



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

## Tabla de Contenido

	<i>Pág.</i>
1 OBJETIVO .....	5
2 CAMPO DE APLICACIÓN .....	6
3 GENERALIDADES .....	7
4 DEFINICIONES.....	7
5 NORMATIVIDAD DE REFERENCIA .....	12
6 SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....	12
6.1 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE TRANSFORMADORES .....	12
6.1.1 Conexiones de Puesta a Tierra de DPS, Borne Neutro y Carcasa.....	12
6.1.2 Sistema de Electrodo.....	16
6.1.3 Puesta a Tierra Simplificada.....	17
6.1.4 Puesta a Tierra del Neutro del Tendido Secundario .....	17
6.1.5 Valor de la Resistencia de Puesta a Tierra .....	18
6.2 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS DE MEDICIÓN .....	18
6.2.1 Conexión a Tierra de Equipos de Medición Directa .....	18
6.2.2 Conexión a Tierra de Equipos de Medida Semidirecta en Baja Tensión.....	19
6.2.3 Conexión a Tierra de Equipos de Medida Indirecta en Media Tensión .....	20
6.3 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE CABLES MONOPOLARES DE ALIMENTADORES Y/O ACOMETIDAS EN MEDIA TENSIÓN.....	21
6.4 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA RED SEMIAISLADA.....	22
6.5 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LOS CABLES MENSAJEROS DE LA RED SEMIAISLADA...25	
6.6 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LOS RECONECTADORES Y DEL EQUIPO DE FLEXIBILIDAD .....	26
6.7 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LUMINARIAS Y BRAZOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO .....	27
6.7.1 Conexión a Tierra en Redes Compartidas .....	27
6.7.2 Conexión a Tierra en Redes Exclusivas de Alumbrado Público .....	28
7 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD EL TERRENO Y RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA29	
7.1 MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD EL TERRENO.....	29



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

7.2	MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA .....	29
7.2.1	Método de la Caída de Potencial .....	29
7.2.2	Medida de Resistencia de Puesta a Tierra sobre Pavimentos o Suelos de Concreto.....	30
7.2.3	Medida de Resistencia de Puesta a Tierra Métodos Alternos .....	31



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

### Lista de Tablas

	<i>Pág.</i>
Tabla 1: Normatividad de referencia .....	12
Tabla 2: Conductor del electrodo de puesta a tierra .....	16
Tabla 3. Características de conductor de puesta a tierra.....	23
Tabla 4. Configuración de puesta a tierra para líneas aéreas de distribución .....	23

### Lista de Figuras

	<i>Pág.</i>
Figura 1. Tensiones de asociadas con los gradientes de potencial.....	6
Figura 2. Tierra de referencia en un sistema monofásico .....	9
Figura 3. Tierra de referencia en un sistema trifásico .....	10
Figura 4. Esquema eléctrico tensión de contacto o toque .....	10
Figura 5. Esquema eléctrico tensión de paso .....	11
Figura 6. Conexión a tierra transformador 1Ø y 2Ø en poste .....	13
Figura 7. Esquema eléctrico de conexión a tierra transformador 1Ø.....	14
Figura 8. Conexión a tierra transformador 3Ø en poste.....	14
Figura 9. Esquema eléctrico de conexión a tierra de un transformador 3Ø.....	15
Figura 10. Sistema de electrodo.....	17
Figura 11. Conexión en la caja de medidor de energía .....	19
Figura 12. Conexión a tierra de medición semidirecta .....	20
Figura 13. Conexión a tierra de medición indirecta .....	21
Figura 14. Esquema eléctrico de conexión a tierra de alimentadores primarios .....	22
Figura 15. Red semiaislada en configuración autosoportada .....	25
Figura 16. Transformadores monofásicos para conexión fase-tierra.....	26
Figura 17. Conexión de puesta a tierra de un reconectador .....	27



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

Figura 18. Conexión a tierra en redes de alumbrado público compartidas.....	28
Figura 19. Conexión a tierra en redes de alumbrado público dedicadas.....	28
Figura 20. Medición de la resistividad el terreno.....	29
Figura 21. Medición de la resistencia de puesta tierra por el método de la caída de potencial.....	30
Figura 22. Principio de funcionamiento de la pinza de corriente.....	31
Figura 23. Método de las dos pinzas para medición de resistencia de puesta a tierra.....	32



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

### 1 OBJETIVO

El objetivo general de esta norma es el de proveer el marco de referencia que permita diseñar, calcular, evaluar e inspeccionar un sistema de puesta de tierra de una instalación, entendiendo que la puesta a tierra es una parte integral del sistema de protección de personas y equipos en toda instalación eléctrica.

El objetivo específico de esta norma es proveer las herramientas necesarias para el diseño, la construcción y la revisión e inspección de los sistemas de puesta a tierra de una instalación.

El propósito fundamental de toda conexión al suelo o puesta a tierra es garantizar la seguridad de las instalaciones y de las personas que se relacionan con el sistema eléctrico conectado con la puesta a tierra. Lo anterior lo logra sirviendo como referencia común al sistema eléctrico a través de una conexión de baja resistencia, permitiendo estabilizar las tensiones fase-neutro, limitando las sobretensiones en las fases del sistema en condiciones de falla y conduciendo y disipando con suficiente capacidad estas corrientes, la carga electrostática y la energía de las descargas atmosféricas. En general, se espera que una puesta a tierra tenga suficiente capacidad de dispersión de energía en el suelo, y que a su vez limite los potenciales en su superficie (control de gradiente de potencial), de tal manera que no comprometan la seguridad de las personas por causa de una falla a tierra y/o de la operación de los dispositivos de protección contra sobretensiones - DPS, debido a una descarga atmosférica. Con base en lo anterior se debe cumplir con todo lo indicado y exigido por el RETIE en su Artículo 15 Puestas a tierra.

Desde un punto de vista funcional, los sistemas de puesta a tierra se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a. Como sistema de referencia.
- b. Como sistema de protección.
- c. Como sistema combinado, el cual integra las dos anteriores funciones.
- d. Como un sistema para controlar las perturbaciones electromagnéticas como la energía estática y la producida por alta frecuencia.
- e. Como sistema de seguridad para trabajo en líneas desenergizadas como puestas a tierra temporales.

Para un correcto diseño y desempeño se debe definir la función de la puesta a tierra de conformidad con el tipo de sistema eléctrico al cual debe servir y conectarse.

Toda conexión al suelo que sirva como referencia y protección debe evitar la posibilidad de la condición de neutro flotante, minimizar las tensiones de contacto, de paso y transferidas generadas por una falla en el sistema, por la operación de los DPS de los equipos debidas a descargas atmosféricas que

involucren las subestaciones asociadas con las redes de distribución y/o los fenómenos electromagnéticos asociados con impactos directos o indirectos de descargas atmosféricas en la instalación o en la edificación.

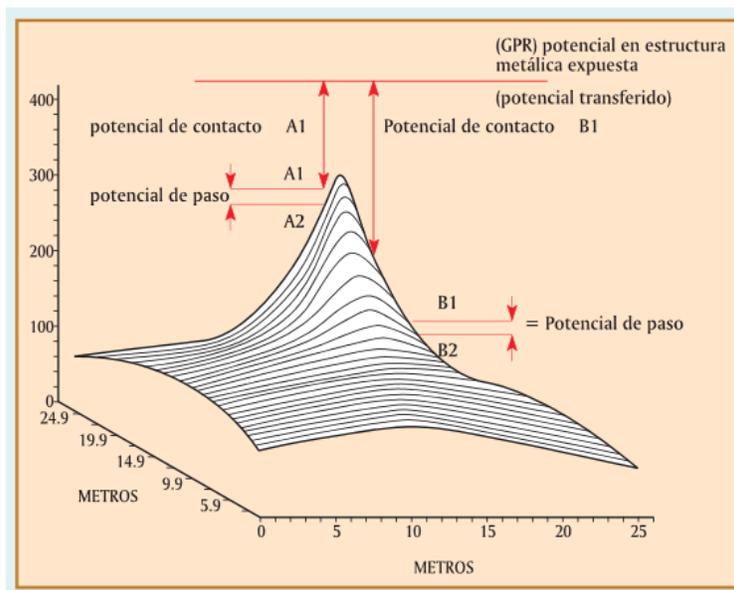


Figura 1. Tensiones de asociadas con los gradientes de potencial

## 2 CAMPO DE APLICACIÓN

Aplica a subestaciones en poste, subestaciones tipo interior, a la puesta a tierra de generadores fijos, a los sistemas de electrodo de apantallamiento, a los sistemas de equipotencialización entre puestas a tierra dedicadas y en general a todos los sistemas que requieran del diseño de un sistema de puesta a tierra.

El alcance de aplicación de esta norma es:

- El sistema de conexión al suelo o puesta a tierra de los postes y elementos metálicos que forman parte de las redes de distribución primaria y secundaria de propiedad de **EMCALI**.
- El sistema de conexión al suelo o puesta a tierra del neutro de los transformadores y del conductor neutro de los circuitos asociados con estos.
- El sistema de conexión al suelo o puesta a tierra de aquellos equipos de protección y/o de maniobra que lo requieran y que, por formar parte de las redes de uso general, son o pasarán a ser activos de **EMCALI**.
- La puesta a tierra de los equipos de medición en media y baja tensión.



# NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN

## CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

- e. Igualmente aplica para las puestas a tierra temporales que se requieren para la seguridad de los trabajadores cuando se desarrollan trabajos en las redes de distribución primaria y secundaria de **EMCALI**. Será exigible para cuadrillas propias y para las de los contratistas que realicen trabajos para **EMCALI** o para particulares sobre las redes bajo la jurisdicción de **EMCALI**.

Las subestaciones que formen parte de los activos de conexión de un usuario o cliente si bien no están obligadas a cumplir con esta norma, podrán apoyarse en ella para su diseño y su cálculo y adicionalmente deberán, en un todo, atemperarse a las exigencias de la NTC 2050 y del RETIE en sus versiones actualizadas y vigentes. Adicionalmente estarán sujetos a verificación y aprobación por parte de las entidades de Inspección RETIE, formando parte de la certificación de uso final de la instalación.

### 3 GENERALIDADES

Es necesario precisar el concepto de “Tierra eléctrica” conocido en inglés como “Ground” ya que tiende a confundirse con el de “Tierra física” conocido en inglés como “Earth”.

**TIERRA (GROUND):** Una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito o un equipo eléctricos se conecten al suelo (earth) o a algún cuerpo conductor de extensión relativamente grande que sirva en lugar del suelo.

**PUESTA A TIERRA (GROUNDING):** La técnica de crear una conexión conductora entre un sistema o un equipo eléctrico y el suelo (earth) o un cuerpo conductor que sirva en lugar del suelo (carcasa o masa).

Consecuentemente con lo anterior, la referencia “natural” para un sistema eléctrico es la tierra. (Earth). No obstante, hay sistemas eléctricos cuya referencia no es la tierra, si no la carcasa. (Un avión, un barco, un grupo electrógeno móvil, etc.), por lo anterior se pueden tener sistemas “Grounding”, sin que necesariamente sean “Earthing”

### 4 DEFINICIONES

Las definiciones y conceptos utilizados en esta norma son los señalados en el RETIE, la NTC 2050 y la NTC 2206 vigentes, no obstante, ampliaremos algunas definiciones importantes.

**BARRA DE TIERRA EQUIPOTENCIAL:** Elemento conductor al cual se conectan los conductores de tierra provenientes de los equipos. Físicamente es una barra de cobre con capacidad suficiente para conducir las corrientes de falla desde el sistema al cual se conecta y el sistema de electrodo.

**CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA (GROUNDING CONDUCTOR):** Conductor utilizado para conectar los equipos o el circuito puesto a tierra de una instalación, al electrodo o electrodos de tierra de la instalación.

**CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE LOS EQUIPOS (GROUNDING CONDUCTOR, EQUIPMENT (EGC):** Conductor utilizado para conectar las partes metálicas que no transportan



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

corriente de los equipos, canalizaciones y otros encerramientos, al conductor puesto a tierra, al conductor del electrodo de tierra de la instalación o a ambos, en los equipos de acometida o en el punto de origen de un sistema derivado independiente. Se debe dimensionar con la Tabla 250-122 de la NTC 2050 segunda actualización.

**CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA (GROUNDING ELECTRODE CONDUCTOR):** Conductor utilizado para conectar el conductor puesto a tierra del sistema o el equipo al electrodo de puesta a tierra o a un punto en el sistema del electrodo de puesta a tierra.

**CONDUCTOR PUESTO A TIERRA (GROUNDED CONDUCTOR):** Conductor de una instalación o circuito conectado intencionalmente a tierra. Generalmente es el neutro de un sistema monofásico o de un sistema trifásico en estrella.

**CONEXIÓN EQUIPOTENCIAL (BONDING CONECTED):** Unión permanente de partes metálicas no conductoras para formar una trayectoria eléctricamente conductora, que asegure la continuidad eléctrica y la capacidad para conducir con seguridad cualquier corriente que pudiera pasar.

**ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA (GROUNDING ELECTRODE):** Objeto conductor a través del cual se establece una conexión directa a tierra. Elemento o conjunto metálico conductor que se pone en contacto con la tierra física o suelo, ubicado lo más cerca posible del área de conexión del conductor de puesta a tierra al sistema. Puede ser una varilla destinada específicamente para ese uso o el elemento metálico de la estructura, la tubería metálica de agua en contacto directo con la tierra, un anillo o una malla formados por uno o más conductores desnudos destinados para este uso.

**EQUIPOTENCIALIDAD (BONDING):** Unión permanente de partes metálicas no conductoras de un sistema eléctrico que hace que varios puntos de este sistema se encuentren al mismo potencial eléctrico. Véase definición de *Conexión Equipotencial*.

**NEUTRO:** Véase la definición de *Conductor Puesto a Tierra*.

**PROTECCIÓN CONTRA FALLAS A TIERRA DE EQUIPOS:** Sistema destinado para ofrecer protección de los equipos contra corrientes peligrosas debidas a fallas de fase a tierra. Funciona haciendo que el medio de desconexión abra todos los conductores no puestos a tierra del circuito afectado para proteger los conductores contra sobrecorriente del circuito de suministro.

**PUNTE DE CONEXIÓN EQUIPOTENCIAL (BONDING CONDUCTOR OR JUMPER):** Conductor confiable que asegura la conductividad eléctrica necesaria entre las partes metálicas que deben estar conectadas eléctricamente.

**PUNTE DE CONEXIÓN EQUIPOTENCIAL, EQUIPOS (BONDING JUMPER, EQUIPMENT):** Conexión entre dos o más partes del conductor de puesta a tierra de equipos.

**PUNTE DE CONEXIÓN EQUIPOTENCIAL, PRINCIPAL (BONDING JUMPER, MAIN):** Conexión en la acometida, entre el conductor del circuito puesto a tierra y el conductor de puesta a tierra de equipos.



# NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

**PUESTO A TIERRA (GROUNDED):** Conectado al suelo o a cualquier cuerpo conductor que pueda actuar como referencia.

**PUESTO A TIERRA EFICAZMENTE:** Conectado intencionalmente a tierra a través de una conexión o conexiones de tierra de impedancia suficientemente baja y con capacidad de circulación de corriente suficiente para minimizar la aparición de tensiones que puedan provocar riesgos indebidos a las personas o a los equipos conectados.

**TENSIÓN A TIERRA:** En los circuitos puestos a tierra, es la tensión entre un conductor dado y el punto del conductor del circuito que está puesto a tierra; en los circuitos no puestos a tierra, es la mayor diferencia de tensión entre un conductor dado y cualquier otro conductor del circuito.

**TIERRA DE PROTECCIÓN:** Es la conexión física que se hace al sistema de referencia de las partes metálicas de los equipos eléctricos para evitar que la carcasa o cubierta metálica de ellos presenten un potencial respecto de tierra que pueda significar un peligro para el operario o usuario del equipo.

**TIERRA DE REFERENCIA:** Es la conexión al suelo del conductor puesto a tierra la cual se establece como referencia para las tensiones entre las fases y el neutro del sistema. Puede ser solida si se hace de manera directa o impedante si se realiza a través de una resistencia o una inductancia limitadora.

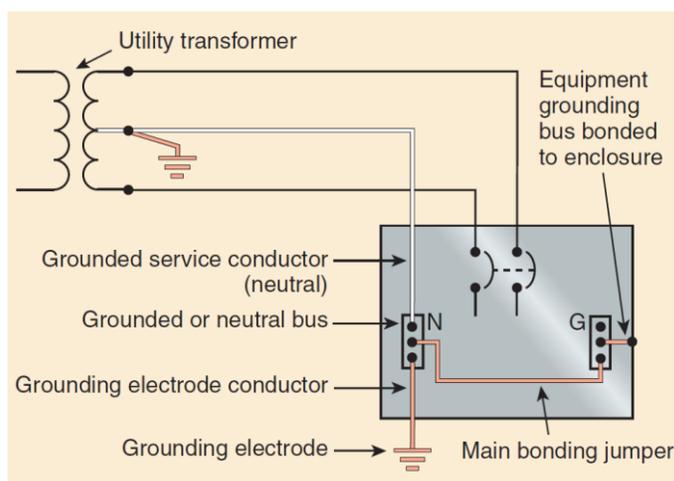


Figura 2. Tierra de referencia en un sistema monofásico

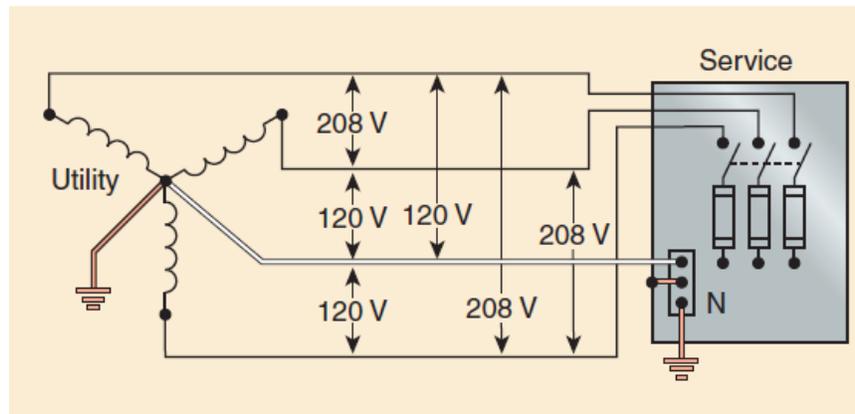


Figura 3. Tierra de referencia en un sistema trifásico

**ELEVACIÓN DEL POTENCIAL DE TIERRA. (GPR):** Es la elevación del potencial en el punto de referencia de un sistema eléctrico por efectos de la inyección de una corriente de descarga de los DPS o producto de una falla en el sistema. La elevación del potencial es función de la resistencia de puesta a tierra y de la corriente inyectada.

$$GPR = R_{pt} * I_{cc}$$

Como consecuencia de la elevación del potencial de tierra se presentan tensiones de paso, de contacto y transferidas que pueden llegar a valores peligrosos para los seres vivos que se encuentran dentro del campo de acción de estas tensiones.

**TENSIÓN DE CONTACTO:** Es la diferencia de potencial que podría experimentar una persona a través de su cuerpo cuando entra en contacto con una superficie energizada y simultáneamente tiene una mano o parte de su cuerpo en contacto con una estructura puesta a tierra.

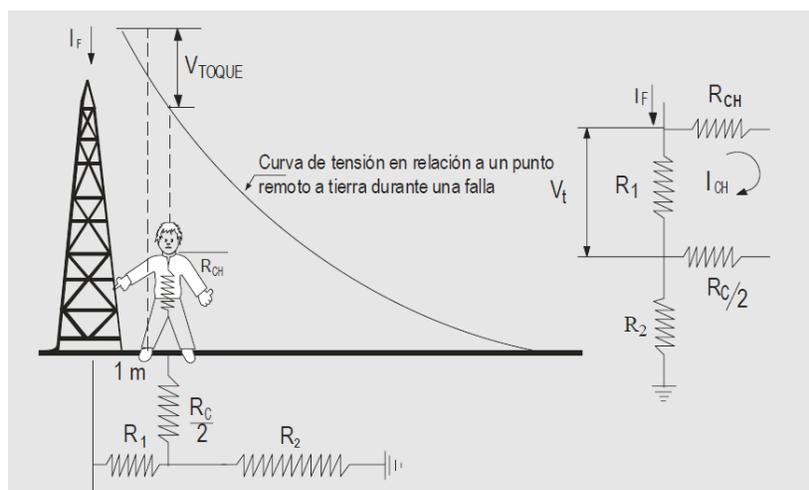


Figura 4. Esquema eléctrico tensión de contacto o toque

**TENSIÓN DE PASO:** Es la diferencial de potencial eléctrica entre dos puntos separados un metro entre sí, en dirección al punto de inyección de energía al suelo, debida a los gradientes de potencial en la superficie del terreno a la que quedaría sometida una persona al dar un paso mientras se está inyectando energía eléctrica en el área en que se desplaza.

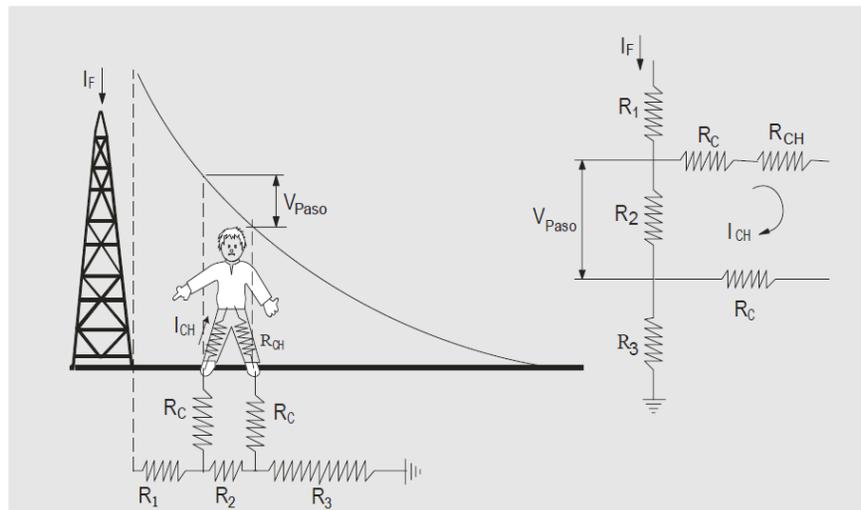


Figura 5. Esquema eléctrico tensión de paso

**TENSIÓN TRANSFERIDA:** Es la tensión de paso o de contacto que puede aparecer en un lugar cualquiera alejado del punto de inyección de corriente de falla al suelo, transmitida por un elemento metálico desde una instalación cercana hasta la tierra lejana.

**TIERRA TEMPORAL:** Es la conexión a tierra intencional que se realiza para aislar una zona de trabajo en una red distribución y crear una zona de trabajo donde todos los equipos tengan el mismo potencial o casi el mismo. La puesta a tierra efectiva temporal debe de utilizar una combinación de conexión a tierra y enlace equipotencial. La puesta a tierra debe poder disipar la condición de energización accidental y reducir el potencial dentro de la zona de trabajo. El enlace equipotencial debe asegurar que los trabajadores y el público no estén expuestos a diferencias de potencial peligrosas durante la condición de energización. Con esto se pretende eliminar o reducir substancialmente el flujo de energía hacia esta zona de trabajo a la que se le denomina "*Zona Equipotencia*". Quienes se encuentren dentro de esta zona de trabajo estarán protegidos contra flujos de energía incluso en condiciones de alta inducción o reenergización accidental. Debe cumplirse lo indicado en la norma IEC 61230.

Para la realización de trabajos en la red de distribución, se debe cumplir con lo indicado en los Artículos 7, 8, 9.2, 9.4 y 9.5 del RETIE.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

### 5 NORMATIVIDAD DE REFERENCIA

El sistema de puesta a tierra estará sujeto a los reglamentos, requisitos técnicos y procedimientos de fabricación vigentes (o el que lo modifique o sustituya) contenidos en las siguientes normas y estándares que se citan en la Tabla 1.

Tabla 1: Normatividad de referencia

Ítem	Norma / Entidad	Descripción
1.	RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas numeral 20.2.
2.	NTC 2050	Norma Técnica Colombiana (Código Eléctrico Colombiano).
3.	NTC 2206	Equipo de Conexión y Puesta a Tierra.
4.	IEC 61230	Live working - Portable equipment for earthing or earthing and short-circuiting.
5.	IEEE Std. 80	IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
6.	IEEE Std. 81	IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Grounding System.
7.	NTC 5019	Selección de Componentes del Sistema de Medición de Energía Eléctrica.
8.	NTC 6307	Sistemas de puesta a tierra (SPT).

### 6 SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

#### 6.1 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE TRANSFORMADORES

La puesta a tierra de todo transformador de potencia o de distribución, esté instalado en poste o en piso, deberá seguir los lineamientos propuestos a continuación y debe cumplir con lo exigido en los Artículos 15<sup>1</sup>, 20.6.3.1 q, 23.1 literal p, 24.3 literal i y 27.2 del RETIE:

##### 6.1.1 Conexiones de Puesta a Tierra de DPS, Borne Neutro y Carcasa

Antes de ser puesto en servicio un transformador de distribución que se conecte al sistema de **EMCALI**, el borne neutro de este y la barra común de los DPS deben estar sólidamente conectados a tierra.

<sup>1</sup> En la Tabla 15.3 se hace referencia al acero 304, el cual es una referencia específica del acero austenítico. El acero inoxidable austenítico es generalmente no magnético. Los principales elementos de aleación a veces se reflejan en el nombre del acero. Como un nombre común para acero inoxidable 304 es 18/8, para 18% de cromo y 8% de níquel.

La barra común de los DPS y el conductor de conexión al borne de puesta a tierra del transformador<sup>2</sup> se debe dimensionar con la expresión indicada a continuación y tomada del RETIE.

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

Donde:

- $A_{mm^2}$  Sección del conductor en  $mm^2$ .
- $I$  Corriente de falla a tierra, suministrada por **EMCALI** (rms en kA).
- $K_f$  Constante de la Tabla 15.3 del RETIE, para diferentes materiales y valores de  $T_m$  ( $T_m$  es la temperatura de fusión o el límite de temperatura del conductor a una temperatura ambiente de 40 °C).
- $t_c$  Tiempo de despeje de la falla a tierra.

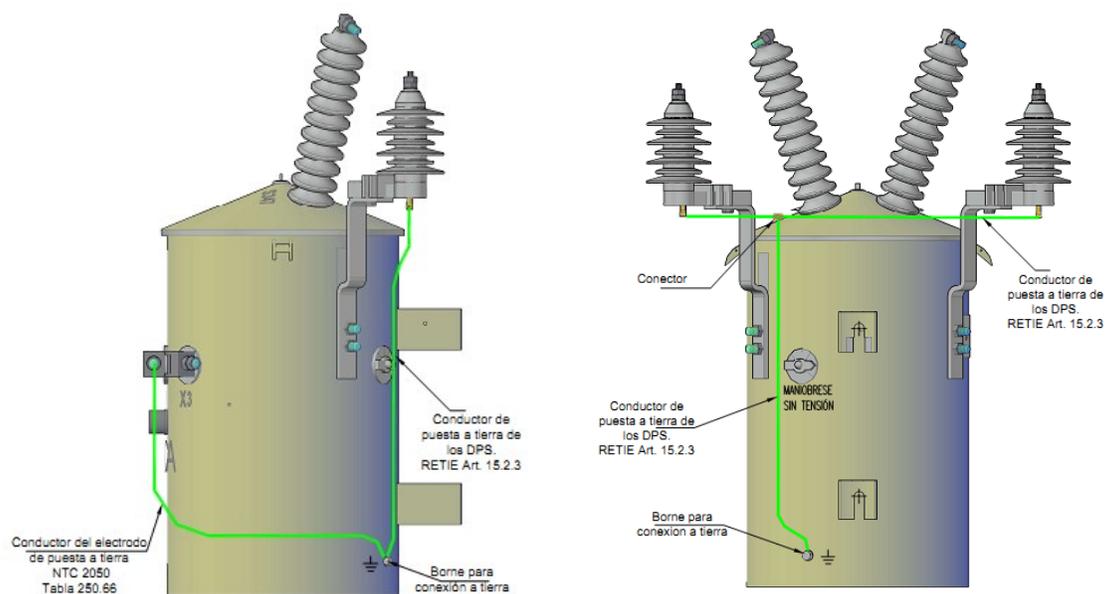


Figura 6. Conexión a tierra transformador 1Ø y 2Ø en poste

<sup>2</sup> El borne de puesta a tierra del transformador es el que se encuentra en el lado derecho inferior del tanque. El que se encuentra en la parte frontal es el borne de conexión equipotencial de la carcasa del mismo. Ver Figuras 6 y 8.

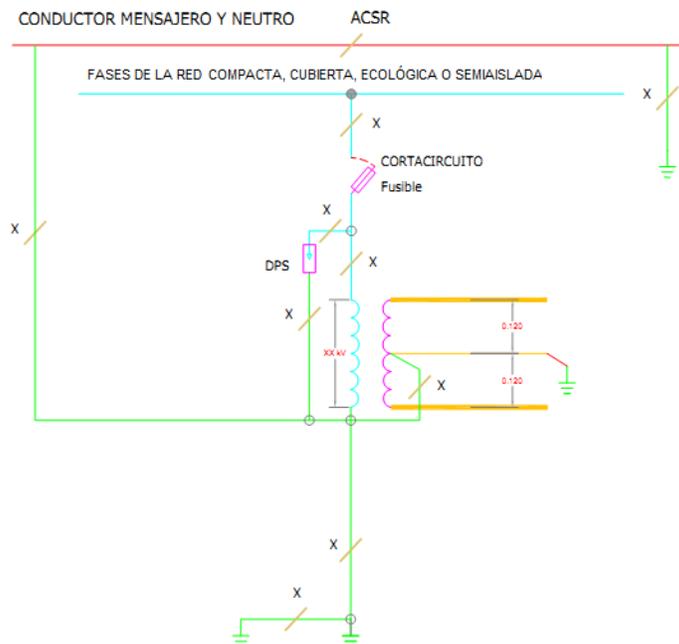


Figura 7. Esquema eléctrico de conexión a tierra transformador 1Ø

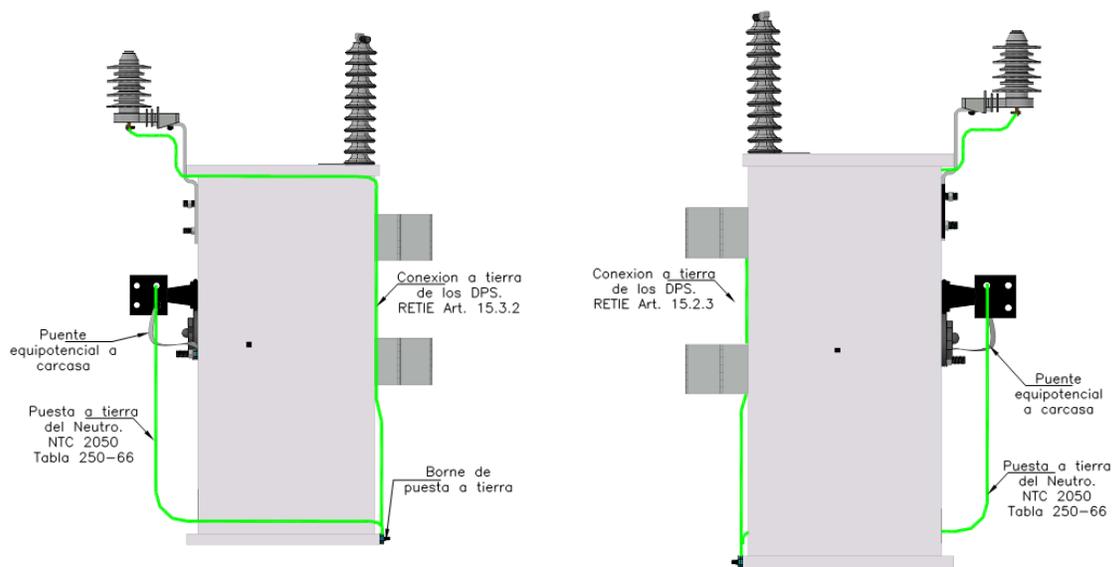


Figura 8. Conexión a tierra transformador 3Ø en poste

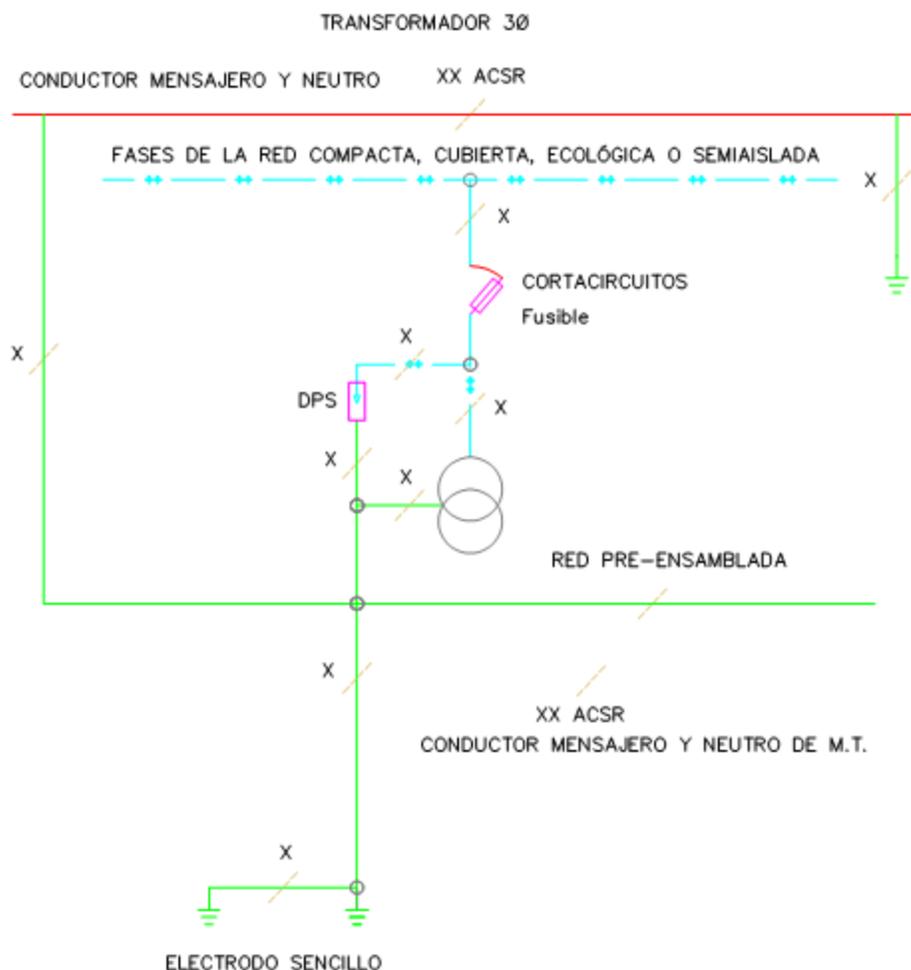


Figura 9. Esquema eléctrico de conexión a tierra de un transformador 3Ø

La barra común de los DPS deberá conectarse al conductor del electrodo de puesta a tierra – conectado al borne neutro del transformador- en la grapa lateral inferior derecha del transformador y desde allí dirigirse al sistema de electrodo por el ducto interno del poste.

El borne neutro del transformador se conectará al sistema de electrodo por medio del conductor del electrodo de puesta a tierra indicado en la Tabla 2<sup>3</sup> o el que se determine aplicando la Tabla 250-94 (Tabla 250-66 de la segunda actualización) de la NTC 2050, pasando por el borne de puesta a tierra del transformador. La conexión de puesta a tierra del neutro de los transformadores de distribución

<sup>3</sup> Aplica para las tensiones y potencias indicadas sin considerar el efecto de la distorsión armónica. En caso de que la distorsión armónica sobrepase los límites máximos permitidos por el RETIE en el artículo 20.6.3.1. q, se deberá dimensionar utilizando la Tabla 250-94 (Tabla 250-66) de la NTC 2050.



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

conectados a las redes de **EMCALI** debe ser sólida, es decir no conectada a través de ninguna impedancia.

Tabla 2: Conductor del electrodo de puesta a tierra

DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA			
kVA	SISTEMA	kV <sub>LL</sub>	CALIBRE Cu (AWG)
25	2Ø	0,240	# 6 Desnudo
37,5	2Ø	0,240	# 4 Desnudo
45	3Ø	0,208	# 4 Desnudo
50	2Ø	0,240	# 2 Desnudo
75	3Ø	0,208	# 6 Desnudo
112,5	3Ø	0,208	# 2/0 Desnudo
150	3Ø	0,208	# 2/0 Desnudo

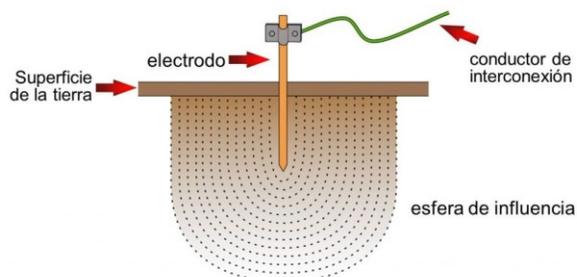
No está permitido utilizar el puente equipotencial a carcasa como camino para la conexión del neutro del transformador al sistema de electrodo ver Figura 6 y Figura 8.

Para subestaciones nuevas instaladas en poste solo se aceptará la instalación del conductor del electrodo de puesta a tierra por el ducto interno del poste. Para subestaciones nuevas tipo interior se deberán aplicar las exigencias del Artículo 15 del RETIE y las contenidas en la sección 250 de la NTC 2050 y sus artículos relacionados.

Para casos en los cuales sea necesario reponer la puesta a tierra de un transformador o equipo instalados en la red de distribución de **EMCALI** existente se podrá instalar, adosado al poste, un cable de acero tipo EHS de diámetro no inferior a los 8 mm ( $\varnothing$  5/16"), sección de área no inferior a los 50 mm<sup>2</sup> y  $R_{dc} \leq 5.09$  Ohm/km o un kit de puesta a tierra en acero austenítico 304 conformado por el conductor tipo fleje con el transductor de acople en el extremo superior y preforma en el extremo inferior para instalación del conector ajustable al fleje de conexión a la varilla, la varilla en acero inoxidable de 2.400 mm x  $\varnothing$  10 mm, las abrazaderas de acero inoxidable austenítico 304 con hebilla y en general todos los elementos necesarios para interconectar la barra común de los DPS y el neutro del transformador.

### 6.1.2 Sistema de Electrodo

Un sistema de electrodo es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con el suelo, su función principal es ayudar a dispersar la energía eléctrica de una falla, de una descarga de los DPS, o del impacto directo o, indirecto de una descarga atmosférica y conducida al suelo por el conductor de electrodo de puesta a tierra. Debe cumplir con lo exigido por el RETIE en su Artículo 15.3.1



*Figura 10. Sistema de electrodo*

Los sistemas de electrodo pueden ser de diferentes formas, tamaños y estar contruidos en diferentes materiales tal como lo señala la Tabla 15.2 Requisitos para electrodos de puesta a tierra del RETIE.

### **6.1.3 Puesta a Tierra Simplificada**

De conformidad con lo indicado en el Artículo 15.2 del RETIE: “En instalaciones de uso final con subestación tipo poste, el diseño de la puesta a tierra puede simplificarse, pero deben tenerse en cuenta los parámetros de resistividad del terreno, corrientes de falla que se puedan presentar y los tipos de cargas a instalar. En todo caso se deben controlar las tensiones de paso y de contacto.”

Una puesta a tierra simplificada es aquella que no se modela por el método de la IEEE 80 como malla de puesta a tierra. Es la que se ha realizado tradicionalmente en los transformadores instalados en poste la cual consiste en la instalación de una varilla de puesta a tierra.

La exigencia RETIE de control de las tensiones de paso y de contacto para la puesta a tierra simplificada lleva al cálculo de las mismas y a la modificación del sistema de electrodo tradicional compuesto por una sola varilla, de acuerdo con los cálculos realizados para las diferentes configuraciones de sistema de electrodo estudiadas.

### **6.1.4 Puesta a Tierra del Neutro del Tendido Secundario**

El sistema de distribución secundaria tanto aérea como subterránea tendrá un régimen de conexión al suelo TNC-S, como lo indica el RETIE en su Artículo 24.2.

El neutro de las redes de distribución secundaria asociados con un circuito primario será continuo y se conectará al conductor del electrodo de puesta a tierra en cada transformador de distribución y en cada uno de los puntos terminales de los ramales de la red. La interconexión del neutro de los transformadores adyacentes disminuye el valor de la resistencia a tierra total del sistema, limita la tensión en las fases sanas cuando se presenta una falla a tierra y ayuda a controlar las tensiones desequilibradas que se presentan por la rotura del conductor neutro en alguna parte del sistema de distribución secundaria.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

Los conductores de puesta a tierra de los neutros de las redes de baja tensión deberán cumplir lo exigido en el Artículo 15.3.1, especialmente lo indicado en la Tabla 15.2 del mismo artículo. Se deben instalar dentro de los espacios internos que la postería debe ofrecer para alojar los conductores de puesta a tierra.

El electrodo tipo varilla debe estar identificado con el nombre del fabricante, la marca registrada o ambos y sus dimensiones; esto debe hacerse dentro de los 30 cm de su parte superior, según criterio adoptado de la NTC 2206.

### 6.1.5 Valor de la Resistencia de Puesta a Tierra

El valor calculado para la resistencia de puesta a tierra de los transformadores en las redes de distribución no debe ser mayor que el indicado para subestaciones de media tensión en la Tabla 15.4 del RETIE. El valor medido para las resistencias de puesta a tierra de referencia de cualquier otra parte del sistema de distribución secundaria debe ser menor o igual a 25  $\Omega$ , incluyendo los de la conexión del neutro de las acometidas en baja tensión, tal como lo indica la Tabla 15.4 del RETIE.

El cumplimiento de estos valores no necesariamente garantiza que las tensiones de paso, contacto y transferidas aplicadas al ser humano en caso de una falla a tierra no superen las máximas permitidas, por lo tanto, estas se deberán calcular mediante simulación por software. Tal como lo indica el RETIE en el Parágrafo del Artículo 15.5.3, las tensiones de paso y contacto solo deberán ser medidas en caso de que la corriente de falla en el primario exceda los 10 kA o la medición de la resistencia de puesta a tierra construida sea mayor al doble de la calculada mediante simulación.

Cuando existan altos valores de resistividad del terreno, elevadas corrientes de falla a tierra o prolongados tiempos de despeje de estas, se deben tomar las siguientes medidas para no exponer a las personas a tensiones por encima de los umbrales de soportabilidad del ser humano:

- a. Hacer inaccesibles zonas donde se prevea la superación de los umbrales de soportabilidad de tensiones de contacto o de paso para seres humanos.
- b. Instalar pisos o pavimentos de gran aislamiento como en asfalto o rechazo de asfalto, por ejemplo.
- c. Aislar todos los dispositivos que puedan ser tocados por una persona.
- d. Establecer conexiones equipotenciales.

## 6.2 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS DE MEDICIÓN

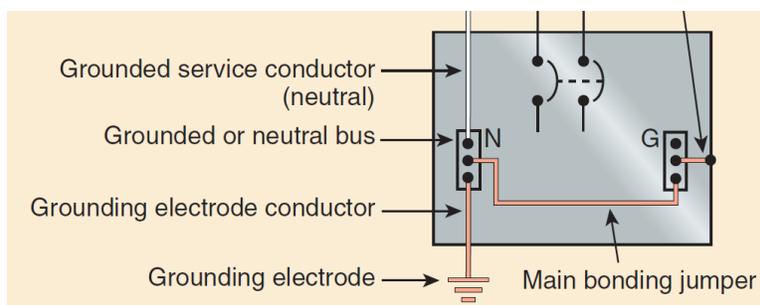
### 6.2.1 Conexión a Tierra de Equipos de Medición Directa

Los equipos de medición deben estar alojados dentro de una caja de medidores la cual debe cumplir con lo indicado en el Capítulo 4, Instalación y Medida de la Norma de Diseño de Media y Baja Tensión.

Esta caja debe tener en su interior un barraje para conexión del conductor neutro y otro para el conductor de tierra debidamente montados sobre aisladores y contar con el puente equipotencial entre el barraje de tierra y la carcasa y entre esta y cada una de las puertas de la caja.

El conductor puesto a tierra (generalmente es el neutro de la acometida) se deberá conectar al barraje del neutro con un conductor de calibre no inferior al indicado por la Tabla 250-94 de la NTC 2050, al igual que el conductor del electrodo de puesta a tierra, el cual deberá conectar este barraje y el sistema de electrodo de referencia.

El puente principal equipotencial se instalará con un conductor que cumpla con la condición establecida en la Tabla 250-95 de la NTC 2050.



*Figura 11. Conexión en la caja de medidor de energía*

## **6.2.2 Conexión a Tierra de Equipos de Medida Semidirecta en Baja Tensión**

Los equipos de medición deben estar alojados dentro de una caja de medidores la cual debe cumplir con lo indicado en el Capítulo 4, Instalación y Medida de la Norma de Diseño de Media y Baja Tensión.

Esta caja debe tener en su interior al menos un barraje para tierra debidamente montado sobre aisladores y contar con el puente equipotencial entre este barraje y la carcasa y entre esta y cada una de las puertas de la misma.

El punto común de los TC o cierre de las bobinas se deberá conectar como lo indica la NTC 5019.

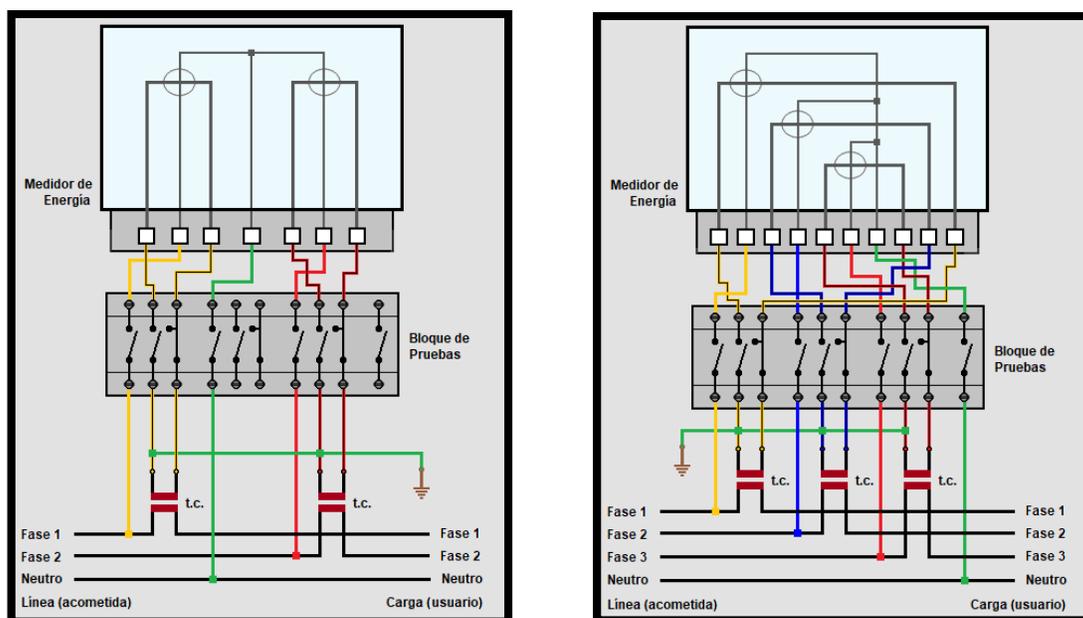


Figura 12. Conexión a tierra de medición semidirecta

El conductor de puesta a tierra del cierre de las bobinas deberá cumplir con la exigencia de la Tabla NTC 250-94. Este conductor se deberá conectar, en la medida de lo posible, al barraje equipotencial de la caja de registro asociada con la puesta a tierra del sistema de electrodo del sistema del transformador o a una varilla de puesta a tierra la cual deberá cumplir con lo exigido en la Tabla 15.2 del RETIE.

### 6.2.3 Conexión a Tierra de Equipos de Medida Indirecta en Media Tensión

Los equipos de medición deben estar alojados dentro de una caja de medidores la cual debe cumplir con lo indicado en el Capítulo 4, Instalación y Medida de la Norma de Diseño de Media y Baja Tensión.

Esta caja debe tener en su interior al menos un barraje para tierra debidamente montado sobre aisladores y contar con el puente equipotencial entre este barraje y la carcasa y entre esta y cada una de las puertas de la misma.

El punto común de los T.T.<sup>4</sup> y de los T.C.<sup>5</sup> o cierre de las bobinas se deberá conectar como lo indica la NTC 5019.

4 T.T. Son los transformadores de tensión del sistema de medición.

5 T.C. Son los transformadores de corriente del sistema de medición.

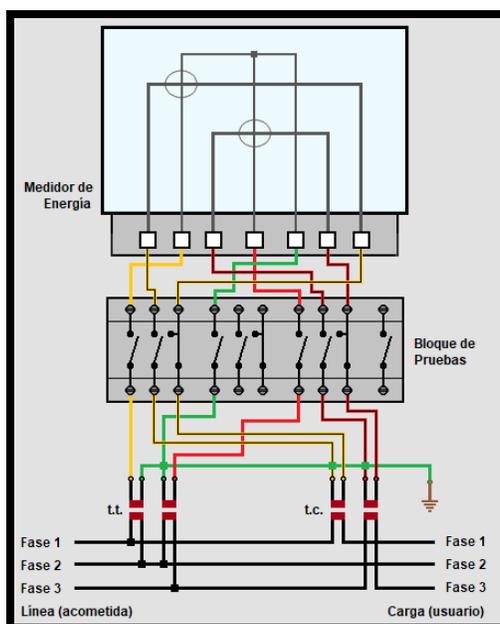


Figura 13. Conexión a tierra de medición indirecta

El conductor de puesta a tierra del cierre de las bobinas deberá cumplir con la exigencia del Artículo 15.3.2 del RETIE para la puesta a tierra en media tensión. Este conductor se deberá conectar, en la medida de lo posible, al barraje equipotencial de la caja de registro asociada con la puesta a tierra del sistema de electrodo del sistema del transformador o a una varilla de puesta a tierra la cual deberá cumplir con lo exigido en la Tabla 15.2 del RETIE.

### 6.3 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE CABLES MONOPOLARES DE ALIMENTADORES Y/O ACOMETIDAS EN MEDIA TENSIÓN

Para transiciones aérea a subterránea o para acometidas o circuitos ramales de menos de 500 metros, los adaptadores de puesta a tierra de los cables monopolares deberán cortocircuitarse en los dos extremos y al menos uno de ellos<sup>6</sup> se deberá conectar al sistema de puesta a tierra a través del conductor del electrodo de puesta a tierra de los DPS asociados con toda transición como lo exige el RETIE en el Artículo 20.14.2. El conductor de puesta a tierra del cierre de los adaptadores de puesta a tierra deberá cumplir con la exigencia del RETIE para el conductor de puesta a tierra de media tensión en su Artículo 15.3.2.

Para transiciones aérea a subterránea o para acometidas o circuitos ramales de 500 metros o más se deberá controlar la sobretensión generada por el efecto capacitivo del conductor instalando un conductor de tierra a lo largo de la canalización y conectar a tierra los adaptadores de puesta a tierra

<sup>6</sup> Preferiblemente al más cercano al punto de conexión a la red primaria en el sentido de flujo de la energía.

en los dos extremos a este conductor, el cual a su vez deberá conectarse a sendas varillas de puesta a tierra en las cajas de registro más cercanas al punto de ingreso/afloramiento de la red. El calibre de este conductor debe poder soportar al corriente de cortocircuito en el sistema al cual está conectado al igual que el conecta los adaptadores de puesta a tierra. El menor calibre para instalar es el # 4 AWG Cu D.D.

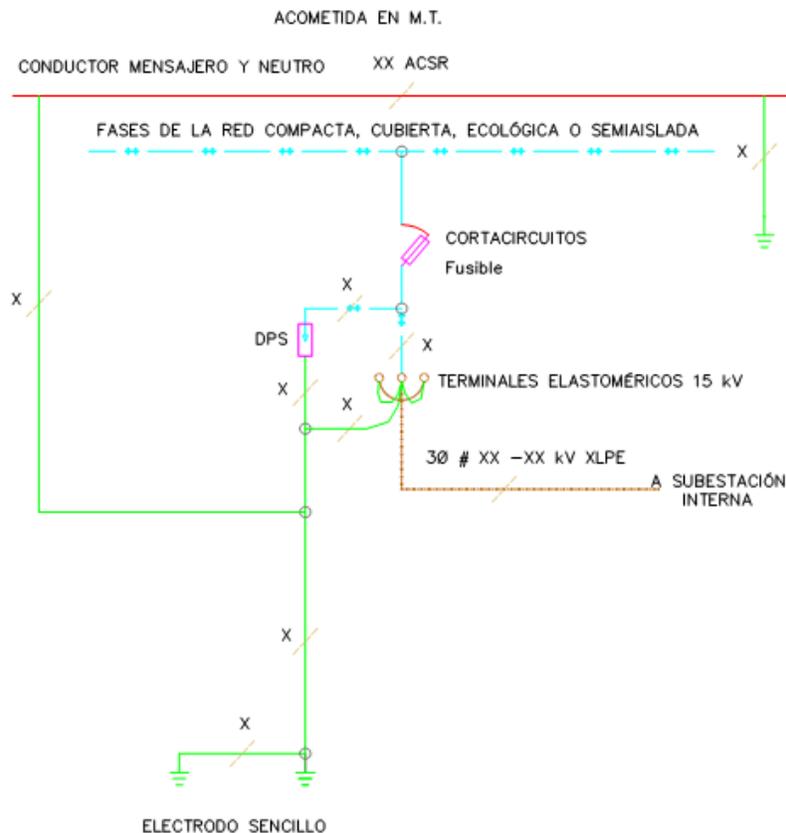


Figura 14. Esquema eléctrico de conexión a tierra de alimentadores primarios

## 6.4 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA RED SEMIAISLADA

La línea de distribución de energía eléctrica debe disponer de un sistema de puesta a tierra, de forma que cualquier punto normalmente accesible a personas, no esté sometido a tensiones superiores a los umbrales de la capacidad de soporte del ser humano. Este requerimiento cubre los apoyos y conjuntos que ante una sobretensión temporal, puedan desencadenar una falla permanente a frecuencia industrial entre la estructura puesta a tierra y la red.

Para las redes aéreas de media tensión se deberá aterrizar en cada apoyo el cable de guarda y garantizar un valor de puesta a tierra menor de  $20 \Omega$  (RETIE, Artículo 15.4 Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra, Tabla 15.4).



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

La selección del conductor a tierra depende del valor de la corriente de cortocircuito de régimen transitorio a 150 m en el punto de instalación de la puesta a tierra. Este valor será suministrado por **EMCALI**.

El conductor a seleccionar debe cumplir la siguiente ecuación:

$$I_{cc} \leq I_{cc\_adm}$$

Donde:

$I_{cc}$  Intensidad de cortocircuito en el punto de instalación de la puesta a tierra (kA).

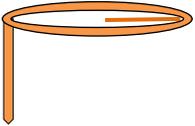
$I_{cc\_adm}$  Intensidad de cortocircuito máxima admisible del conductor (kA) (ver Tabla 3).

Tabla 3. Características de conductor de puesta a tierra

Característica	Cable Cooper Clad Steel 3/8"	Acero Galvanizado 3/8"
Sección transversal total (mm <sup>2</sup> )	58,56	51,1
Diámetro (mm)	9,8	9,52
Conductividad (%)	30	8,5
Temperatura de fusión (°C)	1084	419
Corriente de cortocircuito admisible máxima (kA)	20,38	8,99

Para la selección del electrodo de puesta a tierra se deberá medir la resistividad aparente del terreno, con la cual se procederá a seleccionar la configuración para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra que debe ser menor a 20 Ω.

Tabla 4. Configuración de puesta a tierra para líneas aéreas de distribución

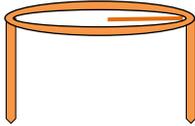
Configuración	Protección	Resistividad del Terreno $\rho$ (Ω/m)	Resistencia de Puesta a Tierra $R_{PAT}$ (Ω)
	Cable de guarda	56	$R_{PAT} = \frac{\rho}{2,79}$
	DPS	28	
	Cable de guarda	124	$R_{PAT} = 0,16 \cdot \rho$
	DPS	62	



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 11 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SPT 2020

VERSIÓN: 1

Configuración	Protección	Resistividad del Terreno $\rho$ ( $\Omega/m$ )	Resistencia de Puesta a Tierra $R_{PAT}$ ( $\Omega$ )
	Cable de guarda	166	$R_{PAT} = 0,12 \cdot \rho$
	DPS	83	

Para suelos con valores de resistividad aparente superior a los valores definidos en la Tabla 4, el diseñador debe establecer en la memoria de cálculo del proyecto un procedimiento reconocido por la práctica de la ingeniería actual para la obtención del valor de resistencia de puesta a tierra normalizado, seleccionar la opción más viable para el proyecto, dependiendo de las características del terreno y las características técnicas del equipo a proteger.

Como última opción se permite utilizar suelo artificial para suelos con muy alta resistividad. El diseñador tendrá en cuenta las siguientes recomendaciones para reducir el valor de la resistencia de puesta a tierra:

1. Reducción del valor de resistencia de puesta a tierra aplicando un material acondicionador, entre los cuales se cuenta la bentonita sódica, sulfato de magnesio, sulfato de cobre o cloruro de calcio.
2. La utilización de suelos importados o naturales deben cumplir las siguientes características mínimas:
  - Fácil de aplicar.
  - No poner en riesgo a quienes lo manipulen o a los animales. No debe dañar los suelos naturales donde sea aplicado.
  - Retención de la mayor cantidad de humedad durante el mayor tiempo posible. No debe requerir hidratación previa con agitación.
  - Insoluble en agua.
  - Alta capacidad de intercambio catiónico.
  - Poco alterable con el tiempo.
  - Que los procesos químicos originados durante la mezcla sean reversibles.
3. Cuando existan altos valores de resistividad del terreno, elevadas corrientes de falla a tierra o prolongados tiempos de despeje de las mismas y no sea posible cumplir con el valor de la

resistencia de puesta a tierra establecida, se deberán tomar las medidas establecidas en el Artículo 15.4 del RETIE.

## 6.5 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LOS CABLES MENSAJEROS DE LA RED SEMIAISLADA

Con el uso creciente de la red semiaislada en configuración autoportada, el conductor mensajero puede hacer las veces de neutro del sistema de distribución primaria.

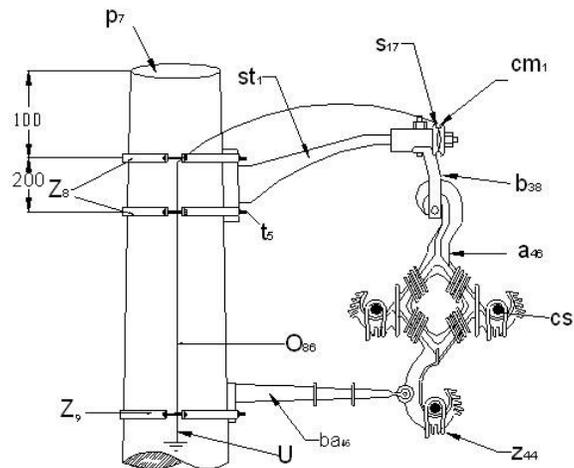


Figura 15. Red semiaislada en configuración autoportada

Igualmente posibilita la instalación de transformadores de distribución para conexión fase - neutro. Estos transformadores además de conectarse al neutro del sistema primario deberán tener su conexión a tierra como referencia tal como se ilustra en la Figura 16.

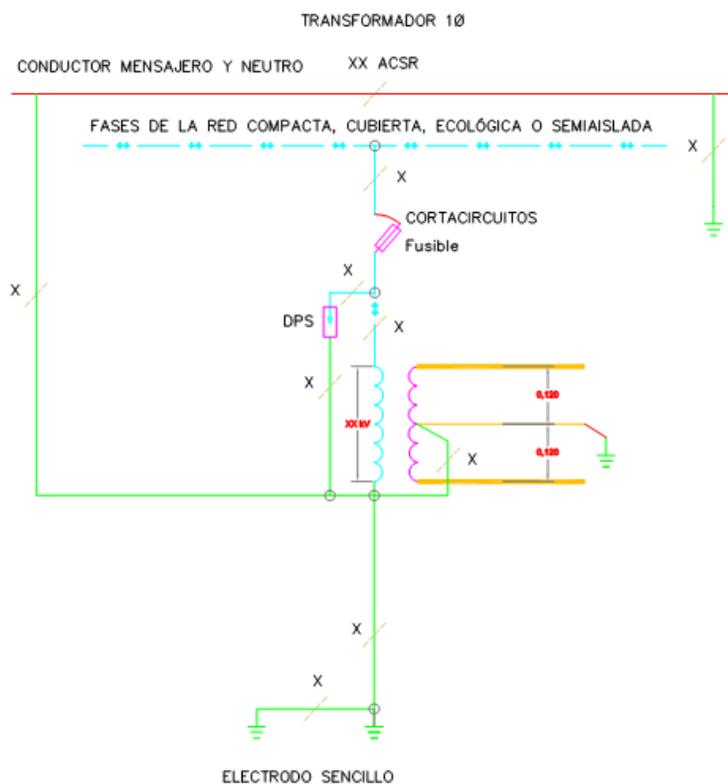


Figura 16. Transformadores monofásicos para conexión fase-tierra

El conductor mensajero o neutro se deberá dimensionar del mismo calibre de las fases o de conformidad con lo indicado en factibilidad del servicio o los datos básicos de diseño, de forma tal que se vaya construyendo el neutro del alimentador o del ramal primario.

## 6.6 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LOS RECONECTADORES Y DEL EQUIPO DE FLEXIBILIDAD

Todos los equipos instalados en la red de distribución de **EMCALI** deben tener una conexión a tierra mediante un conductor del electrodo de puesta a tierra y un sistema de electrodo sencillo los cuales deben cumplir lo exigido por el RETIE en sus Artículos 15, 23.1, 24.3, 24.4, 25.3, 27.2.

Se deberá consultar el manual de fabricante, pero a manera de ilustración se indica a continuación la forma de conexión a tierra propuesta para un reconector instalado en poste.

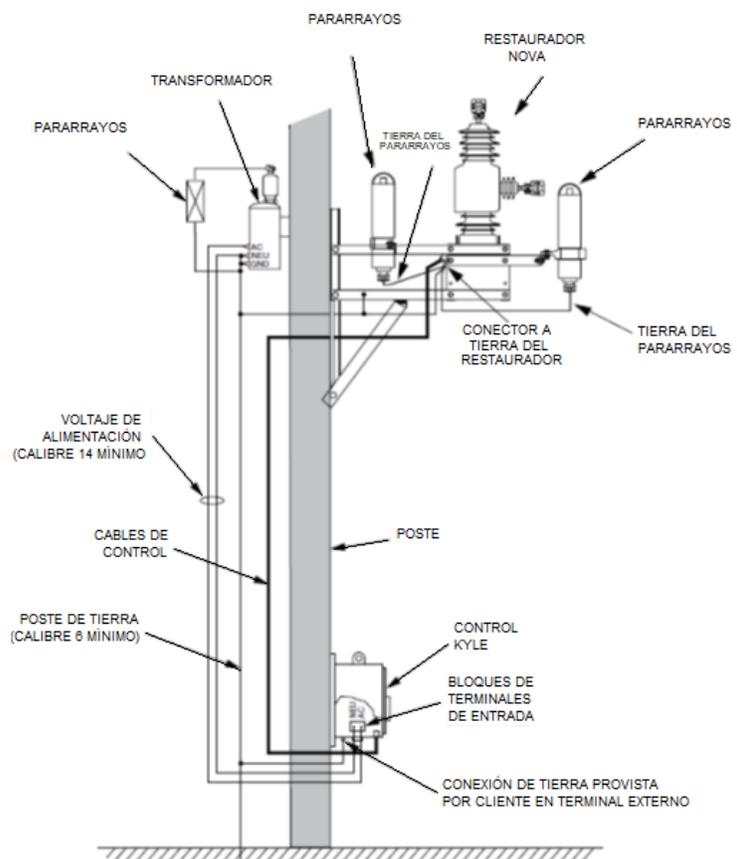


Figura 17. Conexión de puesta a tierra de un reconector

## 6.7 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LUMINARIAS Y BRAZOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO

### 6.7.1 Conexión a Tierra en Redes Compartidas

Las redes aéreas de distribución secundaria existentes y las nuevas no tendrán hilo de protección de equipos o hilo de tierra ya que por su naturaleza su régimen de conexión de neutro es TNC-S. Por ello se debe conectar la carcasa y el tubo de las luminarias de alumbrado público al neutro de la red secundaria. Al estar interconectado el neutro de los transformadores de distribución y contar con la puesta a tierra de cada uno de ellos y de los terminales de la red secundaria, esta red provee un camino expedito para fallas internas en las luminarias. Igualmente es una buena referencia para los drivers de éstas. Por ello no se requiere de una puesta a tierra especial o dedicada para cada luminaria en cada poste.

RED DE USO COMPARTIDO

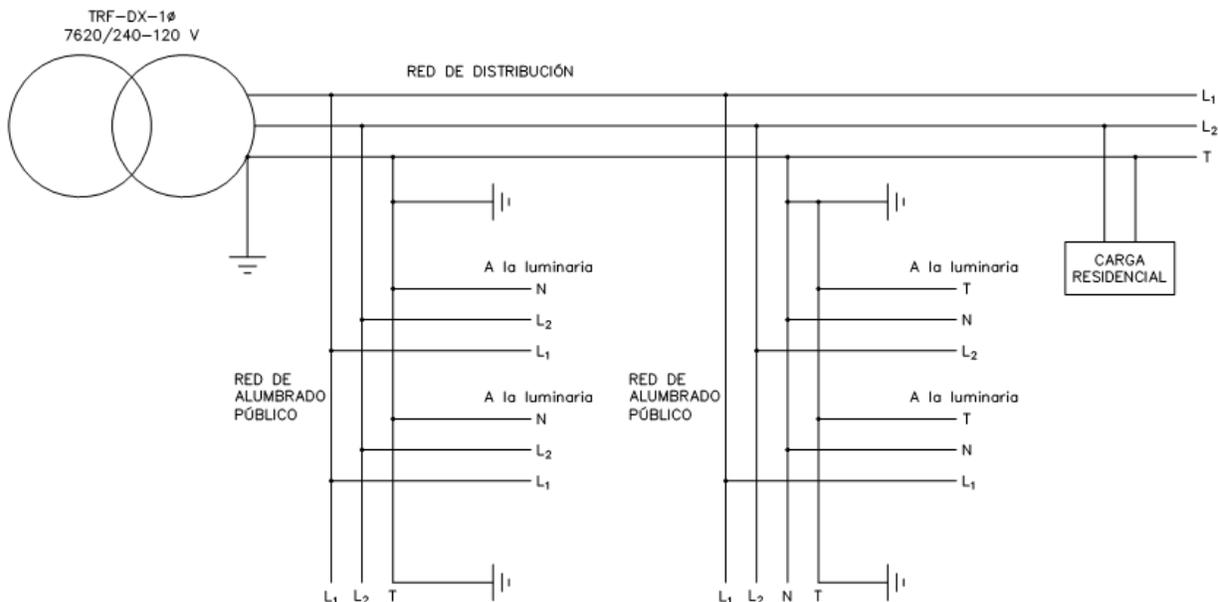


Figura 18. Conexión a tierra en redes de alumbrado público compartidas

### 6.7.2 Conexión a Tierra en Redes Exclusivas de Alumbrado Público

Las redes aéreas y subterráneas de distribución exclusivas para alumbrado público alimentadas desde transformadores exclusivos para la red de alimentación de las luminarias deberán contar con el hilo de protección o de tierra. En las redes aéreas el hilo mensajero podrá hacer las veces del hilo de tierra o de protección. La puesta a tierra de este hilo de tierra seguirá las mismas pautas de la puesta a tierra de las redes de distribución secundaria.

RED DE USO EXCLUSIVO



Figura 19. Conexión a tierra en redes de alumbrado público dedicadas

## 7 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD EL TERRENO Y RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

### 7.1 MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD EL TERRENO

La medición de la resistividad del terreno se deberá hacer en el terreno donde se construirá la subestación y/o preferiblemente donde se construirá el sistema de electrodo. Se deberá cumplir lo indicado por el RETIE en el Artículo 15.5.1.

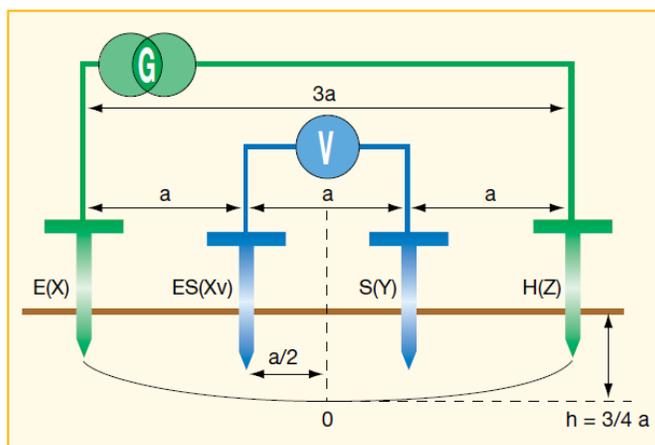


Figura 20. Medición de la resistividad el terreno

Se deberá entregar el reporte de medición en al menos dirección norte-sur y este-oeste tomadas a interdistancias entre picas de 2, 3 y 4 metros para cada orientación.

Se deberá calcular la resistividad aparente del terreno y hacer los ajustes pertinentes por el método de Box-Cox si las medidas indican que el modelo del suelo no es de dos capas.

### 7.2 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

#### 7.2.1 Método de la Caída de Potencial

La medición de la resistencia de puesta a tierra deberá cumplir lo indicado por el RETIE en el Artículo 15.5.2.

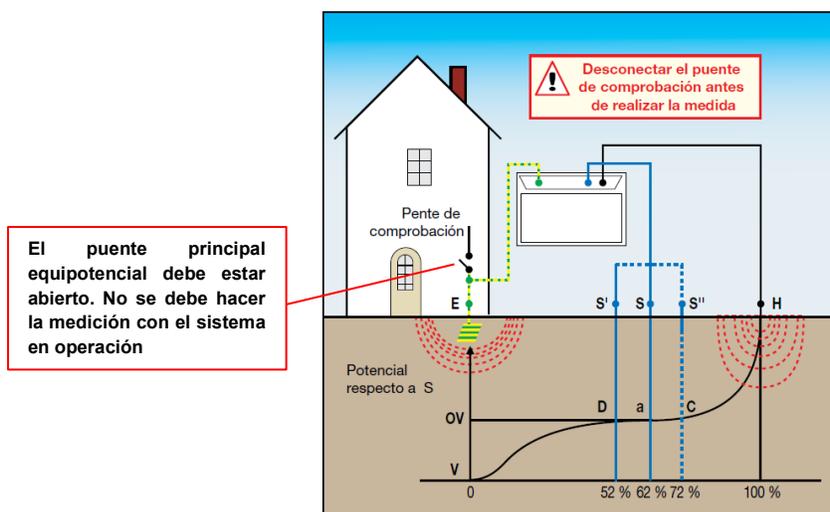


Figura 21. Medición de la resistencia de puesta tierra por el método de la caída de potencial

Para la medición por este método el sistema debe estar desenergizado y el puente principal equipotencial debe estar abierto. No se deben realizar estas mediciones con el sistema energizado y en operación.

En caso de contar con un equipo que permita la medición con el sistema energizado se debe abrir el puente principal equipotencial, en cuyo caso se debe garantizar que al abrir el puente principal equipotencial no quede neutro flotante.

## 7.2.2 Medida de Resistencia de Puesta a Tierra sobre Pavimentos o Suelos de Concreto

Algunas veces la puesta a tierra se encuentra rodeada de suelos cubiertos por pavimentos, concreto o cemento y en los cuales no es fácil la colocación de los electrodos de prueba tipo varilla. En tales casos pueden usarse placas de cobre para reemplazar los electrodos auxiliares y agua para remojar el punto y disminuir la resistencia de contacto con el suelo. Los procedimientos y requerimientos para la implementación de este método de medición deberán estar acorde a lo indicado en la ASTM D 363398 "Standard Test Method for Electrical Resistivity of Membrane-Pavement Systems".

Las placas de cobre deberán ser dispuestas a la misma distancia en que se colocarían los electrodos auxiliares de acuerdo al método de la caída de potencial previamente descrito. Las dimensiones de la placa deberán ser de 30x30 cm y espesor de 3,8 cm. Se debe verter agua sobre las placas y remojar el sitio donde serán ubicadas para mejorar el contacto con el suelo. Es necesario esperar un tiempo prudente para que el agua penetre y la lectura de la resistencia se haya estabilizado. El tiempo requerido para el proceso de penetración de la humedad variará dependiendo del espesor y de la permeabilidad de la capa del pavimento (30 minutos son normalmente suficientes). Se debe tener

cuidado de que las áreas humedecidas no se traslapen. Las placas realizarán la misma función de los electrodos auxiliares.

Para este método se deben documentar las mediciones realizadas en formato que muestre las mediciones realizadas conteniendo valor en ohmios medido y distancias entre placas en metros.

### 7.2.3 Medida de Resistencia de Puesta a Tierra Métodos Alternos

Donde por razones obvias no se pueda desconectar el puente principal equipotencial, o no se puedan instalar las picas auxiliares, se podrán utilizar métodos alternativos como el de la pinza o las dos pinzas.

La pinza de tierra tiene la ventaja de poder utilizarse de modo sencillo y rápido, ya que con sólo abrazar el cable conectado a la tierra se conoce el valor de la resistencia de puesta tierra, así como el valor de las corrientes que circulan por él.

Una pinza de tierra consta de dos devanados, un devanado “generador” y un devanado “receptor”. El devanado “generador” de la pinza induce una tensión alterna a nivel constante  $E$  en torno al conductor abrazado; una corriente  $I = E / R$  de bucle circula entonces a través del bucle resistivo. El devanado “receptor” mide esta corriente. Conociendo  $E$  e  $I$ , el equipo calcula la resistencia del bucle de tierra.

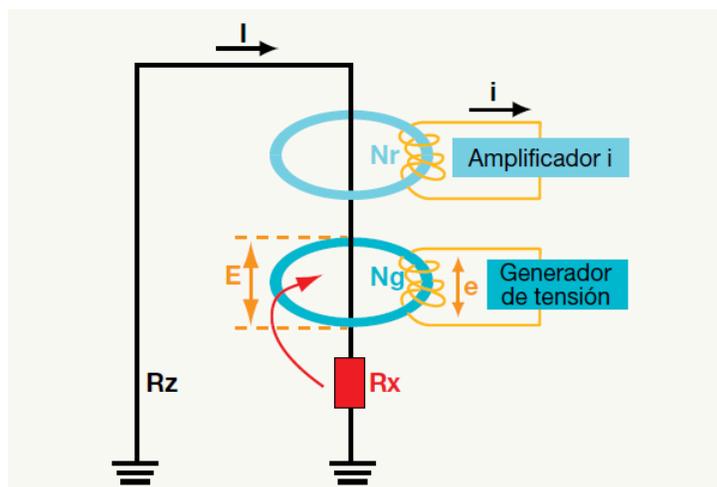


Figura 22. Principio de funcionamiento de la pinza de corriente

Este método se basa en el mismo principio que el de la pinza de tierra. El método consiste en colocar dos pinzas alrededor del conductor del electrodo de puesta a tierra probado y de conectar ambas al instrumento. En vez de disponer de una única pinza que incluye el circuito generador y el circuito receptor, se utilizan dos pinzas sirviendo una de generador y la otra de receptor. Una pinza inyecta una señal conocida (32 V / 1,367 Hz) mientras que la otra pinza mide la corriente que circula en el bucle. Conociendo  $E$  e  $I$ , el equipo calcula la resistencia del bucle de tierra.

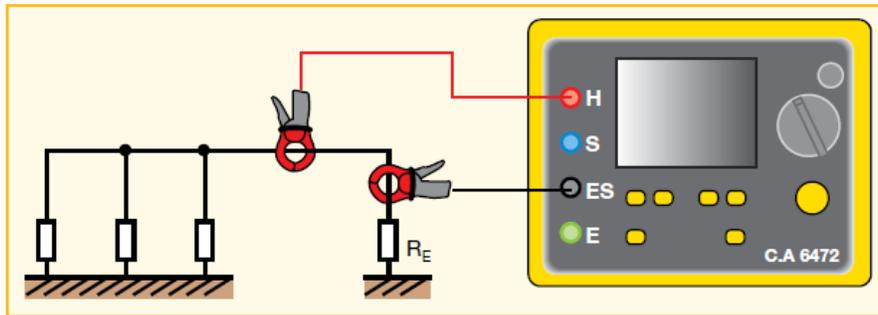


Figura 23. Método de las dos pinzas para medición de resistencia de puesta a tierra