberá de instalarse en paralelo en cada canalización o cable.

El tamaño nominal del puente de unión en cada canalización o cable deberá de basarse en el tamaño nominal de los conductores de acometida en cada canalización o cable.

El tamaño nominal del puente de unión para la canalización que aloja al conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser igual o mayor del tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra.

Para los sistemas de corriente directa, el tamaño nominal del puente de unión no deberá ser menor que el conductor de puesta a tierra del sistema especificado en la sección 250-93.

Puente de unión principal y puente del equipo

Material: Cobre u otro material resistente a la corrosión.

Puede ser: Cable, alambre, tornillo o conductor similar adecuado.

Si es tornillo, se debe identificar un color verde.

D) Tamaño nominal de los puentes de unión principal y del equipo del lado de suministro de la acometida.

El tamaño nominal no debe ser menor al indicado en la tabla 254-94

Si los conductores de fase de la acometida son mayores a 1100 KCM de cobre el puente de unión debe tener un tamaño nominal no menor al 12,5% que el mayor conductor de fase.

250-79 Puente de unión principal y puente del equipo

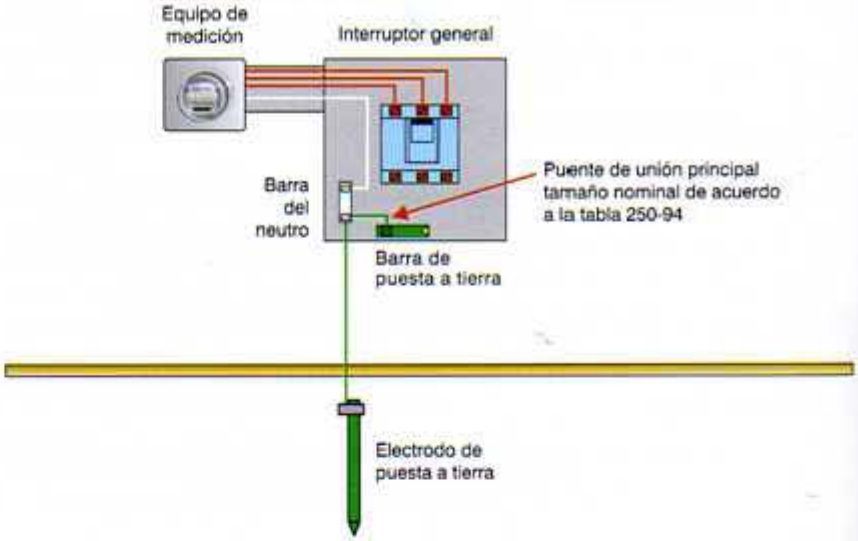


Fig. 169 Puente de unión principal y del equipo

e) Tamaño nominal del puente de unión del lado de la carga de la acometida

El puente de unión del equipo del lado de la carga no debe ser menor al tamaño nominal que se indica en la tabla 250-95.

Si se tienen dos o más canalizaciones, se permite instalar solamente un puente de unión contínuo, de tamaño nominal basado en el mayor dispositivo de protección contra sobrecorriente que protege a los circuitos.

f) Instalación del puente de unión del equipo

El puente de unión del equipo se permite que se instale por la parte interna o por la parte exterior de la canalización.

Si se instala por el exterior de la canalización, la longitud máxima que se permite es de 1,80 mts y se deberá de instalar junto a la canalización o envolvente.

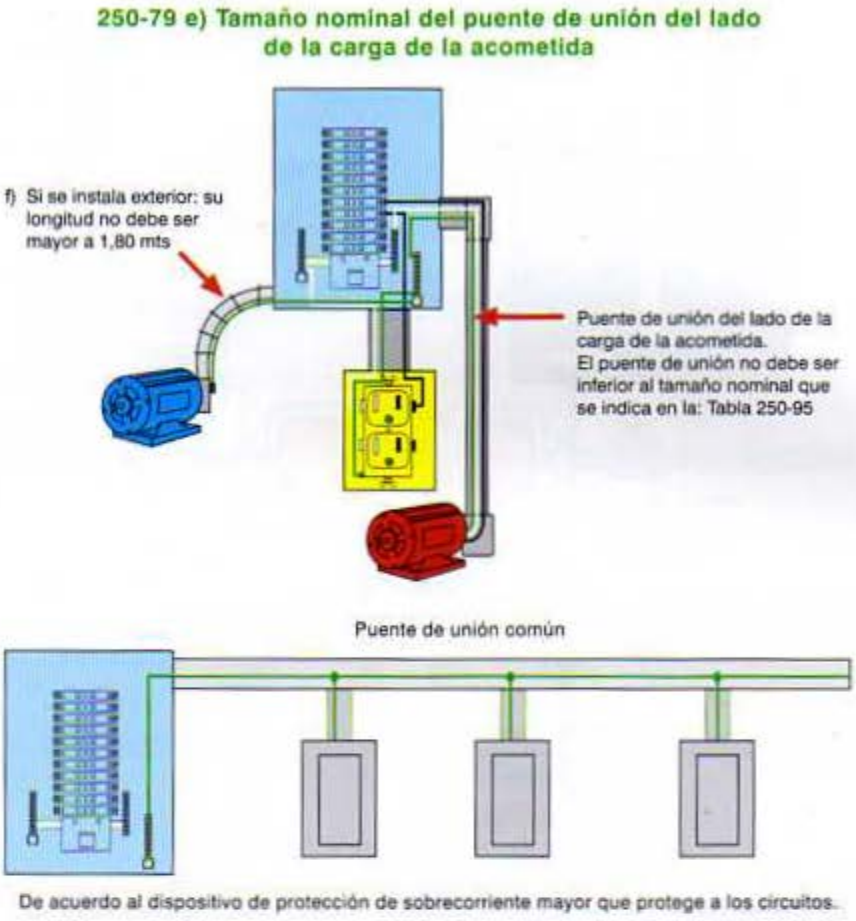


Fig. 170 Tamaño nominal del puente de unión del equipo

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

a) Tubería metálica para agua

El sistema de tubería metálica interior para agua se deberá de unir:

- A la envolvente del equipo de la acometida.
- Al conductor puesto a tierra de la acometida.
- Al conductor del electrodo de puesta a tierra si tiene un tamaño nominal suficiente, o a uno o más electrodos de puesta a tierra.

El tamaño nominal del puente de unión deberá de seleccionarse de acuerdo a la tabla 254-94. El puente de unión deberá de ser accesible.

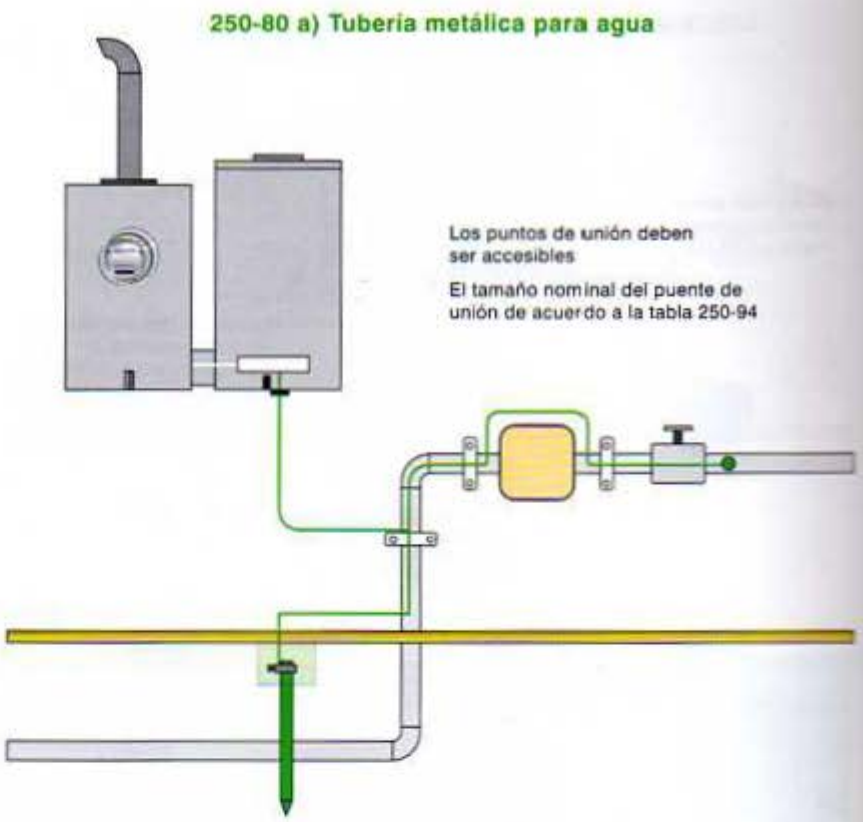


Fig. 171 Puente de unión a la tubería metálica de agua

b) Otros sistemas de tubería metálica

Los sistemas interiores de tubería metálica que puedan energizarse, deberán de conectarse a:

- Al envolvente del equipo de la acometida.
- Al conductor puesto a tierra de la acometida.
- Al conductor del electrodo de puesta a tierra si tiene un tamaño nominal suficiente, o a uno o más electrodos de puesta a tierra.

El tamaño nominal del puente de unión deberá de seleccionarse de acuerdo a la tabla 250-95, basándose en la capacidad nominal de circuito eléctrico que pudiera energizar la tubería.

El puente de unión deberá de ser accesible.

Se permite instalar como puente de unión al conductor de puesta a tierra del equipo que pudiera energizar la tubería.

NOTA: Se tendrá mayor seguridad si se unen todas las tuberías y los ductos de aire metálicos del edificio.

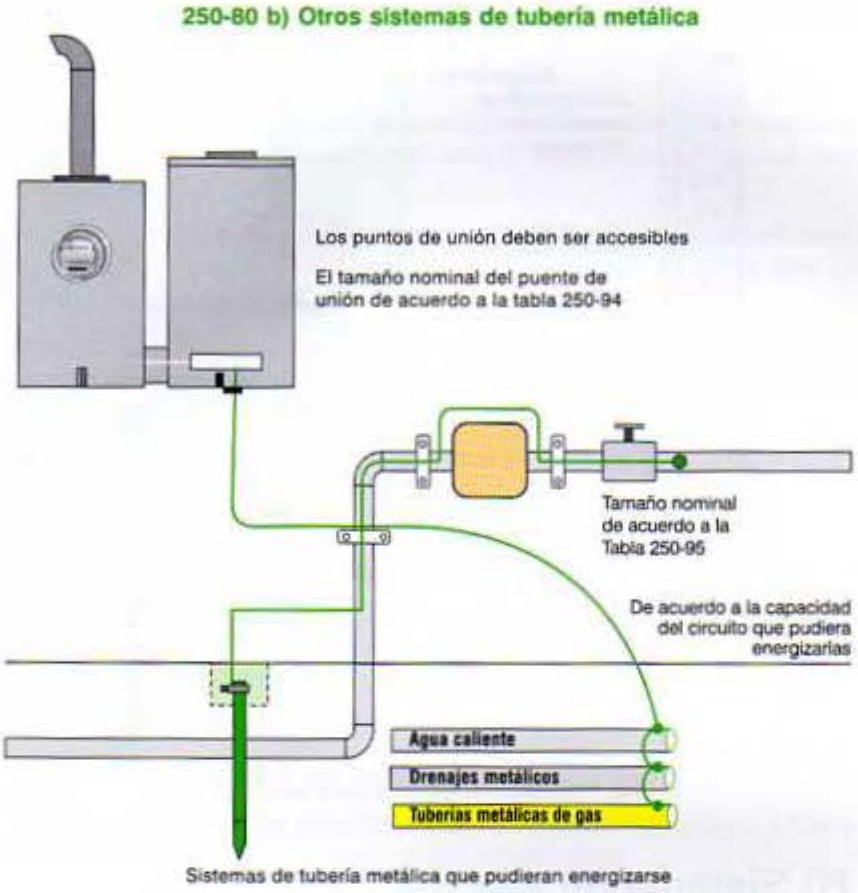


Fig. 172 Puente de unión a otros sistemas de tuberías metálicas

c) Acero estructural

El acero estructural interior expuesto que está interconectado para formar la estructura de un edificio y que no está puesto a tierra intencionalmente y que pudiera ser energizado, deberá de conectarse o unirse a:

- A la envolvente del equipo de la acometida.
- Al conductor puesto a tierra de la acometida.
- Al conductor del electrodo de puesta a tierra si tiene un tamaño nominal suficiente, o a uno o más electrodos de puesta a tierra.

El tamaño nominal del puente de unión deberá de seleccionarse de acuerdo a la tabla 254-94.

Los puentes de unión deberán de ser accesibles.

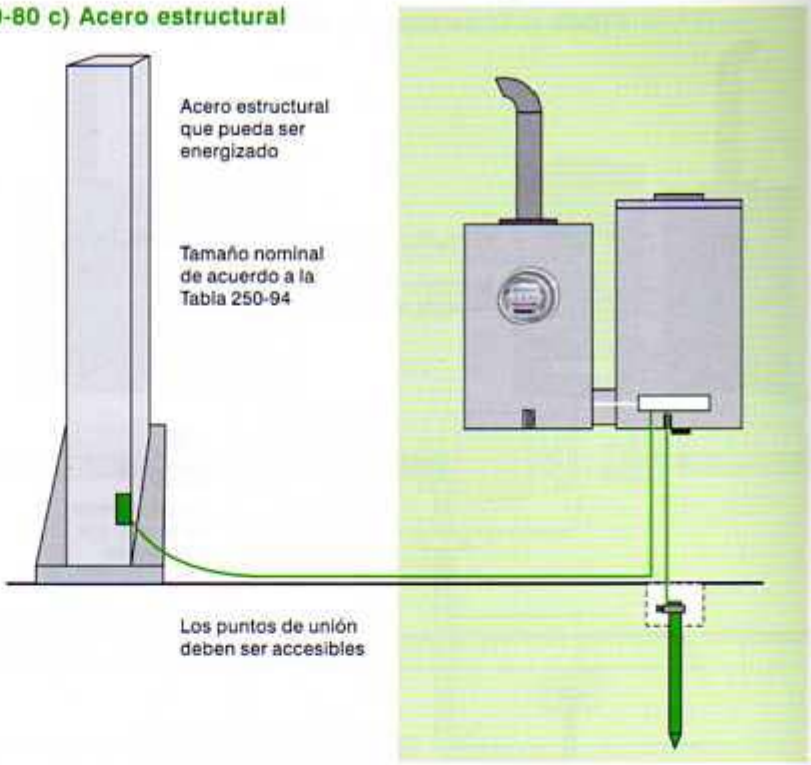


Fig. 173 Puente de unión al acero estructura

H) Sistema de electrodos de puesta a tierra

Sección 250-81. Sistema de electrodos de puesta a tierra

A estos electrodos de puesta a tierra también se les llama naturales o sea, que existen en la propiedad, edificio o estructura.

Si existen los electrodos de puesta a tierra naturales como se mencionan de (a) a (d) y también se encuentran instalados electrodos de puesta a tierra fabricados indicados en la sección 250-83 (c) y (d), estos se deberán de conectar entre sí para formar un solo sistema de electrodos de puesta a tierra.

Los puentes de unión se deben de dimensionar de acuerdo a la sección 250-94.

Se permite que el conductor del electrodo de puesta a tierra sin empalmes, llegue hasta cualquier electrodo de puesta a tierra disponible.

El tamaño nominal deberá de seleccionarse de acuerdo al conductor del electrodo de puesta a tierra de mayor sección transversal.

La tubería metálica interior de agua que se encuentre a más de 1,5 mts del punto de entrada al edificio, no se deberá de utilizar como parte del sistema de electrodos de puesta a tierra o como un conductor para interconectar electrodos de puesta a tierra, que formen parte del sistema de electrodos de puesta a tierra.

Tipos de electrodos de puesta a tierra:

a) Tubería metálica subterránea para agua

La tubería metálica para agua es un electrodo de puesta a tierra natural, si se encuentra en contacto directo con la tierra en una longitud de 3 mts o más.

La tubería metálica para agua deberá de tener continuidad eléctrica, en caso de contar con medidores, estos se deberán de puentear con un conductor de puesta a tierra.

La tubería metálica para agua deberá de complementarse con un electrodo de puesta a tierra adicional, de acuerdo a lo que indica la sección 250-81 ó 250-83.

El electrodo de puesta a tierra adicional se permite que se conecte a:

- Al conductor del electrodo de puesta a tierra.
- Al conductor puesto a tierra de la acometida.
- A la canalización de la acometida puesta a tierra o a la envolvente de la acometida puesta a tierra.

El tamaño nominal del puente de unión al electrodo de puesta a tierra adicional no deberá ser mayor a un conductor de cobre del No.6 AWG o de aluminio del No.4 AWG.

b) Estructura metálica del edificio

La estructura metálica del edificio es un electrodo de puesta a tierra natural si se encuentra puesta a tierra eficazmente.

c) Electrodo empotrado en concreto

Un electrodo empotrado en concreto es un electrodo de puesta a tierra natural si:

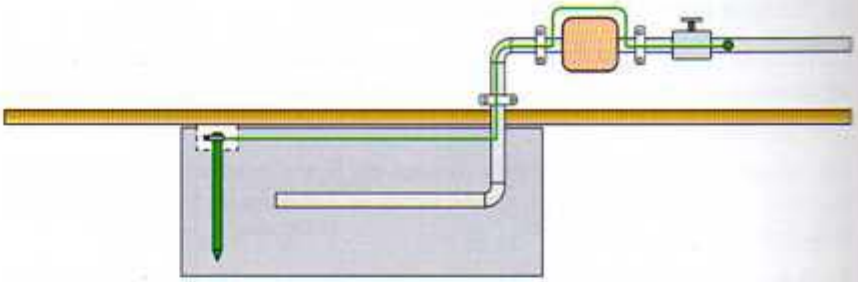
- Se encuentra empotrado con un mínimo de 50 mm en concreto.
- Se localice en y cerca del fondo del cimiento o zapata que se encuentre en contacto directo con la tierra.
- Que conste de 6 mts mínimo de una o más varillas de acero desnudo, galvanizado o revestido de un revestimiento conductor, con un diámetro mínimo de 13 mm.
- O puede constar de un conductor de cobre desnudo con una longitud mínima de 6.1 mts y que tenga un tamaño nominal no menor al No.4 AWG.

d) Anillo de tierra

Un anillo de tierra que rodee a un edificio o estructura, es un electrodo de puesta a tierra si:

- Se encuentra en contacto directo con la tierra.
- Se encuentra enterrado en la tierra a una profundidad no menor a 800 mm.
- El conductor tiene una longitud mínima de 6 mts.
- El tamaño nominal del conductor de cobre desnudo es no menor al No. 2 AWG.

250-81 Sistemas de electrodos de puesta a tierra



A) Tubería metálica para agua en contacto directo con la tierra mínimo 3 mts y se debe complementar con electrodo adicional, indicado en 250-81 ó 250-83.

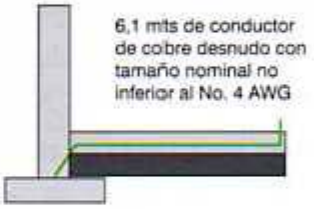


B) Estructura metálica del edificio cuando este puesta a tierra eficazmente

C) Electrodo empotrado en concreto



50 mm de concreto. 6 mts de una o mas varillas de acero desnudo de 13 mm de diámetro.



6,1 mts de conductor de cobre desnudo con tamaño nominal no inferior al No. 4 AWG

D) Anillo de tierra





Profundidad mínima de 80 cm

Una longitud mínima de 6 mts. y de tamaño nominal no menor al No. 2 AWG

Si estos existen en una propiedad se deben conectar entre si para formar un sistema de electrodos de puesta a tierra.

Fig. 174 Electrodos de puesta a tierra existentes en la propiedad

Sección 250-83. Electrodos de puesta a tierra fabricados

Cuando no se tengan disponibles los electrodos de puesta a tierra naturales se deberán de instalar los electrodos de puesta a tierra fabricados.

Los electrodos de puesta a tierra fabricados deben:

- De enterrarse por debajo del nivel de humedad permanente.
- Deben estar libres de recubrimientos no conductores, como pintura o esmalte.
- Deben estar separados una longitud mínima de 1,80 mts, de cualquier electrodo de puesta a tierra de otro sistema de puesta a tierra (incluyendo los electrodos de puesta a tierra del sistema de protección contra descargas atmosféricas).

Dos o más electrodos de puesta a tierra interconectados, se consideran como un solo sistema de electrodos de puesta a tierra.

a) Sistema de tubería metálica subterránea de gas

La tubería metálica subterránea de gas no se debe de utilizar como electrodo de puesta a tierra.

Los electrodos de puesta a tierra fabricados son:

b) Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos, tuberías y tanques subterráneos

c) Electrodos de varilla o tubería

Los electrodos de puesta a tierra del tipo varilla o tubería deben:

- Tener una longitud mínima de 2,40 mts.
- Ser del siguiente material especificado e instalados, como se indica a continuación:

1) Los electrodos de tubería o tubo (conduit):

- Tamaño nominal mínimo de 19 mm de diámetro.
- Si son de hierro o acero, deberán tener una superficie exterior galvanizada o revestida de cualquier otro material que la proteja contra la corrosión.

2) Los electrodos de puesta a tierra del tipo varilla:

- Los electrodos de puesta a tierra del tipo varilla de hierro o acero deben tener un diámetro mínimo de 16 mm.
- Los electrodos de puesta a tierra de acero inoxidable y de metales no-ferrosos o sus equivalentes, deben tener un diámetro mínimo de 13 mm.

3) Los electrodos de puesta a tierra se deberán de instalar de la siguiente manera:

- Tener contacto con la tierra en una longitud mínima de 2,40 mts.
- Se deberá de enterrar a una profundidad no menor a 2,40 mts.
- Si se encuentra roca:
  - Se permite enterrarlo a un ángulo no mayor de 45° con la vertical.
  - Se permite enterrarlo en forma horizontal en una zanja que tenga una profundidad mínima de 800 mm.

El extremo superior del electrodo de puesta a tierra deberá quedar a nivel de piso.

d) Electrodos de placas

Los electrodos de puesta a tierra del tipo placa deben:

- Tener contacto con la tierra un área de 0,2 m^2.
- Tener un espesor mínimo de 6,4 mm los electrodos de puesta a tierra de placas de hierro o de acero.
- Tener un espesor mínimo de 1,52 mm los electrodos de puesta a tierra de metales no ferrosos.

e) Electrodos de aluminio

No se permite utilizar los electrodos de aluminio

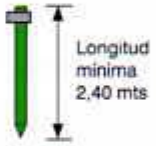
250-83 Electrodos especialmente construidos

a) Las tuberías de gas subterráneas no se deben utilizar como electrodo de puesta a tierra



b) Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos

c) Electrodos de varilla o tubería



c) 1) Electrodo de tubería o tubo (CONDUIT)

- Diámetro mínimo 19 mm
- Si son de hierro o acero deben tener su superficie exterior galvanizada o revestida de cualquier otro material que los proteja contra la corrosión.

c) 2) Electrodos de varilla o acero

- Diámetro mínimo 16 mm
- Las varillas de acero inoxidable menores a 16 mm de diámetro, las de metales no ferrosos o sus equivalentes.

c) 3) Instalación

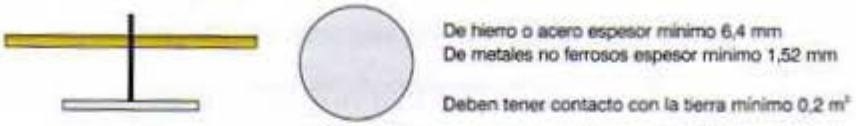
- Diámetro mínimo 13 mm



Fig. 175 Electrodos de puesta a tierra fabricados

250-83 Electrodos especialmente construidos

D) Electrodos de placa



E) No se deben utilizar electrodos de aluminio

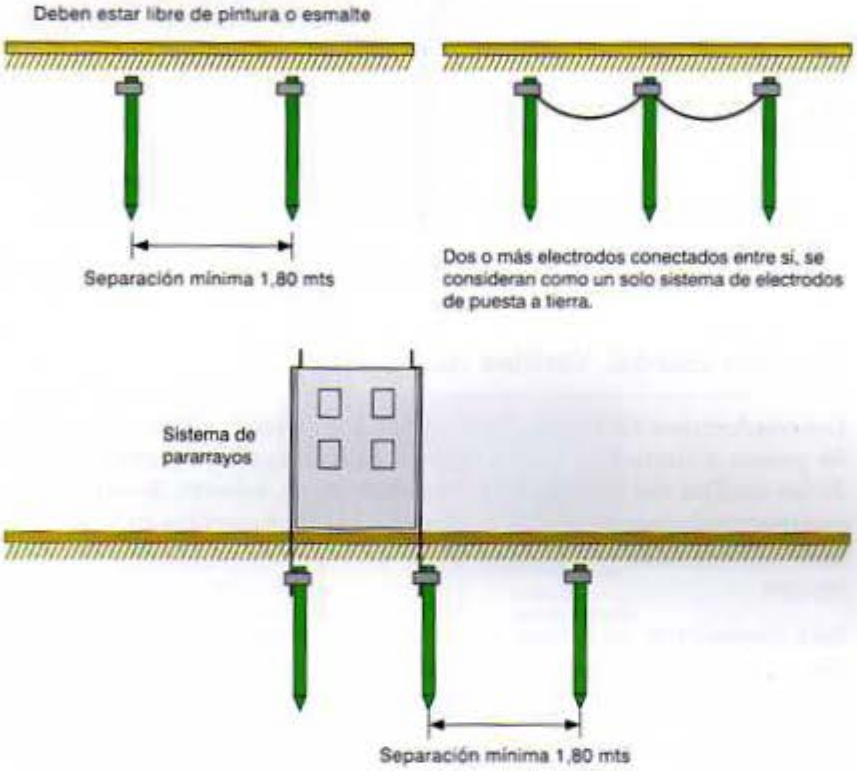


Fig. 176 Electrodos de puesta a tierra fabricados

Sección 250-84 Resistencia de los electrodos de puesta a tierra fabricados

La resistencia a tierra de un electrodo de puesta a tierra único del tipo:

- Tubería o tubo (conduit)
- Varilla
- Placa

Deberá tener un valor de 25 Ohms o menor

En caso de que el electrodo de puesta a tierra tenga un valor de resistencia a tierra de más de 25 Ohms, se deberá de adicionar un electrodo de puesta a tierra indicado en la sección 250-81 ó 250-83.

Cuando se instalen múltiples electrodos de puesta a tierra, estos deberán estar distanciados uno de otro una longitud mínima de 1,80 mts.

Cuando se instalan electrodos de puesta a tierra en paralelo, de más de 2,40 mts de longitud y con una separación mayor a 1,80 mts, el valor de la resistencia a tierra disminuirá.

250-84 Resistencia de los electrodos fabricados

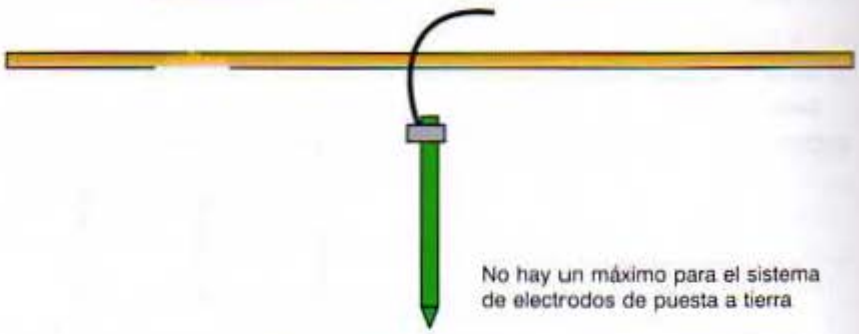


Fig. 177 Valor de la resistencia a tierra de un electrodo de puesta a tierra fabricado

Sección 250-86. Varillas de pararrayos

Los conductores de bajada, las tuberías, las varillas, u otros electrodos de puesta a tierra fabricados, que se utilizan para la puesta a tierra de las varillas del sistema de pararrayos, no se deberán de utilizar en sustitución de los electrodos de puesta a tierra requeridos en la sección 250-83, para la puesta a tierra de de los sistemas de alambrado y del equipo.

Está disposición no deberá de prohibir el puente de unión entre los electrodos de puesta a tierra de otros sistemas.

La unión entre todos los electrodos de puesta a tierra limita la diferencia de potencial entre ellos y sus correspondientes sistemas de alambrado.

250-86 Varillas de pararrayos

Los conductores de bajada de los pararrayos, tubos, varillas u otros electrodos fabricados utilizados para poner a tierra las bajadas de los pararrayos, no se deben utilizar como electrodos de puesta a tierra de sistemas eléctricos y de equipo.

Nota 2: Si se interconectan todos los electrodos de puesta a tierra de distintos sistemas, limitan la diferencia de potencial entre ellos y sus correspondientes sistemas de alambrado.

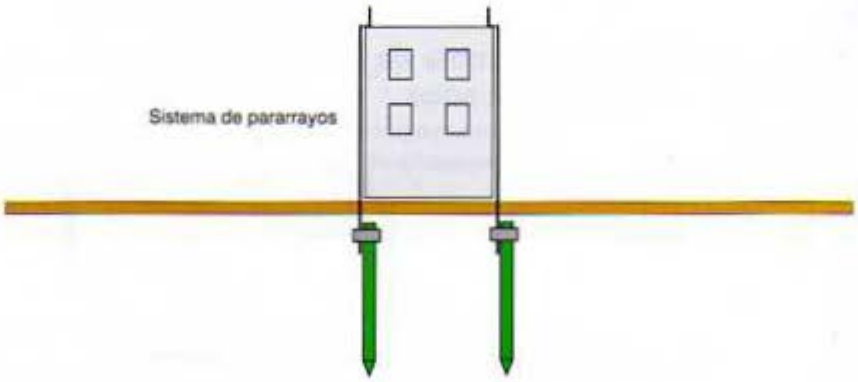


Fig. 178 Electrodos de puesta a tierra del sistema de protección contra descargas atmosféricas

I) Conductores de puesta a tierra

Sección 250-91. Materiales

El conductor del electrodo de puesta a tierra deberá ser:

- De cobre o aluminio.
- Resistente a la corrosión.
- Macizo o cableado, aislado, forrado o desnudo.
- De un sólo tramo contínuo, sin empalmes ni uniones.

En la excepción 3, permite realizar empalmes en el conductor del electrodo de puesta a tierra, si estos se realizan por medios irreversibles o mediante soldadura exotérmica.

250-91a) Material del conductor del electrodo de puesta a tierra

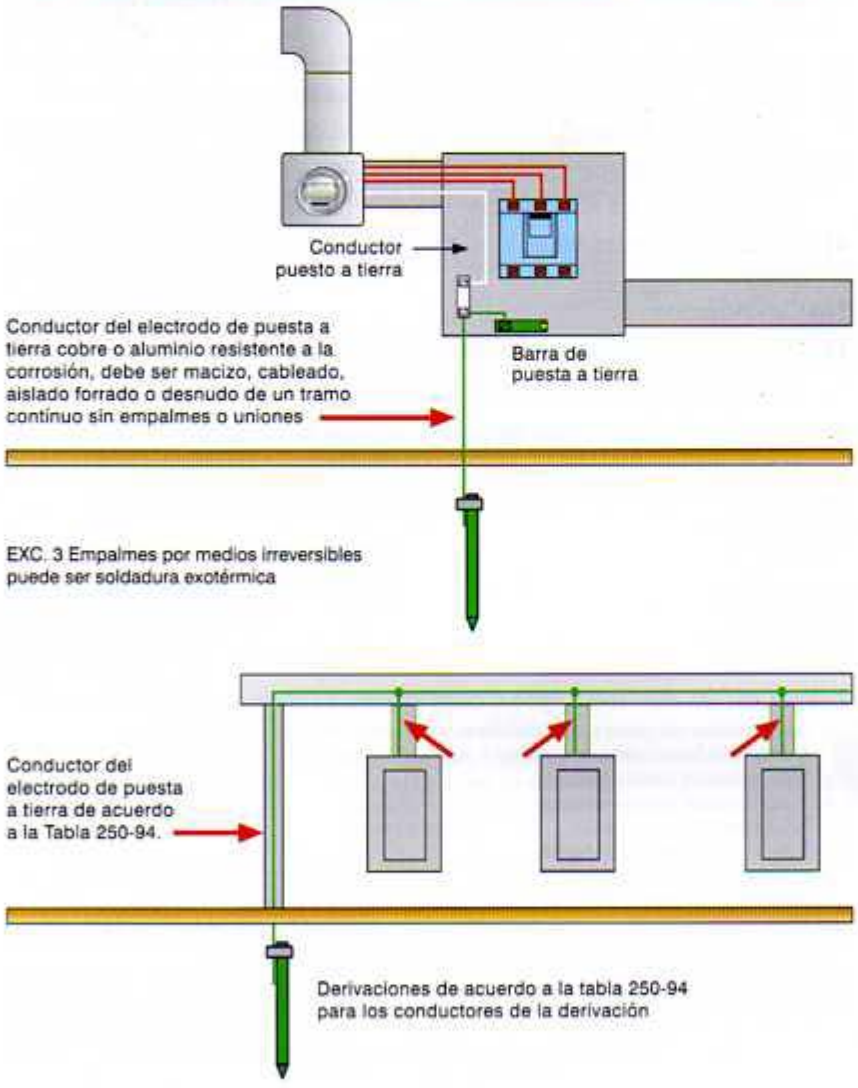


Fig. 179 Conductor del electrodo de puesta a tierra

b) Tipos de conductores para la puesta a tierra de equipo

Los tipos de conductores de puesta a tierra del equipo que se pueden instalar junto a los conductores del circuito, deben ser uno de los siguientes:

1) Un conductor de cobre u otro material resistente a la corrosión. puede ser:

- Macizo o cableado
- Aislado
- Cubierto
- Desnudo
- Formado por un cable o barra de cualquier forma

2) El tubo (conduit) metálico tipo pesado.

3) El tubo (conduit) metálico tipo semipesado.

4) El tubo (conduit) metálico tipo ligero.

5) El tubo (conduit) metálico flexible, con sus accesorios aprobados y listados para la puesta a tierra.

6) La armadura del cable tipo AC.

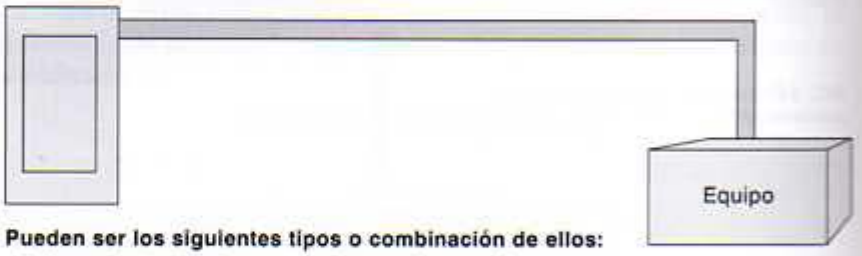
7) El blindaje de cobre de un cable con blindaje metálico y aislamiento mineral.

8) El blindaje metálico de los conductores con blindaje metálico asociado con los conductores de puesta a tierra del cable tipo MC.

9) Los soportes para cable tipo charola (en la nueva norma no se permite).

10) Cableductos.

11) Otras canalizaciones metálicas que tengan continuidad eléctrica y estén aprobadas para utilizarse para la puesta a tierra.



Pueden ser los siguientes tipos o combinación de ellos:

1) Un conductor de cobre u otro resistente a la corrosión:
Macizo, cableado, aislado, cubierto o desnudo en forma de cable o barra.
2) Tubo (conduit) metálico pesado.
3) Tubo (conduit) tipo semipesado.
4) Tubo (conduit) tipo ligero.
5) Tubo (conduit) metálico flexible.
6) Armadura de cable tipo AC.
7) El blindaje de cobre de un cable con blindaje metálico y aislamiento mineral.
8) El blindaje metálico de cables tipo MC.
9) Soportes para cables tipo charola (en la nueva norma no se permite).
10) Cableductos.
11) Otras canalizaciones metálicas aprobadas para usarse para puesta a tierra.

Fig. 180 Tipos de conductores de puesta a tierra

En la excepción 1, se permite que el tubo (conduit) metálico flexible y el tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos de un tamaño nominal de 10 a 35 mm se utilice como medio de puesta a tierra, cuando los conductores de circuito están protegidos por dispositivos de sobrecorriente de 20 Amperes, si cumple con las siguientes condiciones:

a. Que la longitud combinada del tubo (conduit) metálico flexible y el tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos, en la misma trayectoria de retorno de tierra no sea mayor a 1,80 mts.

b. Que el tubo (conduit) que el tubo termine en accesorios aprobados para puesta a tierra.

En la excepción 2, se permite que el tubo (conduit) metálico flexible y el tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos de un tamaño nominal de 19 a 32 mm se utilice como medio de puesta a tierra cuando los conductores de circuito están protegidos por dispositivos de sobrecorriente de más de 20 Amperes, si cumple con las siguientes condiciones:

a. Que la longitud total del tubo (conduit) metálico flexible de la trayectoria de tierra no exceda de 1,80 mts.

b. Que no exista otro tubo (conduit) metálico flexible o tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos de 10 a 35 mm, que se utilice como conductor de puesta a tierra del equipo en la misma trayectoria de retorno de tierra.

c. Que el tubo (conduit) que el tubo termine en accesorios aprobados para puesta a tierra.

250-91b) Material de los tipos de conductores de puesta a tierra de equipo

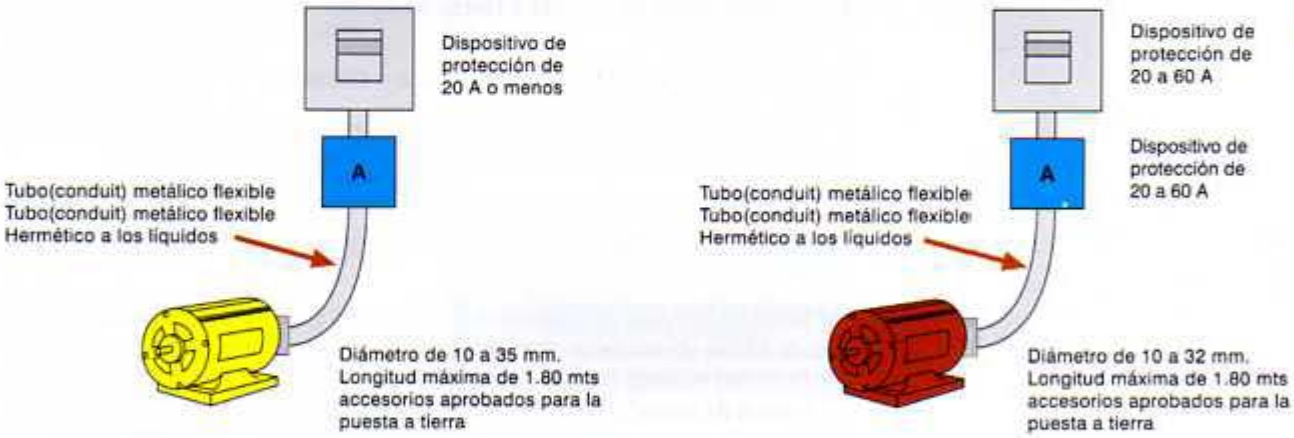


Fig. 181 Tubo (conduit) metálico utilizado como conductor de puesta a tierra

c) Puesta a tierra suplementaria

Se permite instalar electrodos de puesta a tierra suplementarios, para aumentar los conductores de puesta a tierra del equipo indicados en la sección 250-91(b).

Pero la tierra no se deberá de utilizar como único conductor de puesta a tierra del equipo.

250-91 c) Puesta a tierra suplementaria

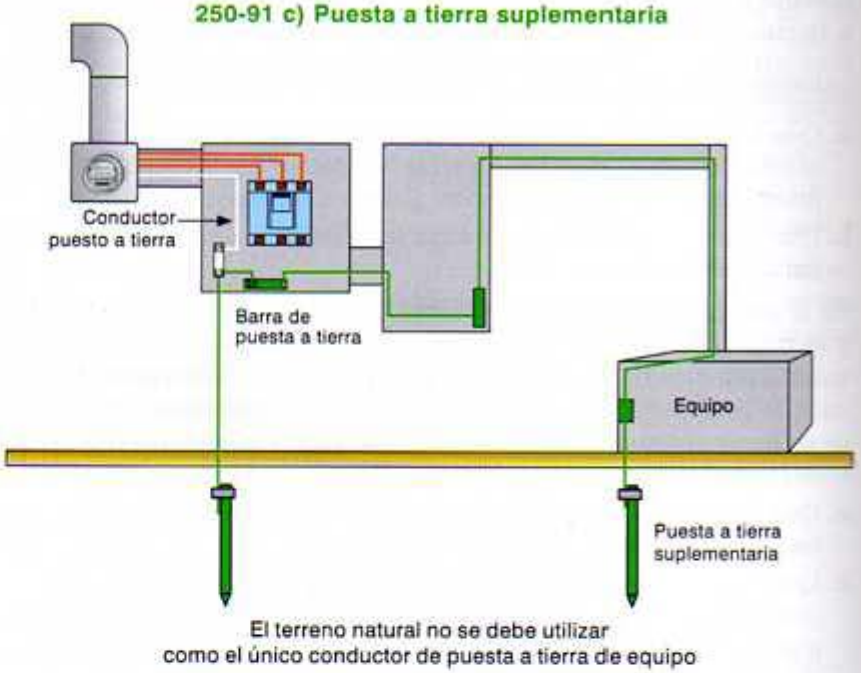


Fig. 182 Electrodo de puesta a tierra suplementario

Sección 250-92. Instalación

Los conductores de puesta a tierra se deben de instalar como se indica a continuación:

a) Conductor del electrodo de puesta a tierra.

El conductor del electrodo de puesta a tierra o su envolvente, se debe sujetar firmemente a la superficie sobre la que está instalado.

Si se instala un conductor de cobre o de aluminio de tamaño nominal No. 4 AWG o mayor se debe proteger si se encuentra expuesto a daño físico.

Se permite instalar un conductor de puesta a tierra de tamaño nominal No. 6 AWG, si no esta expuesto a daño físico sobre la superficie del edificio sin tubería o protección metálica. Si está expuesto a daño físico se deberá de instalar en tubería (conduit) metálico pesado, semipesado, ligero, tubo (conduit) no metálico tipo pesado o un cable armado.

Cuando se instalan conductores de puesta a tierra menores al tamaño nominal No. 6 AWG, deberán de instalarse en tubería (conduit) metálico pesado, semipesado, ligero, tubo (conduit) no metálico tipo pesado o un cable armado.

No se deberán de utilizar conductores de aluminio aislados o desnudos como conductores de puesta a tierra si están en contacto directo con el terreno natural o materiales de albañilería o si están en condiciones corrosivas.

Cuando se utilicen los conductores de puesta a tierra de aluminio en la intemperie, estos se deberán de instalar a 45 cm sobre el nivel de piso.

b) Envolventes para conductores del electrodo de puesta a tierra.

Las envolventes metálicas del conductor del electrodo de puesta a tierra deben:

- Ser eléctricamente contínuas desde la conexión a las envolventes o equipo hasta el electrodo de puesta a tierra.
- Sujetarse firmemente.

Las envolventes que no sean eléctricamente continuas, se deberán hacer contínuas mediante puentes de unión conectados en los extremos del conductor del electrodo de puesta a tierra.

250-92 a) y b) Conductor del electrodo de puesta a tierra y su envolvente

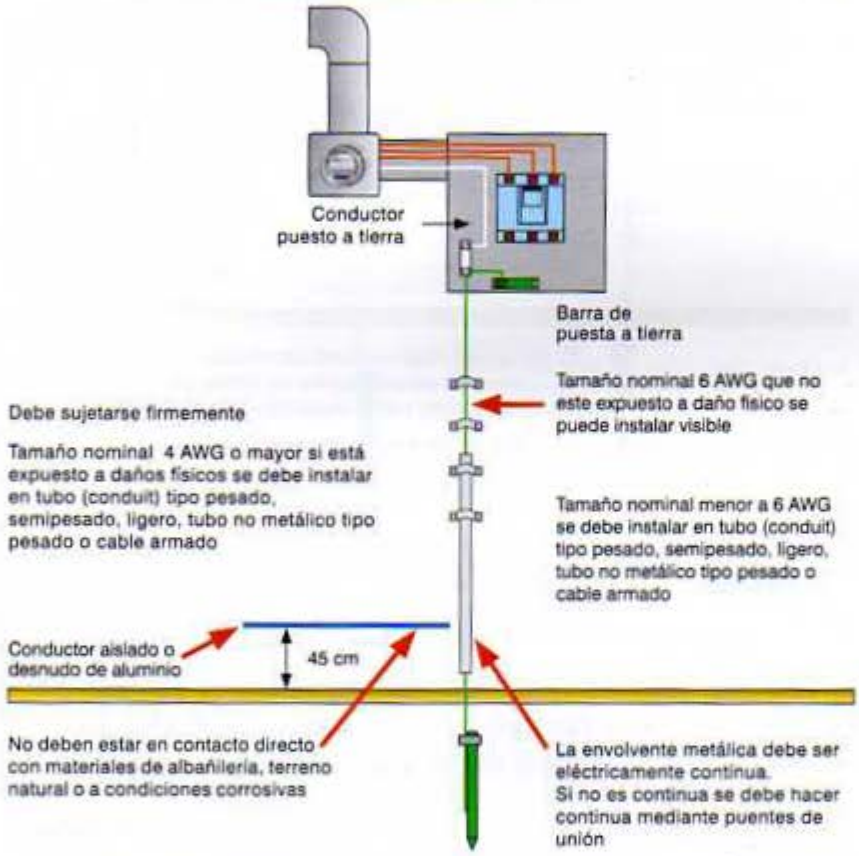


Fig. 183 Envolvente del conductor del electrodo de puesta a tierra

c) Conductor de puesta a tierra de equipo

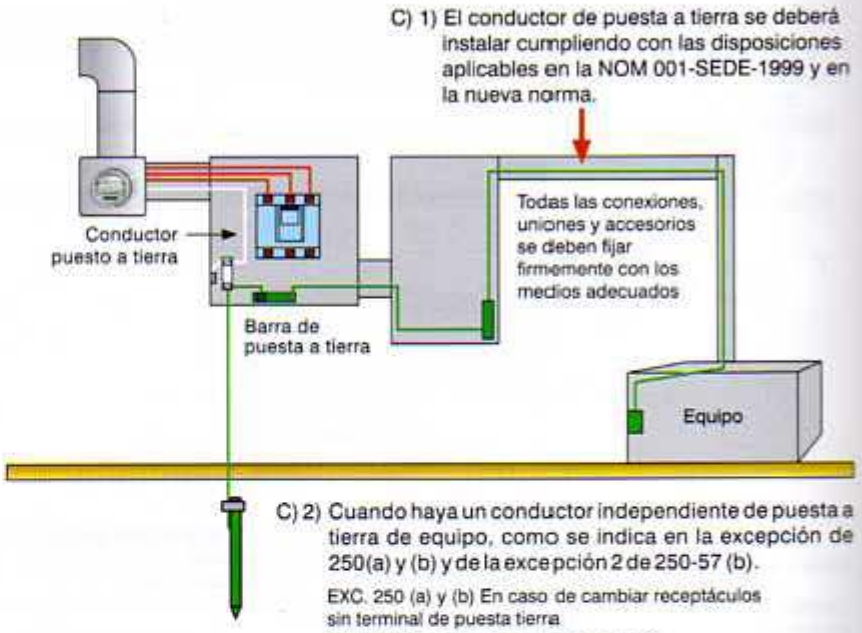
El conductor de puesta a tierra del equipo se deberá de instalar como se indica a continuación:

1) Cuando el conductor de puesta a tierra del equipo sea una canalización, el soporte para cables tipo charola, la armadura o forro de cables, o cuando sea un conductor que se instale dentro de una canalización, se deberá de instalar acatando la Normatividad Vigente, utilizando los accesorios y terminales aprobados para el tipo de canalización o cable utilizado.

2) Cuando se instale un conductor de puesta a tierra separado como se indica en excepción de la sección 250-50(a)(b) y en la excepción 2 de la sección 250-57(b), se deberán de instalar como se indica en (a) anterior, en lo que respecta a las restricciones del aluminio.

En la excepción se permite que los conductores de puesta a tierra menores al No. 6 AWG se instalen en los espacios huecos de una pared de modo que no sufran daño físico.

250-92 c) Conductor de puesta a tierra del equipo



EXC. Cables menores a 6 AWG no es necesario que se alojen dentro de una canalización o armadura cuando se instalen por los espacios huecos de una pared o cuando vayan instalados de modo que no sufran daño físico.

Fig. 184 Instalación del conductor de puesta a tierra del equipo

Sección 250-93. Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra para corriente continua

El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra para un sistema de corriente contínua debe cumplir con:

a) No debe ser menor al tamaño nominal del conductor neutro, cuando el sistema consista en un circuito balanceado de 3 conductores o un devanado balanceado con protección contra sobrecorriente como se indica en la sección 445-4(d)

b) No deberá ser menor al conductor de alimentación mayor, cuando el sistema de corriente continua sea diferente al inciso (a) anterior.

c) El tamaño nominal debe ser no menor al No. 8 AWG de cobre o del No. 6 AWG de aluminio.

En las excepciones se indica que:

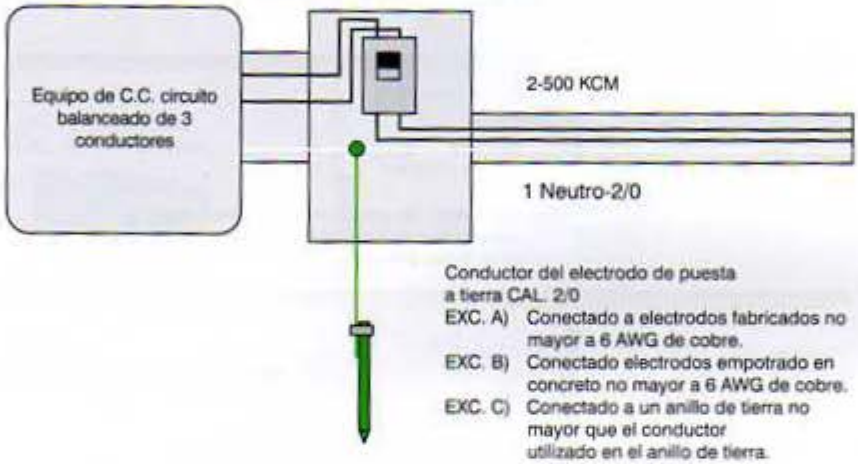
a. Cuando el sistema de corriente continua se conecte a un electrodo de puesta a tierra fabricado, el tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra **no debe ser mayor al No. 6 AWG de cobre o al No. 4 AWG de aluminio.**

b. Cuando el sistema de corriente contínua se conecte a un electrodo de puesta a tierra empotrado en concreto, el tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra **no debe ser mayor al No. 6 AWG de cobre o al No. 4 AWG de aluminio.**

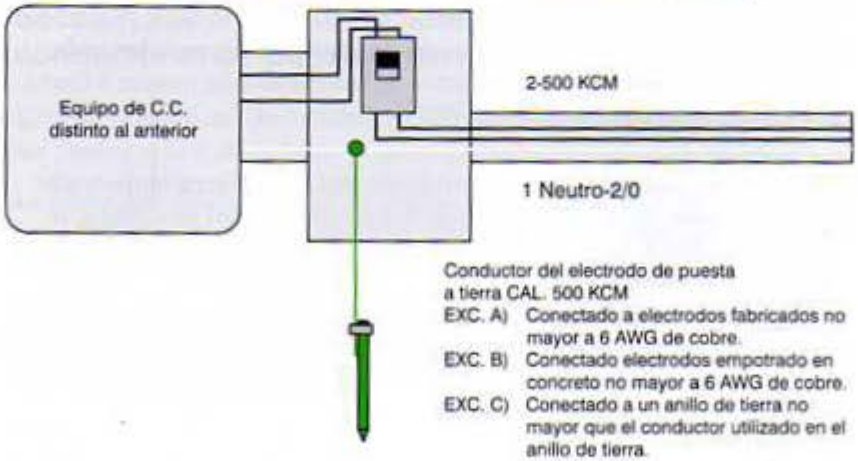
c. Cuando el sistema de corriente contínua se conecte a un electrodo de puesta a tierra de anillo de tierra, el tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra **no debe ser mayor al conductor utilizado en el anillo de tierra.**

250-93 Tamaño nominal del conductor de puesta a tierra para C.C.

A) No debe ser de tamaño nominal inferior al neutro



B) No debe ser de tamaño nominal inferior al del conductor mas grande



C) En ningún caso el conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser inferior al CAL. No. 6 AWG de cobre o 6 AWG de aluminio aplica también las 3 excepciones.

Fig. 185 Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente contínua

Sección 250-94. Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra en instalaciones de corriente alterna

El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra de un sistema de corriente alterna puesto a tierra o no puesto a tierra, no debe ser menor a lo indicado en la tabla 250-94.

250-94 Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra en instalaciones de C.A.

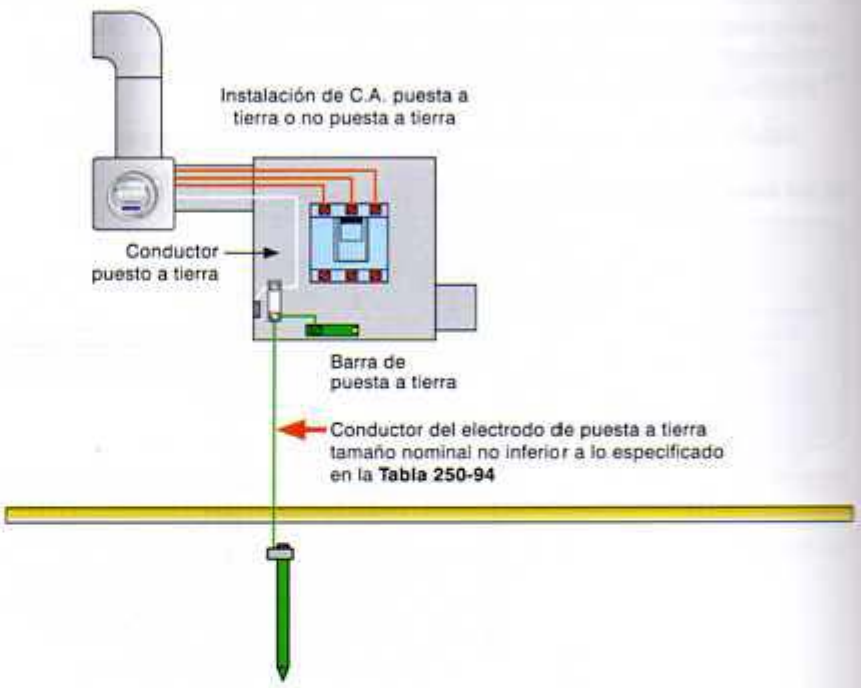


Fig. 186 Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Notas a la tabla 250-94 (se indican en la 250-95)

Cuando se usen varios grupos de conductores de entrada a la acometida la sección equivalente mayor se debe calcular por la suma de las secciones transversales de los conductores de cada grupo.

Cuando no haya conductores de entrada de acometida, la sección transversal del conductor del electrodo de puesta a tierra se debe calcular por la sección equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida de acuerdo con la corriente eléctrica.

En las excepciones se indica que:

a. Cuando se conecte a un electrodo **de puesta a tierra fabricado**, el tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser mayor al No. 6 AWG de cobre o al No. 4 AWG de aluminio.

b. Cuando se conecte a un electrodo **de puesta a tierra empotrado en concreto**, el tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser mayor al No. 6 AWG de cobre o al No. 4 AWG de aluminio.

c. Cuando se conecte a un electrodo **de puesta a tierra de anillo de tierra**, el tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser mayor al conductor utilizado en el anillo de tierra.

250-94 Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra en instalaciones de C.A.

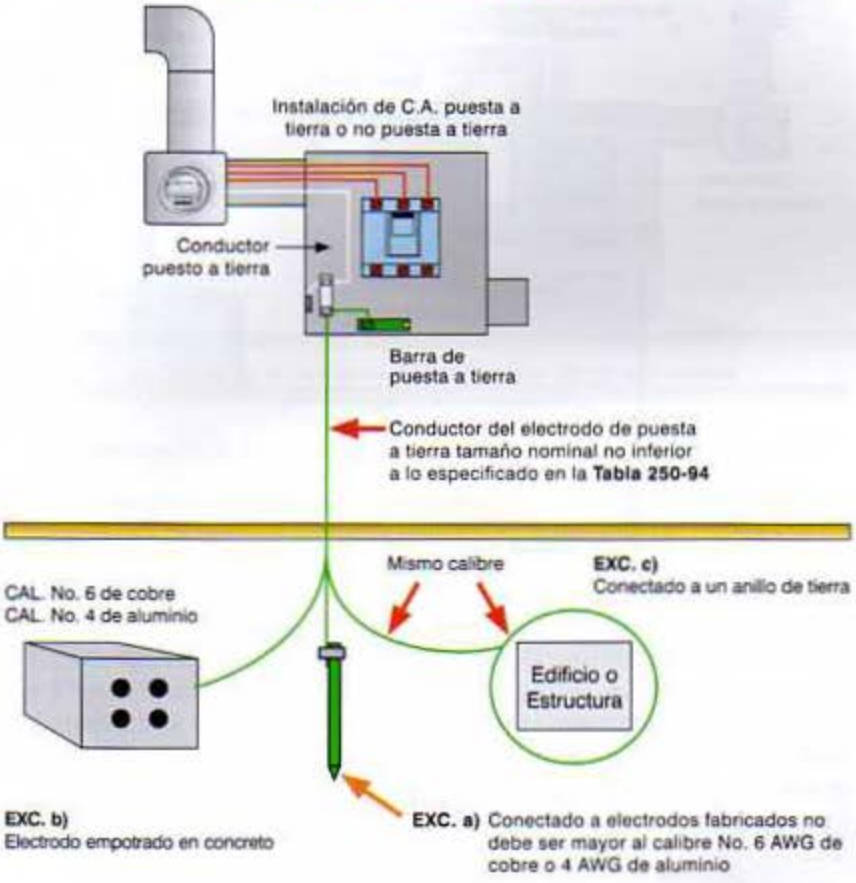


Fig. 187 Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Sección 250-95. Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo

El tamaño nominal del conductor de puesta a tierra del equipo, no debe ser menor a lo indicado en la tabla 250-95.

La selección del conductor de puesta a tierra se realiza tomando como base el dispositivo de protección contra sobrecorriente que protege al equipo que alimenta y consultando la tabla 250-95.

250-95 Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo

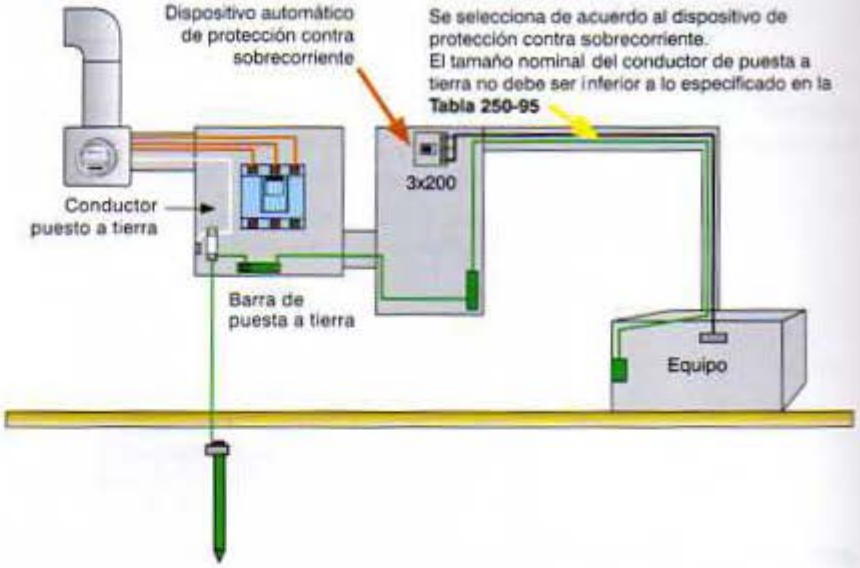
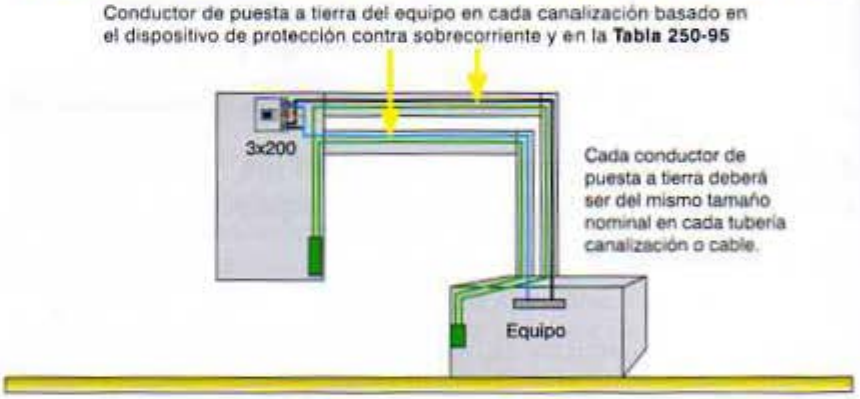


Fig. 188 Tamaño nominal del conductor de puesta a tierra

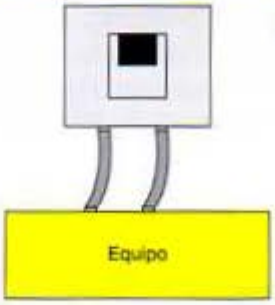
Cuando en una instalación eléctrica se instalen conductores en paralelo, en varias canalizaciones, el conductor de puesta a tierra cuando exista deberá ser instalado en paralelo en cada canalización y deberá ser del mismo tamaño nominal seleccionado de acuerdo a la capacidad nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente que proteja al circuito eléctrico, como se indica en la tabla 250-95.

250-95 Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo



Cuando un equipo se alimente con conductores en paralelo en varias canalizaciones o cables como se permite en 310-4, el conductor de puesta a tierra del equipo, cuando exista, debe estar instalado en paralelo.

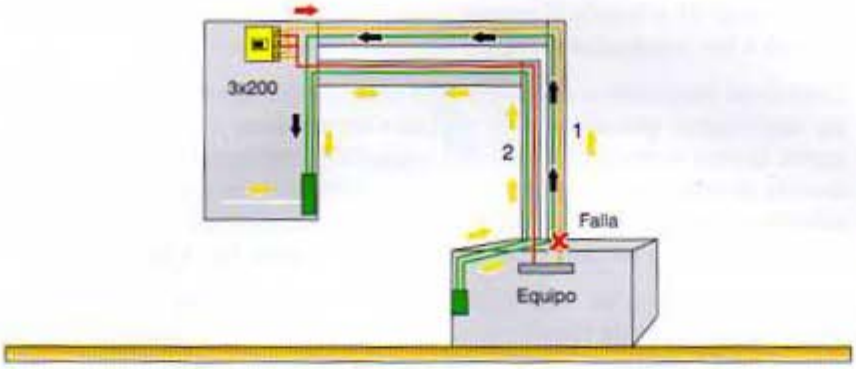
Cuando los cables son instalados en paralelo, en algunos casos, los fabricantes requieren producir especialmente cables diseñados con el conductor de puesta a tierra más grande que lo usual.



EXC. 2 No es necesario que el conductor de puesta a tierra del equipo sea de mayor tamaño que el de los conductores de fase. Ejemplo: cuando se utilizan cables fabricados.

Fig. 189 Conductor de puesta a tierra del equipo para canalizaciones o cables en paralelo

250-95 Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo



Caminos de la corriente de falla de una carga alimentada por conductores en paralelo.

Fig. 190 Trayectoria de la corriente de falla a tierra en canalizaciones en paralelo

Cuando ocurre una falla de fase a tierra como se indica, el conductor de puesta a tierra No. 1 llevará mayor corriente que el conductor de puesta a tierra No. 2 debido que presenta menor longitud y menor impedancia.

Es por esto que los conductores de puesta a tierra del equipo en cada canalización debe ser capaz de conducir una cantidad mayor de corriente de falla sin dañarse (abrirse).

Cuando en una instalación eléctrica se ajuste el tamaño nominal de los conductores de fase por caída de tensión, el conductor de puesta a tierra del equipo cuando se instale, se deberá de ajustar proporcionalmente su sección transversal en mm².

250-95 Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo

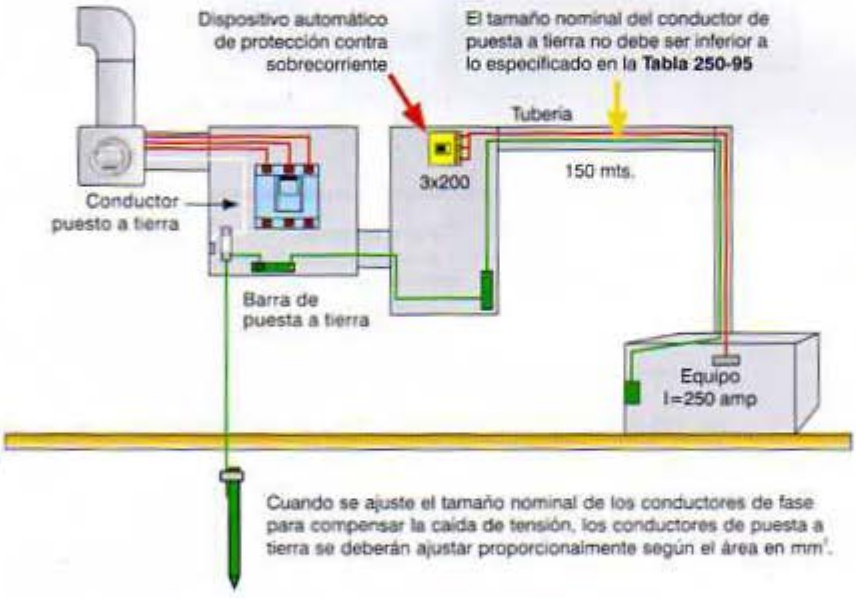


Fig. 191 Compensación por caída de tensión del conductor de puesta a tierra del equipo

El conductor seleccionado por corriente, de acuerdo a la tabla 310-16 resulta conductor calibre No. 250 KCM y un conductor de puesta a tierra CAL. No. 4 AWG

Por caída de tensión se selecciona un calibre No. 350 KCM.

Entonces el conductor de puesta a tierra seleccionado se deberá de compensar, aplicando el siguiente factor:

$$\text{Factor} = \frac{177.54\ \text{mm}^2}{126.67\ \text{mm}^2} = 1.401$$

Aplicando el factor al area del conductor de puesta a tierra, se tiene:

Cal. Comp. =
1.401 x 21.15 mm² = 29.64 mm²

El conductor de puesta a tierra resulta CAL. No. 2 AWG

Cuando en una canalización o cable se instalen varios circuitos eléctricos, se permite instalar un solo conductor de puesta a tierra y se deberá de seleccionar de acuerdo al mayor dispositivo contra sobrecorriente que proteja a los conductores de los circuitos eléctricos.

Cuando el dispositivo de protección contra sobrecorriente consista de un interruptor automático de disparo instantáneo o un protector de motor contra cortocircuitos, como se permite en la sección 430-52, el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra del equipo se deberá de seleccionar de acuerdo con la capacidad nominal de protección contra sobrecarga, pero no debe ser menor a lo indicado en la tabla 250-95.

En la excepción 2, se indica que no es necesario que el conductor de puesta a tierra sea de tamaño nominal mayor al de los conductores que alimentan al equipo.

250-95 Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo

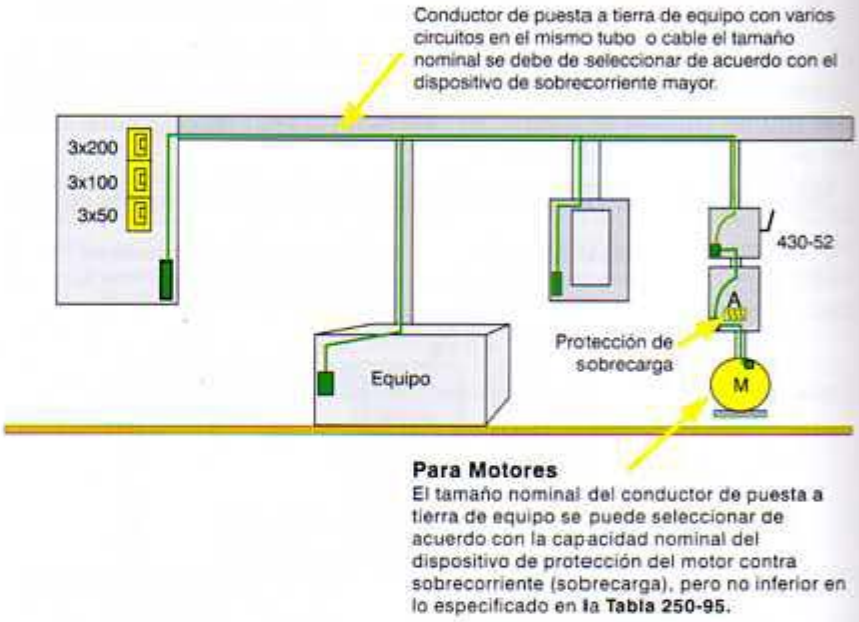


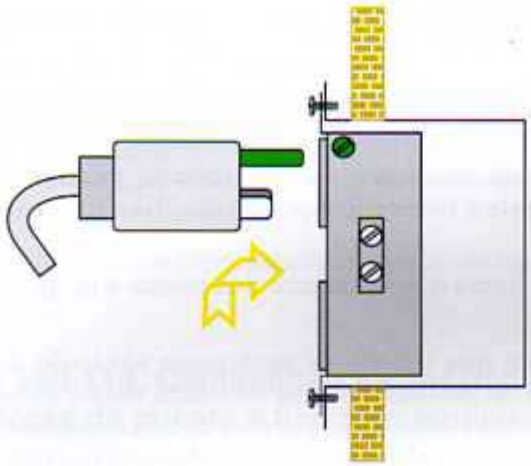
Fig. 192 Selección del conductor de puesta a tierra del equipo

Sección 250-99. Continuidad del conductor de puesta a tierra de equipo

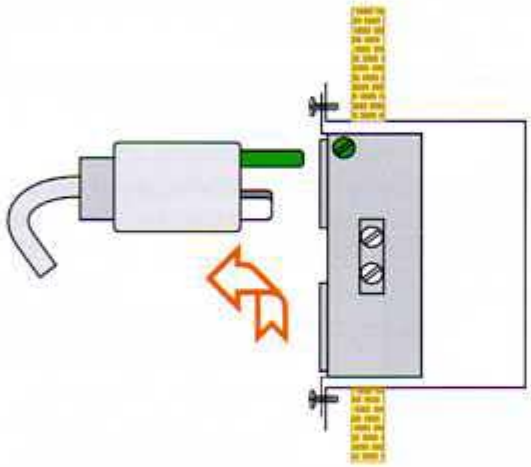
a) Conexiones removibles

Cuando se utilicen conexiones removibles en equipos removibles o portátiles con clavijas y sus respectivos receptáculos, se deberán de diseñar de manera que cuando se conecta, haga contacto primeramente el conductor de puesta a tierra y que cuando se desconecta el último en hacer contacto sea el conductor de puesta a tierra.

250-99 Continuidad del conductor de puesta a tierra de equipo



Al conectar la clavija a su respectivo receptáculo, la terminal de puesta a tierra deberá conectarse primero



Al desconectar la clavija de su respectivo receptáculo, la terminal de puesta a tierra deberá desconectarse al último.

A) Conexiones removibles

Fig. 193 Continuidad del conductor de puesta a tierra

b) Desconectadores.

En el conductor de puesta a tierra del equipo no se deberá de instalar ningún medio de desconexión o de interrupción manual o automático

J) Conexiones de los conductores de puesta a tierra

Sección 250-112 Al electrodo de puesta a tierra

La conexión de un conductor del electrodo de puesta a tierra a su electrodo de puesta a tierra correspondiente, debe ser:

- Accesible.
- Realizarse de forma que se asegure una puesta a tierra firme y permanente.

Cuando se utilice una tubería de agua como electrodo de puesta a tierra, se deberá de realizar puentes de unión en los elementos que sean aislados o removibles. Estos puentes de unión deberán tener una longitud suficiente para el desmontaje de estos equipos para mantener la continuidad eléctrica.

La excepción indica que la conexión en una envolvente o en un electrodo de puesta a tierra empotrado en concreto, enterrado o hundido, se permite que no sea accesible.

250-112 Conexiones de los conductores de puesta a tierra al electrodo de puesta a tierra

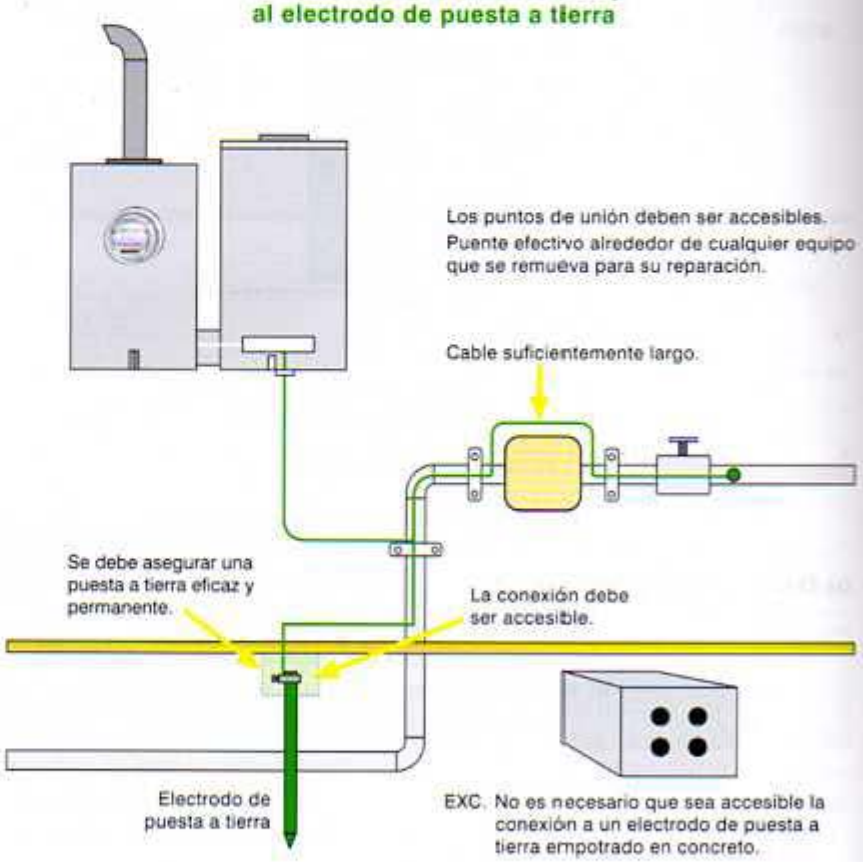


Fig. 194 Conexión a los electrodos de puesta a tierra

Sección 250-113. A los conductores y equipo

Los conductores de puesta a tierra y los puentes de unión se deben:

- Conectar mediante soldadura exotérmica.
- Conectar con conectadores a presión aprobados y listados.
- Conectar con abrazaderas u otros medios aprobados y listados.

No se deben de utilizar dispositivos de conexión que sólo dependan de soldadura.

No se deben de utilizar pijas para la conexión de los conductores de puesta a tierra

Sección 250-114. Continuidad y conexión de los conductores de puesta a tierra de equipo a cajas

Cuando entren a un tablero eléctrico o a una caja de conexiones, los conductores de puesta a tierra, se deberán de empalmar o unir dentro de ellos, utilizando lo accesorios adecuados.

No se deberán de realizar solamente conexiones que dependan de la soldadura.

Los empalmes se deberán de realizar de acuerdo a la sección 110-14(b).

La conexión de los conductores de puesta a tierra a los aparatos eléctricos, u otro dispositivo que reciba energía desde la caja se deberá de realizar de tal forma que no se interfiera o interrumpa la continuidad de la puesta a tierra.

a) Cajas metálicas

Cuando se instale una caja metálica, se deberá hacer una conexión entre el conductor de puesta a tierra del equipo y la caja.

Esta conexión se deberá de realizar por medio de un tornillo de puesta a tierra o por otro dispositivo aprobado y listado para la puesta a tierra y que no debe de utilizarse para otro uso.

b) Cajas no metálicas

Cuando se instale una caja no metálica y lleguen conductores de puesta a tierra, se deben de instalar de tal forma que se pueda conectar cualquier herraje o dispositivo de la caja requiera ser puesta a tierra.

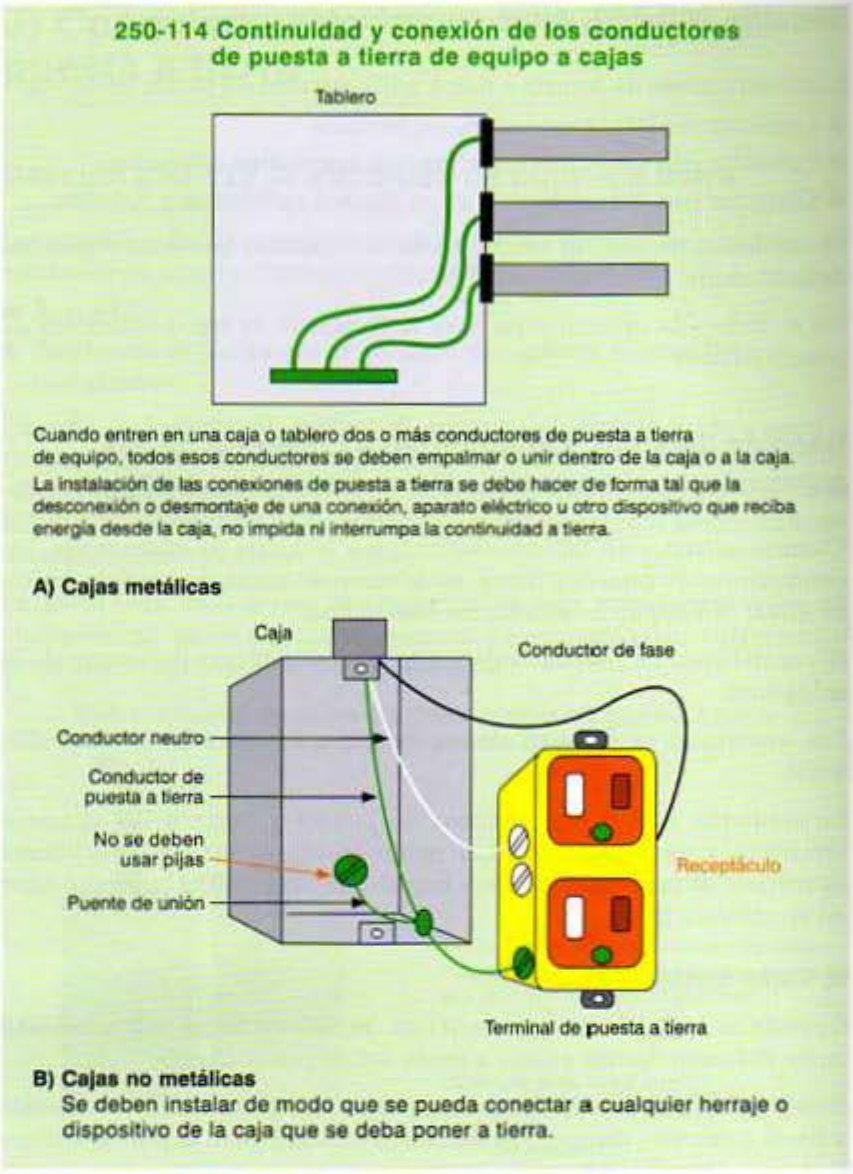


Fig. 195 Continuidad y conexión de los conductores de puesta a tierra del equipo a cajas

Sección 250-115. Conexión a los electrodos de puesta a tierra

El conductor de puesta a tierra se debe conectar al electrodo de puesta a tierra mediante:

- Soldadura exotérmica
- Zapatas
- Conectadores a presión
- Abrazaderas
- Otros medios aprobados y listados

No se deberán de realizar las conexiones que dependen solamente de soldadura.

Las abrazaderas de puesta a tierra deben ser aprobadas y listadas para el material del electrodo de puesta a tierra y para utilizarse enterradas directamente en la tierra.

No se debe de conectar al electrodo de puesta a tierra con la misma abrazadera o accesorio más de un conductor, excepto si la abrazadera o accesorio está aprobado o listado para utilizarse con varios conductores.

La conexión se deberá de realizar por los siguientes métodos:

a) Abrazadera sujeta con pernos

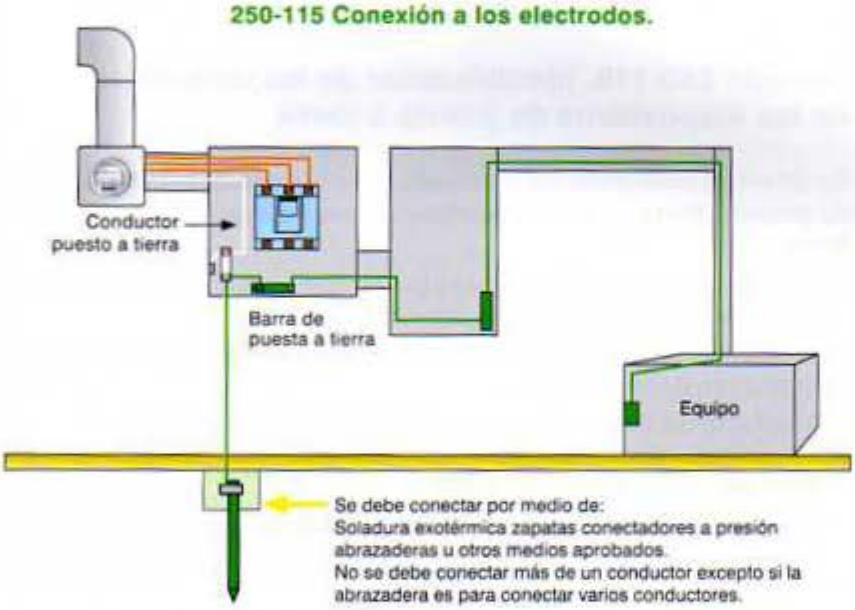
La abrazadera deberá estar aprobada y de material de latón o bronce fundido o hierro dulce o maleable.

b) Accesorios y abrazaderas para tubería

c) Abrazadera de puesta a tierra de tipo solera

d) Otros medios iguales a los anteriores y aprobados

250-115 Conexión a los electrodos.



La conexión debe hacerse por uno de los siguientes métodos:

a) Abrazadera sujeta con pernos.

b) Accesorios y abrazaderas para tubería.

c) Abrazadera de tierra tipo solera.

d) Otros medios.

Fig. 196 Conexión a los electrodos de puesta a tierra

Sección 250-117. Protección de las uniones

Las abrazaderas u otros accesorios para la puesta a tierra deben estar aprobados para su uso general sin protección, o protegerse contra daño físico, como se indica a continuación:

a) Sin daños probables

Se deberán de instalar en lugares donde no sufran daño físico.

b) Con una cubierta protectora

Encerradas en una cubierta metálica, de madera o alguna protección equivalente.

Sección 250-118 Superficies limpias

Para asegurar la continuidad eléctrica, se deberá de eliminar de las roscas y de otras superficies de contacto del equipo que sean puestas a tierra, las capas no conductoras como pinturas, barnices o lacas.

O conectarlos de tal forma que se haga innecesaria la remoción.

250-118 Superficies limpias

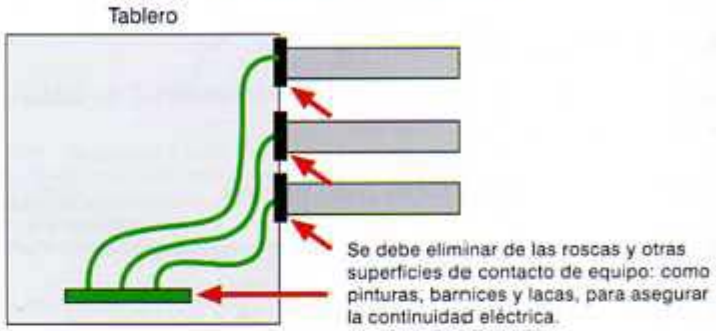


Fig. 197 Superficies limpias

Sección 250-119. Identificación de las terminales de los dispositivos de puesta a tierra

Se deben de identificar las terminales de conexión de los conductores de puesta a tierra de los conductores de puesta a tierra de la siguiente forma:

1) Mediante un tornillo de cabeza hexagonal pintada de color verde, que no se pueda remover fácilmente.
2) Mediante una tuerca hexagonal pintada de color verde, que no se pueda remover fácilmente.
3) Mediante un conectador a presión pintado de color verde.

Si la terminal del conductor de puesta a tierra no es visible, se debe marcar el orificio de entrada del cable de puesta a tierra con la palabra "verde" o "puesta a tierra", con las letras "V" o "T" o con el símbolo de puesta a tierra No.5019 de la Comisión Electrotécnica Internacional o de cualquier otro modo en color verde.

250-119 Identificación de las terminales de los dispositivos de puesta a tierra

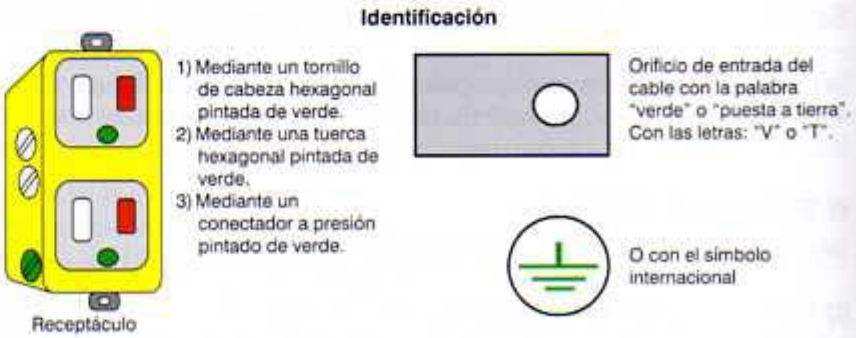


Fig. 198 Identificación de las terminales de puesta a tierra

Capítulo 17

Interruptor de protección de fallas a tierra para personas

Contenido

Interruptor de protección de fallas a tierra para personas. 226

Interruptor de protección de fallas a tierra para personas

Un interruptor de protección de fallas a tierra para personas (IPCFT) monitorea contínuamente la corriente balanceada en el conductor de fase y en el conductor neutro.

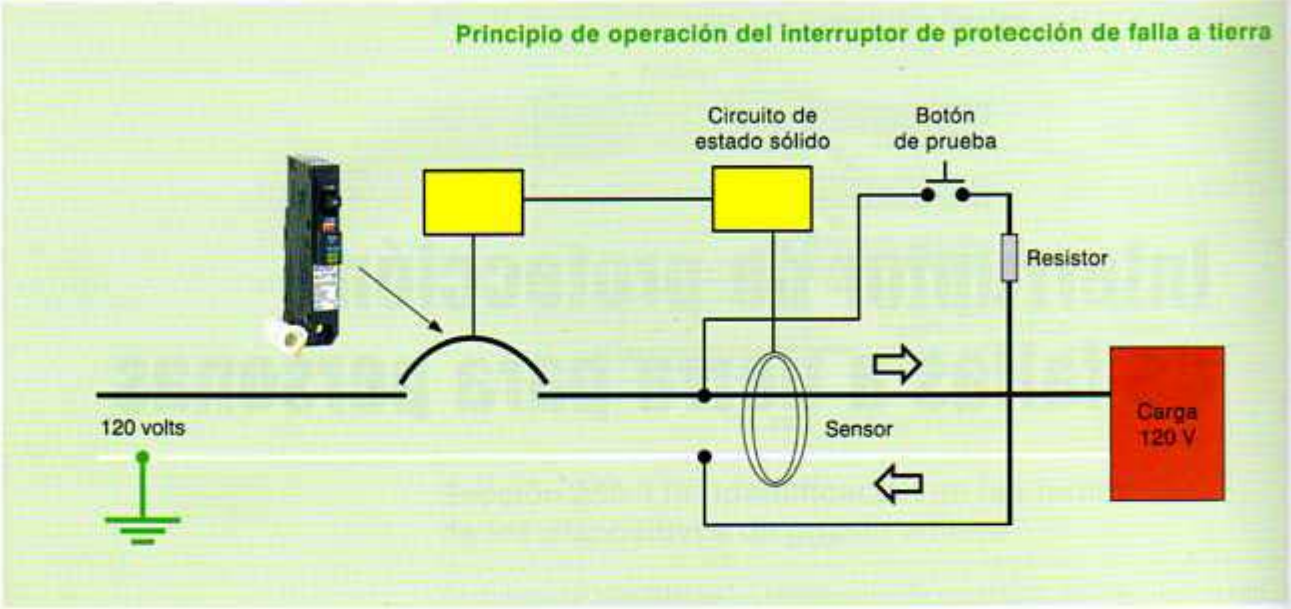


Fig. 199 Interruptor de protección contra falla a tierra para personas

Si la corriente en el conductor neutro es menor que en el conductor de fase, existe la probabilidad que haya una falla a tierra.

Una parte de la corriente regresará por el conductor neutro a la fuente de suministro y el resto de la corriente regresará por otro camino diferente.

Cuando la corriente de desbalance es menor de 6 miliamperes, el IPCFT abrirá el circuito y el dispositivo indicará "OFF", con lo que protegerá a la persona.

La función de un IPCFT no es limitar la corriente de falla a tierra, sino que limita el tiempo que la corriente de falla fluirá por los componentes del circuito.

De acuerdo a la normatividad vigente, los interruptores de protección contra fallas a tierra de personas, se deberán de instalar en:

a) Unidades de vivienda

Cuando se tengan instalaciones eléctricas monofásicas de 120 ó 127 Volts en circuitos derivados de 15 ó 20 Amperes:

1) En los cuartos de baño
2) En las cocheras
3) En exteriores
4) En las galerías donde se circule a gatas
5) Sótanos sin acabados
6) Cocinas
7) Fregaderos

b) Edificios que no sean viviendas

Se deben instalar interruptores de protección de fallas a tierra para personas, cuando se tengan instalaciones eléctricas monofásicas de 120 ó 127 Volts, con circuitos derivados de 15 ó 20 Amperes.

1) Cuartos de baño

2) Azoteas

c) Instalaciones provisionales

305-6 (a) Se deberá de instalar un IPCFT para la protección de las personas, en los circuitos eléctricos monofásicos de 120 ó 127 Volts, de 15 ó 20 Amperes.

d) Talleres de servicio, de reparación y estacionamientos para vehículos automotores

511-10 Se deberá de instalar un IPCFT para la protección de las personas, en los circuitos eléctricos monofásicos de 120 ó 127 Volts, de 15 ó 20 Amperes, donde se instalen herramientas de mano portátiles o de iluminación.

e) Instalaciones en lugares de atención de la salud

517-20 (a) Todos los receptáculos y equipos instalados en locales húmedos deben tener un interruptor de protección contra fallas a tierra para personas.

517-21 No se requiere instalar el IPCFT en los receptáculos instalados en áreas de cuidados críticos, cuando el lavabo se encuentra dentro del cuarto del paciente.

f) Carnavales, circos, ferias y eventos similares

525- 18 Los requerimientos de la sección 305-6 no se aplican a este artículo.

g) Marinas y muelles

555-3 Se deberá de instalar un IPCFT para la protección de las personas, en los circuitos eléctricos monofásicos de 120 ó 127 Volts, de 15 ó 20 Amperes.

h) Elevadores, montacargas, escaleras eléctricas y pasillos móviles, escaleras y elevadores para sillas de ruedas

620-85 Todos los receptáculos monofásicos de 15 ó 20 Amperes, a 120 ó 127 Volts, deberán de tener un interruptor de protección contra fallas a tierra para las personas, instalados en los espacios para maquinarias, huecos, parte alta de la cabina del ascensor, en escaleras eléctricas, pasillos móviles y en el cuarto de máquinas.

i) Fuentes

680-51 Se deberá de instalar un IPCFT en el circuito que alimente una fuente.

j) Bañeras de hidromasaje

680-70 Las bañeras de hidromasaje y sus componentes eléctricos se deberán de proteger con un IPCFT, también todos los receptáculos monofásicos de 120 ó 127 Volts que se encuentren a una distancia de 1,5 mts de pared interna de la bañera de hidromasaje.

k) Casas móviles

550-8 (b) Todos los receptáculos monofásicos de 15 ó 20 Amperes, de 120 ó 127 Volts, deberán de tener un IPFCT cuando se encuentren instalados en exteriores y baños, incluyendo los receptáculos para las luminarias.

550-23 (d) Todos los receptáculos monofásicos adicionales para la conexión de equipos fuera de la casa móvil de 15 ó 20 Amperes, de 120 ó 127 Volts, deberán de tener un IPFCT.

l) Estacionamientos de vehículos de recreo

551-71 Todos los receptáculos monofásicos de 15 ó 20 Amperes, de 120 ó 127 Volts, deberán de tener un IPFCT para la protección de las personas.

m) Remolques

552-41 (c) Todos los receptáculos monofásicos de 15 ó 20 Amperes, de 120 o 127 Volts, deberán de tener un IPFCT, para la protección de las personas, en los siguientes lugares:

1) Adyacentes al lavamanos de los baños

2) A no más de 1.83 mts de cualquier lavadero o fregadero

3) En el área ocupada por una regadera, sanitarios, tina o cualquier combinación de ellos

4) En el exterior del remolque

n) Albercas, fuentes e instalaciones similares

680-6 (a) (3) Todos los receptáculos monofásicos de 15 ó 20 Amperes, de 120 ó 127 Volts, deberán de tener un IPFCT, para la protección de las personas, que se encuentren ubicados dentro de 6 mts de las paredes internas de la alberca.

680-20 Luminarias subacuáticas

a) Se deberá de instalar un IPCFT en un circuito de luminarias que funcionen a más de 15 Volts, para proteger cuando se cambian las lámparas.

680-26 Cubiertas de alberca accionada eléctricamente.

b) El motor eléctrico y su controlador se deberán de conectar a un circuito eléctrico protegido por un IPCFT.

680-31 En albercas desmontables, todo el equipo eléctrico, incluyendo los cordones de alimentación, deben de protegerse por un IPCFT.

680-40 En las fuentes de aguas termales y bañeras térmicas.

680-41 (a) (2) Todos los receptáculos monofásicos de 15 ó 20 Amperes, de 120 ó 127 Volts, deberán de tener un IPFCT ubicados dentro de 3 mts de la pared interna de las bañeras térmicas y de aguas termales.

680-42 Todo el equipo eléctrico asociado con las bañeras térmicas deben estar protegidas con un IPCFT.

680-62 Bañeras terapéuticas (tanques hidroterapéuticos).

a) todo el equipo terapéutico debe estar protegido con un IPCFT.

Capítulo 18

Cálculo de conductores de puesta a tierra

Contenido

Selección de conductores de puesta a tierra . . .230

Selección de conductores de puesta a tierra

1) ¿Qué tamaño nominal debe ser el conductor del electrodo de puesta a tierra?

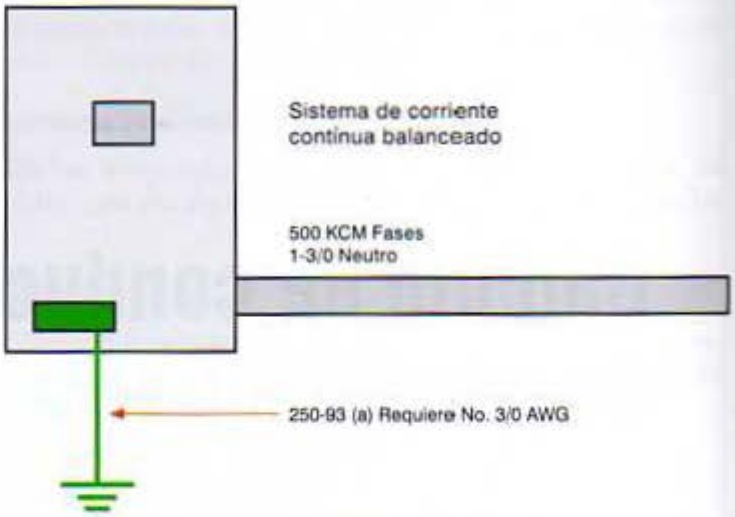


Fig. 200 Sistema de corriente continua balanceado

2) ¿Qué tamaño nominal debe ser el conductor del electrodo de puesta a tierra?

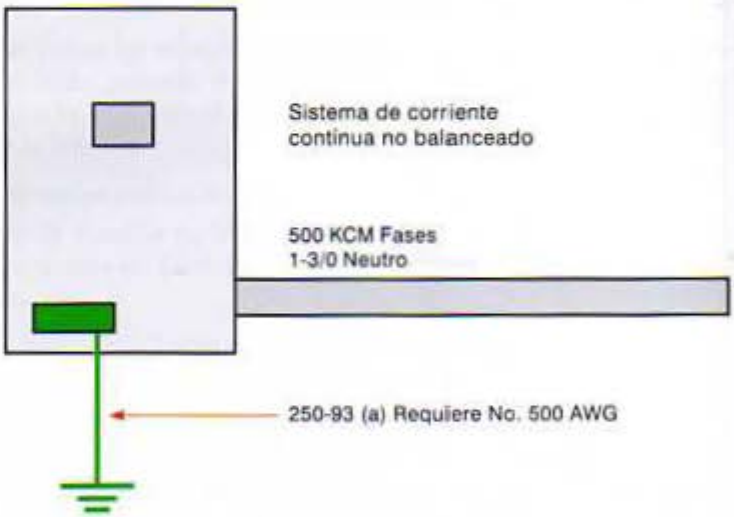
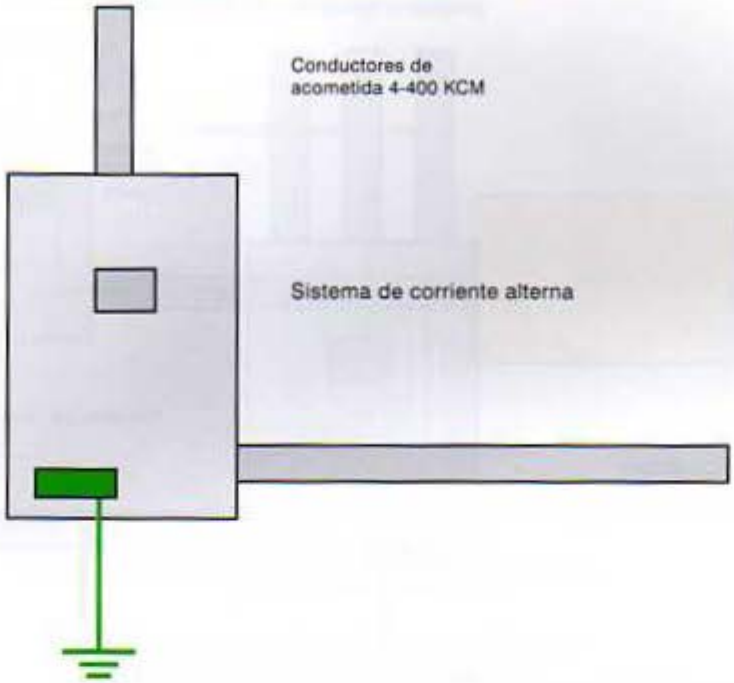


Fig. 201 Sistema de corriente continua no balanceado

3) ¿Qué tamaño nominal debe ser el conductor del electrodo de puesta a tierra?

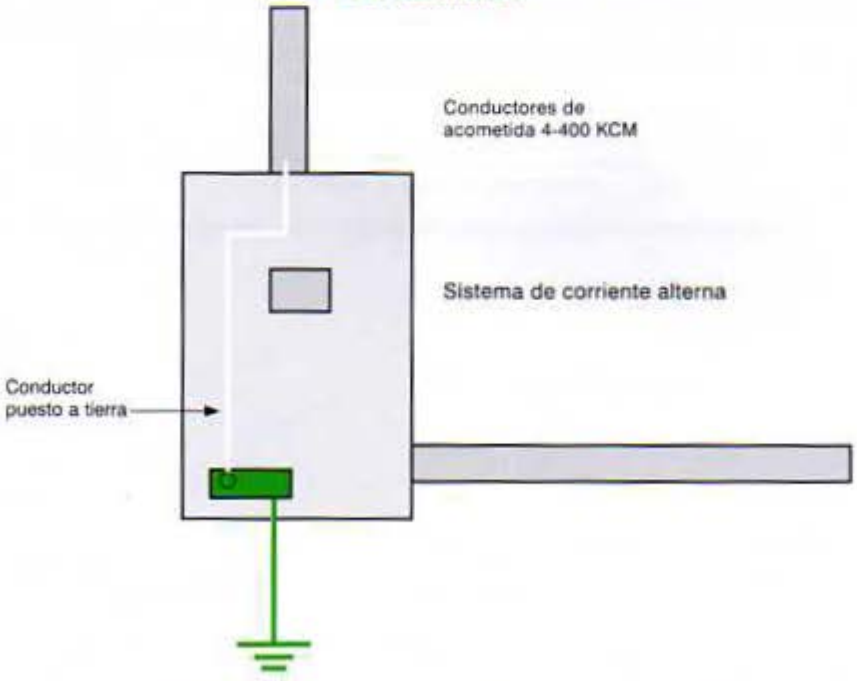


Electrodo de puesta a tierra

Tubería metálica de agua adicionada con varilla Copperweld	Tabla 250-94 requiere No. 1/0 AWG
Electrodo empotrado en concreto	250-94 EXC 1b requiere No. 6 AWG
Electrodo de acero estructural	Tabla 250-94 requiere No. 1/0 AWG
Electrodo de anillo de tierra	250-81(d), 250-94 EXC 1c requiere No.2 AWG

Fig. 202 Conductor del electrodo de puesta a tierra

4) ¿Qué tamaño nominal debe ser el conductor puesto a tierra de la acometida?



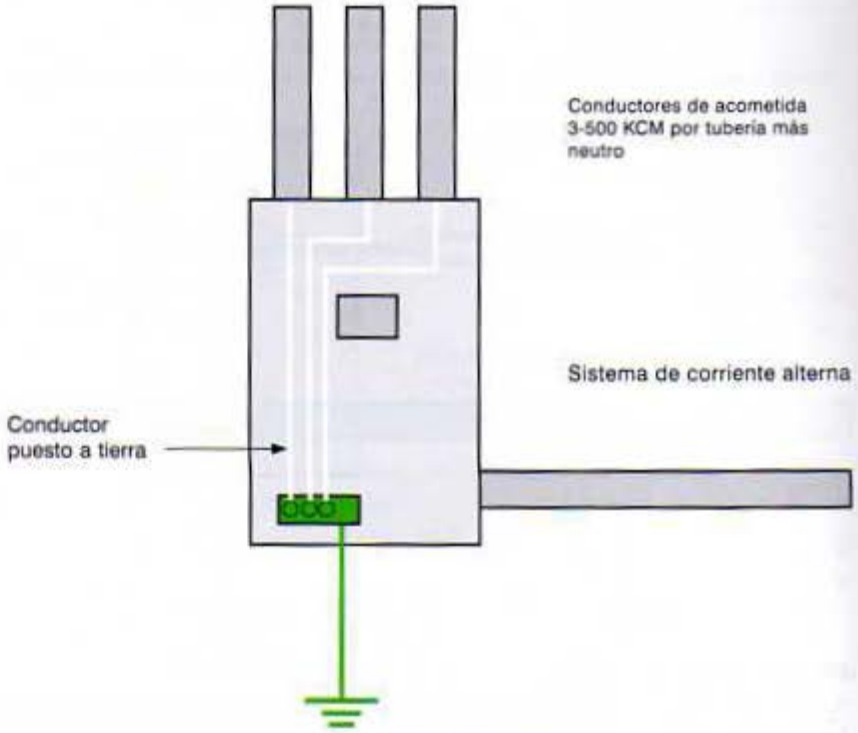
El conductor puesto a tierra deberá de transportar la máxima corriente de desbalance, además deberá de transportar la máxima corriente de falla.

250-23(b) Tabla 250-94 requiere un No. 2 AWG

El tamaño nominal mínimo del conductor puesto a tierra es No.2 AWG.

Fig. 203 Cálculo del conductor puesto a tierra de la acometida

5) ¿Qué tamaño nominal debe ser el conductor puesto a tierra de la acometida?



Se calcula el total de los KCM 3 x 500 KCM = 1500 KCM
Se aplica el 12,5% 1500 x 0,125 = 187,5 KCM
Se divide entre 3 tuberías 187,5 / 3 = 62,5 KCM
Resulta un conductor de tamaño nominal No. 2 AWG con 66 360 CM

Por la sección 310-4 para conductores en paralelo, resulta:
conductor neutro con tamaño nominal No. 1/0 AWG

Fig. 204 Cálculo del conductor puesto a tierra de la acometida con conductores en paralelo

6) ¿Qué tamaño nominal debe ser el conductor de puesta a tierra del equipo?

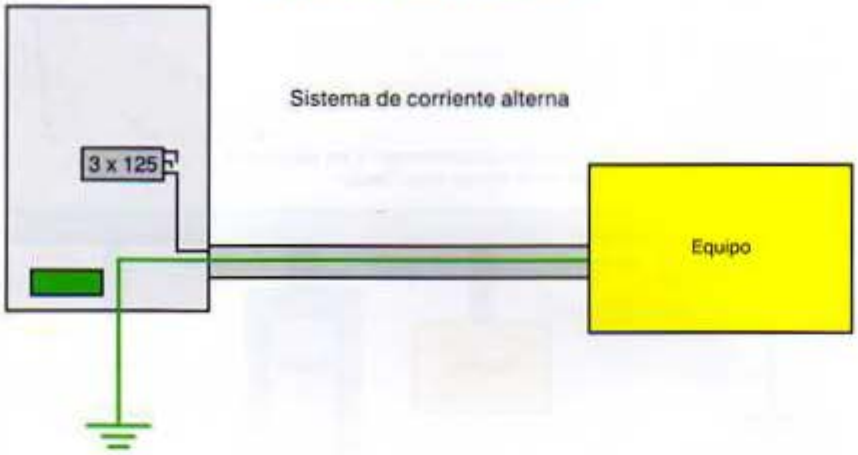


Fig. 205 Selección del conductor puesta a tierra del equipo

7) ¿Qué tamaño nominal debe ser el conductor de puesta a tierra del equipo?

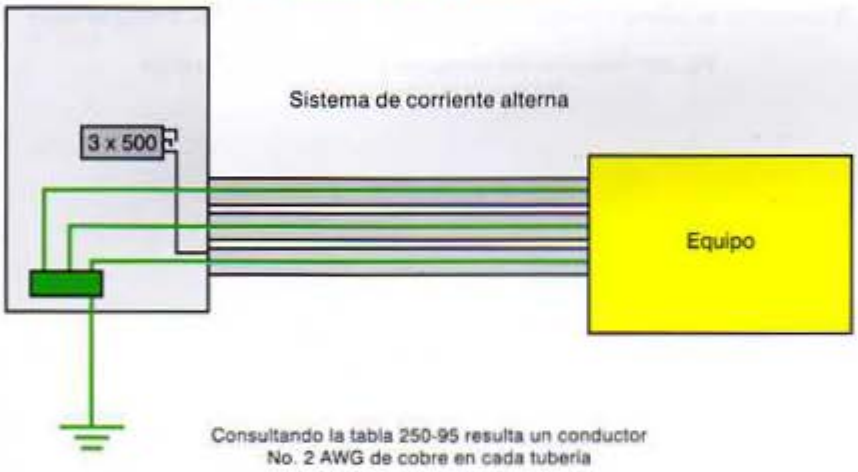
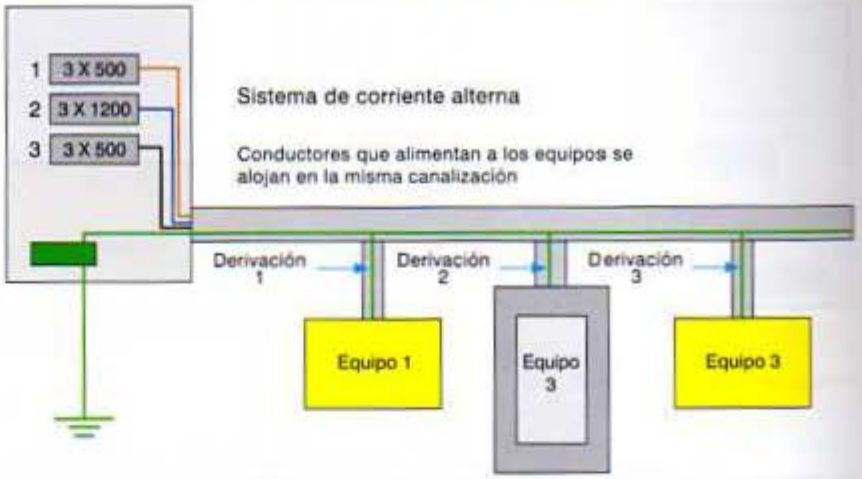


Fig. 206 Selección del conductor puesta a tierra con canalizaciones en paralelo

8) ¿Qué tamaño nominal debe ser el conductor de puesta a tierra del equipo?



Consultando la tabla 250-95 para un dispositivo de protección contra sobrecorriente de 1200 Amperes, resulta un conductor No.3/0 AWG de cobre

Derivaciones

1) Conductor de puesta a tierra a Equipo 1, Tabla 250-95, Resulta No. 2 AWG de cobre
2) Conductor de puesta a tierra a Equipo 2, Tabla 250-95, Resulta No. 3/0 AWG de cobre
3) Conductor de puesta a tierra a Equipo 3, Tabla 250-95, Resulta No. 2 AWG de cobre

Fig. 207 Selección del conductor puesta a tierra del equipo con una canalización común

Capítulo 19

Electricidad estática

Contenido

Electricidad estática 236
Método práctico para la puesta a tierra y de los puentes de unión 239

Electricidad estática

La electricidad estática es probablemente la más vieja manifestación de la electricidad. Los griegos tienen el récord de haber observado el fenómeno desde el año 600 A.C.

En un cuerpo neutro o un cuerpo no cargado, los electrones que son los componentes negativos de un átomo; y los protones, que son los componentes positivos, están presentes en iguales cantidades, que pueden ser separados solamente por energía mecánica, térmica o química.

La electricidad estática es generada por el movimiento de electrones, que ocurre cuando los materiales están en contacto uno con otro y son separados.

Cuando los cuerpos son separados, los electrones producen cargas eléctricas sobre los objetos separados, mostrándose con un incremento en el voltaje entre las dos superficies.

Si los dos materiales son buenos conductores y están en contacto uno con otro, y son separados, habrá un exceso de electrones en uno de ellos y regresarán al otro antes de que la separación sea completada.

Si uno de ellos es un aislador y ambos no están puestos a tierra, ambos tendrán una carga por el exceso de electrones que están en uno de ellos cuando la separación ocurre y el cuerpo aislado se dice que está cargado.

El voltaje desarrollado debido a las cargas eléctricas está relacionado con la cantidad de carga depositada sobre el cuerpo, y de la capacitancia de este cuerpo respecto a su alrededor.

La relación es:

$$V = \frac{Q}{C} \quad \text{ec. 64}$$

V Tensión en Volts
Q Carga en Coulombs
C Capacitancia en Farads

La electricidad estática es generada por:

1) Materiales pulverizados que pasen a través de ductos
2) Manejadoras
3) Gas, vapor, circulación de aire
4) Movimiento que involucra cambios en la posición relativa de las superficies de contacto, de materiales líquidos o sólidos, uno de ellos es un pobre conductor de la electricidad.
5) El cuerpo humano, en áreas de baja humedad, donde se puede acumular una carga estática peligrosa de varios cientos de Volts por el contacto de los zapatos con la cubierta de los pisos o por trabajar con maquinaria que genera electricidad estática.

Las condiciones que afectan la producción de carga estáticas son:

- Características del material
- Velocidad de la separación
- Área de contacto
- Efecto del movimiento entre sustancias
- Condiciones atmosféricas

La electricidad estática puede producir una ignición de un vapor combustible mezclado con el aire, cuando existe suficiente energía en el cuerpo cargado.

La cantidad de energía de una descarga capacitiva está dada por:

$$E = \frac{1}{2} C V^2 \times 10^{-9} \quad \text{ec. 65}$$

E = Energía en mJ
V= Tensión en Volts
C = Capacitancia en pF

La electricidad estática es capaz de producir una ignición.

Métodos de control de la electricidad estática.

La generación de electricidad estática no puede prevenirse, pero sí se puede controlar por los siguientes métodos:

- Puesta a tierra y puentes de unión
- Control de la humedad
- Ionización
- Pisos conductivos
- Zapatos conductivos
- Precauciones especiales
- Mantenimiento adecuado

Con la puesta a tierra y puentes de unión se pueden resolver muchos de los problemas de estática.

Los puentes de unión (la conexión entre dos objetos) minimizan las diferencias de potencial entre los objetos conductivos, con lo que se previene el arco entre los dos objetos.



Fig. 208 Un cuerpo cargado y un cuerpo no cargado aislados de tierra

Ambos cuerpos aislados unidos tienen la misma carga

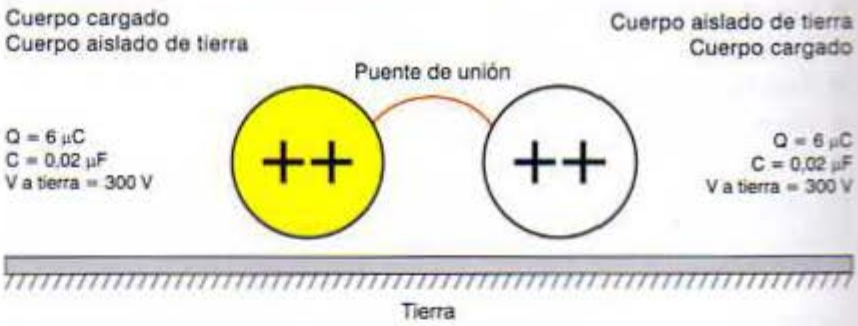


Fig. 209 Ambos cuerpos aislados unidos tienen la misma carga

Ambos cuerpos están puestos a tierra y no tienen carga

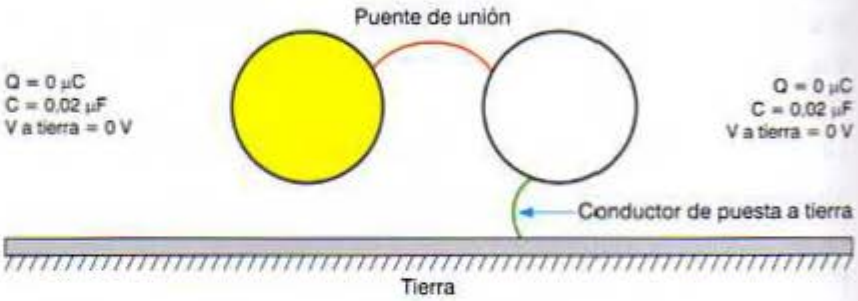


Fig. 210 Ambos cuerpos unidos y puestos a tierra, no tienen carga

La puesta a tierra minimiza las diferencias de potencial entre los objetos y tierra.

El conductor de puesta a tierra y el conductor del puente de unión deberán ser de tamaño nominal del No.6 AWG o del No.4 AWG, por manejo mecánico.

Cuando los conductores de puesta a tierra y del puente de unión estén expuestos a daño físico deberán de instalarse en un tubo (conduit) metálico o en una tubería.

La puesta a tierra no es una cura para todos los problemas de estática; por ejemplo en procesos que se utilizan materiales no conductivos como el papel, ropa o plástico, no es posible drenar las cargas de electricidad estática, por eso se deberán utilizar otros métodos, como la ionización y la humidificación.

Método práctico para la puesta a tierra y de los puentes de unión

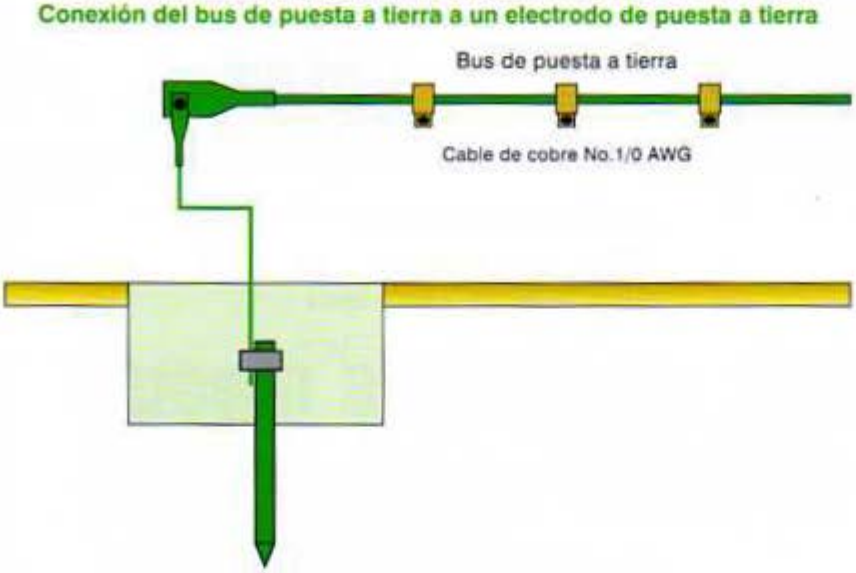
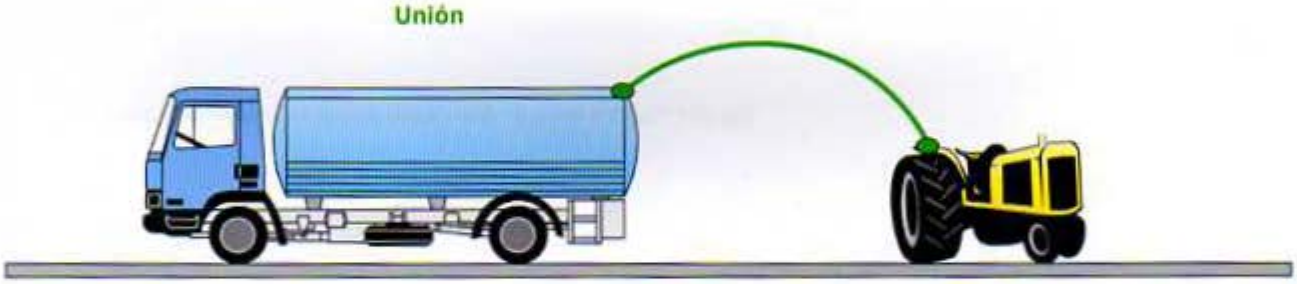
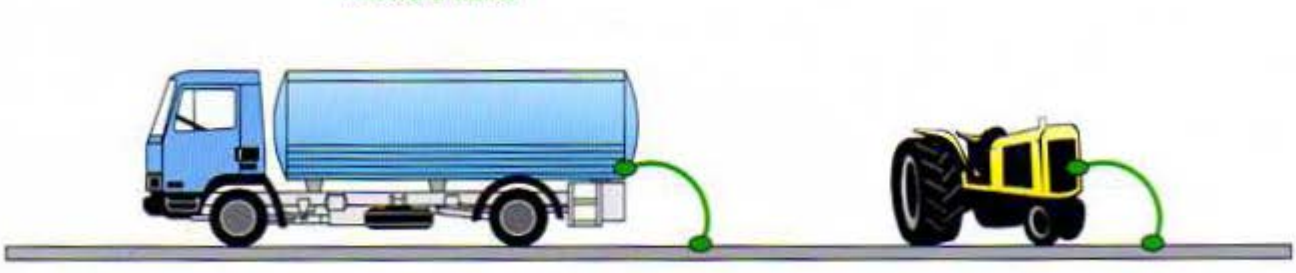


Fig. 211 Bus de puesta a tierra de para conexión de equipos que pueden producir electricidad estática



La unión es utilizada para minimizar la diferencia de potencial entre objetos conductivos

Fig. 212 Unión de dos objetos conductivos



Iguala el potencial entre los objetos y la tierra

Fig. 213 Puesta a tierra de dos objetos

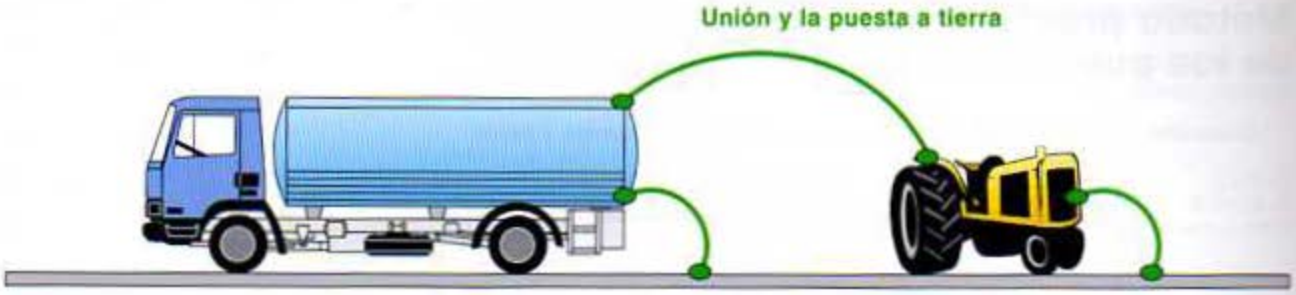


Fig. 214 Unión y puesta a tierra de dos objetos

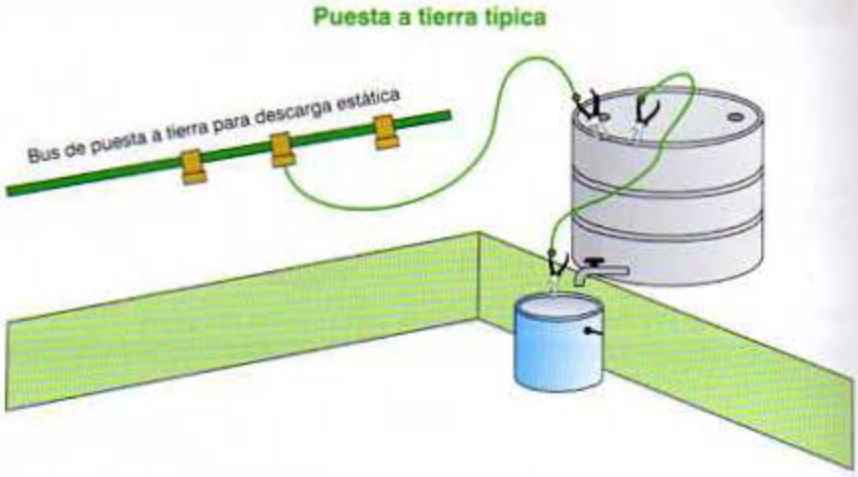


Fig. 215 Puesta a tierra de dos objetos para el transvase de líquidos

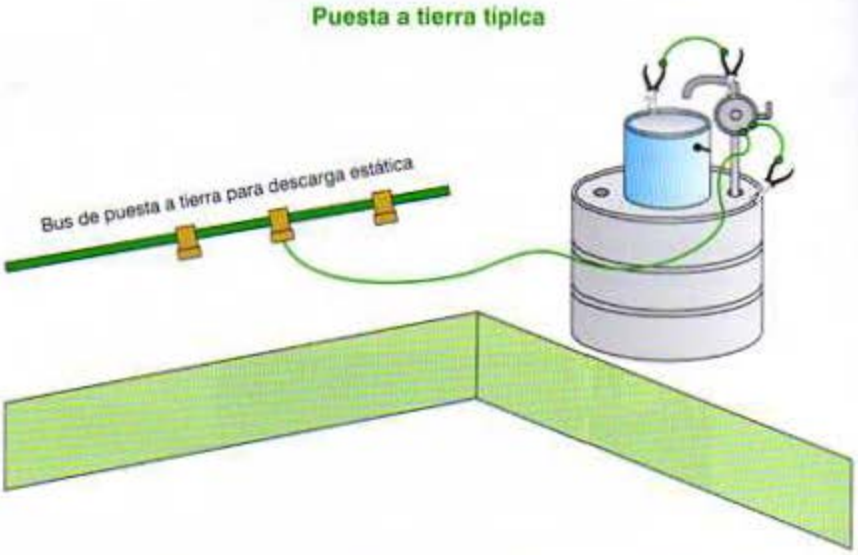


Fig. 216 Puesta a tierra de dos objetos para el transvase de líquidos

Capítulo 20

Puesta a tierra de sistemas eléctricos de acuerdo a IEC

Contenido

Puesta a tierra de sistemas eléctricos de acuerdo a IEC 242

Puesta a tierra de sistemas eléctricos de acuerdo a IEC

Los esquemas de conexión que actualmente se utilizan son los esquemas de conexión a tierra (ECT), se les ha denominado regímenes de neutro, y son los siguientes:

TN – la puesta a neutro

TT – el neutro a tierra

IT – el neutro aislado o impedante

Los tres esquemas tienen una misma finalidad en cuanto a la protección de personas y bienes: el control de los efectos de un defecto de aislamiento.

Para asegurar la protección de las personas y la continuidad del servicio, los conductores y las piezas con tensión deben estar aislados respecto a las carcazas conectadas a tierra.

La instalación eléctrica sufre varias agresiones que originan fallas de aislamiento:

- Durante la instalación de conductores, se puede deteriorar el aislamiento
- Durante la utilización de la instalación eléctrica:
  - El polvo
  - El envejecimiento térmico de los aislamientos: el clima, un número excesivo de conductores en las canalizaciones.
  - Mala ventilación
  - Las armónicas
  - Las sobrecargas
  - Los esfuerzos electrodinámicos que se desarrollan durante un cortocircuito.
  - Las sobretensiones de maniobra o descargas atmosféricas.

Una falla en el aislamiento, presenta un riesgo para:

- La vida de las personas
- La conservación de los bienes
- La continuidad del servicio

Descarga eléctrica por contacto directo

La descarga eléctrica por contacto directo es un **contacto accidental** de una persona con un conductor energizado (fase o neutro) o con una pieza energizada.

El voltaje en baja tensión es 230/400 Volts.

Se toman las siguientes medidas de protección: ubicar las partes energizadas fuera del alcance o aislarlas con aislantes, envolventes o barreras.

Una medida complementaria contra los contactos directos consiste en utilizar los Dispositivos Diferenciales Residuales (DDR) de alta sensibilidad (menor o igual a 30 mA), llamados DDRAS.

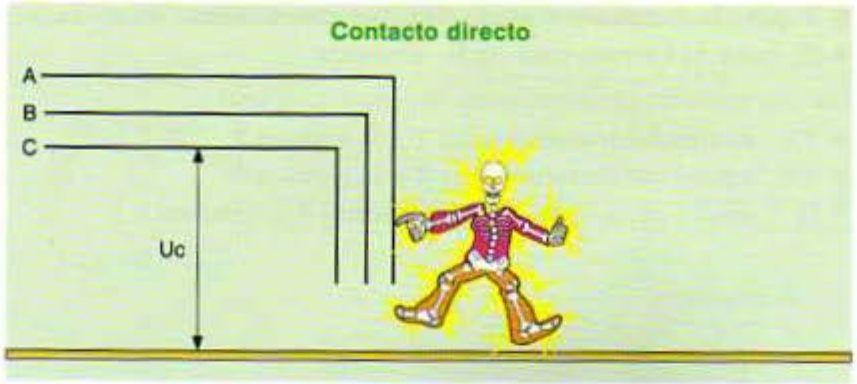


Fig. 217 Contacto directo con partes energizadas

Descarga eléctrica por contacto indirecto

La descarga eléctrica por contacto indirecto **es un contacto de una persona con carcasas o envolventes metálicas energizadas.**

Cuando circula una corriente de falla a tierra provoca una elevación de la tensión entre la carcasa del receptor eléctrico y tierra, aparecerá una tensión de falla que es peligrosa si es mayor a tensión Uc.

Las medidas de protección contra contactos indirectos son:

- La conexión a tierra de las masas de los receptores y equipos eléctricos.
- La equipotencialidad de carcasas o envolventes accesibles simultáneamente.

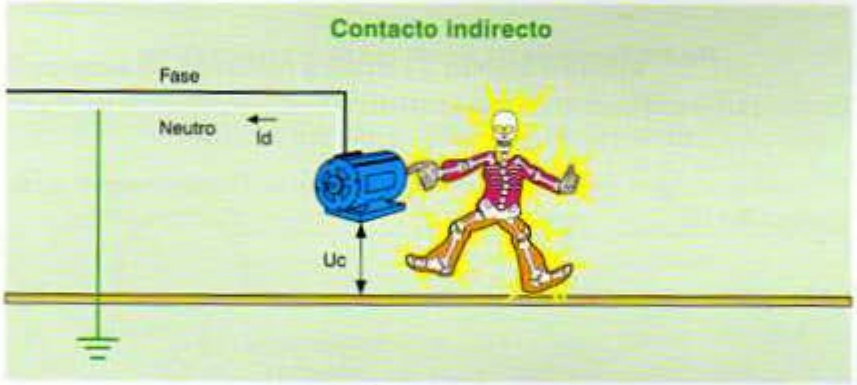


Fig. 218 Contacto indirecto

El esquema de conexión a tierra (ECT) en baja tensión determina la forma de conectar a tierra el neutro del transformador y la manera de poner a tierra las carcasas o envolventes.

La identificación de los esquemas se expresa con dos letras.

La primera letra indica la forma de conexión del neutro del transformador:

- **T para conectado a tierra**
- **I para aislado de tierra**

La segunda letra indica la conexión de las carcazas o envolventes de los equipos.

- **T para la carcasa conectada directamente a tierra**
- **N para la carcasa conectada al neutro**

Las tres posibles combinaciones de conexiones son:

- **TT neutro del transformador T y la carcasa T**
- **TN neutro del transformador T y la carcasa N**
- **IT neutro aislado del transformador I y la carcasa T**

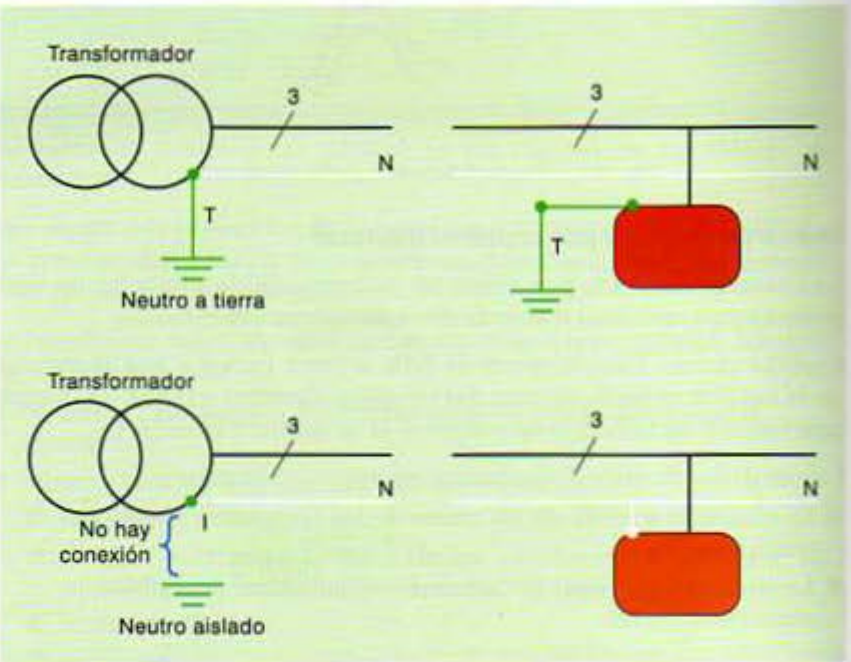


Fig. 219 Representación del neutro a tierra y neutro aislado

En una instalación eléctrica puede existir un solo esquema de conexión a tierra o existir varios esquemas de conexión a tierra.

El conductor que pone a tierra los equipos se llama conductor de protección CP.

20

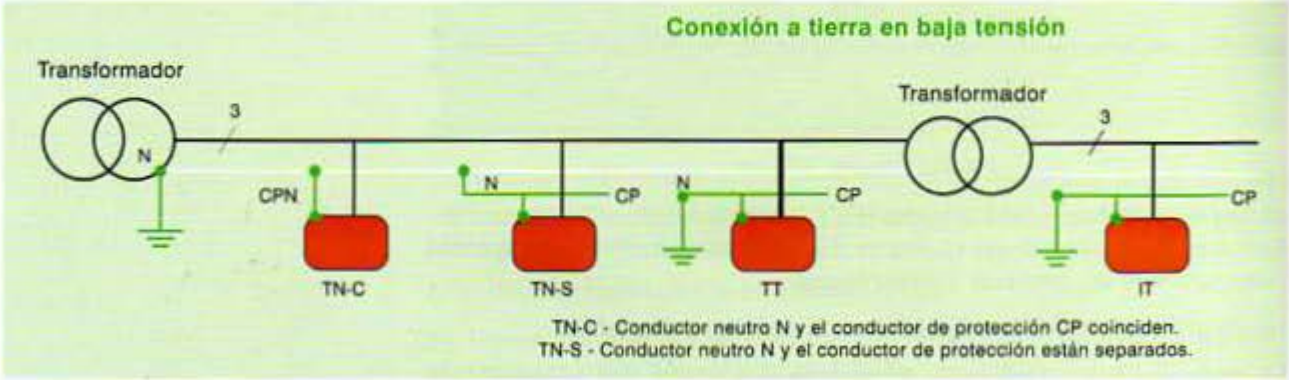


Fig. 220 Formas de conexión a tierra en baja tensión

Esquema de conexión a tierra TN, puesta a neutro

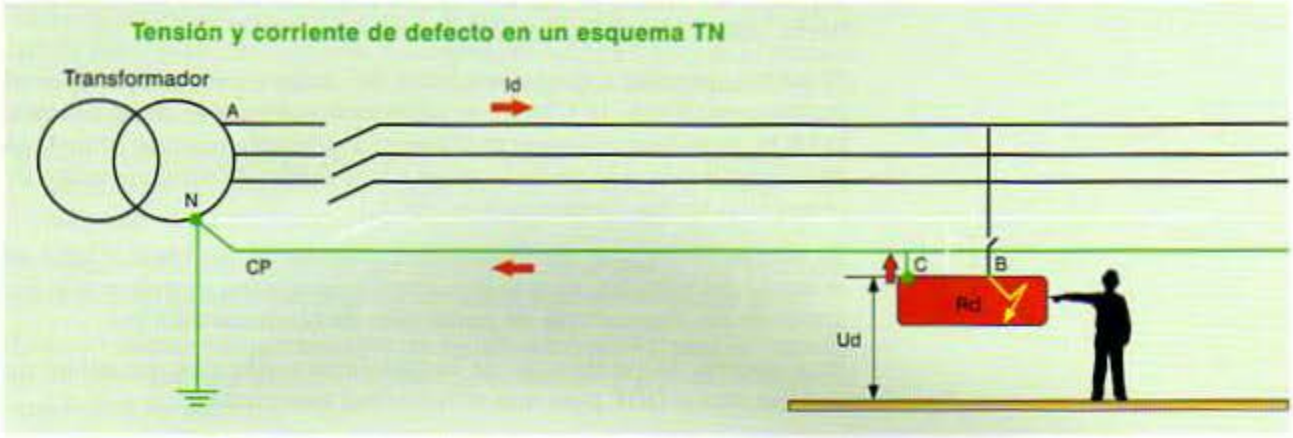


Fig. 221 Esquema de conexión a tierra TN

Cuando ocurre un falla de aislamiento, la corriente de defecto Id está limitada por la impedancia de los conductores.

Es necesario asegurar la desconexión automática e inmediata de la instalación o parte de la misma, por medio de un dispositivo de protección contra cortocircuitos (DPCC).

La corriente de defecto Id debe ser mayor al umbral de funcionamiento instantáneo de la protección Ia, es decir Id > Ia.

Esta condición debe de comprobarse durante el diseño eléctrico de la instalación, con los cálculos de defecto en cado uno de los circuitos de distribución.

Esquema de conexión a tierra TT, puesta a neutro

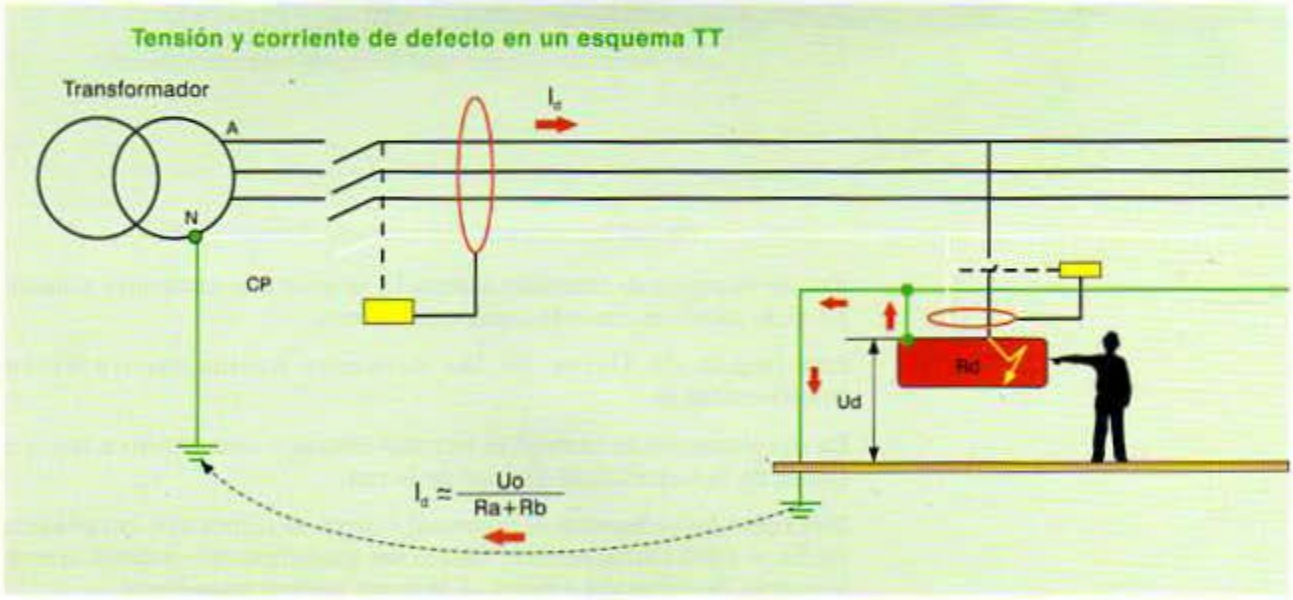


Fig. 222 Esquema de conexión a tierra TT, puesta a neutro

Cuando ocurre una falla de aislamiento en la instalación eléctrica, la corriente de falla o de defecto, queda limitada por las resistencias a tierra, cuando las tierras no son las mismas.

Si las resistencias a tierra son bajas del mismo orden de magnitud (aproximadamente 10 Ohms), se producirá una tensión peligrosa; por lo tanto, es necesario asegurar la desconexión automática e inmediata de la instalación o parte de la misma, por medio de un dispositivo de protección contra cortocircuitos (DPCC).

Es necesario instalar un Dispositivo Diferencial Residual (DDR) en el inicio del circuito, ya que la corriente de defecto es menor a la del ajuste de los dispositivos de protección de corriente máxima.

Para mejorar la protección de la instalación eléctrica, se deben de instalar varios DDR para una selectividad apropiada.

La desconexión de la tensión a través de un DDR se debe realizar en menos de un segundo.

Esquema de conexión a tierra IT, neutro aislado.

Tensión y corriente de defecto de aislamiento en un esquema IT

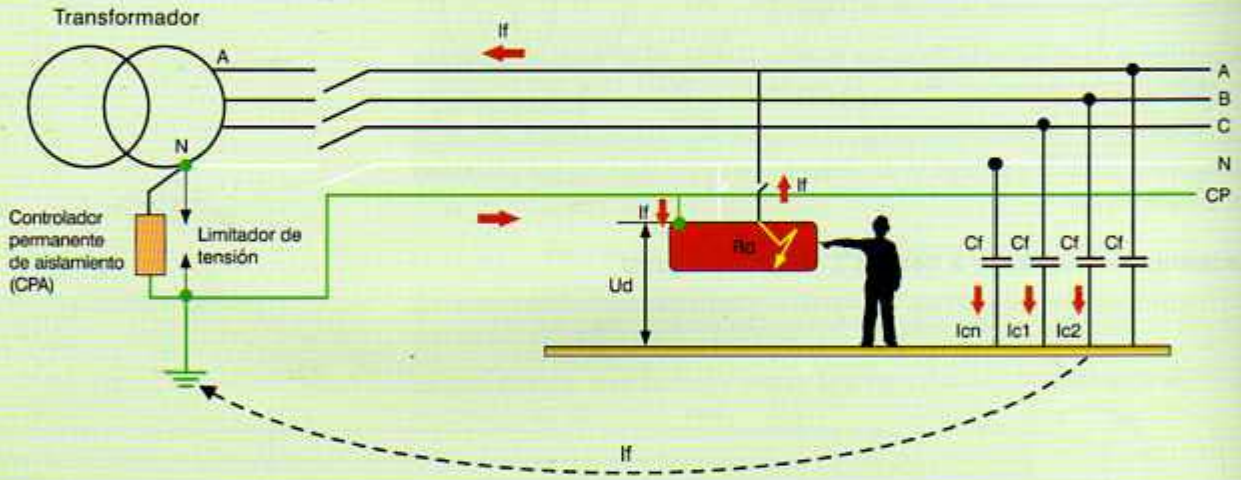


Fig. 223 Esquema de conexión a tierra IT, neutro aislado

En este esquema de conexión a tierra IT, el neutro se encuentra aislado, en otras palabras, no está conectado a tierra.

Las tomas de tierra de las carcasas normalmente están interconectadas.

En funcionamiento normal el sistema eléctrico esta puesto a tierra a través de la impedancia de fuga de la red.

Para fijar adecuadamente el potencial a tierra, se coloca una impedancia de Zn = 1500 Ohms entre el neutro del transformador y tierra, a este esquema de conexión a tierra se le llama **neutro impedante**.

Primer fallo

Cuando ocurre el primer fallo en la instalación eléctrica, cuando Rb = 10 Ohms, y para una corriente de defecto Id = Uo x 3 Cf x w, la tensión que se presentará no es muy peligrosa por lo que el sistema eléctrico seguirá en servicio.

- Con neutro impedante la tensión de defecto o de falla resulta débil, y no es peligrosa por lo que el sistema eléctrico puede mantenerse en servicio.

Es necesario contar con una alarma que indique que existe una falla, para buscarla y eliminarla antes de que ocurra una segunda falla.

Con el controlador permanente de aislamiento (CPA), que su función es de estar supervisando los conductores de fase y al neutro, indicará que existe un defecto.

Segundo fallo

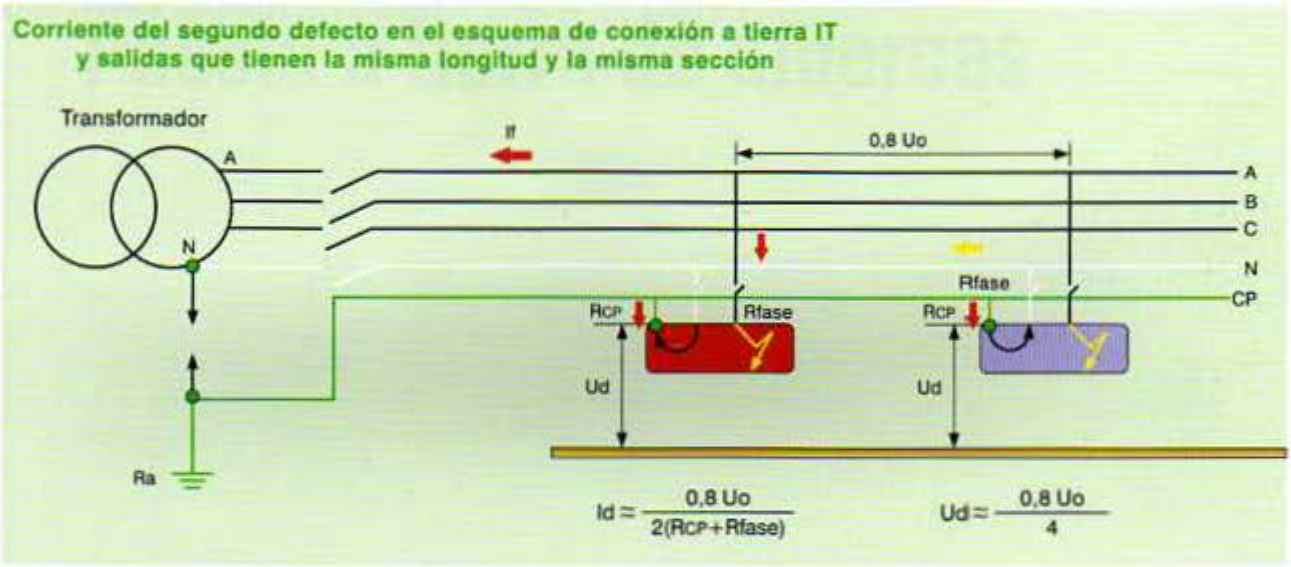


Fig. 224 Esquema de conexión a tierra IT, neutro aislado con una segunda falla

Si no se ha eliminado la primera falla y aparece otra falla se dan las siguientes situaciones:

1 Si la falla afecta a la misma fase no ocurre nada y el sistema eléctrico puede seguir en servicio.
2 Si la falla afecta a dos fases diferentes y todas las carcasas o envolventes están interconectadas, la falla es un doble cortocircuito a través del conductor de protección **CP.**

El riesgo eléctrico de electrocución es el similar al que se pueda presentar en el esquema de conexión a tierra **TN.**

3 Si la falla afecta a dos fases diferentes y todas las carcasas no se encuentran interconectadas.

Cuando las carcasas o las envolventes se encuentran puestas a tierra individualmente o por grupos de circuitos, se deberá de proteger por un DDR.

El fallo de aislamiento que se presenta es similar al del esquema de conexión a tierra TT; es decir, la corriente de falla pasa a través de la tierra.

Capítulo 21

Puesta a tierra de albercas

Contenido

Puesta a tierra de albercas 250
680-22 Puentes de Unión 250
680-24 Puesta a tierra. 251
680-25. Métodos de puesta a tierra. 251

Puesta a tierra de albercas

El objetivo de la puesta a tierra de albercas a través de los puentes de unión de todas las partes metálicas y la puesta a tierra de todos los componentes metálicos, es para que todo este al mismo potencial, el potencial de tierra.

Esto elimina una descarga eléctrica que puede ser inducida o conectada al metal fuera de la alberca por cualquier falla a tierra, que por una u otra razón el dispositivo de protección contra sobrecorriente no libere la falla.

Sección 680-22. Puentes de Unión

a) Las partes indicadas a continuación deben de estar interconectadas:

1) Todas las partes metálicas de la estructura de la alberca, incluyendo el metal reforzado de la misma, brocal y cubierta.

2) Todas las envolventes de los porta-luminarias.

3) Todos los accesorios metálicos que estén dentro o fijados a la estructura de la alberca.

4) Las partes metálicas de equipo eléctrico relacionado con la circulación de agua de la alberca, incluyendo los motores de la bomba.

5) Las partes metálicas del equipo relacionado con las envolventes de la alberca, incluyendo los motores eléctricos.

6) Los tubos metálicos, tubo (conduit) y todas las partes metálicas fijas que estén dentro de una distancia de 1,5 mts de las paredes internas de la alberca, 3,6 mts sobre el nivel máximo del agua de la alberca o de cualquier torre o plataforma de observación, cualquier estructura de clavados y que no estén separados de la alberca por una barrera permanente.

b) Malla común de conexión

Todas las partes metálicas deben de conectarse a la malla común con un conductor sólido de cobre aislado, cubierto o desnudo, de tamaño nominal no menor al No.8 AWG.

Las conexiones se deberán de realizar con conectadores de presión o abrazaderas de cobre, bronce o aleación de cobre.

La malla común puede ser:

1) El acero estructural de refuerzo de la alberca.

2) Las paredes de la alberca metálica, atornillada o soldada.

3) Un conductor sólido de cobre aislado, cubierto o desnudo, de tamaño nominal no menor al No.8 AWG.

Sección 680-24. Puesta a tierra

El siguiente equipo eléctrico debe ser puesto a tierra:

1) Luminarias subacuáticas de nicho mojado.

2) Luminarias subacuáticas de nicho seco.

3) Todo el equipo eléctrico instalado dentro de 1.5 mts de las paredes interiores de la alberca de nicho seco debe ser puesto a tierra mediante de la terminal de puesta a tierra del equipo. Esta terminal debe estar directamente conectada a la envolvente del tablero.
El conductor de puesta a tierra del equipo se debe instalar sin uniones ni empalmes.

4) Todo equipo eléctrico relacionado con el sistema de recirculación de agua de la alberca.

5) Cajas de empalmes.

6) Envolventes de los transformadores.

7) Interruptores de circuito por falla a tierra.

8) Tablero de alumbrado y control que no formen parte del equipo de acometida y que alimente a cualquier equipo eléctrico de la alberca.

Sección 680-25. Métodos de puesta a tierra

a) Disposiciones generales

Se deben aplicar las disposiciones siguientes para la puesta a tierra de luminarias subacuáticas, cajas de empalmes metálicas, envolventes metálicas de transformadores, paneles de alumbrado y control, motores y otras envolventes y equipos.

b) Luminarias en albercas y equipo relacionado

1) Las luminarias de nicho mojado deben conectarse a un conductor de puesta a tierra de equipo, con tamaño nominal con lo indicado en la Tabla 250-95, pero que no debe ser menor al No. 12 AWG.
El conductor de puesta a tierra debe ser de cobre aislado y ser alojado con los conductores del circuito.

2) La caja de empalmes, la envolvente del transformador u otra envolvente, en el circuito de alimentación de una luminaria de nicho mojado y la cámara de alambrado hecha en obra para la luminaria de nicho seco, deben ser puestos a tierra a través de la terminal para puesta a tierra del equipo del panel de alumbrado y control.

Esta terminal debe estar directamente conectada a la envolvente del panel de alumbrado y control.

El conductor de puesta a tierra del equipo debe instalarse sin uniones ni empalmes.

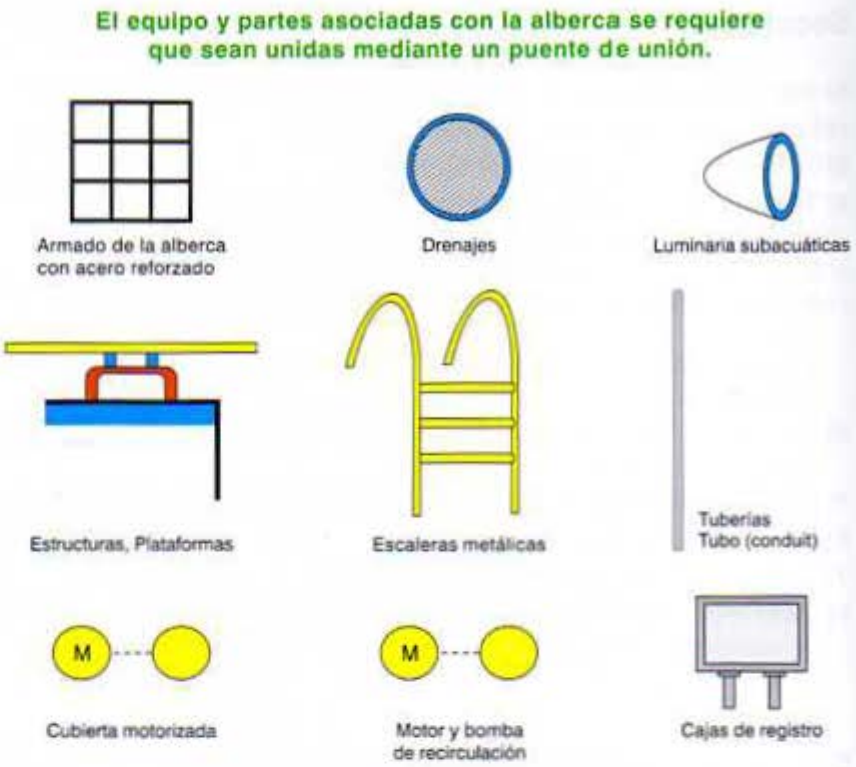


Fig. 225 Equipos y partes asociadas con una alberca

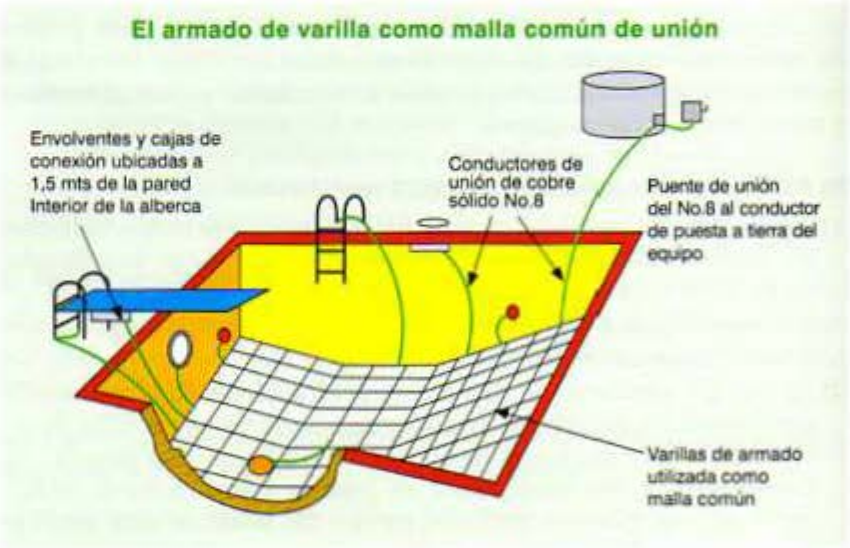


Fig. 226 Puentes de unión a las partes y equipos asociados con una alberca

Capítulo 22

Conductor del electrodo de puesta a tierra de instalaciones de c.a.

Contenido

Tabla 250- 94 Conductor del electrodo de puesta a tierra de instalaciones de c.a.. 254

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

Tamaño nominal del mayor conductor de fase de entrada a la acometida o sección equivalente de conductores en paralelo mm² (AWG o kcmil)		Tamaño nominal del conductor al electrodo de puesta a tierra mm² (AWG o kcmil)	
Cobre	**Aluminio**	**Cobre**	**Aluminio**
33,62 (2) o menor	53,48 (1/0) o menor	8,367 (8)	13,3 (6)
42,41 ó 53,48 (1 ó 1/0)	67,43 ó 85,01 (2/0 ó 3/0)	13,3 (6)	21,15 (4)
67,43 ó 85,01 (2/0 ó 3/0)	4/0 ó 250 kcmil	21,15 (4)	33,62 (2)
Más de 85,01 a 177,3 (3/0 a 350)	Más de 126,7 a 253,4 (250 a 500)	33,62 (2)	53,48 (1/0)
Más de 177,3 a 304,0 (350 a 600)	Más de 253,4 a 456,04 (500 a 900)	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
Más de 304 a 557,38 (600 a 1100)	Más de 456,04 a 886,74 (900 a 1750)	67,43 (2/0)	107,2 (4/0)
Más de 557,38 (1100)	Más de 886,74 (1750)	85,01 (3/0)	126,7 (250)

Cuando se usen varios grupos de conductores de entrada a la acometida, como permite la Sección 230-40 Excepción 2, la sección transversal equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida se debe calcular por la mayor suma de las secciones transversales de los conductores de cada grupo.

Cuando no haya conductores de entrada a la acometida, la sección transversal del conductor al electrodo de puesta a tierra se debe calcular por la sección transversal equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida de acuerdo con la corriente eléctrica de carga calculada.

Véanse las restricciones de instalación en 250-92(a).

NOTA: Para el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra de una instalación de c.a. conectado con el equipo de la acometida, véase 250-23(b).

Capítulo 23

Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos

Contenido

Tabla 250-95. Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos. 256

Tabla 250-95. Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos

Capacidad o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. (A)	Tamaño nominal mm² (AWG o kcmil)	
	Cable de cobre	Cable de aluminio
15	2,082 (14)	—
20	3,307 (12)	—
30	5,26 (10)	—
40	5,26 (10)	—
60	5,26 (10)	—
100	8,367 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,15 (4)
300	21,15 (4)	33,62 (2)
400	33,62 (2)	42,41 (1)
500	33,62 (2)	53,48 (1/0)
600	42,41 (1)	67,43 (2/0)
800	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
1000	67,43 (2/0)	107,2 (4/0)
1200	85,01 (3/0)	126,7 (250)
1600	107,2 (4/0)	177,3 (350)
2000	126,7 (250)	202,7 (400)
2500	177,3 (350)	304 (600)
3000	202,7 (400)	304 (600)
4000	253,4 (500)	405,37 (800)
5000	354,7 (700)	608 (1200)
6000	405,37 (800)	608 (1200)

Véanse limitaciones a la instalación en 250-92(a)

Nota: Para cumplir con lo establecido en 250-51, los conductores de tierra de los equipos podrían ser de mayor tamaño que lo especificado en esta Tabla.

Capítulo 24

Cambios al NEC® 1999

Contenido

Cambios al NEC® 1999. 258

Cambios al NEC® 1999

Artículo 250
(National Electrical Code 1999)

El Artículo 250 fue reorganizado para crear un arreglo lógico y hacer más fácil la localización por parte de los usuarios

En el apéndice "E" se indica la relación con el NEC®-1996

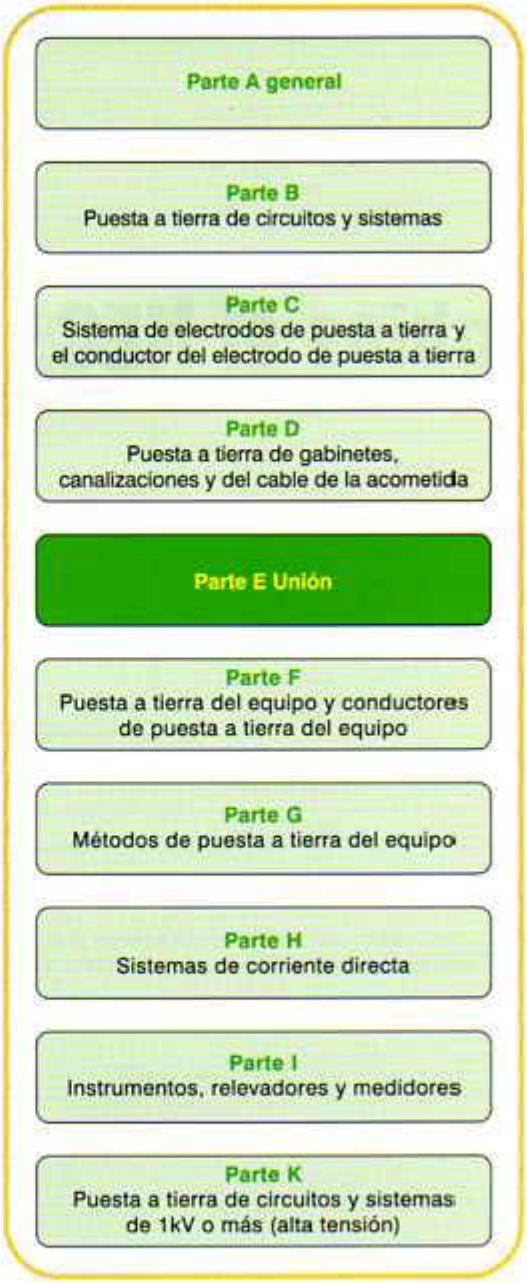
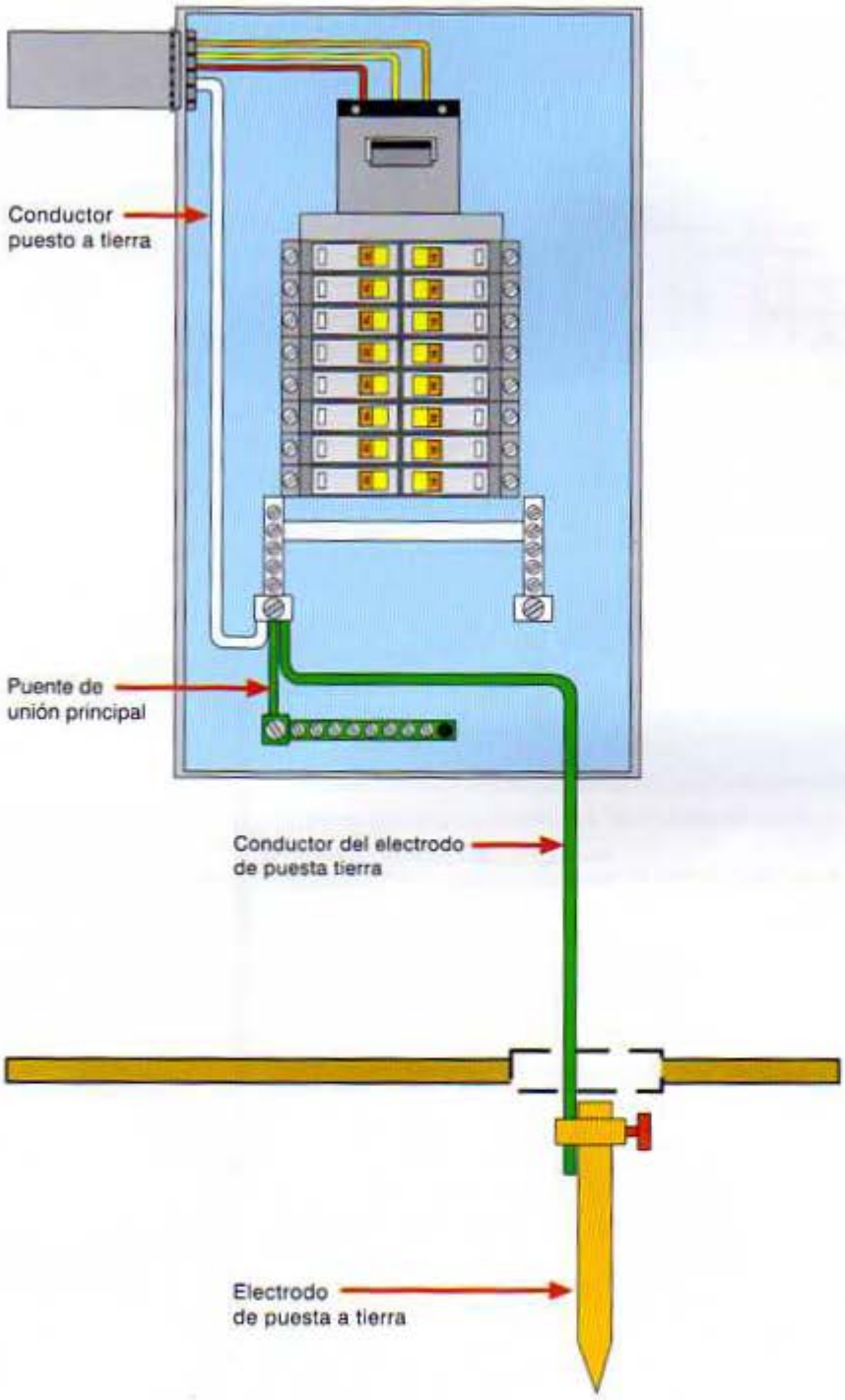


Fig. 227 Reorganización del artículo 250

Sección 250-24 Puesta a tierra de sistemas de corriente alterna alimentados de una acometida



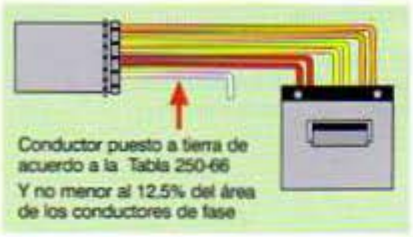
El sistema de alambrado que está alimentado por una acometida de c.a. que está puesta a tierra deberá tener en cada servicio un conductor del electrodo de puesta a tierra conectado al electrodo(s) de puesta a tierra requerido en la parte C del Artículo 250.

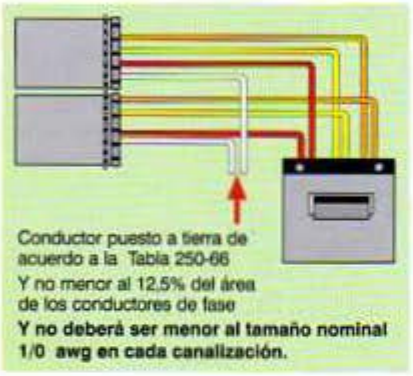
El conductor del electrodo de puesta a tierra debera conectarse al conductor puesto a tierra.

Fig. 228 Se aclara la puesta a tierra de sistemas de corriente alterna alimentados desde una acometida

Sección 250-24 Puesta a tierra de sistemas de corriente alterna alimentados de una acometida

Alimentadores en paralelo





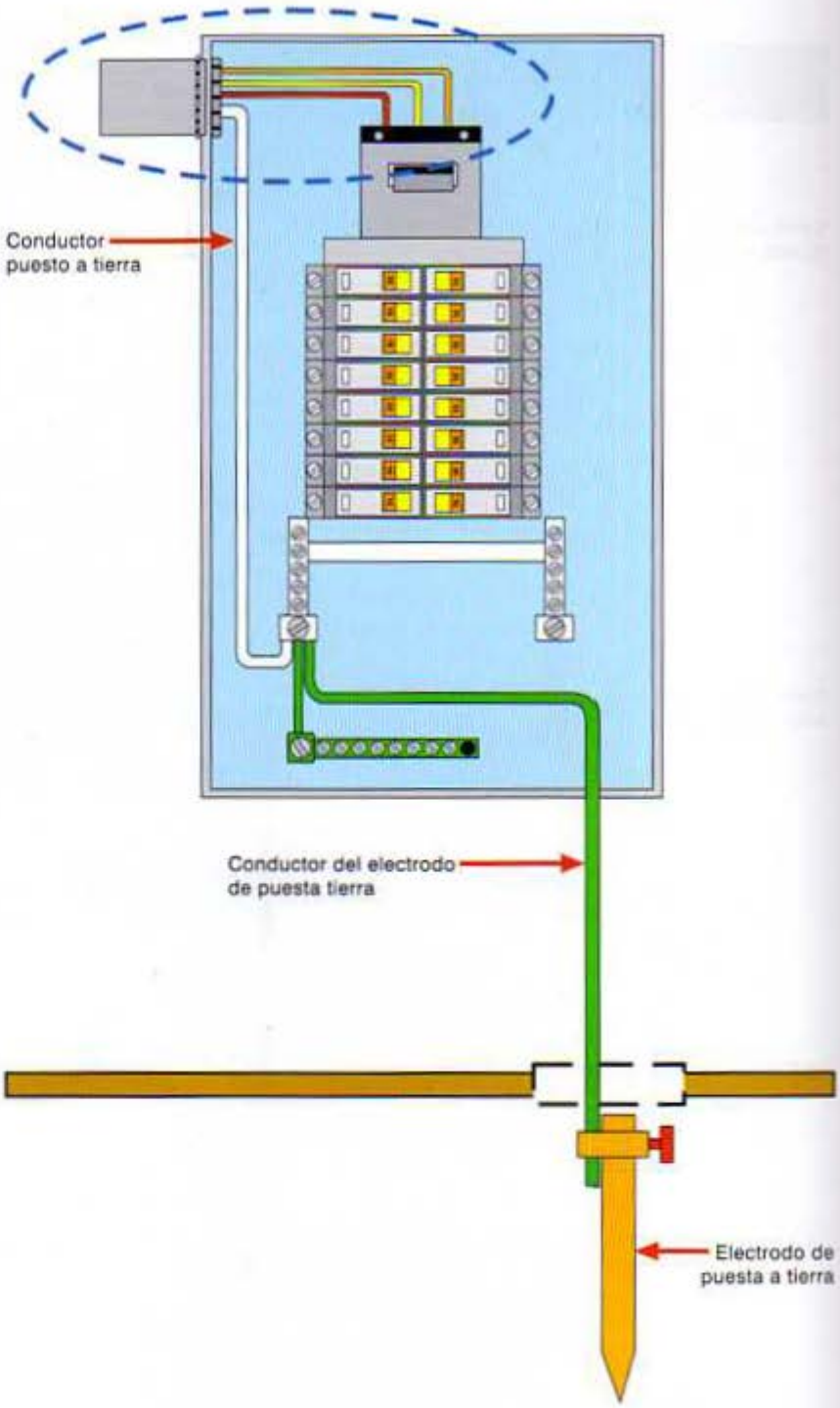
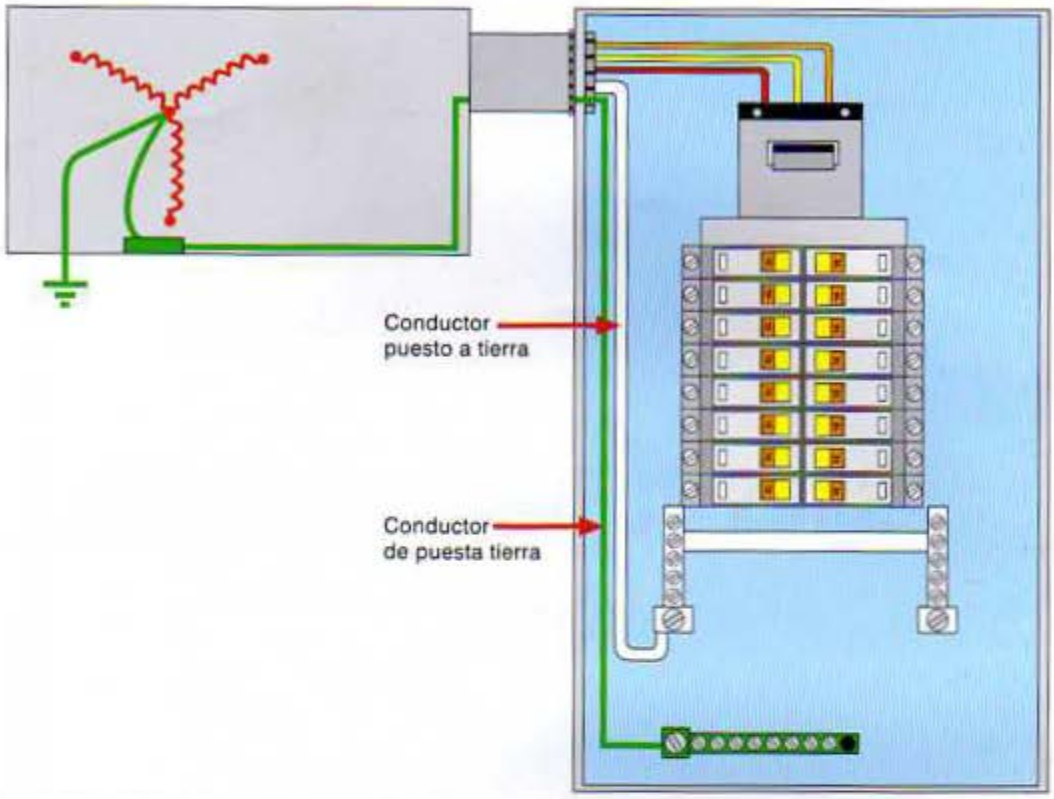


Fig. 229 Cálculo del conductor puesto a tierra de sistemas de corriente alterna alimentados desde una acometida

Sección 250 -24 (b)(2) Puesta a tierra de sistemas derivados separados de corriente alterna



El puente de unión se permite en un solo lugar a menos que otro puente de unión no crea una trayectoria paralela.

El electrodo de puesta a tierra generalmente esta conectado en el mismo lugar que el puente de unión.

El electrodo de puesta a tierra, deberá estar lo mas cercano a:

1 A un miembro de la estructura metálica efectivamente puesto a tierra.
2 A una tubería metálica de agua con 1,5 mts dentro de la estructuras.
3 Otros electrodos de puesta a tierra si no están disponibles.

Fig. 230 Puesta a tierra de un sistema derivado separado

Capítulo 25

Cambios al NEC® 2002

Contenido

Cambios al NEC® 2002. 264

Cambios al NEC® 2002

Las definiciones de los términos y los conceptos utilizados en 250.4 fundamentan el funcionamiento del Artículo 250.

Estas definiciones clarifican los requerimientos de funcionamiento para la puesta a tierra y los puentes de unión.

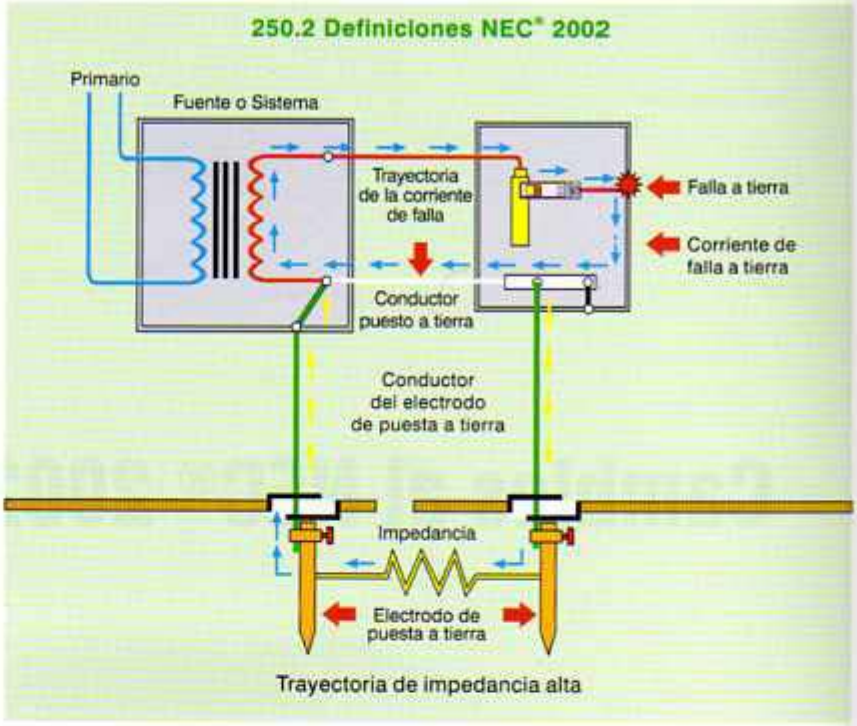


Fig. 231 Definiciones

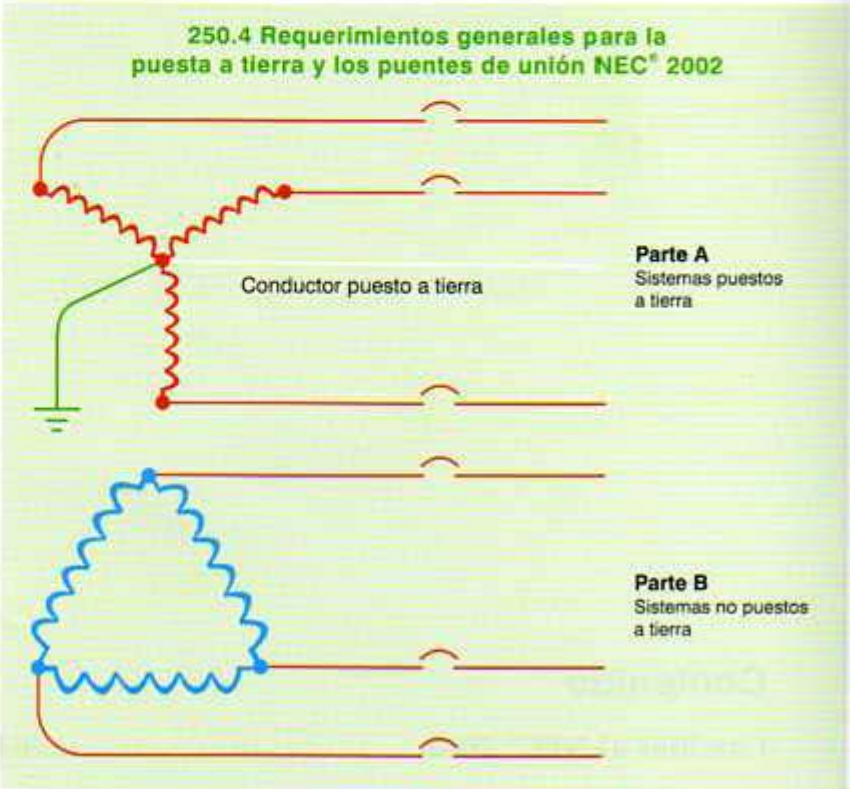


Fig. 232 Requerimientos generales

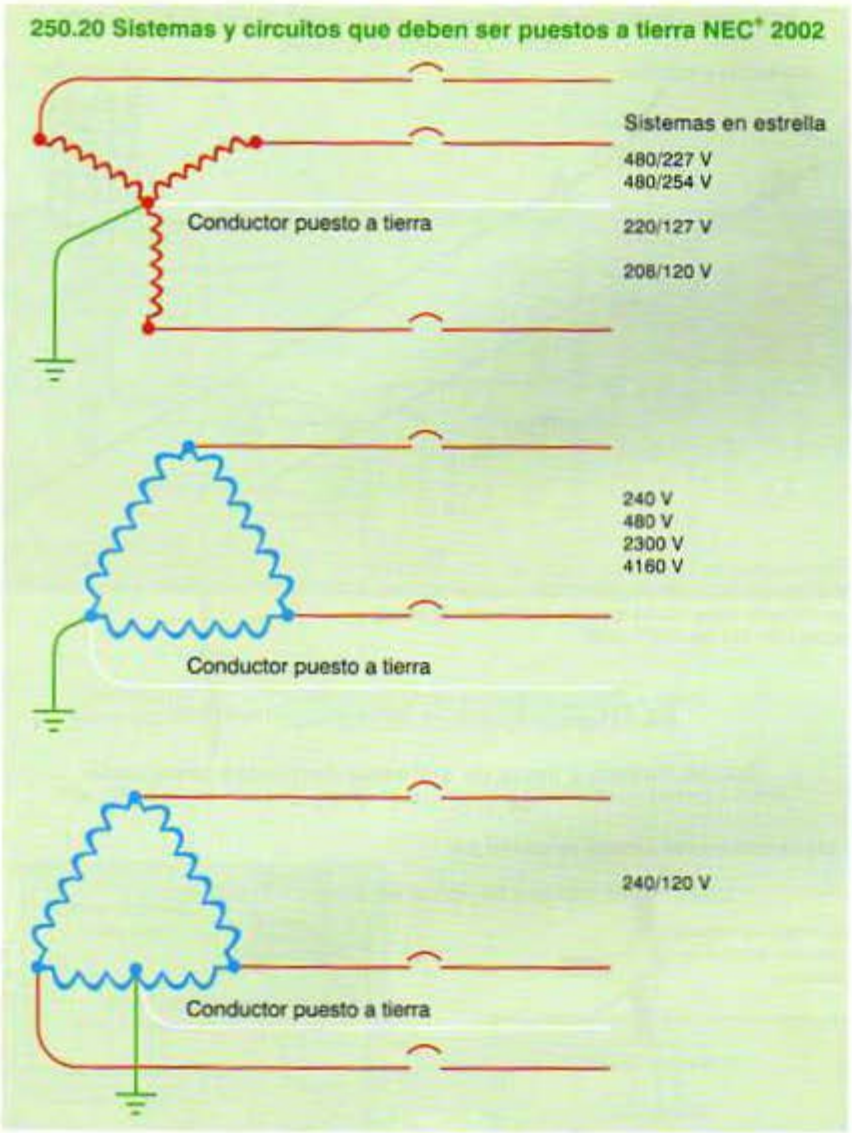


Fig. 233 Sistemas y circuitos que deben ser puestos a tierra

250.22 Circuitos que no deben ser puestos a tierra NEC® 2002

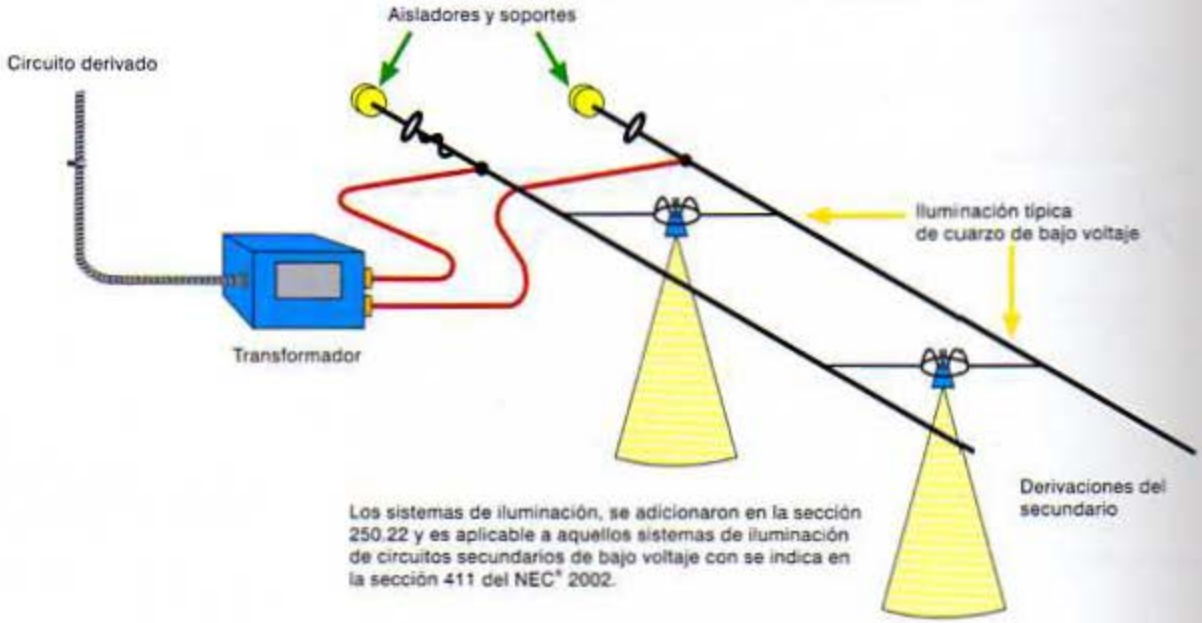


Fig. 234 Circuitos que no deben ser puestos a tierra

250.30 Puesta a tierra de sistemas derivados separados de C.A. NEC® 2002

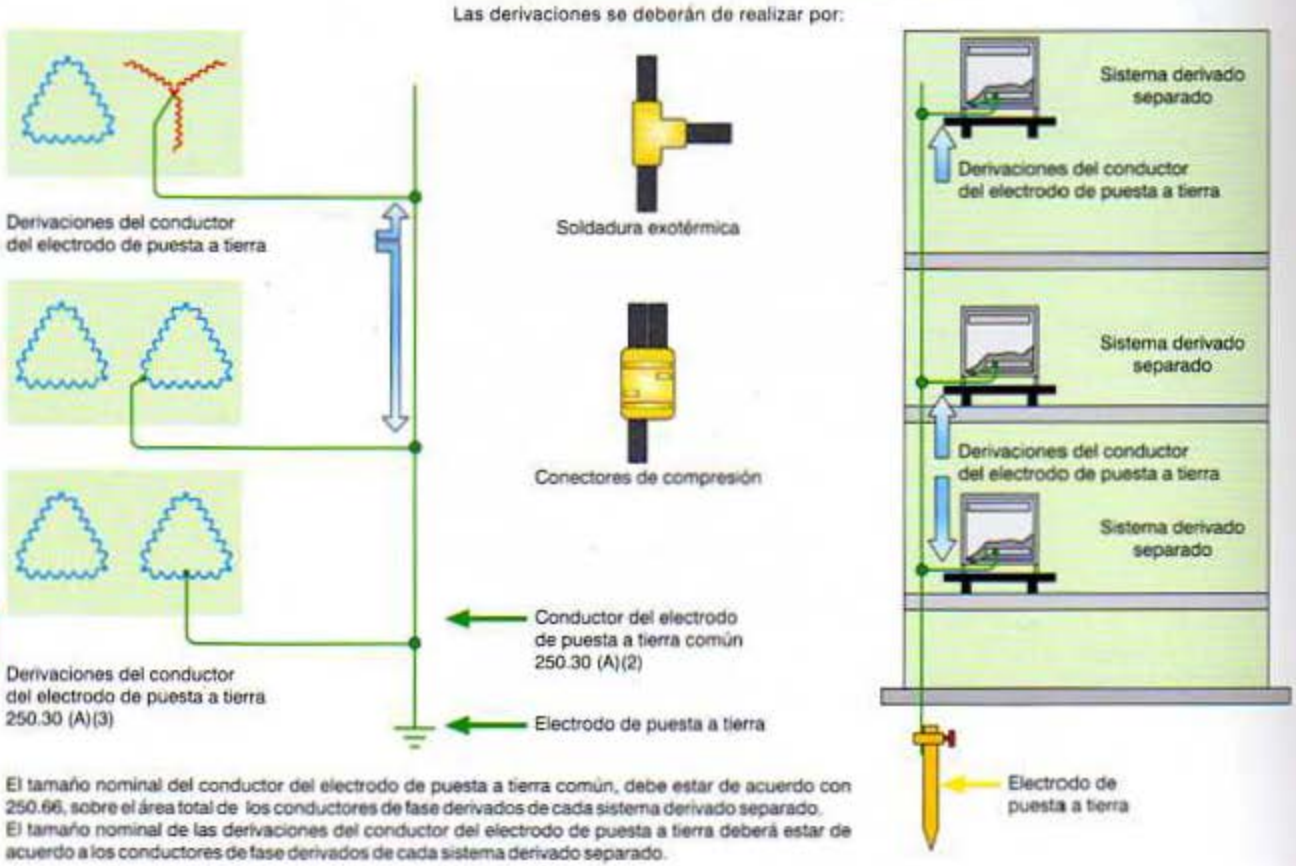


Fig. 235 Conductor del electrodo de puesta a tierra común

250.30 (A)(4) Excepción, conductor del electrodo de puesta a tierra NEC® 2002

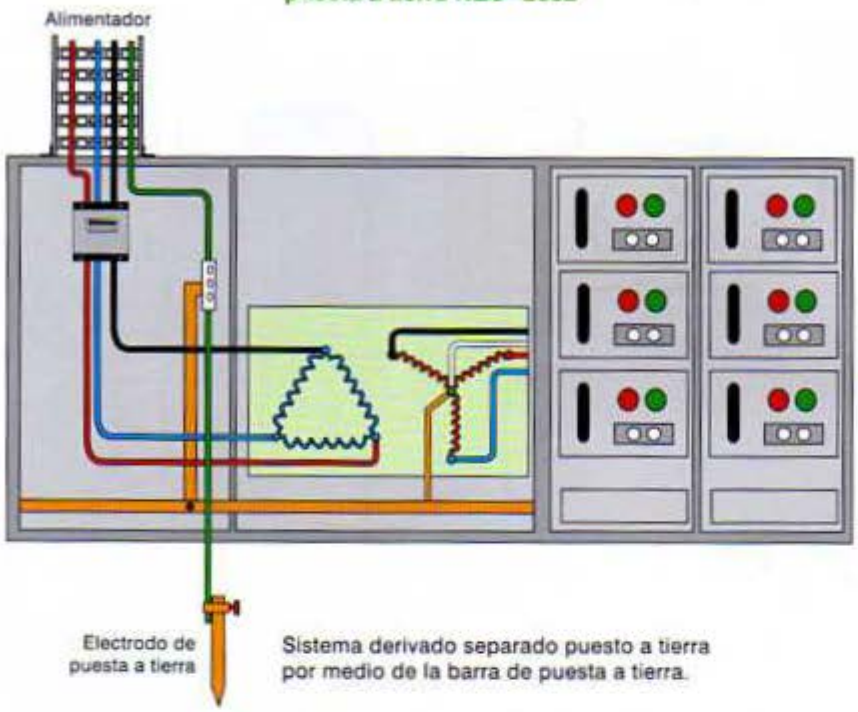
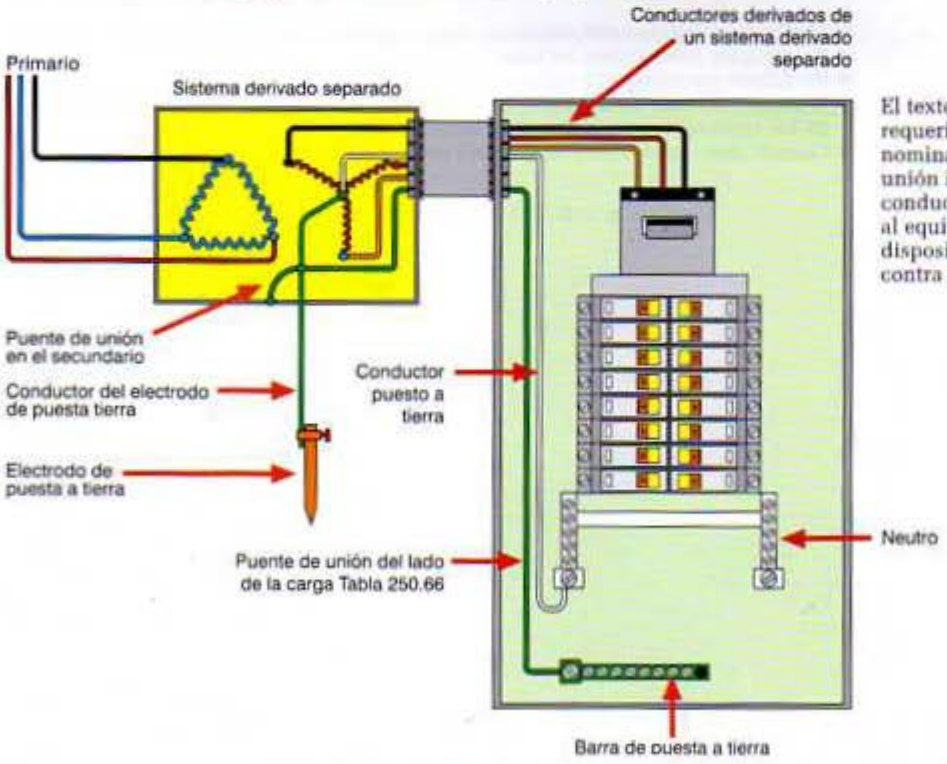


Fig. 236 Uso de una barra como conductor del electrodo de puesta a tierra

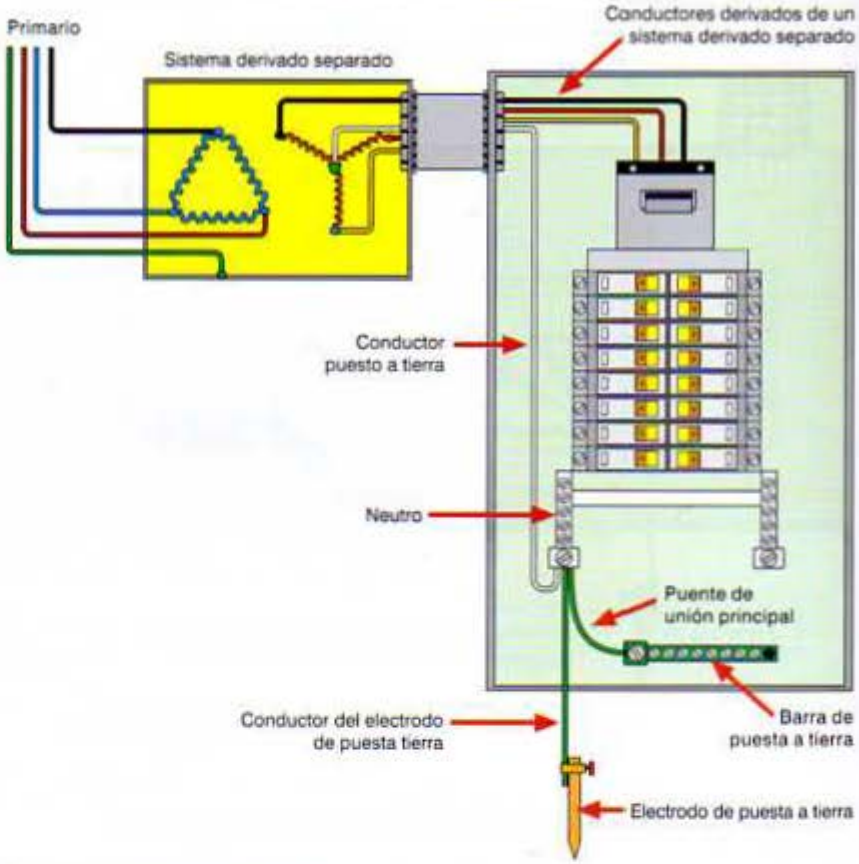
250.30 (A)(5) Puente de unión al equipo NEC® 2002



El texto clarifica los requerimientos del tamaño nominal para el puente de unión instalado con los conductores de fase derivados al equipo o al primer dispositivo de protección contra sobrecorriente.

Fig. 237 Puente de unión al equipo

250.30 (A)(6) Conductor puesto a tierra ruta y tamaño nominal NEC® 2002

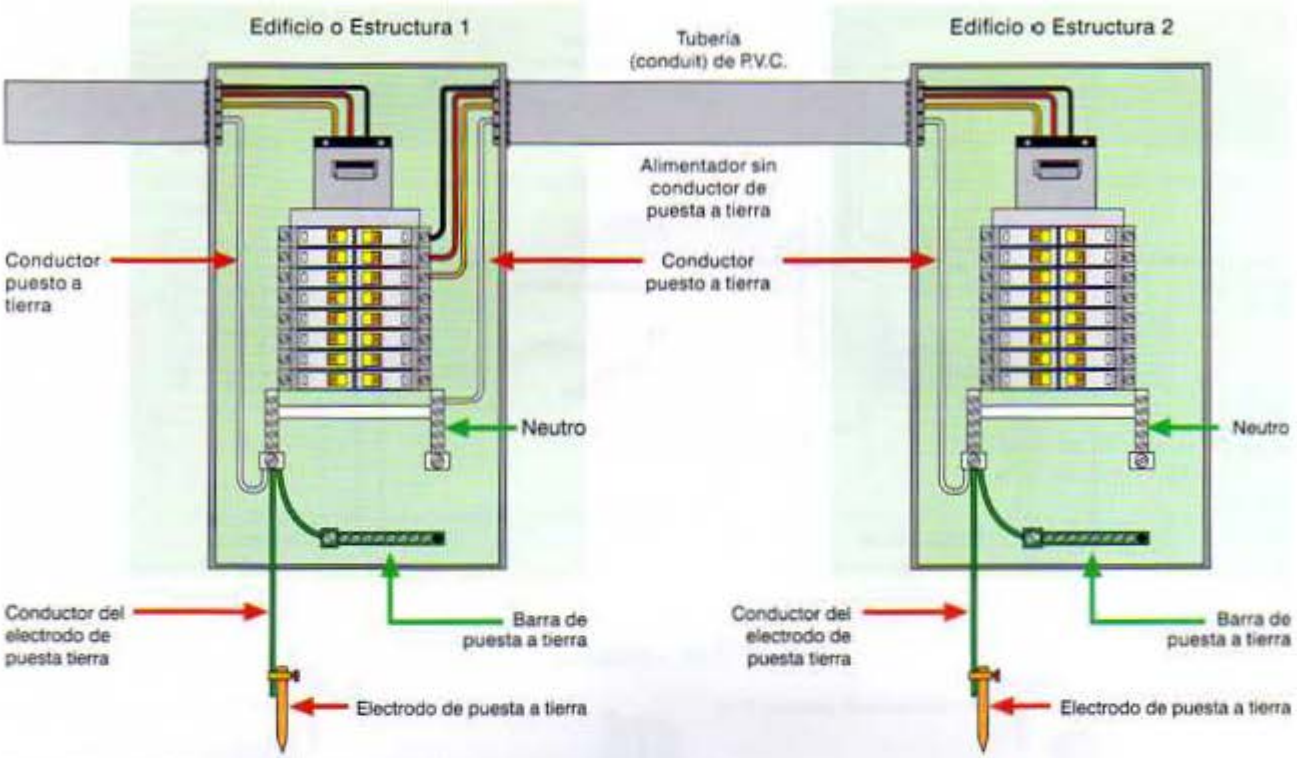


El conductor puesto a tierra debe:

- Ir junto a los conductores de fase.
- No deberá ser menor al conductor del electrodo de puesta a tierra.
- El tamaño nominal se basará en la tabla 250.66 ó por la regla del 12,5% del área total de los conductores de fase cuando rebase 1100 KCM.
- Cuando sean conductores en paralelo por 250.24 (B)(2).

Fig. 238 Ruta del conductor puesto a tierra

250.32 (B)(2) Uso del conductor puesto a tierra NEC® 2002



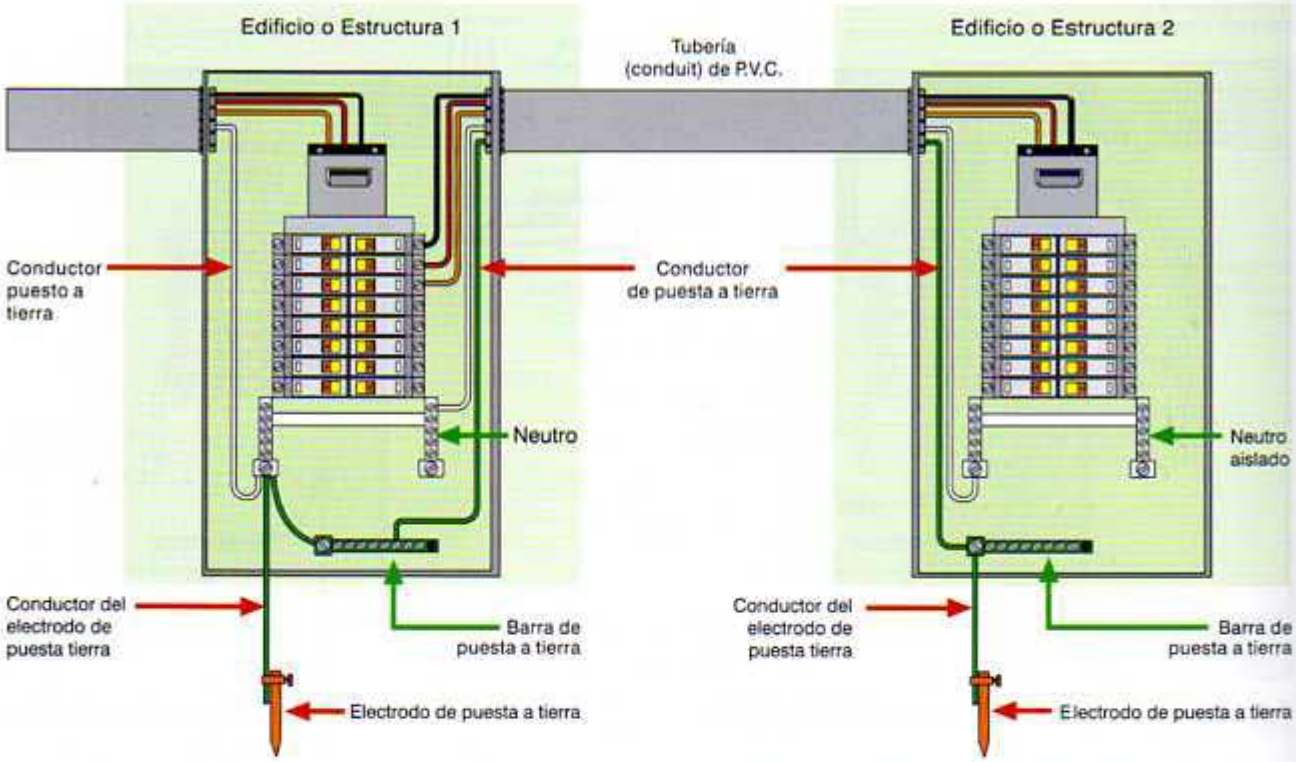
El tamaño nominal del conductor puesto a tierra será:

- No menor al requerido por 220.22
- No menor al requerido por 250.122

El uso del conductor puesto a tierra es limitado porque existen otras trayectorias entre los edificios

Fig. 239 Dos o más edificios alimentados por una acometida

250.32 (B)(1) Uso del conductor de puesta a tierra



El conductor de puesta a tierra del edificio 2 ahora, deberá de referenciarse al conductor del electrodo de puesta a tierra.

El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra de edificios separados deberá estar basado en la Tabla 250.66.

Fig. 240 Conductor de puesta a tierra en dos o más edificios alimentados por una acometida

250.36 (G) Tamaño nominal del puente de unión del equipo NEC® 2002

Sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.

Provee un mínimo tamaño nominal del puente de unión del equipo y la consideración del punto de conexión con el conductor del electrodo de puesta a tierra.

Cuando la conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra esta conectado en el primer medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente, el tamaño nominal del puente de unión del equipo, deberá ser del mismo tamaño nominal que el del neutro, de acuerdo a 250.36(B).

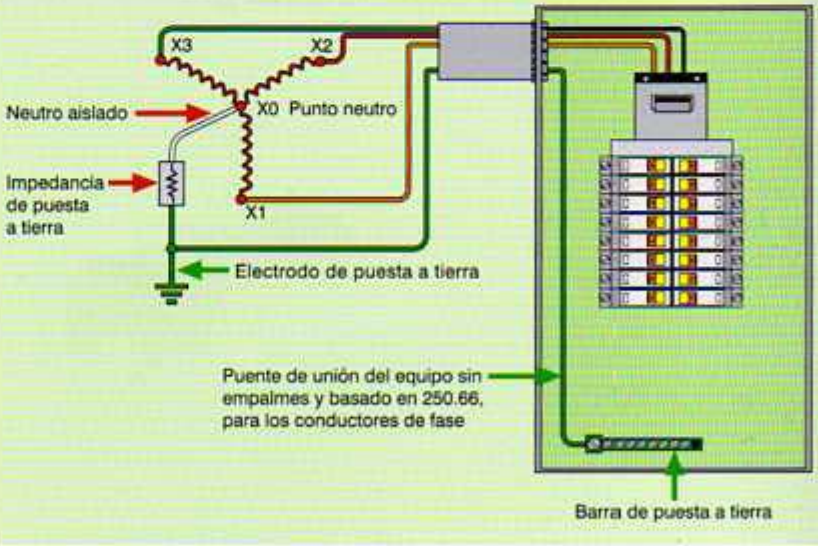


Fig. 241 Sistema con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia

250.50 Sistema de electrodos de puesta a tierra NEC® 2002



(A)(1) Tubería metálica de agua subterránea



(A)(2) La estructura del edificio



(A)(3) Electrodo empotrado en concreto



(A)(4) Anillo de tierra



(A)(5) Electrodos de varilla y tubería



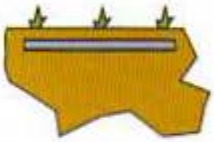
(A)(6) Electrodo de placa



(A)(7) Otros sistemas de tuberías metálicas subterráneas o estructuras

Fig. 242 Sistema de electrodos de puesta a tierra

250.52 (A) Electrodos de puesta a tierra permitidos NEC® 2002



(A)(1) Tubería metálica de agua subterránea:
En contacto directo con la tierra 3 mts. o más.



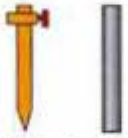
(A)(2)La estructura del edificio:
Que este efectivamente puesta a tierra



(A)(3)Electrodo empotrado en concreto:
Mínimo 50 mm de concreto en contacto directo con la tierra, 6 mts. de una o más varillas de 13 mm de diámetro mínimo o una barra de cobre con una longitud de 6 mts. no menor al No. 4 AWG.



(A)(4) Anillo de tierra:
Debe estar en contacto directo con la tierra y una longitud mínima de 6 mts. y el tamaño nominal mínimo del No. 2 AWG de cobre.



(A)(5) Electrodos de varilla y tubería:
2,5 mts de largo mínimo, diámetro mínimo 15,87 mm (5/8")



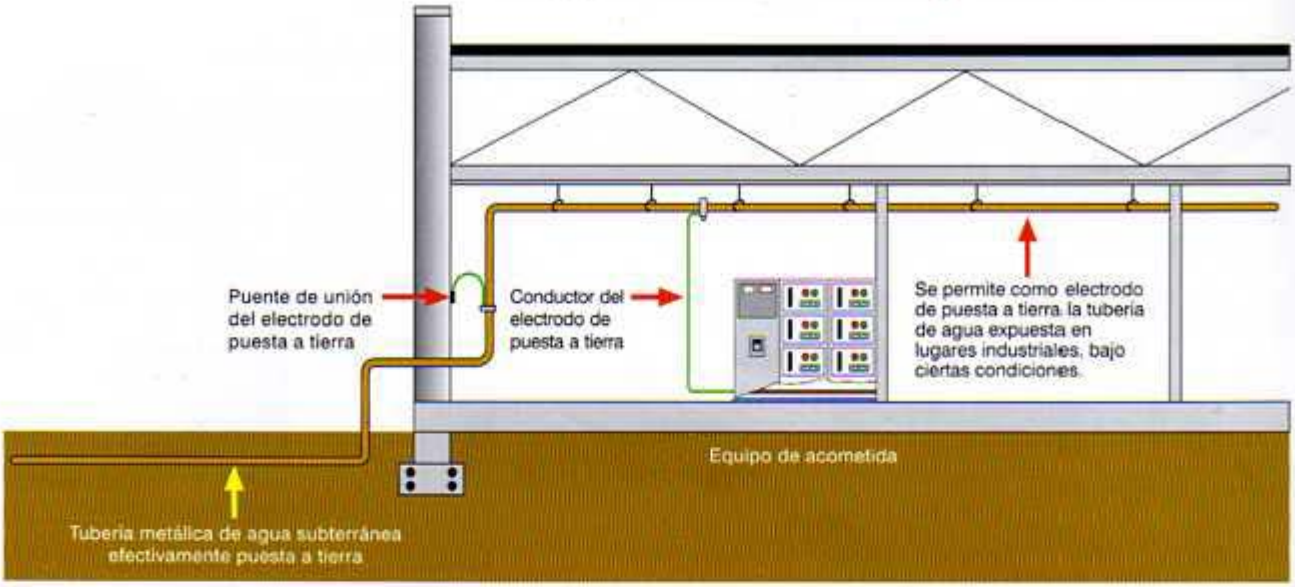
(A)(6) Electrodo de placa:
Superficie mínima de 0,186 m^2, espesor mínimo de 6,4 mm



(A)(7)Otros sistemas de tuberías metálicas
subterráneas o estructuras y tanques subterráneos

Fig. 243 Electrodos de puesta a tierra permitidos

250.52(A)(1) EXC. Tubería metálica de agua subterránea NEC® 2002

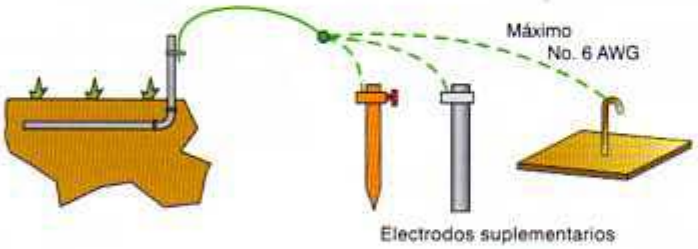


La tubería metálica expuesta, se puede utilizar como electrodo de puesta a tierra
La tubería deberá ser perpendicular a la pared o al piso.

Fig. 244 Tubería metálica expuesta como electrodo de puesta a tierra

250.53 Instalación del sistema de electrodos de puesta a tierra NEC® 2002

(D)(2) Tubería metálica de agua subterránea:
Deberá existir continuidad en toda la tubería de agua

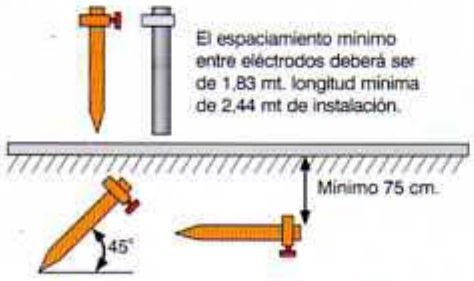


(F) Anillo de tierra



Profundidad no menor a 750 mm

(G) Electrodos de varilla y tubería



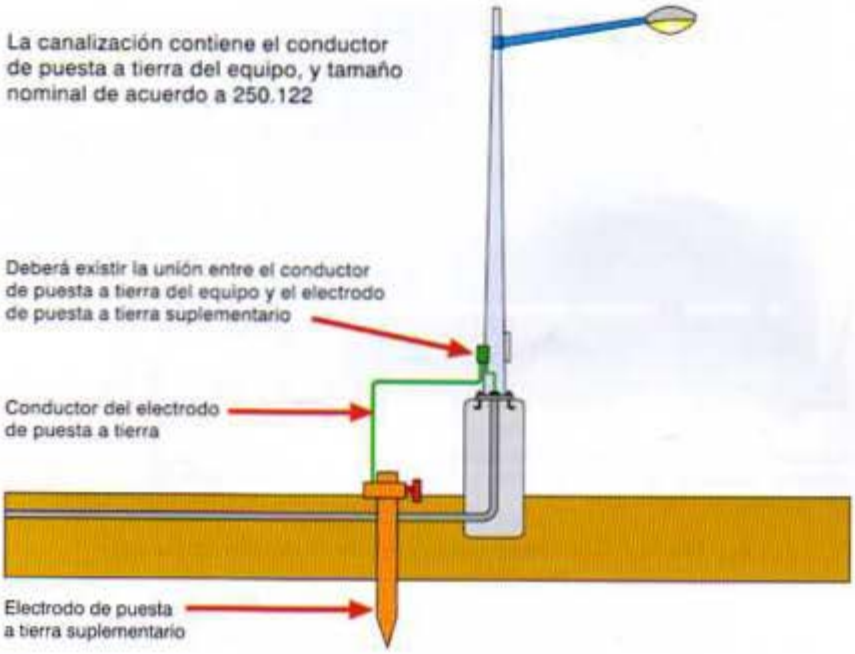
(H) Electrodo de placa



Profundidad no menor a 750 mm

Fig. 245 Instalación del sistema de electrodos de puesta a tierra

250.54 Electrodos de puesta a tierra suplementarios NEC® 2002



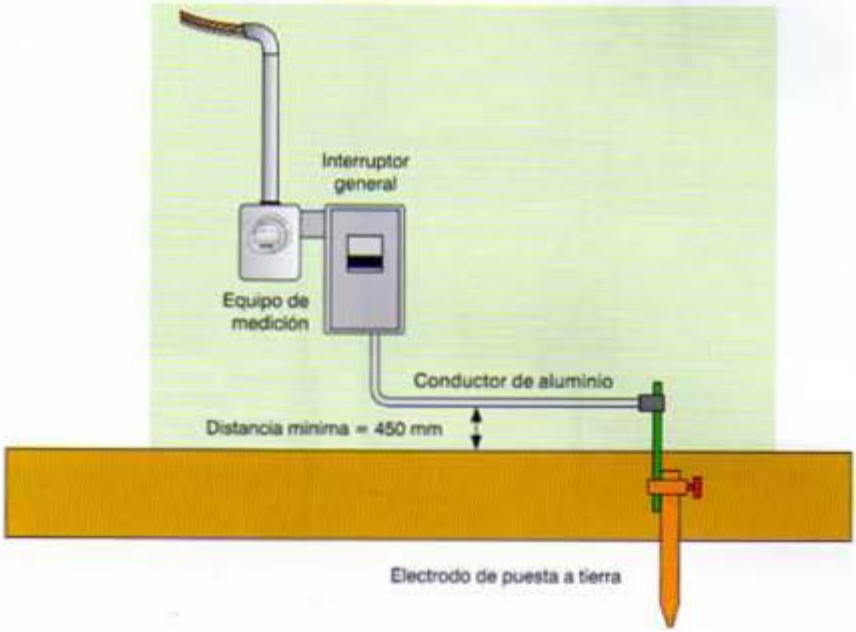
Esta sección fue revisada para clarificar la regla de unión para los electrodos suplementarios.

No requiere que se cumpla con los requerimientos de unión de los electrodos indicado en 250.50 o 250.53 (C), ni los requerimientos de resistencia de 250.56

La tierra no debe utilizar como único conductor de puesta a tierra.

Fig. 246 Instalación de electrodos de puesta a tierra suplementarios

250.64(A) Conductores de aluminio NEC® 2002



Instalación del conductor del electrodo de puesta a tierra.

Los conductores de aluminio no deben utilizarse en contacto directo con la tierra.

No debe utilizarse cuando este sujeto a condiciones corrosivas.

Fig. 247 Instalación de conductores de aluminio

250.64(C) Excepción instalación del conductor del electrodo de puesta a tierra NEC® 2002

Esta revisión clarifica que es aceptable utilizar el bus barra consistente, en secciones que están conectadas entre ellas, como el conductor del electrodo de puesta a tierra.

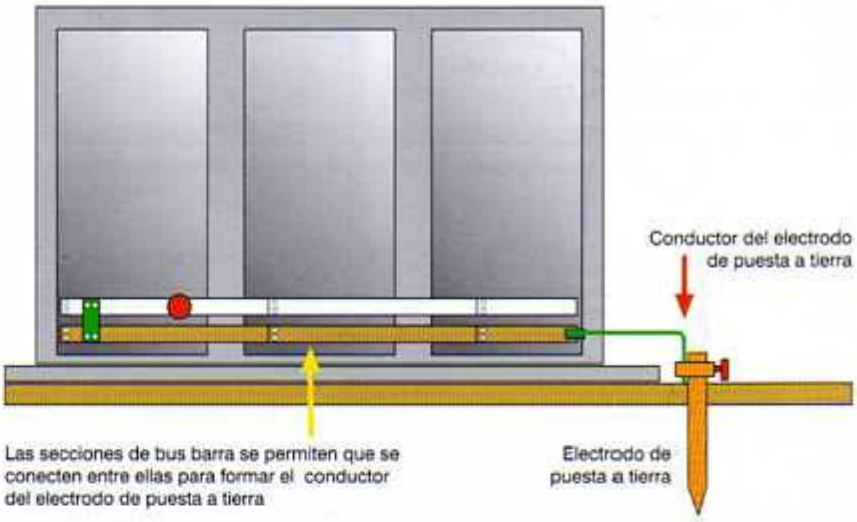


Fig. 248 Bus barra como conductor del electrodo de puesta a tierra

250.64(E) Envolventes del conductor del electrodo de puesta a tierra NEC® 2002

La revisión consistió en el cambio del conductor de puesta a tierra por el conductor del electrodo de puesta a tierra.

Las envolventes metálicas deben ser eléctricamente contínas desde el gabinete hasta el electrodo de puesta a tierra.

Las envolventes metálicas que no sean físicamente continuas, se deberán de hacer eléctricamente contínuas con puentes de unión al conductor del electrodo de puesta a tierra.

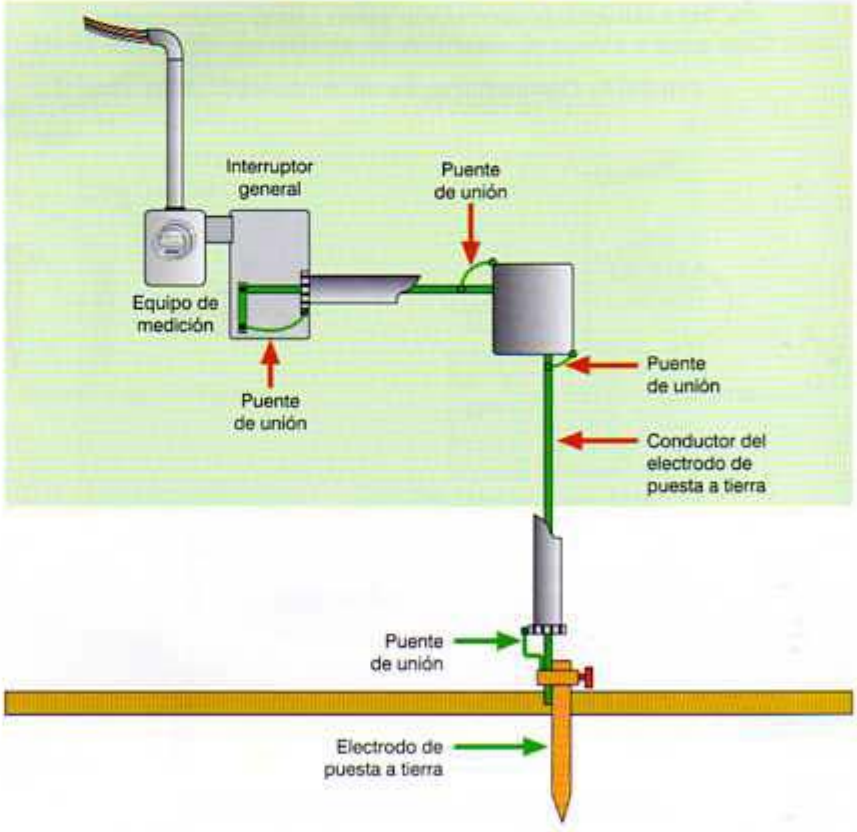
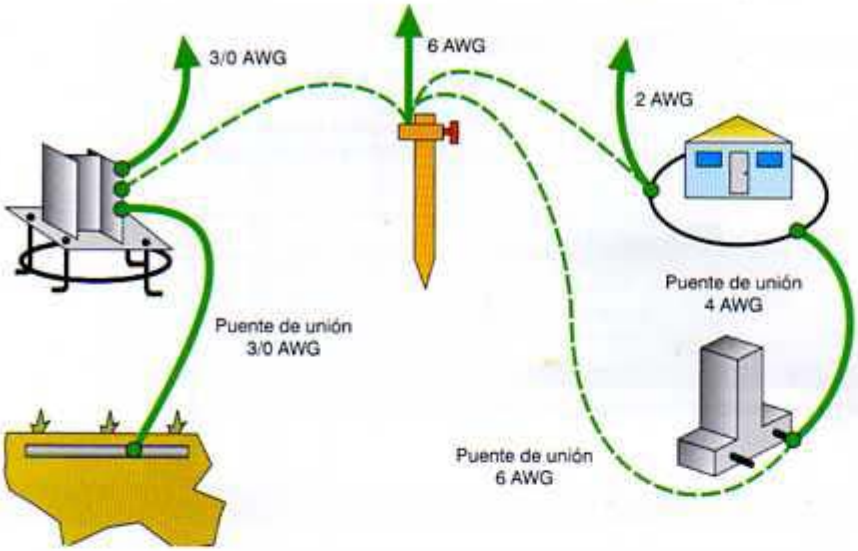


Fig. 249 Continuidad eléctrica de las envolventes del conductor del electrodo de puesta a tierra

250.64(F) A los electrodos NEC® 2002

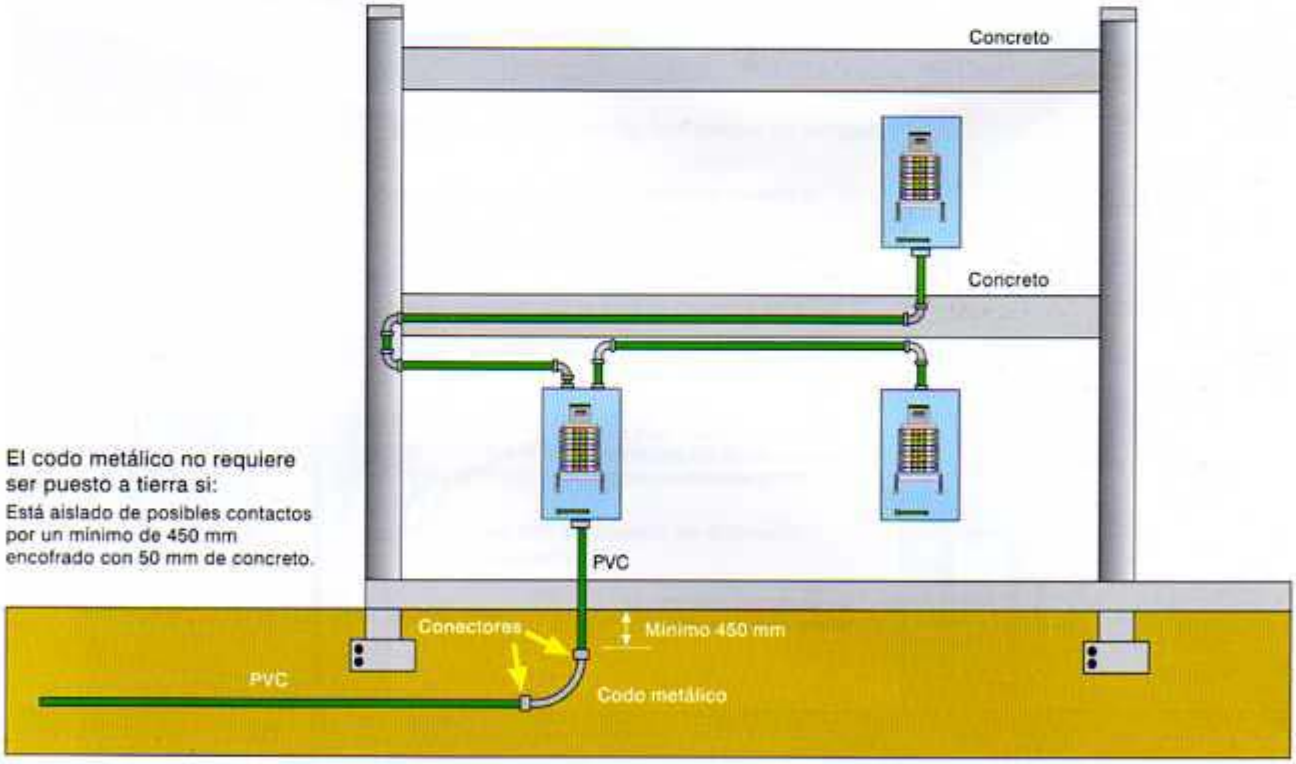


La revisión permite que el conductor del electrodo de puesta a tierra se conecte a cualquier electrodo de puesta a tierra disponible a uno o más.

El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra, será el mayor del conductor del electrodo de puesta a tierra requerido de todos los electrodos conectados entre ellos.

Fig. 250 Unión entre electrodos de puesta a tierra

250.86 EXC 3 Otras envolventes o canalizaciones conductoras NEC® 2002



El codo metálico no requiere ser puesto a tierra si:

Está aislado de posibles contactos por un mínimo de 450 mm encofrado con 50 mm de concreto.

Fig. 251 Envolventes que no requieren ser puesta a tierra

250.92(A)(1) Puentes de unión en las acometidas NEC® 2002

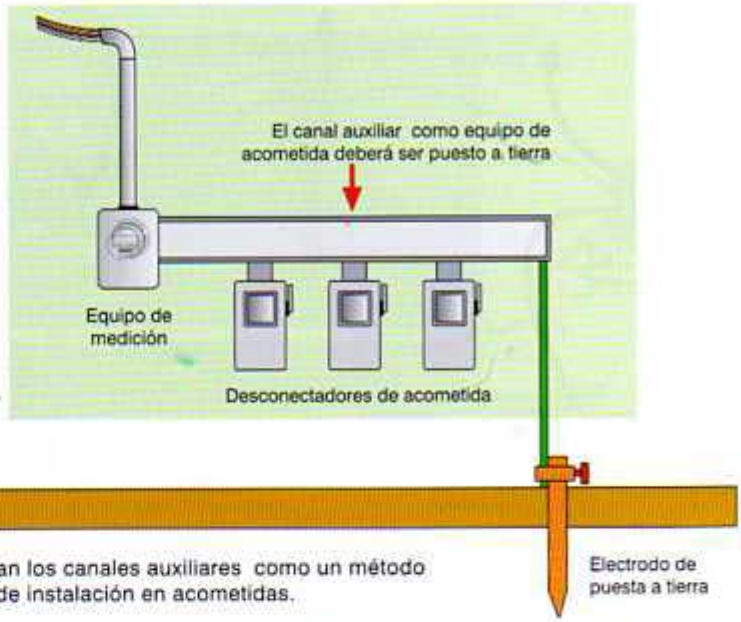
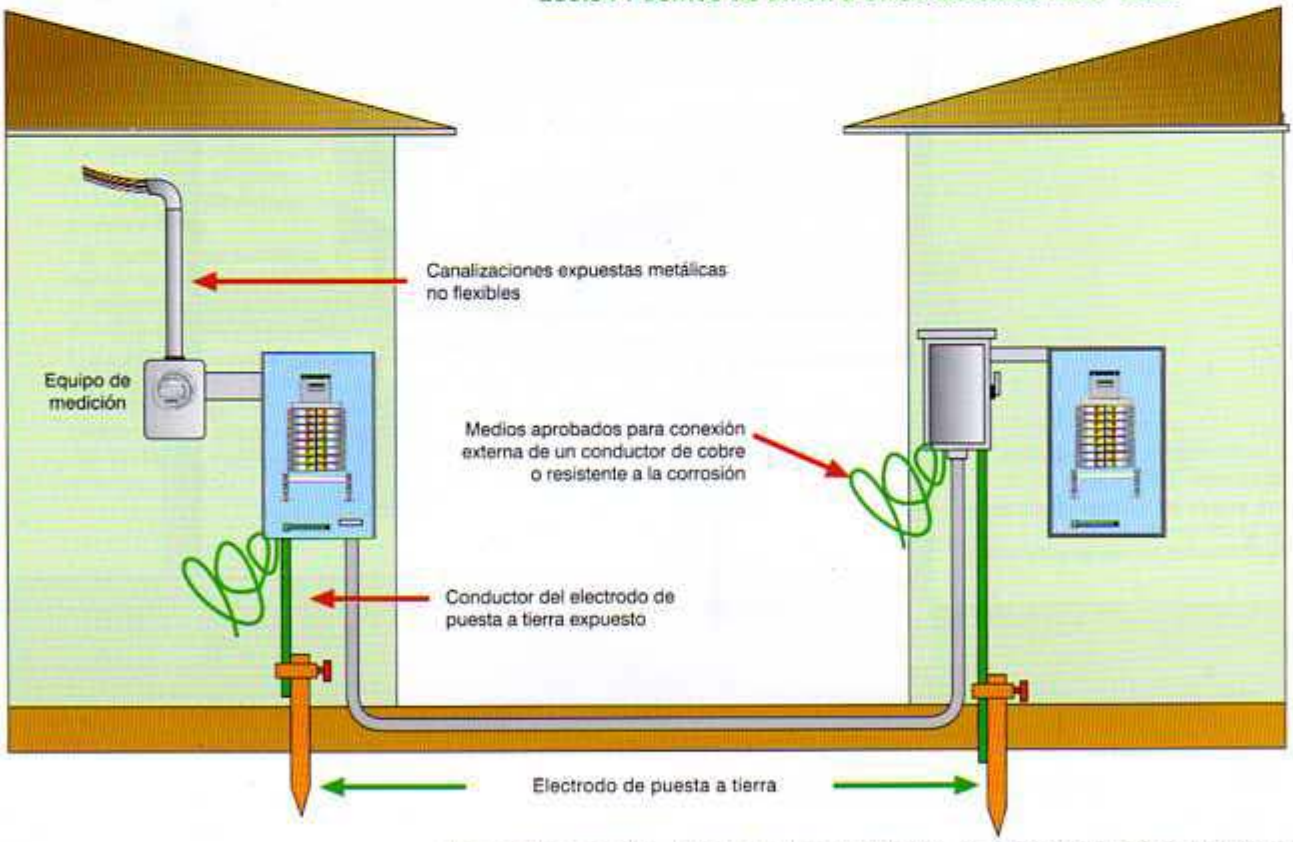


Fig. 252 Canal auxiliar como método de alambrado en la acometida

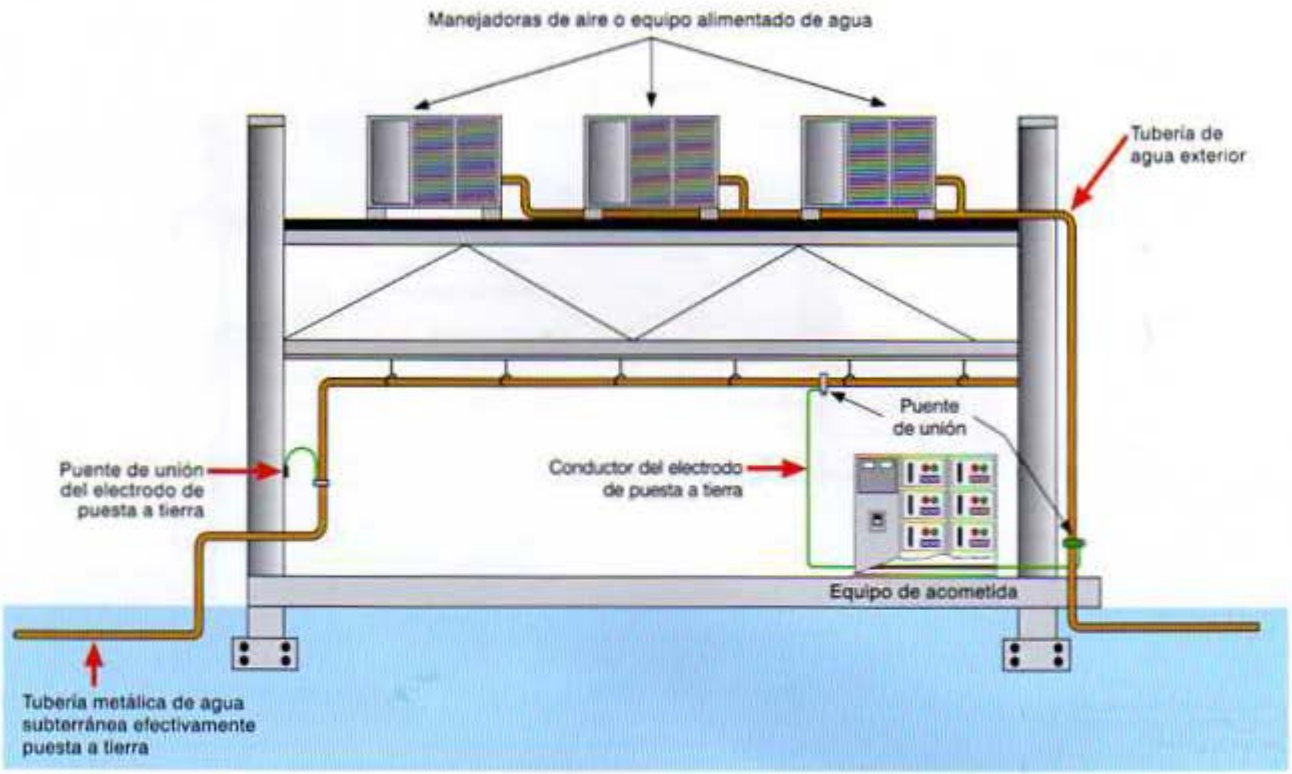
250.94 Puentes de unión a otros sistemas NEC® 2002



Un medio accesible externo a los envolventes se deberá de proveer para la interconexión de los puentes de unión y de los conductores de puesta a tierra en los equipos de la acometida y de los medios desconexión, para estructuras y edificios.

Fig. 253 Unión a otros sistemas

250.104(A) Puente de unión de la tubería metálica de agua NEC® 2002

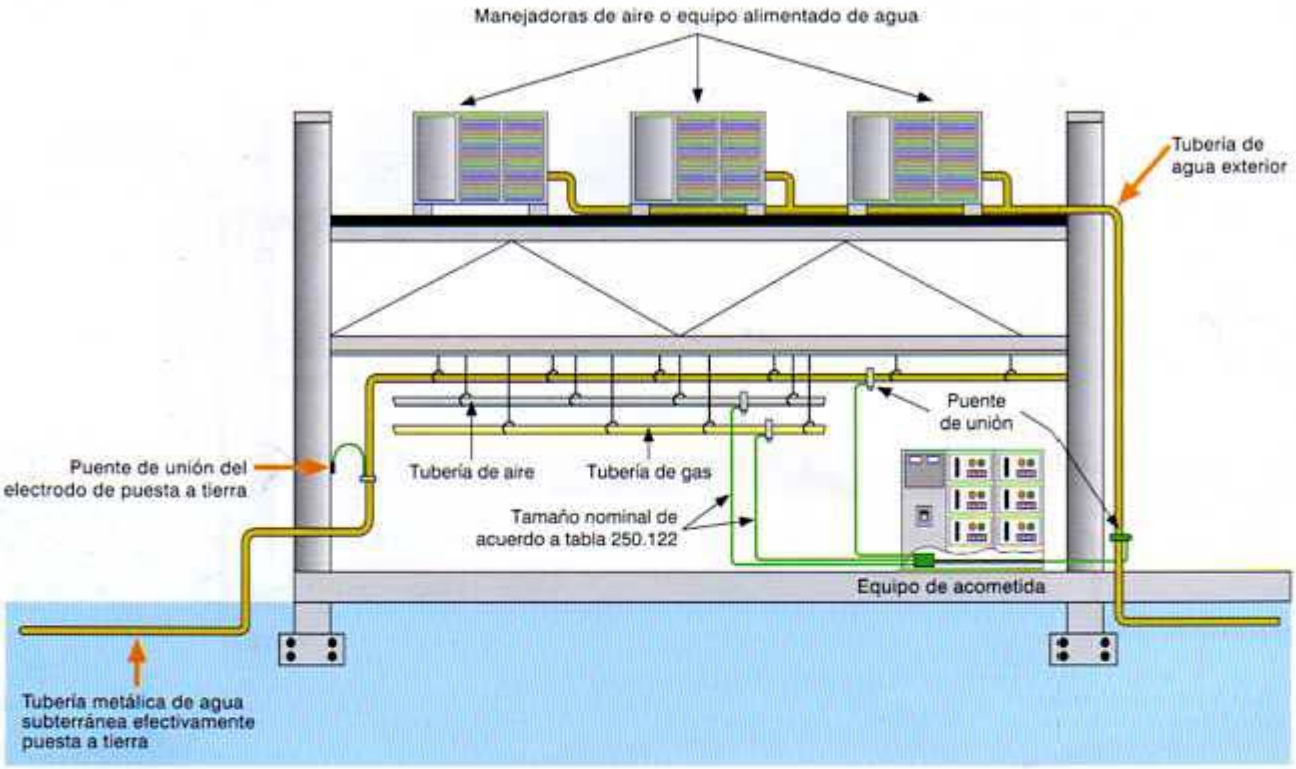


Los sistemas de tubería metálica de agua deberán estar unidas. Los puntos de unión deberán ser accesibles.

1) Deberá estar unida al gabinete del equipo de acometida, al conductor puesto a tierra de la acometida y al conductor del electrodo de puesta a tierra.
   El tamaño nominal del puente de unión deberá estar de acuerdo a la tabla 250.66, excepto lo permitido en 250.104(A)(2) y (A)(3).
2) Construcciones de ocupancia múltiple, se permite que la tubería metálica de cada ocupancia, se una a la terminal de puesta a tierra del tablero.
   El tamaño nominal del puente de unión deberá estar de acuerdo con la tabla 250.122
3) Edificios múltiples o estructuras alimentadas de una acometida común.
   Las tuberías metálicas de agua deberán unirse a la envolvente del medio de desconexión al conductor de puesta a tierra de los conductores alimentadores o uno o más electrodos de puesta a tierra.
   El puente de unión deberá estar de acuerdo con 250.66, basado en el tamaño nominal del alimentador del edificio o circuito derivado.

Fig. 254 Puente de unión a la tubería metálica de agua

250.104(A) Puente de unión a otras tuberías metálicas NEC® 2002



Cuando las tuberías metálicas incluyendo las tuberías de gas, se encuentren instaladas dentro o unidas al edificio o estructura, y que puedan energizarse deberán estar unidas a la envolvente del equipo de la acometida, al conductor puesto a tierra de la acometida, al conductor del electrodo de puesta a tierra, o a uno o más electrodos de puesta a tierra.

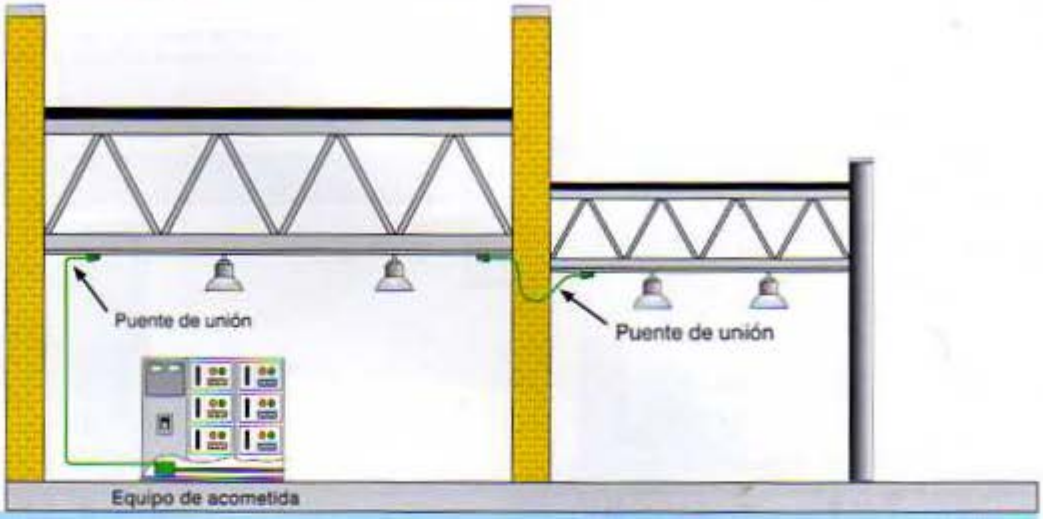
Los puentes de unión deberán estar de acuerdo a 250.122, utilizando la capacidad del circuito derivado que pueda energizar las tuberías.

Se permite que el conductor de puesta a tierra del equipo sirva como puente de unión para el circuito que pueda energizar las tuberías.

Los puentes de unión deberán ser accesibles.

Fig. 255 Puente de unión a otras tuberías metálicas

250.104(C) Puente de unión al acero estructural NEC® 2002



Esta revisión tiene como finalidad la seguridad, ya que la intención es unir el acero estructural interior o exterior con la puesta a tierra del sistema eléctrico.

El acero estructural que forme parte del edificio, que no esté intencionalmente puesto a tierra y que pueda energizarse deberá unirse a la envolvente del equipo de la acometida al conductor puesto a tierra de la acometida, al conductor del electrodo de puesta a tierra o a uno o más electrodos de puesta a tierra

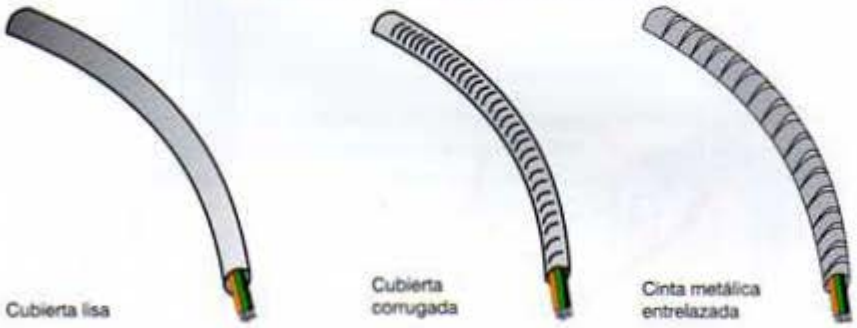
El puente de unión deberá estar de acuerdo a la tabla 250.66.

Los puntos de unión deberán ser accesibles.

Fig. 256 Puente de unión al acero estructural

250.118 Tipos de conductores de puesta a tierra del equipo NEC® 2002

Tres tipos de cables para el cable tipo MC

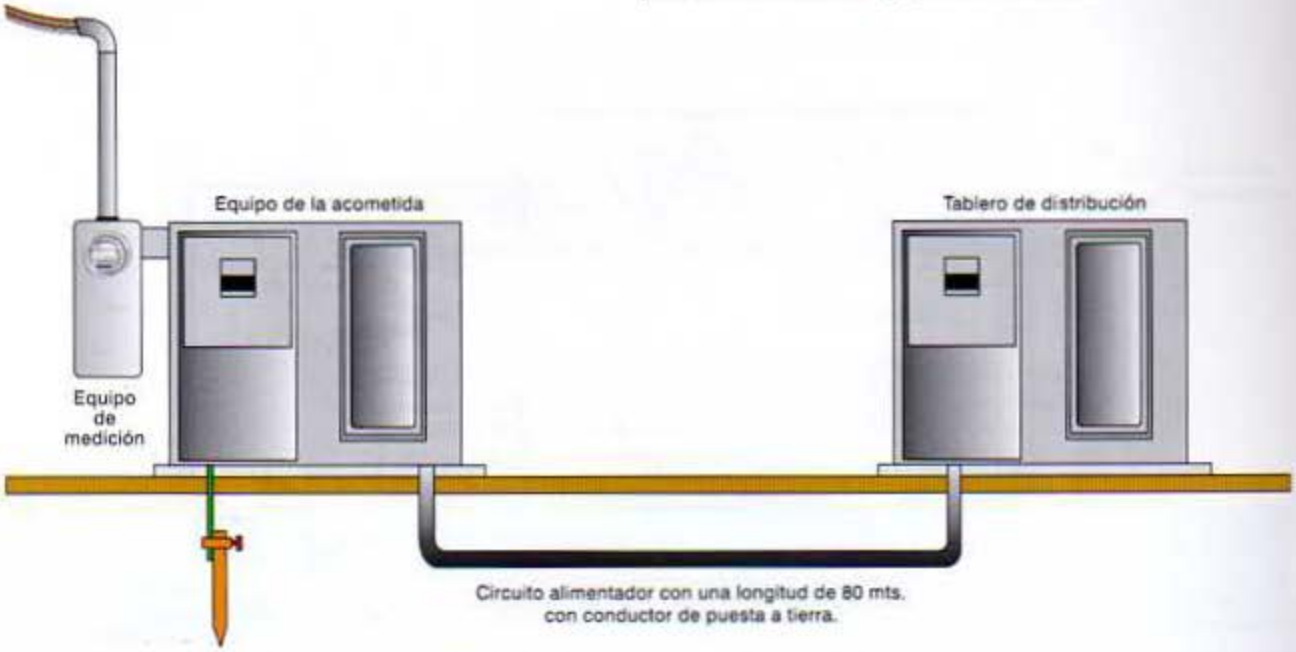


El conductor de puesta a tierra que esté con o encerrado con los conductores de circuito deberá ser una o más, o la combinación de:

1) El cable tipo MC cuando esté listado e identificado para la puesta a tierra si:
   A. La combinación de la cubierta metálica y el conductor de puesta a tierra de un cable tipo MC es con cinta metálica entrelazada.
   B. La cubierta metálica o la combinación de la cubierta metálica y los conductores de puesta a tierra del cable tipo MC liso o corrugado, clarifica que la chaqueta exterior de un cable tipo MC no es aceptable para la puesta a tierra sin el conductor de puesta a tierra incluido en el ensamble del cable.

Fig. 257 Cable tipo MC

250.122(B) Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra del equipo. NEC® 2002

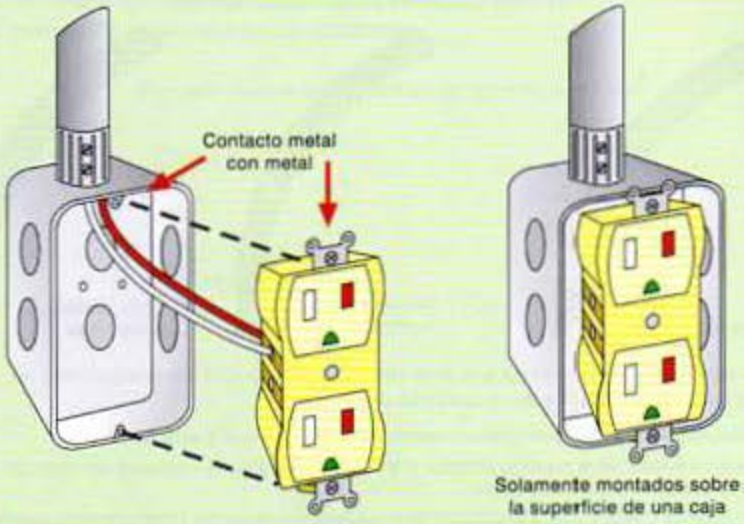


En la revisión se cambio la palabra "ajuste por caida de tensión" por "incremento del tamaño nominal", y "ajuste en el tamaño nominal de compensación por caida de tensión" por " incremento en el tamaño nominal".

La razón del cambio es que cuando los conductores de fase se incrementan en su tamaño nominal por cualquier razón, los conductores de puesta a tierra se incrementarán en su tamaño nominal en forma proporcional.

Fig. 258 Incremento del tamaño nominal del conductor de puesta a tierra

250.146 (A) Conexión de la terminal de puesta a tierra de un receptáculo a la caja NEC® 2002



El puente de unión de los receptáculos solamente es permitido con las cajas montados sobre la superficie, con el contacto metal con metal entre el chasis y la caja.

La revisión clarifica que el contacto metal con metal, se permite como el medio de puesta a tierra del receptáculo, por lo que no requiere el puente de unión del receptáculo a la caja.

Fig. 259 Conexión de la terminal de puesta a tierra del receptáculo a la caja

250.148 EXC. Continuidad y unión de los conductores de puesta a tierra a las cajas NEC® 2002

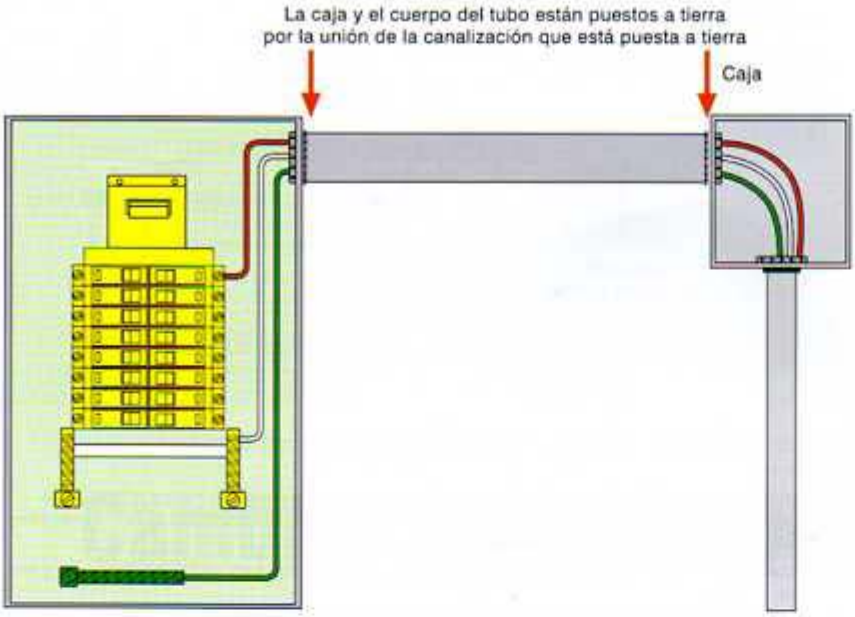


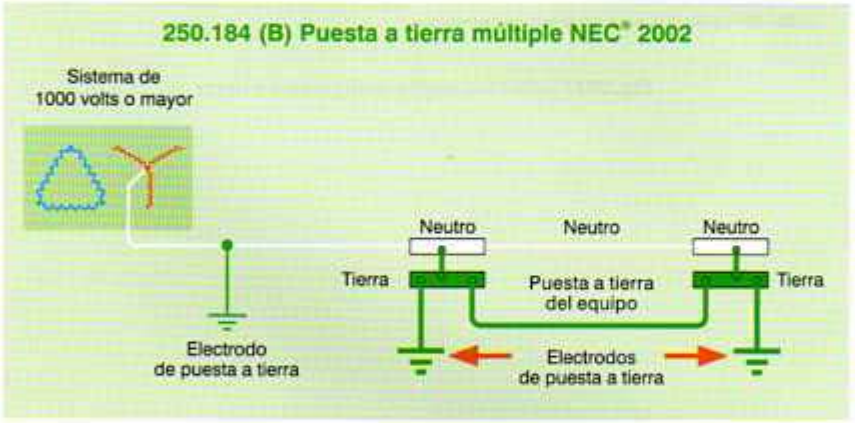
Fig. 260 Puesta a tierra de las cajas

Las cajas y otros envolventes son requeridos que sean puestos a tierra de acuerdo a los requerimientos del Artículo 250.

Cuando los conductores del circuito pasen a través de una caja o cuerpo de un tubo "conduit" que están puestos a tierra, por la unión de la canalización metálica unida a ella, no se requiere que el conductor de puesta a tierra sea unido al cuerpo del tubo "conduit" o a la caja.

Si se utiliza tubo (conduit) no metálico con cajas metálicas, es necesario que el conductor de puesta a tierra sea unido a la caja, para que sea puesta a tierra.

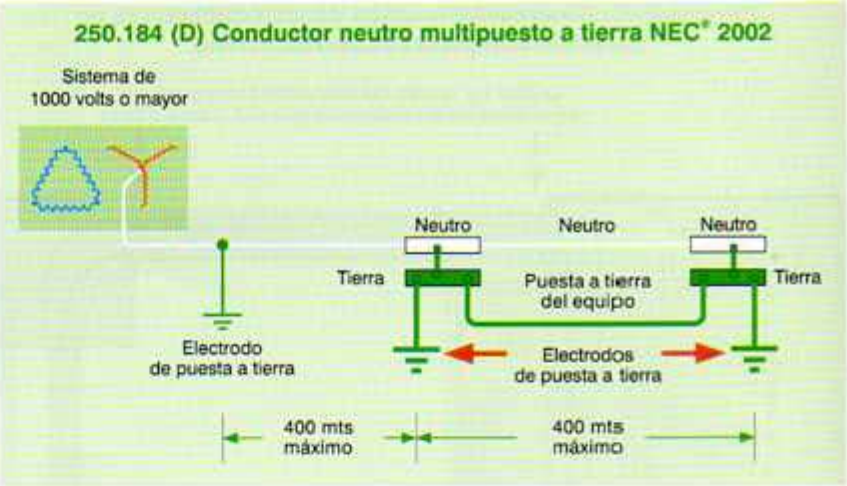
250.184 (B) Puesta a tierra múltiple NEC® 2002



Se permite que el neutro de un sistema sólidamente puesto a tierra sea puesto a tierra en más de un punto, en cualquier caso de los siguientes:

1) Si los conductores del transformador alimentan a otro edificio o estructura.
2) Circuitos subterráneos, cuando el neutro esté expuesto.
3) Circuitos aéreos instalados en exteriores.

Fig. 261 Puesta a tierra múltiple



Cuando se utilice un sistema con neutro multipuesto a tierra, se deberá aplicar lo siguiente:

1) El neutro multipuesto a tierra, de suficiente capacidad de corriente y no menor al 33% de la capacidad de corriente de los conductores de fase. EXC. aplicar el 20% en lugares comerciales e industriales bajo la supervisión de ingeniería.
2) El conductor neutro multipuesto a tierra deberá ser puesto a tierra en cada transformador y en otros lugares.
3) Al menos un electrodo de puesta a tierra deberá ser instalado y conectado al conductor neutro multipuesto a tierra cada 400 mts.
4) La distancia máxima entre electrodos de puesta a tierra debe ser de 400 mts.
5) En un sistema de cable con malla puesta a tierra, la malla debe ser puesta a tierra en cada unión del cable que este expuesto al personal.

Fig. 262 Conductor neutro multipuesto a tierra

Cambios al NEC® 2005

Contenido

Cambios al NEC® 2005. 284

Cambios al NEC® 2005

El Artículo 250 puesta a tierra (grounding), ha tenido cambios desde el nombre del título del artículo hasta aclarar algunos conceptos de la puesta a tierra para una mejor aplicación en los proyectos eléctricos y en la construcción de las instalaciones eléctricas.

Ahora el NEC® 2005, ha cambiado el nombre del **Artículo 250**, llamándolo **Grounding and Bonding** y traducido al español quedaría como **Artículo 250 Unión y Puesta a tierra**.

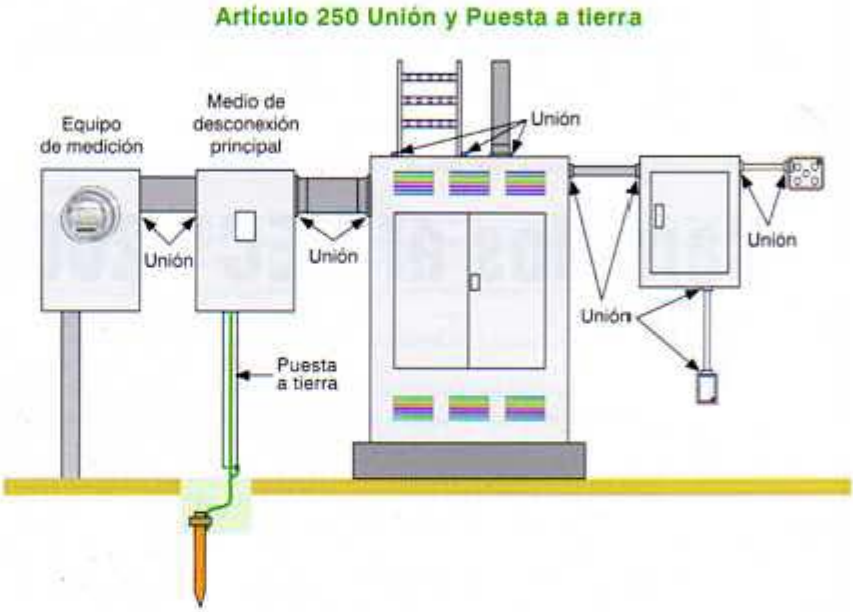


Fig. 263 Nuevo título del artículo 250

La modificación se realizó para hacer más consistente lo indicado en el objetivo del Artículo 250, que refleja los requerimientos de funciones y comportamientos contenidos en este artículo.

250.2 Definiciones

Se complementó la definición de la trayectoria efectiva de puesta a tierra para la corriente de falla, quedando como: es una trayectoria que se construye intencionalmente, para que sea eléctricamente conductiva, permanente y de baja impedancia; diseñada con la intención de transportar la corriente bajo condiciones de falla a tierra desde el punto de falla a tierra del sistema de alambrado a la fuente de suministro, que facilita la operación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente o de los detectores de falla a tierra de un sistema puesto a tierra a través de una alta impedancia.

250.2 Trayectoria efectiva para la corriente de falla

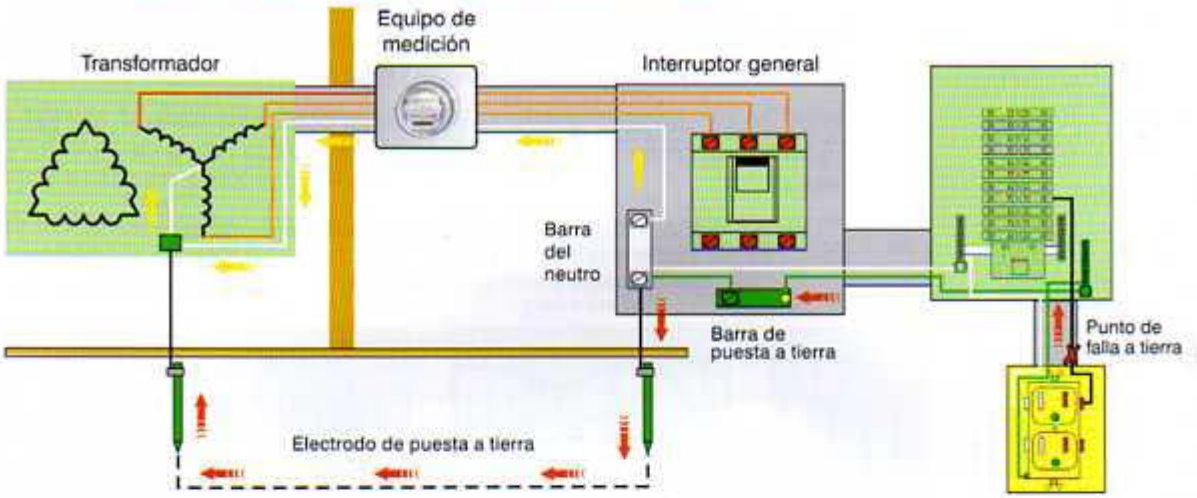


Fig. 264 Trayectoria efectiva para la corriente de falla a tierra para sistemas puestos a tierra

250.4 (A)(5) Trayectoria efectiva para la corriente de falla a tierra

Para sistemas puestos a tierra en el inciso (5) indica que la trayectoria de puesta a tierra debe crearse con la instalación del equipo eléctrico, del sistema de alambrado y de otras partes conductivas eléctricamente que pudieran energizarse de tal manera que formen un circuito permanente de baja impedancia para facilitar la operación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente o de los detectores de falla a tierra para sistemas puestos a tierra a través de una alta impedancia.

Deberá tener la capacidad de conducir con seguridad la máxima corriente de falla a tierra que se presente en cualquier punto del sistema.

También se clarifica que la tierra (suelo) o terreno natural, no debe considerase como una trayectoria efectiva para la corriente de falla a tierra.

250.4(A)(5) Trayectoria efectiva para la corriente de falla

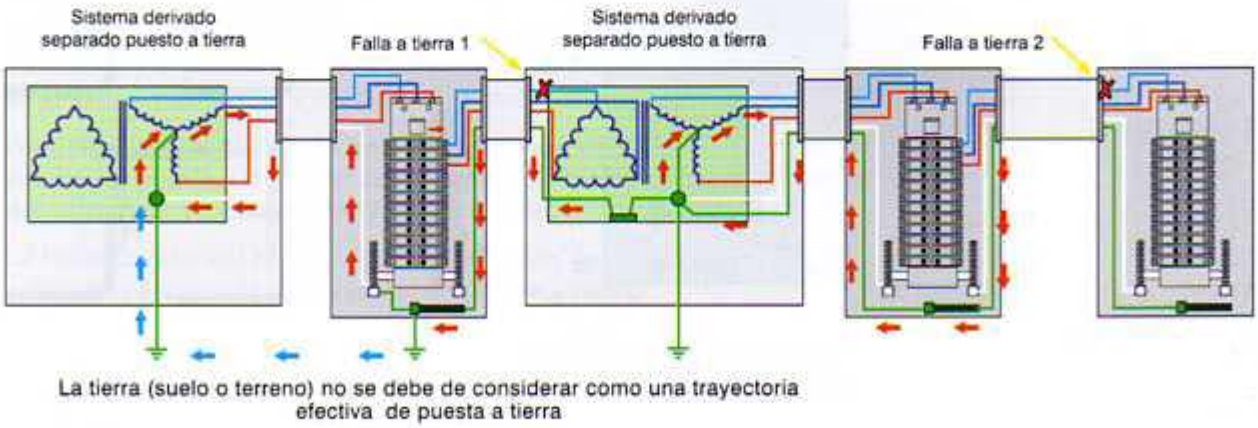


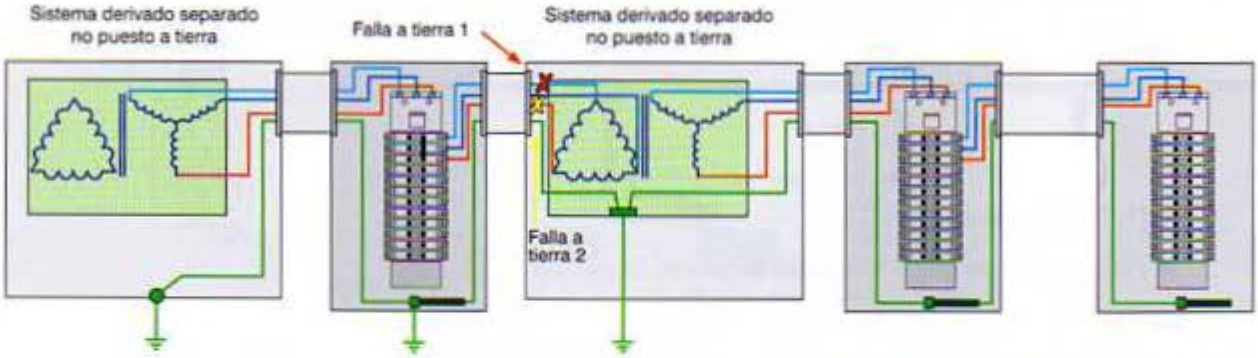
Fig. 265 Trayectoria efectiva para la corriente de falla, en sistemas puestos a tierra

250.4 (B)(4) Trayectoria para la corriente de falla

Para sistemas no puestos a tierra se clarifica el comportamiento de la unión y las limitaciones de la tierra (suelo) o terreno natural.

También se clarifica que la tierra (suelo) o terreno natural, no debe considerase como una trayectoria efectiva para la corriente de falla a tierra.

250.4(B)(4) Trayectoria de la corriente de falla



La tierra (suelo o terreno) no se debe de considerar como una trayectoria efectiva de puesta a tierra

Fig. 266 Trayectoria efectiva para la corriente de falla, en sisternas no puestos a tierra

250.8 Conexión de la unión y la puesta a tierra del equipo

El cambio clarifica que las pijas no se deben utilizar para la conexión de unión o de los conductores de puesta a tierra del equipo a las envolventes.

250.8 Conexión de la unión y puesta a tierra del equipo

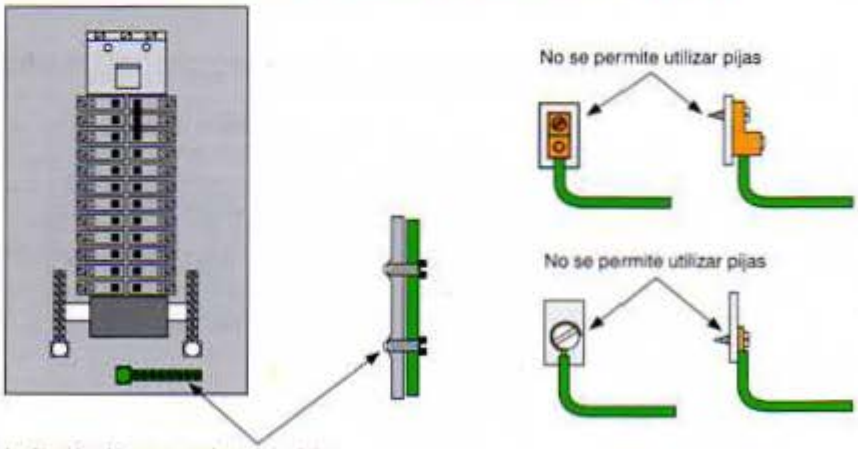


Fig. 267 Conexión de la unión y puesta a tierra del equipo

250.21 Sistemas de corriente alterna de 50 Volts a 1000 Volts que no requieren ser puestos a tierra.

La revisión requiere que los detectores de falla a tierra se instalen sobre sistemas no puestos a tierra, basados en las condiciones establecidas en 250.21 (1) a (4). Este cambio obedece a que se minimice la falta de suministro de energía eléctrica.

El código indica que se requiere los detectores de falla a tierra para los circuitos de control no puestos a tierra bajo ciertas restricciones y para sistemas puestos a tierra a través de una alta impedancia.

Provee el beneficio de anticiparse antes de que la segunda falla a tierra potencialmente destructiva ocurra.

250.21 Se deben instalar detectores de falla a tierra

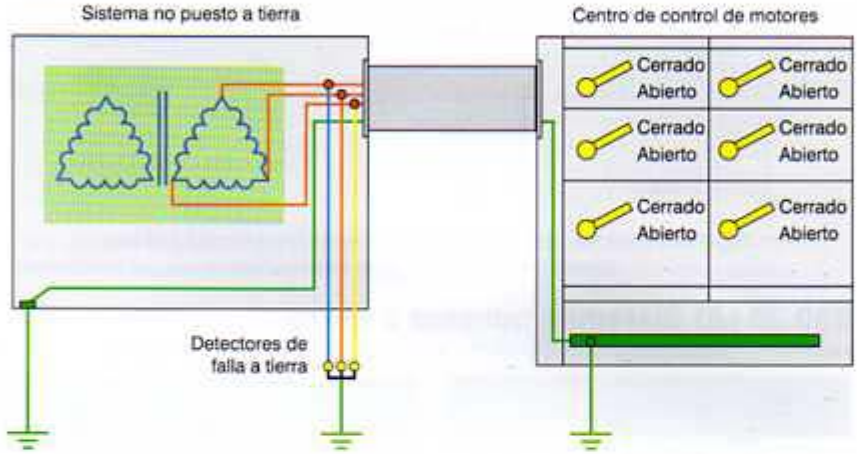


Fig. 268 Instalación de detectores de falla a tierra en sistemas no puestos a tierra

250.28 Puente de unión principal y puente de unión del sistema

En esta sección se introduce un nuevo término **puente de unión del sistema.**

El puente de unión principal, por definición, debe de instalarse en la acometida y el **puente de unión del sistema** está localizado en el punto de la unión y la puesta a tierra de un sistema derivado separado.

Por definición, el **puente de unión del sistema**, es la conexión entre el conductor puesto a tierra del circuito y el conductor de puesta a tierra del equipo de un sistema derivado separado.

La introducción del término **puente de unión del sistema** clarifica la aplicación apropiada de las reglas de puesta a tierra.

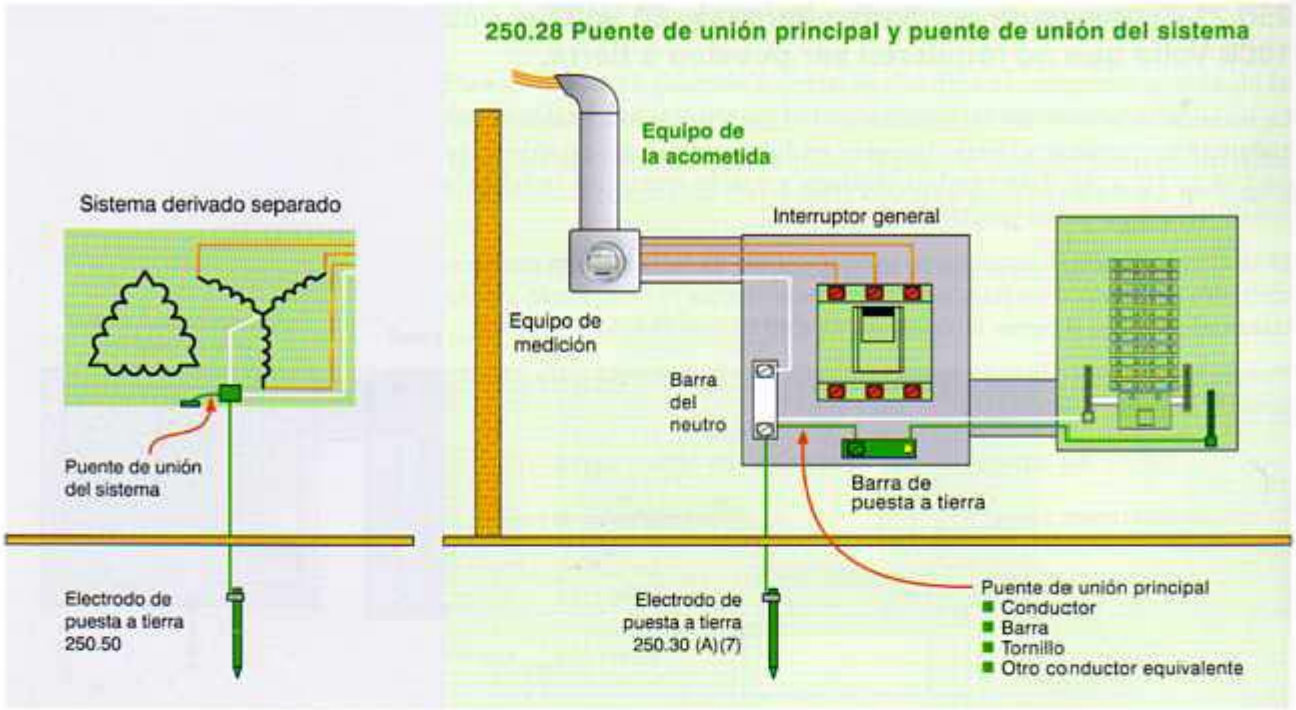


Fig. 269 Puente de unión principal y puente de unión del sistema

250.30 (A) Sistemas puestos a tierra

Artículo 250 NEC 2002 250.30 (A)	Artículo 250 NEC 2005 250.30 (A) reorganización
(A)(1) Puente de unión	(A)(1) Puente de unión del sistema
(A)(2) Conductor del electrodo de puesta a tierra	(A)(2) Tamaño nominal del puente de unión del equipo
(A)(3) Derivaciones del conductor del electrodo de puesta a tierra	(A)(3) Conductor del electrodo de puesta a tierra de un sistema derivado separado
(A)(4) Electrodo de puesta a tierra	(A)(4) Conductor del electrodo de puesta a tierra, para sistemas derivados separados múltiples (a) Derivaciones del conductor del electrodo de puesta a tierra (b) Tamaño nominal del conductor en derivación (c) Conexiones
(A)(5) Puente de unión del equipo	(A)(5) Instalación
(A)(6) Conductor puesto a tierra	(A)(6) Unión
	(A)(7) Electrodo de puesta a tierra
	(A)(8) Conductor puesto a tierra

Fig. 270 Reorganización de la sección 250.30 (A)

La sección 250.30(A) se reorganizó totalmente y se reestructuró para proveer un orden lógico.

En 250.30 (A) (7) se clarifica que se pueden utilizar los electrodos de puesta a tierra indicados en 250.52(A), cuando no está disponible el acero estructural del edificio y la tubería metálica de agua, como electrodos de puesta a tierra.

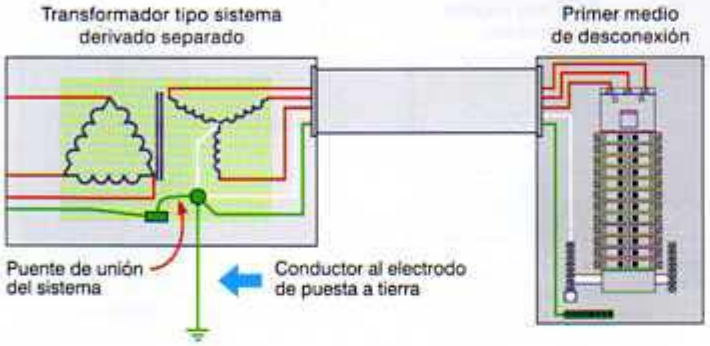
También clarifica el uso de un electrodo de puesta a tierra común para múltiples sistemas derivados separados.

250.30 (A) (1) Puente de unión del sistema

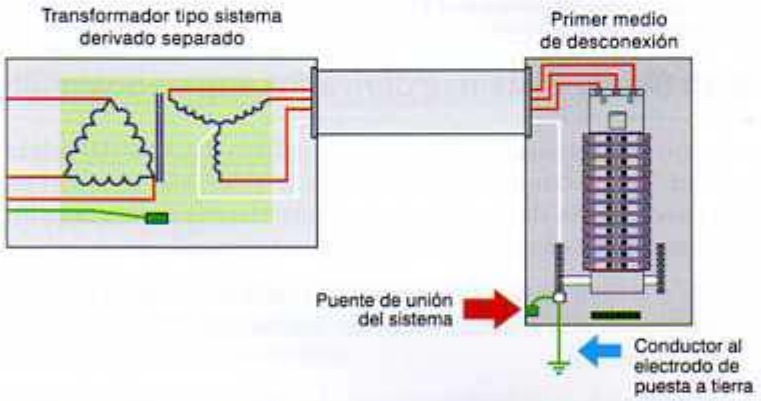
El término **puente de unión del sistema** es más claro, es la conexión entre el conductor puesto a tierra y el conductor de puesta a tierra del equipo de un *sistema derivado separado*.

La función del puente de unión principal es similar a la del **puente de unión del sistema**, pero el puente de unión principal debe localizarse únicamente en la *acometida*.

250.30 (A)(1) Puente de unión del sistema



Esta conexión está permitida entre la fuente y el primer medio de desconexión o dispositivo de protección contra sobrecorreinte del sistema.



La conexión entre el conductor del electrodo de puesta a tierra y el puente de unión del sistema se debe realizar en el mismo lugar.

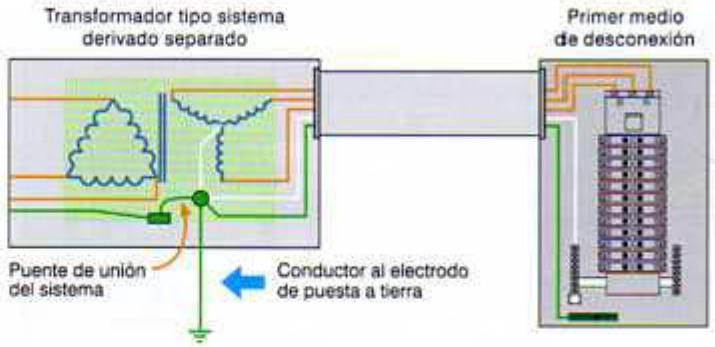
Fig. 271 Ubicación del puente de unión del sistema

250.30 (A) (2) Tamaño nominal del puente de unión del equipo

Este cambio establece el tamaño nominal de los puentes de unión que se instalen entre el sistema derivado separado y el primer envolvente del sistema.

El tamaño nominal mínimo deberá estar de acuerdo a 250.102 (C) y basarse en el tamaño nominal de los conductores de fase derivados.

250.30 (A)(2) Tamaño nominal del puente de unión del equipo



El tamaño nominal de los puentes de unión del equipo deben estar de acuerdo a 250-102 (C) **Tabla 250.66**

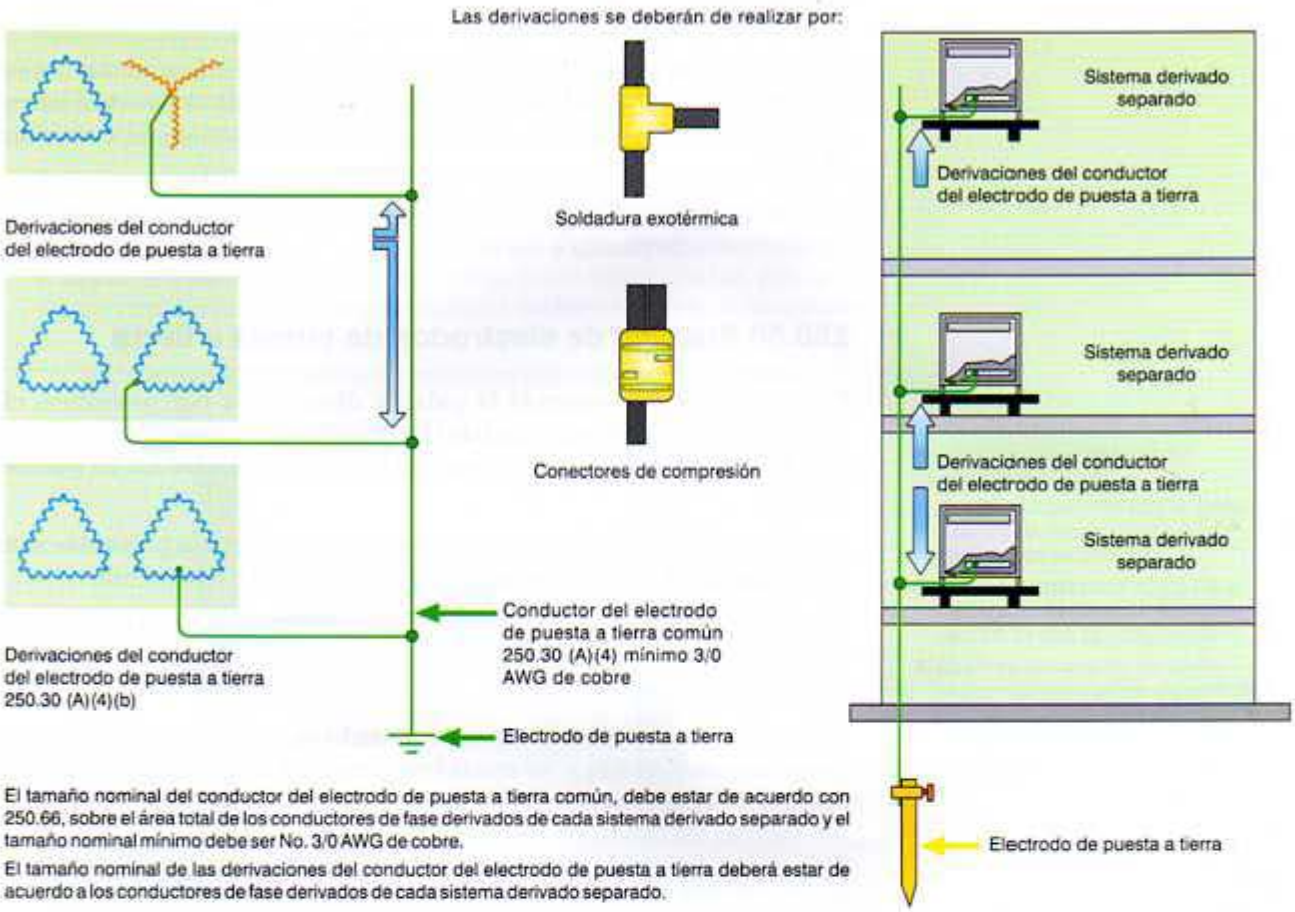
Fig. 272 Puente de unión del equipo entre un sistema derivado separado y el primer envolvente

250.30 (A) (4) Sistemas derivados separados múltiples

Los cambios de esta sección es establecer el tamaño nominal mínimo del conductor del electrodo de puesta a tierra, el tamaño nominal mínimo de los conductores derivados, los requerimientos de la conexión y de instalación incluidos en 250.30(A) (4).

Cuando se utilice un conductor del electrodo de puesta a tierra común el tamaño nominal mínimo debe ser del No.3/0 AWG de cobre ó 250 KCM de aluminio.

250.30 Puesta a tierra de sistemas derivados separados de C.A.



El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra común, debe estar de acuerdo con 250.66, sobre el área total de los conductores de fase derivados de cada sistema derivado separado y el tamaño nominal mínimo debe ser No. 3/0 AWG de cobre.

El tamaño nominal de las derivaciones del conductor del electrodo de puesta a tierra deberá estar de acuerdo a los conductores de fase derivados de cada sistema derivado separado.

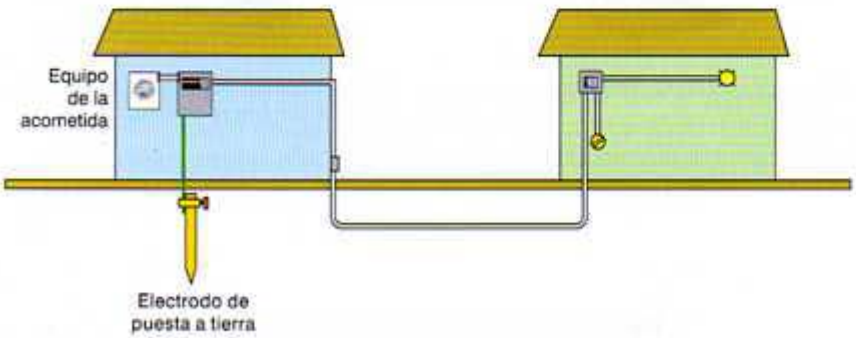
Fig. 273 Conductor del electrodo de puesta a tierra común

250.32 (A) excepción

La revisión clarifica las reglas de puesta a tierra cuando se alimenta estructuras o edificios por circuitos alimentadores o derivados y se originan en una acometida común.

Se indica que un circuito derivado multiconductor se debe considerar como un solo circuito derivado.

250.32 (A) Excepción. Electrodo de puesta a tierra



Un circuito derivado multiconductor se considera como un circuito derivado para propósitos de aplicación de la excepción.

No se requiere un electrodo de puesta a tierra en un edificio separado, cuando se alimente por un circuito derivado o un circuito derivado multiconductor que incluya el conductor de puesta a tierra.

Fig. 274 Estructuras o edificios alimentados por circuitos alimentadores o derivados

250.34 Generadores portátiles o montados sobre vehículos

Se clarifica la relación del chasis que soporta a los generadores portátiles, el cual no se puede utilizar como electrodo de puesta a tierra como se indica en 250.52, debido a que no existe ninguna conexión a tierra.

El chasis de los generadores portátiles no se requiere que se conecte a un electrodo de puesta a tierra.

250.50 Sistema de electrodos de puesta a tierra

En esta sección se removió la palabra disponibles por presentes, el cambio obedece a la necesidad de clarificar cuales electrodos de puesta a tierra son requeridos para formar el sistema de electrodos de puesta a tierra.

Los electrodos indicados en 250.52 están generalmente presentes son parte inherente de la construcción de un edificio o estructura.

En la excepción se indica que un electrodo de puesta a tierra empotrado en concreto no se requiere que forme parte del sistema de electrodos de puesta a tierra.

Un electrodo de puesta a tierra empotrado en concreto normalmente tiene baja resistencia y se considera como un electrodo de puesta a tierra confiable como un solo electrodo de puesta a tierra o como parte del sistema de electrodos de puesta a tierra.



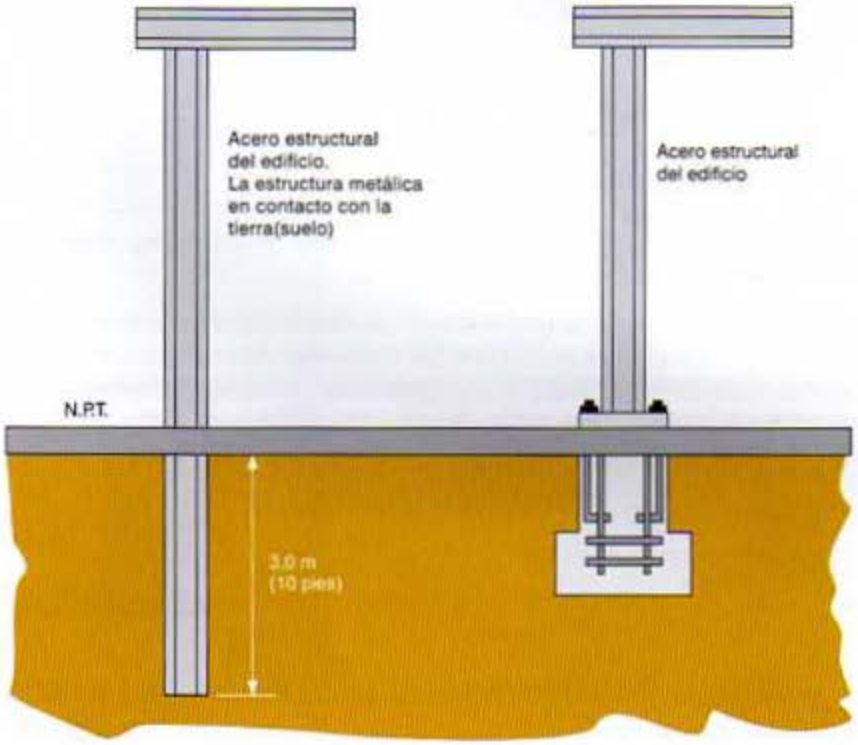
Fig. 275 Sistema de electrodos de puesta a tierra

250.52 (A) (2) Estructura metálica de un edificio o estructura

La revisión clarifica las condiciones bajo las cuales las partes de una estructura metálica de un edificio o estructura pueden utilizarse como electrodos de puesta a tierra.

Las estructuras metálicas que no sean puestas a tierra por uno de los métodos indicados en esta sección no se consideran como electrodos de puesta a tierra, fueron borradas las palabras **efectivamente puesta a tierra** la cual resultaba en interpretaciones inadecuadas, por lo que ahora se presentan 4 formas diferentes de hacer la conexión a tierra.

250.52 (A)(2) Estructura metálica del edificio o estructura



El acero estructural de un edificio se permite como electrodo de puesta tierra si:

1. Si está en contacto con la tierra 3 m o más; o con un electrodo empotrado en concreto
2. El acero estructural es unido a uno o más electrodos definidos en 250.52 (A)(1), (A)(3) ó(A)(4)
3. El acero estructural es unido a uno o más electrodos definidos en 250.52 (A)(5) ó (A)(6)
4. Otros medios aprobados para establecer la conexión a tierra

Fig. 276 Estructura metálica como electrodo de puesta a tierra

250.52 (A) (7) Sistemas o estructuras subterráneas metálicas en el lugar

Las envolventes de tuberías de pozos se permite que se puedan utilizar como electrodos de puesta a tierra de acuerdo a 250.50 y 250.52 (A) (7), si están unidas efectivamente a la tubería metálica de agua y no se requiere un electrodo de puesta a tierra suplementario.

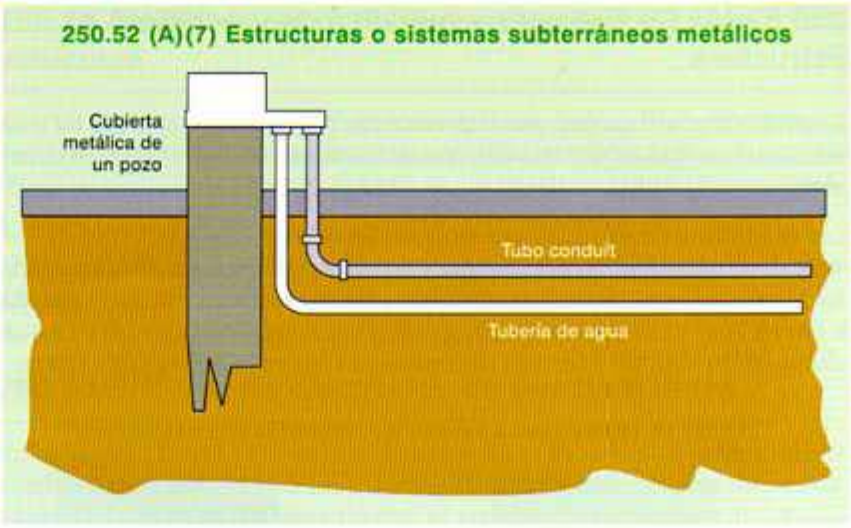


Fig. 277 Estructuras o sistemas subterráneos como electrodos de puesta a tierra

250.64 (C) Continuidad

Esta sección fue revisada y reorganizada, y las excepciones se escribieron en forma positiva.

Ahora se permite que los empalmes se puedan realizar por medio de una barra de cobre o de aluminio con las siguientes dimensiones mínimas: 6 mm x 50 mm (¼" x 2"), y las conexiones se deben de realizar con conectores listados o por medio de soldadura exotérmica. Debe instalarse en un lugar accesible y donde no esté expuesta a daño físico.

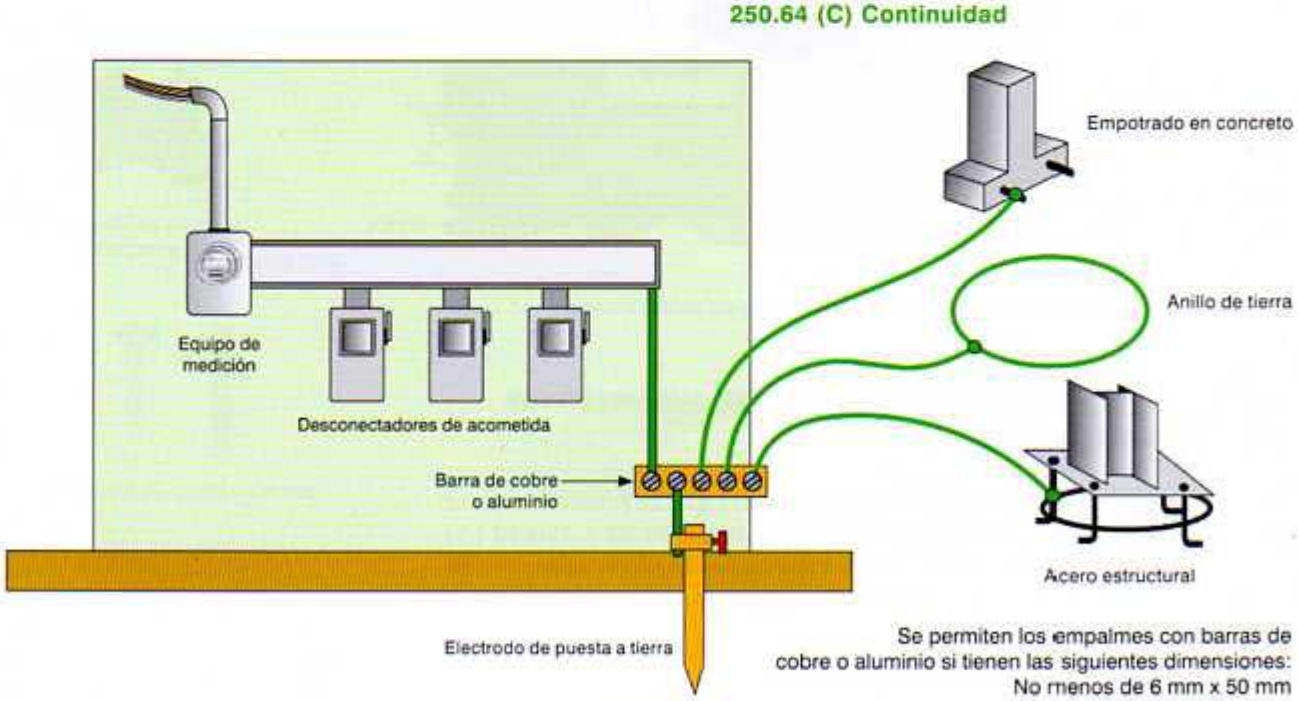


Fig. 278 Barra de cobre o de aluminio se utiliza como empalme

250.64 (D) Derivaciones del conductor del electrodo de puesta a tierra

En esta sección se incluye la palabra común en el texto. Se indican los requerimientos para el conductor del electrodo de puesta a tierra común y para las derivaciones del conductor del electrodo de puesta a tierra, cuando la acometida consiste en más de un envolvente.

250.54 (D) Derivaciones del conductor del electrodo de puesta a tierra

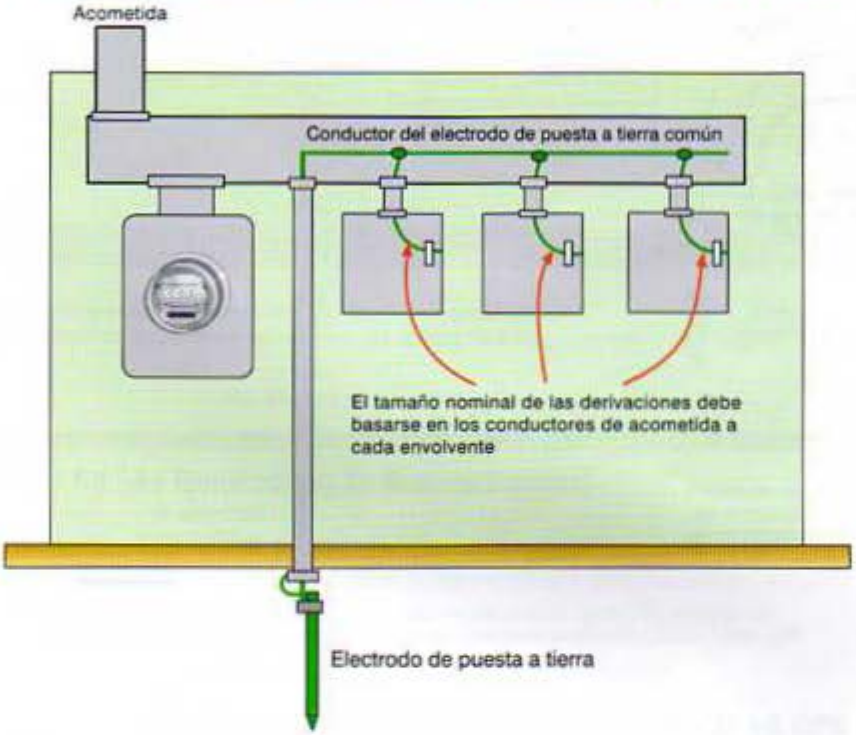


Fig. 279 Derivaciones del conductor del electrodo de puesta a tierra común

250.64 (E) Envolventes del conductor del electrodo de puesta a tierra

La revisión incluye cuando el conductor del electrodo de puesta a tierra se encuentra instalado en una canalización o envolvente no ferrosa, no tiene que cumplir con los requerimientos de unión de esta sección.

Cuando las canalizaciones o envolventes son metálicas ferrosas y no son contínuas físicamente del gabinete o equipo al electrodo de puesta a tierra, se requiere que el conductor del conductor del electrodo de puesta a tierra sea unido a la canalización o envolvente en los puntos de entrada o salida a la envolvente metálica ferrosa.

250.64(E) Envolventes del conductor del electrodo de puesta a tierra

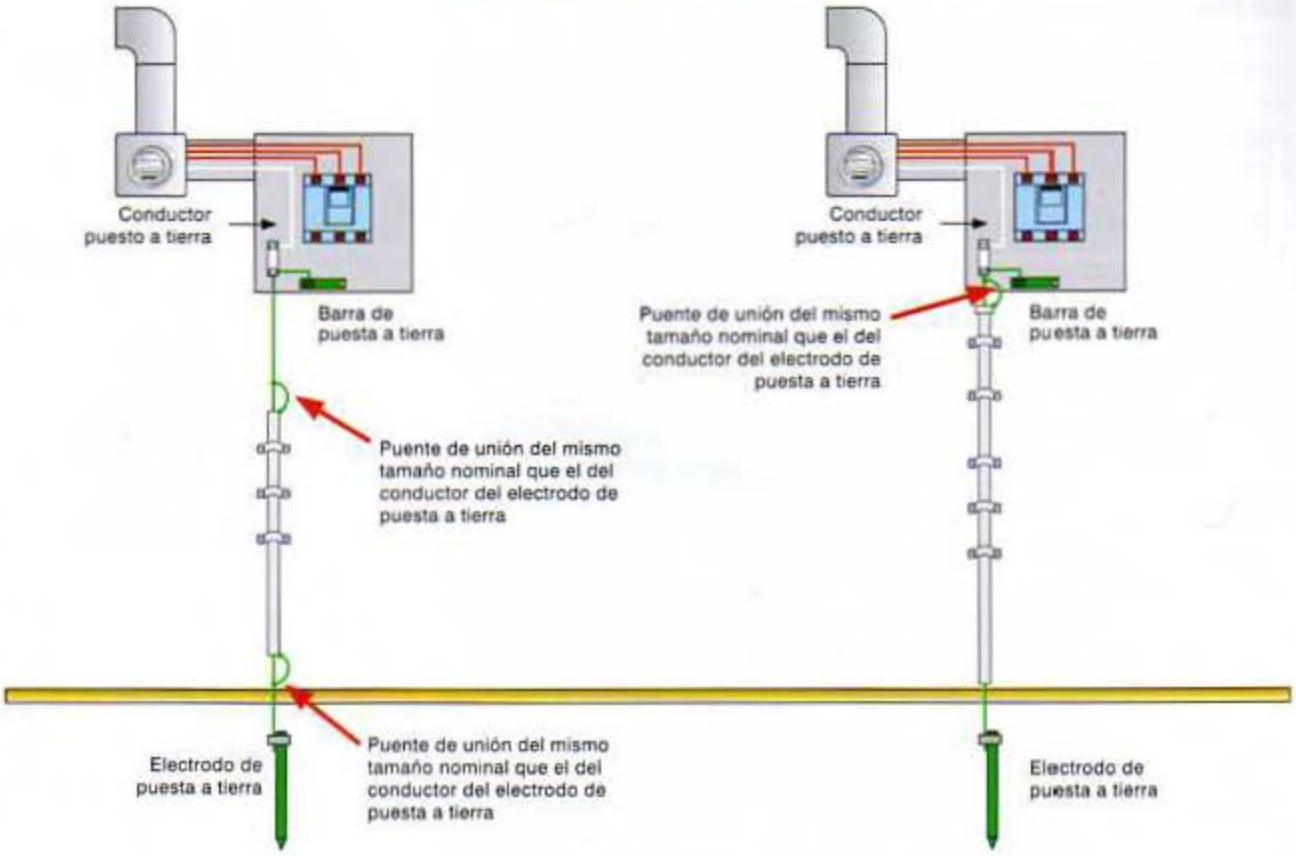


Fig. 280 Unión a la envolvente del conductor del electrodo de puesta a tierra

250.64 (F) A los electrodos de puesta a tierra

Esta sección provee las reglas de la instalación de los conductores de los electrodos de puesta a tierra, se pueden instalar individualmente o unirse a una barra de cobre o de aluminio.

El conductor del electrodo de puesta a tierra deberá ser del tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra más grande requerido por los electrodos de puesta a tierra.

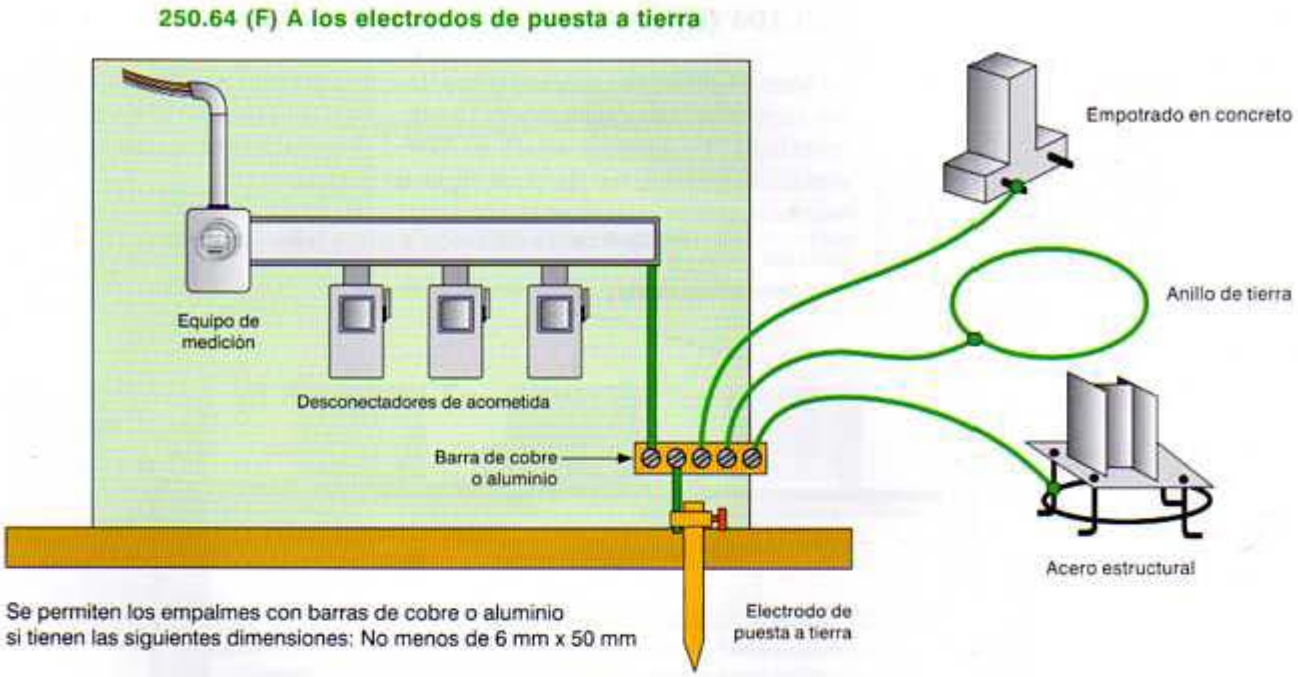


Fig. 281 A los electrodos de puesta a tierra

250.68 (A) Excepción 2: Accesibilidad

Se incluye una nueva excepción, que indica que cuando se realice una conexión exotérmica o de compresión irreversible a una estructura metálica con protección a prueba de fuego no se requiere que sea accesible.



Fig. 282 Accesibilidad a una conexión exotérmica del conductor del electrodo de puesta a tierra

250.104 (D) Sistemas derivados separados

Se formó esta nueva sección y se relocalizó el texto de 250.30(A) sobre los requerimientos de unión a la estructura metálica y de las tuberías metálicas. La palabra acero se borró debido a que las estructuras metálicas pueden ser de otros tipos de metal.

250.104(D) Puente de unión a otras tuberías metálicas

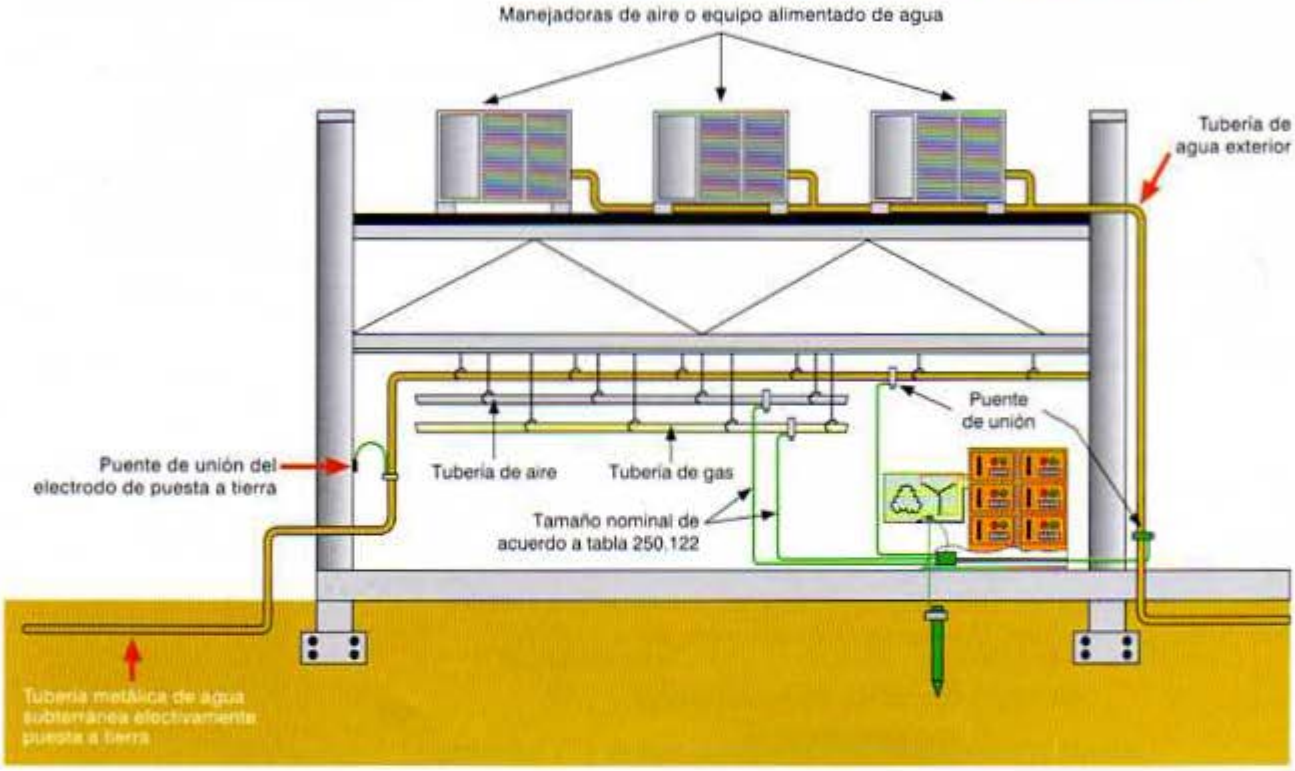


Fig. 283 Sistemas derivados separados

250.118 (5) Tubo (conduit) metálico flexible

El texto anterior decía "el tubo (conduit) metálico flexible y sus conectores estén listados para la puesta a tierra". Ahora la revisión se indica que el tubo (conduit) metálico flexible no está listado para la puesta a tierra. Solamente se puede utilizar bajo las condiciones indicadas en 250.118 (5).

250.118 (5) Tubo (conduit) metálico flexible

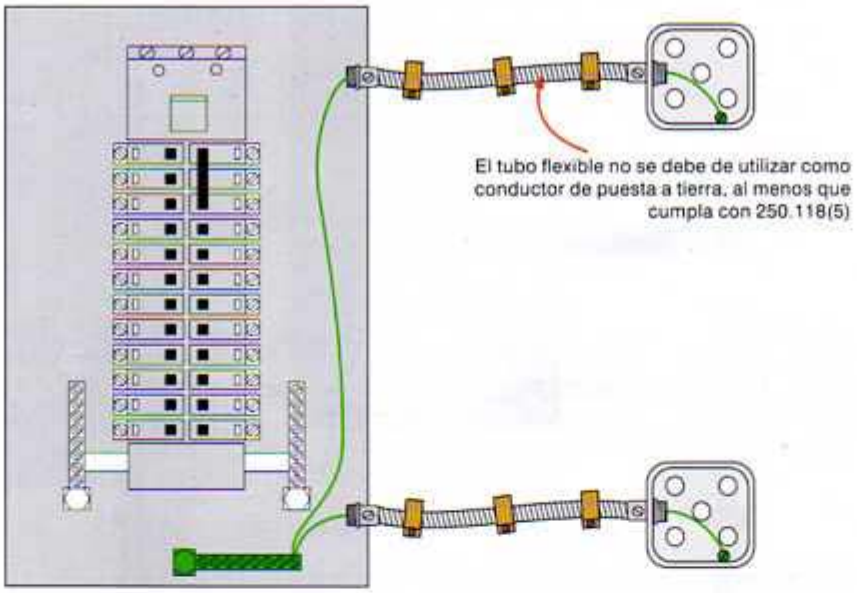


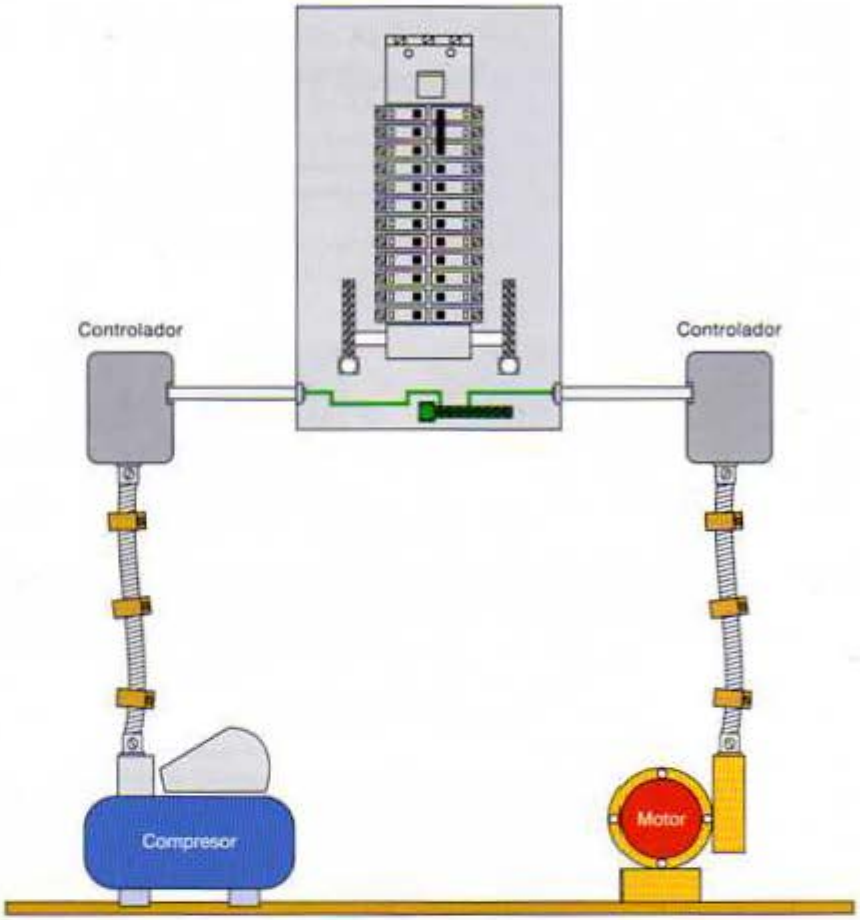
Fig.284 Tubo (conduit) metálico flexible

250.118 (5) d y 250.118(6) e Flexibilidad

Se clarifica la intención de la flexibilidad, la cual se puede dar con el tubo (conduit) metálico flexible o con el tubo (conduit) flexible a prueba de líquidos. Como los equipos están o presentan movimiento o se pueden mover, la continuidad de la trayectoria del conductor de puesta a tierra se puede interrumpir.

Por eso, es necesario instalar el conductor de puesta a tierra del equipo dentro del tubo (conduit) metálico flexible o con el tubo (conduit) flexible a prueba de líquidos.

250.118(5) d y 250.118 (6) e flexibilidad



Es necesario el conductor de puesta a tierra donde se requiera la flexibilidad

Fig. 285 Flexibilidad de conexión a los equipos

250.119 Identificación del conductor de puesta a tierra del equipo

Se clarifica en esta sección que el color verde u otros medios de identificación para los conductores de puesta a tierra del equipo, no se utilizara para los conductores de fase ni para los conductores puestos a tierra.

250.119 Identificación del conductor de puesta a tierra del equipo

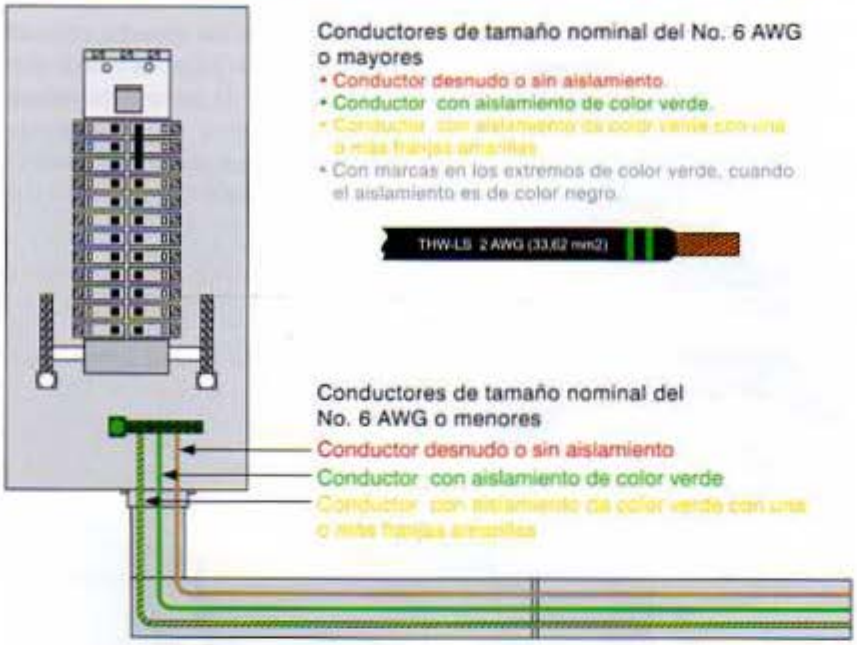


Fig. 286 Identificación del conductor de puesta a tierra del equipo

250.126(3) NOTA

Esta sección provee varios métodos de identificar las terminales para los conductores de puesta a tierra de los dispositivos o equipos, para las conexiones del conductor de puesta a tierra.

La figura 287 está referida como un método alternativo para la identificación de la terminal de puesta a tierra, se reorganizó por la variedad de símbolos que usan en los productos eléctricos.

En la nota se indica que la figura del símbolo de puesta a tierra es solamente un ejemplo.

250.126 Identificación de los dispositivos terminales de puesta a tierra



Fig. 250.126

NOTA: Un ejemplo de un símbolo utilizado para identifica el punto de terminación para el conductor de puesta a tierra

Otros tipos de símbolos de puesta a tierra se permite que se utilicen

Símbolos típicos de identificación de puesta a tierra

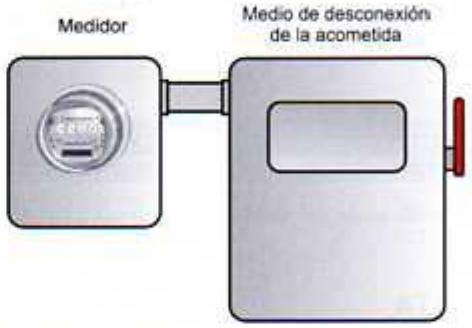
Fig. 287 Símbolos típicos de puesta a tierra

250.142 (B) Excepción No.2 (2)

En la sección 250.142 se trata el uso del conductor puesto a tierra del circuito; en la excepción 2 (2) se cambió la palabra cerca por inmediatamente adyacente. Para la aplicación de esta excepción, el medio de desconexión de la acometida **deberá de localizarse inmediatamente adyacente al equipo de medición** donde se encuentra el conductor puesto a tierra a la envolvente del medidor del lado del medio de desconexión.

Está limitación se requiere para limitar la circulación de la corriente del neutro por las envolventes que se encuentren alejadas.

250.142 (B) Excepción No.2 (2) Uso del conductor puesto a tierra del circuito como conductor de puesta a tierra del equipo. Equipo del lado de la carga



La envolvente del medidor se debe localizar adyacente al medio de desconexión de la acometida.

Fig. 288 Medio de desconexión de la acometida inmediatamente adyacente al medidor

250.146(A) Caja montada sobre una superficie

En esta sección se exige que se retire toda forma de aislamiento de los tornillos que sujetan el receptáculo para asegurar el contacto eléctrico de metal a metal.

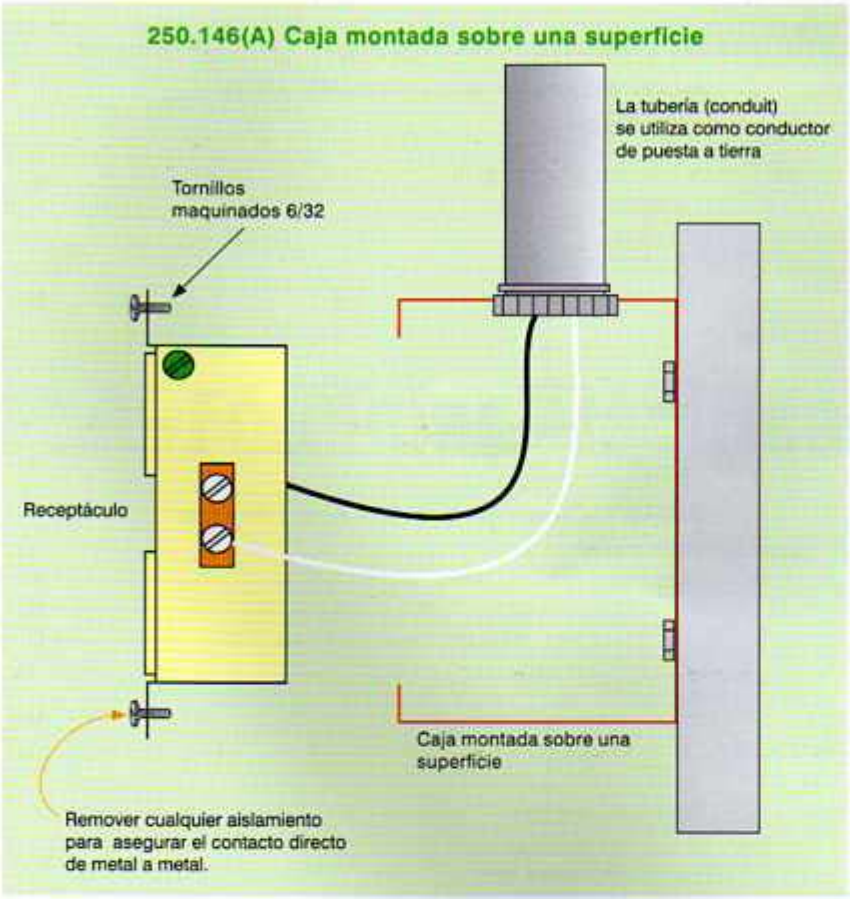
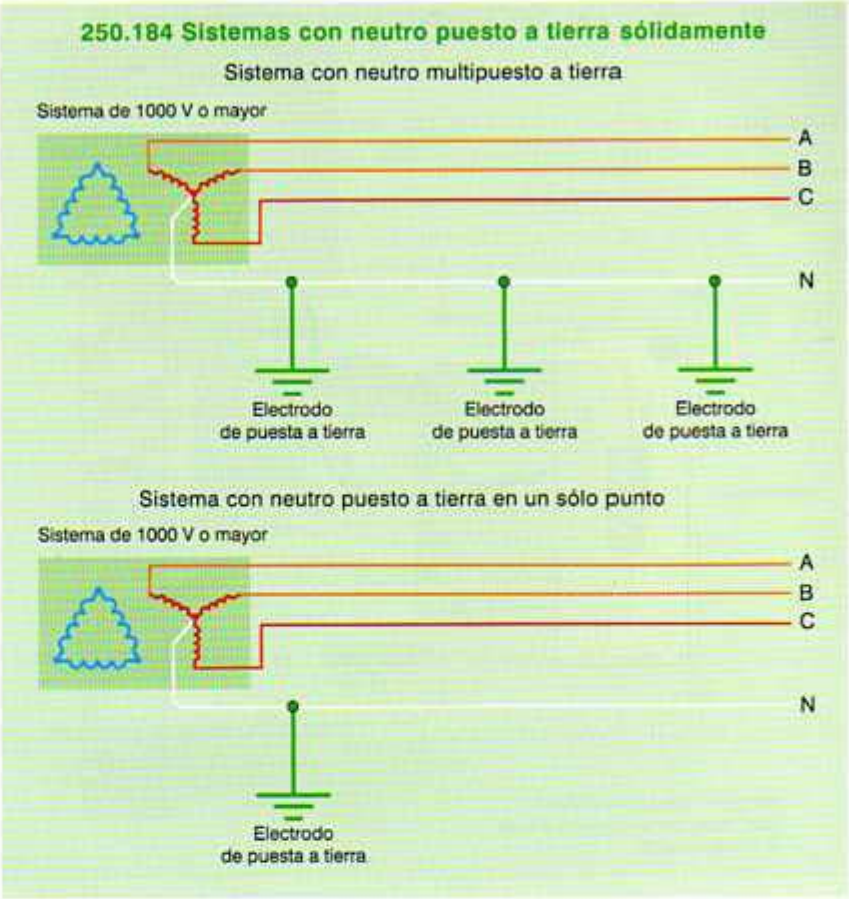


Fig. 289 Asegurar la continuidad eléctrica por el contacto efectivo de metal a metal

250.184 Sistemas con neutro sólidamente puesto a tierra

Se reorganizó indicando que para la industria que utilice estos sistemas, se permite que sean puestos a tierra en un solo punto.



Capacidad de corriente del neutro:

- El 33.5% de la capacidad de corriente del conductor de fase.
- Bajo supervisión de ingeniería se permite el 20% de la capacidad de corriente del conductor de fase.

Fig. 290 Puesta a tierra de sistemas y circuitos de 1 kV o más (alta tensión)

Capítulo 27

Fórmulas eléctricas

Contenido

Fórmulas para corriente alterna
y corriente directa 306

Fórmulas para corriente alterna y corriente directa

Buscando	Corriente directa	Sistemas de corriente alterna		
		1F, 115, 120, 127 V	1F, 208, 220, 230, 240 V	3F Todos los voltajes
Amperes Conociendo H.P.	$\frac{HP \times 746}{E \times Eff}$	$\frac{HP \times 746}{E \times Ef \times F.P}$	$\frac{HP \times 746}{E \times Eff \times F.P.}$	$\frac{HP \times 746}{1.73 \times E \times Eff \times F.P.}$
Amperes Conociendo KW	$\frac{KW \times 1000}{E}$	$\frac{KW \times 1000}{E \times F.P.}$	$\frac{KW \times 1000}{E \times F.P.}$	$\frac{KW \times 1000}{1.73 \times E \times F.P.}$
Amperes Conociendo KVA		$\frac{KVA \times 1000}{E}$	$\frac{KVA \times 1000}{E}$	$\frac{KVA \times 1000}{1.73 \times E}$
Kilowatts	$\frac{I \times E}{1000}$	$\frac{I \times E \times F.P.}{1000}$	$\frac{I \times E \times F.P.}{1000}$	$\frac{1.73 \times I \times E \times F.P.}{1000}$
Kilovolt-Amper		$\frac{I \times E}{1000}$	$\frac{I \times E}{1000}$	$\frac{1.73 \times I \times E}{1000}$
H.P.	$\frac{I \times E \times Eff}{746}$	$\frac{I \times E \times Eff \times F.P.}{746}$	$\frac{I \times E \times Eff \times F.P.}{746}$	$\frac{1.73 \times I \times E \times Eff \times F.P.}{746}$

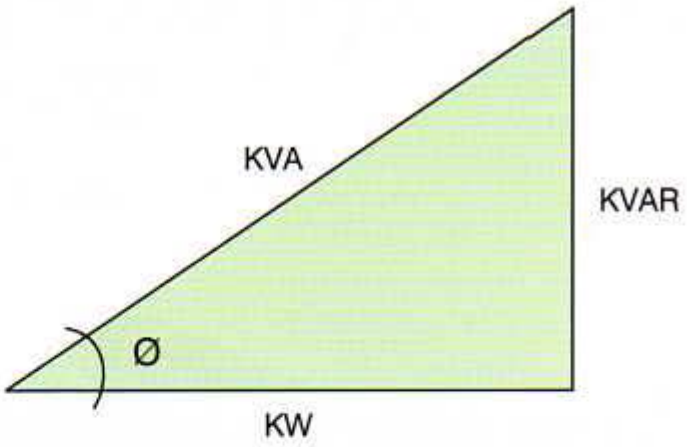
Capítulo 28

Triángulo de potencias

Contenido

Triángulo de potencias 308

Triángulo de potencias



$$KVA = \sqrt{(KW)^2 + (KVAR)^2}$$

$$F.P. = COS\ Ø = \frac{KW}{KVA}$$

28

Referencias

Contenido

Referencias 310

Referencias

1. NFPA 780 Standard for the installation of Lightning Protection Systems Edition 2004.
2. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding Std 80-2000.
3. Industrial Power Systems Handbook Donald, Beeman.
4. Soares Book on grounding Fifht Edition
5. IEEE Recommended practice for Powering and Grounding Electronic Equipment Std 1100-1999
6. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems Std 142-1991
7. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999 Instalaciones Eléctricas (Utilización), publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 27 de Septiembre de 1999
8. Understanding NE CODE rules on Grounding and Bonding, EC&M, Fred Hartwell
9. IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System ANSI/IEEE Std 81-1993
10. National Electrical Code 1996 NFPA 70
11. National Electrical Code 1999 NFPA 70
12. National Electrical Code 2002 NFPA 70
13. National Electrical Code 2005 NFPA 70
14. NFPA 77 Recommended practice on Static Electricity Edition 2000
15. Practical Guide to Ground Fault Protection, EC&M
16. Analysis Of the 1999 National Electrical Code, IAEI
17. Analysis of Changes, NEC 2002, IAEI-NFPA
18. Analysis of Changes, NEC 2005, IAEI-NFPA

NOTA: Las designaciones "National Electrical Code", "NEC®", que se utilizan en este libro, se refiere al National Electrical Code®, las cuales están registradas por la National Fire Protection Association.

Este libro se terminó de imprimir en el mes de noviembre de 2005, en Agencia de Servicios Publicitarios S.A. de C.V.

Se tiraron 2000 ejemplares más sobrantes

Agradecimientos

Eva, Anabel, Javier

Por su invaluable apoyo
para la realización de este libro.

A mis padres
Agustín (q.e.p.d.) y Cruz

Por su espíritu emprendedor y tenaz para
lograr que sus hijos cumplieran sus metas.



A mis hermanos
Susana, Salvador, Jorge, Agustín
y Arturo (q.e.p.d.)

Por su sincero cariño y
por ser parte de una gran familia.

A Schneider Electric México

Ing. Rafael Yañez
Ing. Sergio Ramírez
Ing. Gerardo Ruiz

Por su apoyo y por su labor en el proyecto
de capacitar a los electricistas de México.