

INSTRUCTIVO

METODOLOGIA PARA LA INSTALACIÓN O ADECUACION DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN CENTROS DE TRANSFORMACION

VERSIÓN 01

Tecnologías, Innovación y desarrollo
Oficina Técnica
Septiembre 2016

1 OBJETIVO

Establecer los lineamientos para la instalación, medición y mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra (SPT), que garanticen la seguridad de las personas y protección de las instalaciones eléctricas en los centros de transformación.

2 ALCANCE

El presente procedimiento aplica para la instalación, medición y mantenimiento de los SPT instalados en transformadores de distribución.

- Materiales y acciones para la puesta a tierra de los centros de transformación.
- Mediciones en sistemas de puesta a tierra.
- Contrapesos y productos mejoradores del suelo, para cumplir el valor del sistema de puesta a tierra de 10 Ω , prescrita por el RETIE en su última versión.
- Mantenimiento en sistemas de puesta a tierra.

3 CONDICIONES GENERALES

Un SPT correctamente diseñado y construido tiene como propósito garantizar la seguridad de las personas y los seres vivos, proteger la instalación y los equipos y reducir el ruido eléctrico.

Dentro de los principales requisitos, el sistema de puesta a tierra debe permitir:

- Realizar un mantenimiento preventivo periódico.
- Tener una variación mínima de resistencia, debida a cambios ambientales.
- Tener una vida útil mayor a 15 años.
- La resistencia debe ser lo más pequeña posible, con una adecuada relación costo-beneficio.
- Tener buena resistencia a la corrosión.

4 DESCRIPCION DE ACTIVIDADES

4.1 Medición de la resistividad del terreno

La medición de resistividad permite conocer la capacidad del terreno para conducir la corriente eléctrica. Esta resistividad varía considerablemente según las características y naturaleza del suelo (ver Tabla 1) por lo que la medición de resistividad del terreno deberá ser realizada antes de la instalación de un SPT, con el fin de identificar el lugar más óptimo con el menor valor de resistividad y así reducir los costos de construcción del SPT.

Tabla 1. Resistividades según el tipo de suelo

Tipo de Suelo	Resistividad ($\Omega.m$)
Orgánico Húmedo	10 a 100
Orgánico seco	100 a 200
Seco	200 a 1000
Rocoso	Mayor a 1000

Se recomienda realizar la medición de resistividad lo más profundo posible, ya que las características del suelo más profundo son más estables y menos sensibles a los cambios medioambientales como la temperatura y humedad.

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

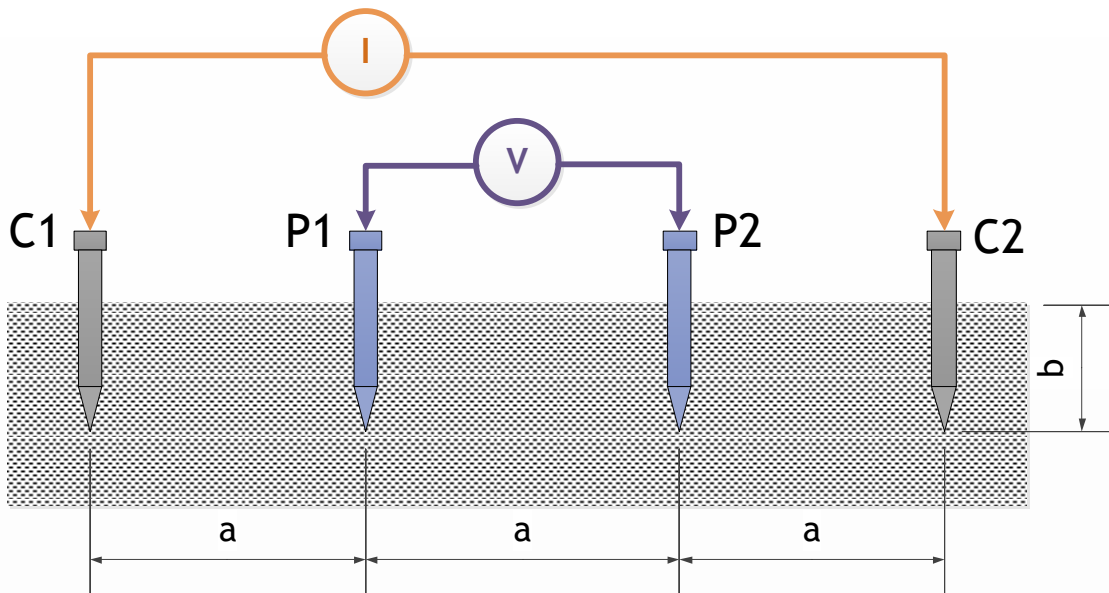
4.1.1 Método de Wenner

El método de los cuatro puntos de Wenner es uno de los métodos más precisos proporcionando mediciones más confiables, sus principales ventajas son:

- Obtiene la resistividad del suelo para capas profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades
- No es necesario de un equipo pesado para realizar las medidas
- Los resultados no son afectados por la resistencia de los electrodos auxiliares o los huecos creados para hincarlos en el terreno

El método consiste en enterrar electrodos de prueba tipo varilla, en cuatro huecos en el suelo a una profundidad “b” y espaciados (en línea recta) una distancia “a” (según IEEE 81-2012). En el equipo, los bornes marcados como C1 y C2 son los terminales de corriente y los bornes marcados como P1 y P2 son los de tensión.

Figura 1. Método Wenner para la medición de la resistividad del terreno



El procedimiento detallado para la medición de resistividad empleando el método Wenner se encuentra descrito en el anexo C.

4.2 Instalación de un SPT

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

A continuación, se presentan las actividades que se deben realizar para la instalación de la puesta a tierra de un centro de transformación.

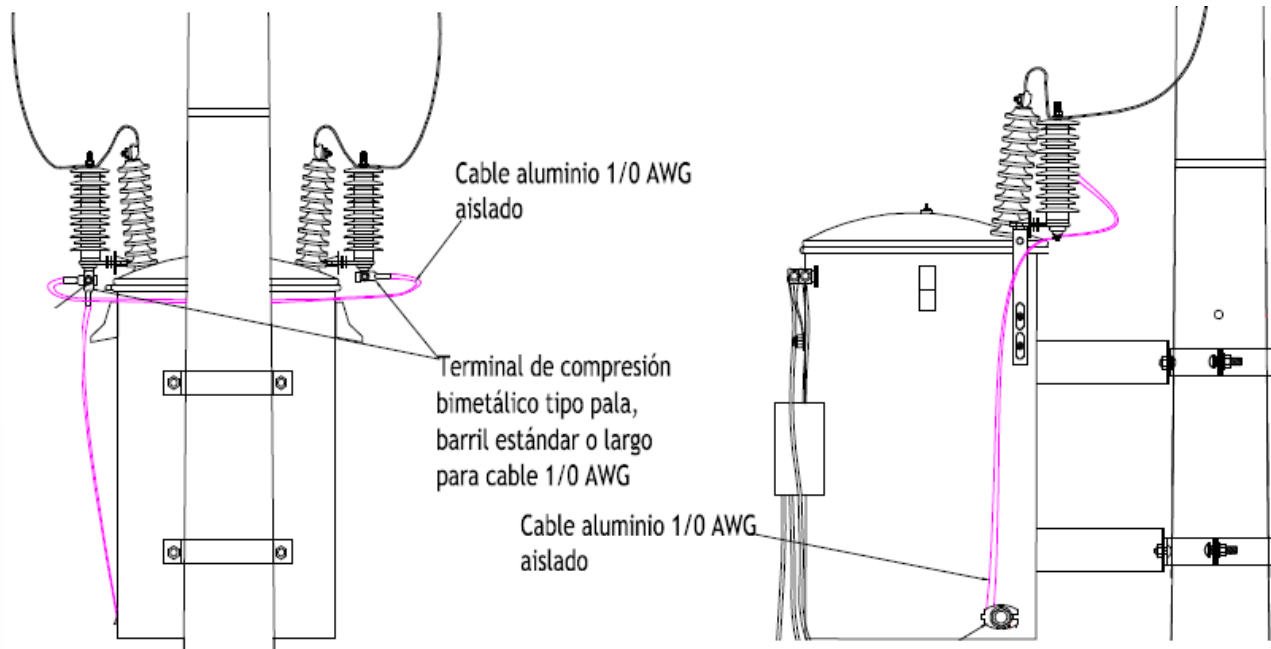
4.2.1 Cosido del transformador y pararrayos

Por su baja maleabilidad, los conductores acerados no deben ser utilizados para la conexión entre pararrayos y transformador.

El cosido entre transformador y pararrayos se debe realizar con cable de aluminio serie 8000 y la llegada de este conductor a los pararrayos se debe realizar con terminales de compresión tipo pala. Los conectores de compresión tipo pala deberán ser instalados con ponchadora hidráulica y dado de seis caras.

Como alternativa transitoria, se utilizará cable de aluminio aislado 1/0 AWG y terminales de compresión bimetálicos 1/0 AWG.

Figura 2. Diagrama cosido del transformador y pararrayos



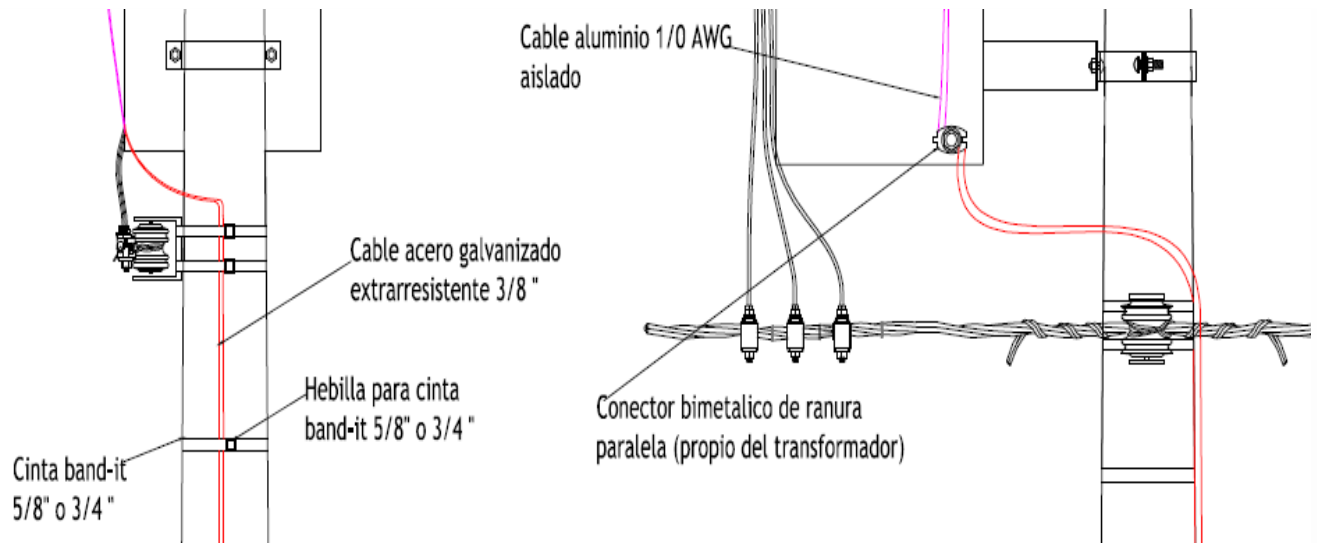
4.2.2 Instalación del conductor de puesta a tierra

Como se mencionó en el numeral anterior, el conductor de puesta a tierra debe ser un conductor acerado con recubrimiento de cobre o zinc.

El conductor de puesta a tierra deberá salir lo más recto posible desde el conector bimetálico de ranura paralela propio del transformador.

Se recomienda envolver con cinta aislante auto fundente, cubierta con cinta aislante de PVC los puntos en los que el conductor de puesta a tierra tenga contacto con elementos de sujeción mecánica tales como cinta band-it y abrazaderas, de tal forma que se evite el contacto entre dos metales diferentes.

Figura 3. Instalación del conductor de puesta a tierra



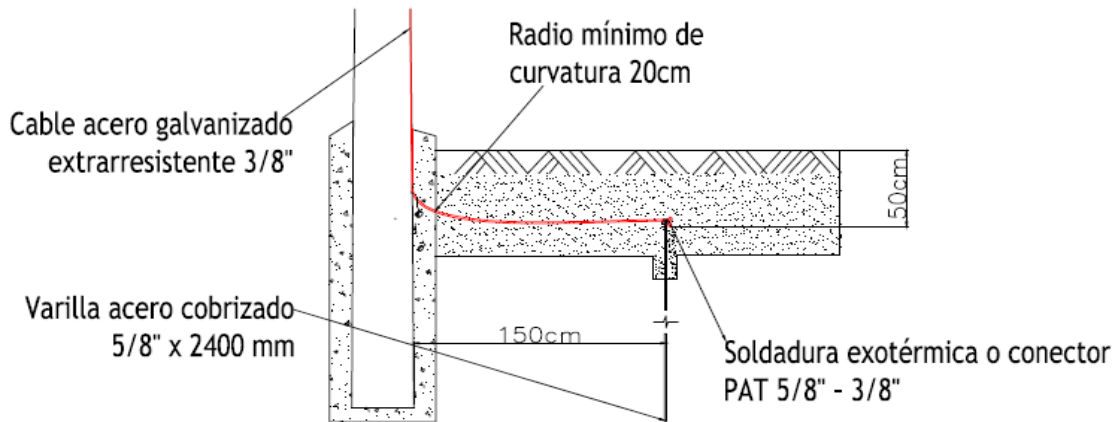
4.2.3 Instalación del electrodo de puesta a tierra

Como se mencionó en el numeral 3, el electrodo de puesta a tierra debe ser una varilla de acero cobrizado de 2400 mm x 5/8". El espesor del recubrimiento electrodepositado de cobre será de mínimo 250 μ m.

El enterramiento de la varilla se debe hacer a golpes, utilizando porra de 5 a 8 libras de peso. No está permitido mover la varilla con el fin de agrandar el canal de penetración y menos llenar dicho canal con agua. La varilla se debe enterrar alejada a 1.5 m medidos desde el eje del poste. La punta de la varilla deberá quedar 50 cm por debajo de la superficie.

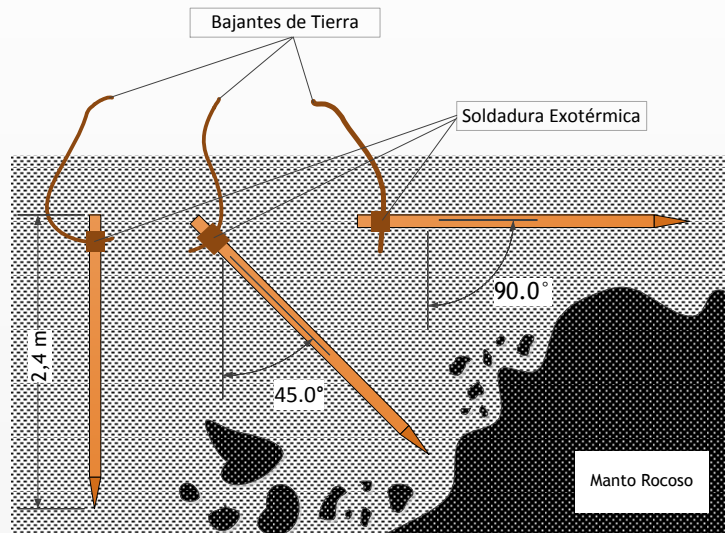
La unión entre el electrodo y el conductor de puesta a tierra, debe hacerse con soldadura exotérmica o con un conector certificado para enterramiento directo. Debe utilizarse soldadura exotérmica de 90 gramos para la unión entre el electrodo y el conductor de puesta a tierra. En caso de no contar con soldadura exotérmica, se podría utilizar el conector PAT 5/8" – 3/8". El ajuste del conector PAT debe realizarse hasta que la arandela de presión o guasa este totalmente aplanada, si se da un ajuste excesivo puede ponerse en riesgo la integridad del conector.

Figura 4. Instalación electrodo de puesta a tierra



En el caso de encontrar un manto rocoso que impida la instalación vertical de la varilla, se debe ensayar el enterramiento a varios ángulos con respecto a la vertical, y de no ser posible, se puede instalar horizontalmente a una profundidad de 0,75 m de la superficie, compactando el relleno firmemente con pisones, ya sea tierra agrícola del sitio, bentonita o una mezcla de las dos.

Figura 5. Ángulos de enterramiento del electrodo



4.3 Medición de la resistencia del SPT

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

- El tipo de prueba.
- El tipo de aparato empleado.

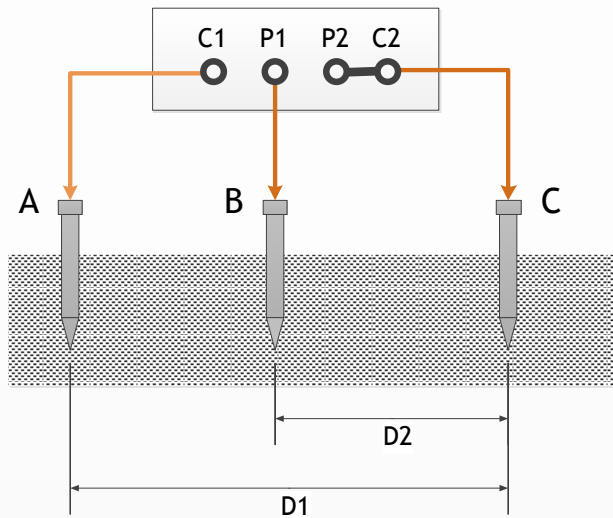
- El lugar físico de las puntas o electrodos de prueba.
El valor de resistencia del SPT deberá ser menor o igual a 10Ω

Debe prestarse especial atención a la correcta instalación de los electrodos de prueba de tal manera que no haya “solapamiento” de las áreas de influencia de cada uno, ya que en caso de presentarse los valores indicados por el equipo no serán confiables.

Se debe garantizar que los electrodos hagan buen contacto con la tierra

En el equipo, los bornes marcados como C1 y C2 son los terminales de corriente y los bornes marcados como P1 y P2 son los de tensión.

Figura 6. Medición de la resistencia del SPT



Para medir la resistencia de puesta a tierra del electrodo “C” se utilizan dos electrodos auxiliares “A” y “B”, los cuales se clavan en el terreno hasta una profundidad recomendada de 1/20 de la distancia D1 (según NTC 3582-1994).

Tabla 2. Relación entre la distancia entre electrodos y la profundidad de enterramiento

Distancia D1 (m)	Profundidad de enterramiento electrodos A y B (cm)
19	95
17	85
15	75

Primero se unen los bornes C2 y P2 y se conectan al electrodo de tierra "C" cuya resistencia se quiere medir. Si el equipo de medición de resistencia de puesta a tierra tiene unidos estos bornes internamente, solo saldría un conductor hacia el electrodo "C". El electrodo "A" se conecta al borne C1 y el electrodo "B" se conecta al borne P1.

Al circular la corriente generada por el medidor de tierra se producen gradientes de potencial alrededor de los electrodos, pero existen zonas entre ellos donde el potencial es constante. Se ha determinado que a una distancia equivalente al 62% de D1 no se producen perturbaciones y en este punto se debe instalar el electrodo "B".

Para lograr un 95 % de precisión en la medida de la resistencia de puesta a tierra, la distancia D1 debe ser del orden de 6,5 veces la mayor dimensión de la puesta a tierra a medir (según DE 105-2013). Como en este caso se tiene un electrodo de puesta a tierra de 2.4 metros de longitud, la distancia D1 debe ser mínimo 15 metros.

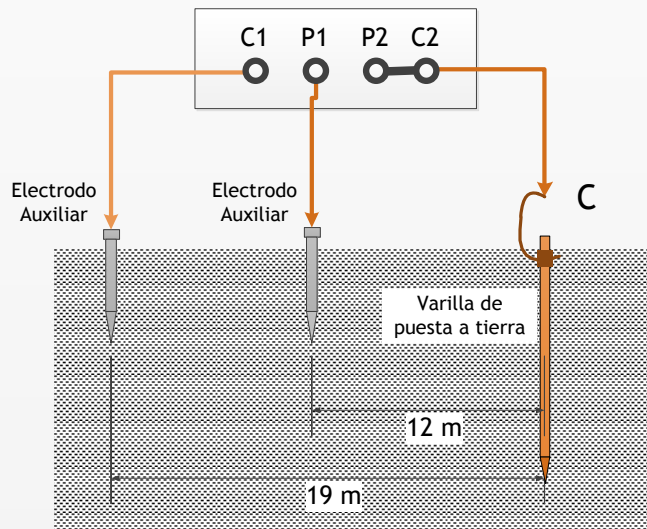
Se deben realizar tres mediciones, cada una de ellas a las siguientes distancias:

Tabla 3. Relación entre las distancias D1 y D2 entre electrodos

Distancia D1 (m)	Distancia D2 (m)
15	9.5
17	11
19	12

En la siguiente figura se muestra un ejemplo.

Figura 7. Ejemplo medición de resistencia del SPT



Se debe calcular el promedio de las tres lecturas obtenidas.

$$R_{prom} = \frac{\sum R}{3}$$

Si los valores obtenidos no difieren en $\pm 5\%$ respecto al valor promedio de las tres lecturas, se toma este valor promedio como el valor de resistencia de puesta a tierra (según NTC 3582-1994).

Si el error es mayor, existe superposición de los gradientes de tensión y se deben aumentar las distancias D1 y D2, manteniendo la relación $D2=0.62*D1$ y se repite el procedimiento hasta cumplir la condición permitida para el error.

Todas las medidas se deben realizar sin tensión ni circulación de corriente; la puesta a tierra debe estar desconectada de las bajantes de los pararrayos, de los neutros y tierras de los equipos en funcionamiento (RETIE 2013).

Los valores obtenidos se deben consignar en un formato como el siguiente:

Figura 8. Registros de la medición de resistencia del SPT

Fecha de medición: _____

Lugar de medición: _____

Estado superficial del terreno: **Humedo** _____ **Seco** _____

Equipo utilizado: _____

Numero de medición	Distancia		Resistencia (Ω)	Observaciones
	D1 (m)	D2 (m)		
1	15	9.5		
2	17	11		
3	19	12		
Promedio de resistencia (Ω)				

4.4 Mantenimiento de sistemas de puesta a tierra

Un SPT debe ser inspeccionado periódicamente y recibir mantenimiento. La periodicidad dependerá tanto del diseño como de la construcción, los cuales incluyen una cuidadosa escogencia de los materiales y apropiadas técnicas de instalación para asegurar que resista el deterioro de sus componentes.

Los componentes del sistema de puesta a tierra tienden a perder su efectividad después de unos años, debido a corrosión, fallas eléctricas, daños mecánicos e impactos de rayos. Los trabajos de inspección y mantenimiento deben garantizar una continua actualización del sistema de puesta a tierra para el cumplimiento del RETIE.

Los mantenimientos deben ser realizados periódicamente en los siguientes intervalos:

Tabla 4. Mantenimiento del SPT

Nivel de tensión de la instalación	Inspección visual (años)	Inspección visual y mediciones (años)
Media	3	6

Los intervalos pueden variar, según las condiciones climáticas locales, fallas que comprometan la integridad del sistema de puesta a tierra, normas de seguridad industrial, exigencias de compañías de seguros, procedimientos o regulaciones técnicas de cada empresa.

El suelo con baja resistividad es normalmente más corrosivo, esto puede destruir con mayor rapidez los electrodos y sus conexiones, por lo cual se recomienda realizar una inspección periódica al sistema de puesta a tierra y medir su resistencia.

La inspección del sistema de tierra en una instalación normalmente ocurre asociada con la visita para otra labor de mantenimiento. Consiste de una inspección visual sólo de aquellas partes del sistema que pueden verse directamente, particularmente observando evidencia de desgaste, corrosión, vandalismo o robo.

Las condiciones ambientales pueden deteriorar el SPT con el tiempo, por lo cual se recomienda su inspección periódica para verificar su estado y que mantiene el valor de resistencia apropiado.

El mantenimiento del SPT de puesta a tierra debe formar parte del mantenimiento preventivo de todo el sistema eléctrico en su conjunto, se limita al mantenimiento de los conductores y de las conexiones que forman parte del sistema de puesta a tierra

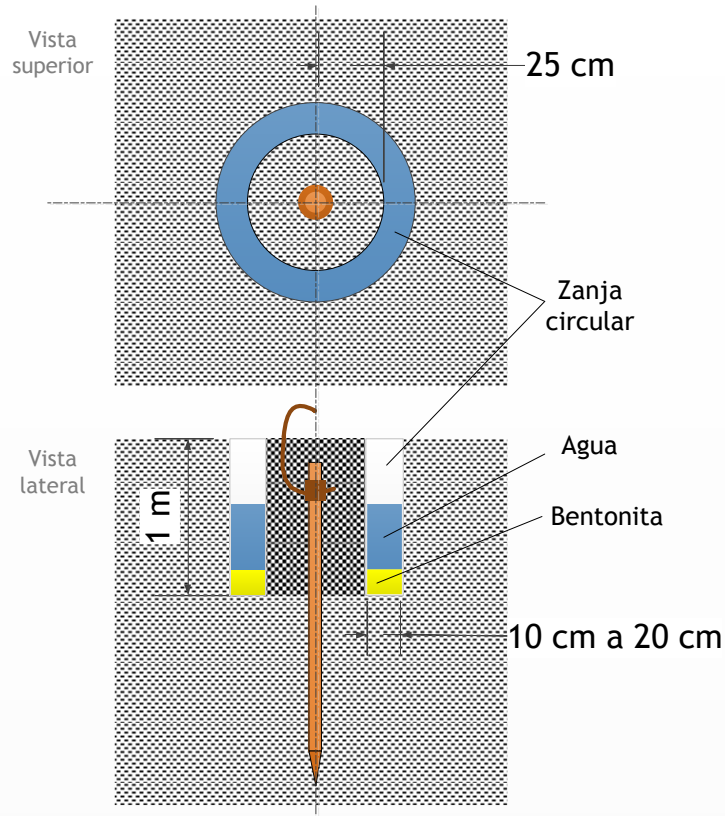
5 ACCIONES CONTINGENTES

5.1 SPT con resistencia menor o igual a 10 Ω

Si con la utilización de un solo electrodo, la resistencia de puesta a tierra medida es menor o igual a 10 Ω , se tiene un terreno de condiciones ideales y no habría necesidad de efectuar ninguna actividad adicional.

Sin embargo, se recomienda hacer una zanja circular de 10 cm a 20 cm de ancho por 100 cm de profundidad, separada 25 cm de la varilla. En el fondo de esta zanja se deben colocar 5 cm de bentonita, este producto se debe hidratar en proporción 1:3, esto quiere decir que por cada volumen de bentonita se agregan tres volúmenes de agua. Se necesita un tiempo de espera de al menos 20 minutos mientras se alcanza una hidratación efectiva, el espacio sobrante de la zanja se debe completar con relleno natural del sitio de excavación. El objetivo de esta acción, es tener un sistema natural de hidratación para el contorno de la varilla en condiciones de verano.

Figura 9. Aplicación de bentonita para hidratación



5.2 SPT con resistencia mayor a 10 Ω

Si con la utilización de un solo electrodo, la resistencia de puesta a tierra medida es mayor a 10 Ω , se tiene un terreno de condiciones no ideales y es necesario aplicar contrapesos.

El primer conductor de contrapeso quedará enterrado en una zanja circular de 10 a 20 cm de ancho por 50 cm de profundidad. En el fondo de esta zanja se deben colocar 5 cm de bentonita, este producto se debe hidratar en proporción 1:3, esto quiere decir que por cada volumen de bentonita se agregan tres volúmenes de agua. Se necesita un tiempo de espera de al menos 20 minutos mientras se alcanza una hidratación efectiva, el espacio sobrante de la zanja se debe completar con relleno natural del sitio de excavación. Se recomienda que la bentonita no haga contacto directo con la varilla de puesta a tierra.

La zanja circular debe formar una circunferencia de 3 metros de diámetro que iniciará y terminará en el electrodo de puesta a tierra. El contrapeso en forma de circunferencia tendrá una longitud aproximada de 9 metros y quedará concéntrico con respecto al poste, es decir, el poste quedará en el centro de la circunferencia. Después de ejecutar esta acción, deberá realizarse una nueva medición de resistencia de puesta a tierra. Si el valor de resistencia es menor o igual a 10 Ω , se tiene un valor de resistencia normalizado.

Si el valor de resistencia es mayor a 10Ω , se deberá realizar un nuevo contrapeso. Para ubicar la posición de este nuevo contrapeso, se recomienda medir la resistencia de puesta a tierra al menos en tres direcciones buscando suelos más húmedos. Hacia la dirección en que la resistencia sea menor se debe tender el contrapeso.

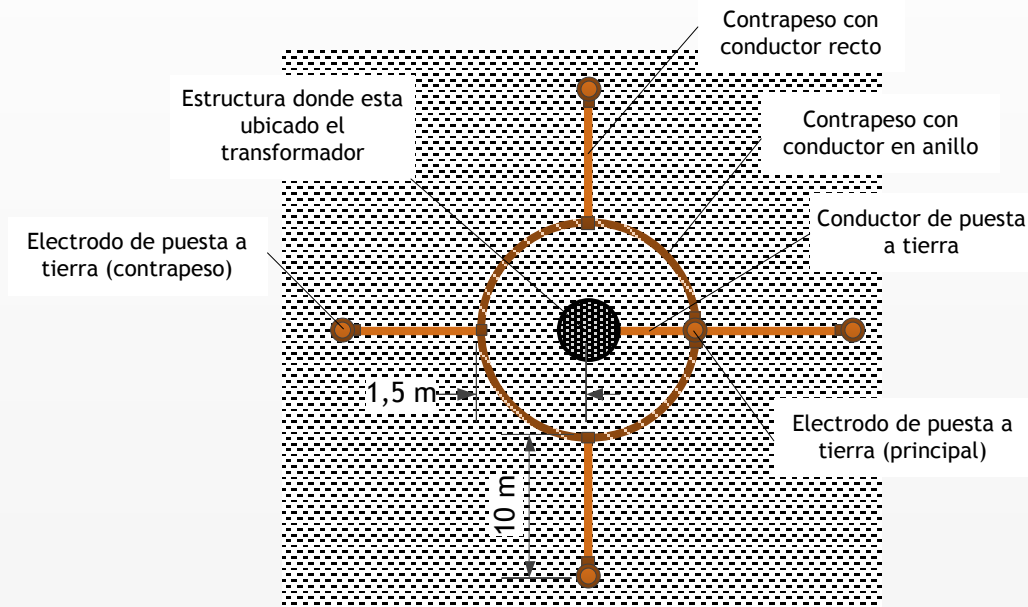
Se utilizará un cable recto de 10 metros de longitud como contrapeso (según NTC 3582-1994), este cable iniciará en el contrapeso circular y rematará en un electrodo de puesta a tierra tipo varilla (varilla de acero cobrizado de 2400 mm por 5/8").

El cable descansará en una zanja recta de 10 a 20 cm de ancho por 50 cm de altura. En el fondo de esta zanja se deben colocar 5 cm de bentonita, este producto se debe hidratar en proporción 1:3, esto quiere decir que por cada volumen de bentonita se agregan tres volúmenes de agua. Se necesita un tiempo de espera de al menos 20 minutos mientras se alcanza una hidratación efectiva, el espacio sobrante de la zanja se debe completar con relleno natural del sitio de excavación.

Después de ejecutar esta acción, deberá realizarse una nueva medición de resistencia de puesta a tierra. Si el valor de resistencia es menor o igual a 10Ω , se tiene un valor de resistencia normalizado. Si el valor de resistencia es mayor a 10Ω , se deberá realizar un nuevo contrapeso en otra dirección con las mismas características que el anterior.

El contrapeso más elaborado tendrá la siguiente forma:

Figura 10. Geometría de un SPT con 5 contrapesos



En el caso de transformadores nuevos, se recomienda medir la resistividad del terreno en el punto definido para la ubicación del transformador. Si este valor es mayor a $150 \Omega\text{-m}$, debe medirse la resistividad del terreno en la estructura anterior y posterior. Después de la medición, se debe seleccionar el punto con menor valor de resistividad para la ubicación del transformador.

ANEXO A

Definiciones principales relacionadas con los SPT (DE 105-13)

Conexión de puesta a tierra (Connection, Grounding Terminal o Ground Clamp). Soldadura exotérmica, lengüeta certificada, conector a presión o de cuña certificados o abrazadera certificada, conector mecánico certificado; destinados a asegurar, por medio de una conexión especialmente diseñada, dos o más componentes de un sistema de puesta a tierra.

Electrodo de puesta a tierra (Grounding Electrode). Conductor o grupo de ellos en contacto con el suelo, para proporcionar una conexión eléctrica con el terreno. Puede ser una varilla, un tubo, una placa o un cable, resistentes a la humedad y a la acción química del terreno.

Malla de puesta a tierra. Sistema de electrodos ortogonales conformado por conductores desnudos interconectados y enterrados en forma horizontal.

Poner a tierra (To earth or To ground). Realizar una conexión eléctrica entre un nodo de una instalación eléctrica y el suelo o terreno. Puede ser intencional o accidental y permanente o temporal.

Puesta a tierra (Grounding or Earthing or Earth Termination System or Grounding Electrode). Grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuye las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Comprende electrodos, conexiones y cables enterrados.

Puesta a tierra de protección contra rayos (Earth Termination). Subsistema de puesta a tierra que debe garantizar la dispersión y disipación en el terreno de las corrientes provenientes de las descargas eléctricas atmosféricas directas sobre la instalación considerada.

Resistencia de puesta a tierra o resistencia de dispersión (Earth Resistance). Es la relación entre el potencial del sistema de puesta a tierra a medir, respecto a una tierra remota y la corriente que fluye entre estos puntos.

Resistividad del terreno (Earth Resistivity). Relación entre la diferencia de potencial en un material y la densidad de corriente que resulta en el mismo. Es la resistencia específica de una sustancia. Numéricamente es la resistencia ofrecida por un cubo de 1 m x 1 m x 1 m, medida entre dos caras opuestas. Se da en ohmio metro ($\Omega.m$).

Sistema de puesta a tierra-SPT (Earthing or Grounding System). Conjunto de elementos conductores continuos de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica. Comprende la puesta a tierra y la red equipotencial de cables que normalmente no conducen corriente.

Suelo o terreno (Soil). Capa de productos de meteorización, llena de vida, que se encuentra en el límite entre la roca inerte de la corteza y la atmósfera.

Telurómetro (Tellurohm o Earth Tester). Nombre en castellano del equipo diseñado para medición de resistividad y resistencia de sistemas de puesta a tierra. Sus principales características son: frecuencia, alarma, detección de corrientes espurias, escala y margen de error.

Tierra (Earth, Ground, Terra, Terre, Örlíche, Ziemia). Para sistemas eléctricos, es una expresión que generaliza todo lo referente a sistemas de puesta a tierra. En temas eléctricos se asocia a suelo, terreno, tierra, masa, chasis, carcasa, armazón, estructura o tubería de agua. Se le considera como la referencia de potencial de cero voltios en condiciones de operación normal.

ANEXO B

Descripción de los materiales empleados en el SPT

A continuación, se presentan los materiales que se deben utilizar para la puesta a tierra de un centro de transformación, tanto para la alternativa transitoria como para la alternativa experimental.

Tabla 5. Materiales y accesorios a emplear para la instalación del SPT

	Alternativa experimental	Alternativa transitoria
Cosido del transformador y pararrayos	Cable aluminio 4 AWG serie 8000 y terminales de compresión bimetálicos 4 AWG	Cable aluminio aislado 1/0 AWG serie 8000 y terminales de compresión bimetálicos 1/0 AWG
Conductor de puesta a tierra	Alambre coppersteel #4	Cable de acero galvanizado extrarresistente 3/8"
Unión entre cosido y conductor de puesta a tierra	Conector de ranura paralela, propio del transformador	Conector de ranura paralela, propio del transformador
Electrodo de puesta a tierra	Varilla acero cobrizado 2400 mm x 5/8"; E: 250 μ m	Varilla acero cobrizado 2400 mm x 5/8"; E: 250 μ m
Unión entre electrodo de puesta a tierra y conductor de puesta a tierra	Soldadura exotérmica	Soldadura exotérmica o conector PAT 5/8"-3/8"
Contrapesos (de ser necesarios)	Alambre coppersteel #4, varillas de acero cobrizado 2400 mm x 5/8" y soldadura exotérmica de 90 gramos	Cable de acero galvanizado extrarresistente 3/8", varillas de acero cobrizado 2400 mm x 5/8" y soldadura exotérmica o conector PAT 5/8"-3/8"

Recomendaciones

- Los materiales a utilizar en cualquiera de las dos alternativas deben cumplir con los más altos estándares de calidad.
- Se debe garantizar que los procedimientos sean conocidos y aplicados a cabalidad por el personal operativo.
- En un mediano plazo, se debe garantizar que todos los puntos en donde se realice la instalación de un sistema de puesta a tierra, sea medida la resistividad del terreno.
- Se deben llevar los registros que permitan realizar seguimiento a los sistemas de puesta a tierra y de esta forma poder realizar un análisis estadístico de los mismos.
- Los equipos de medición de sistemas de puesta a tierra deben estar calibrados y en buen estado.
- Los sistemas de puesta a tierra deben ser monitoreados periódicamente, con el fin de determinar cuáles deben ser puestos a punto nuevamente.

ANEXO C Medición de resistividad del terreno

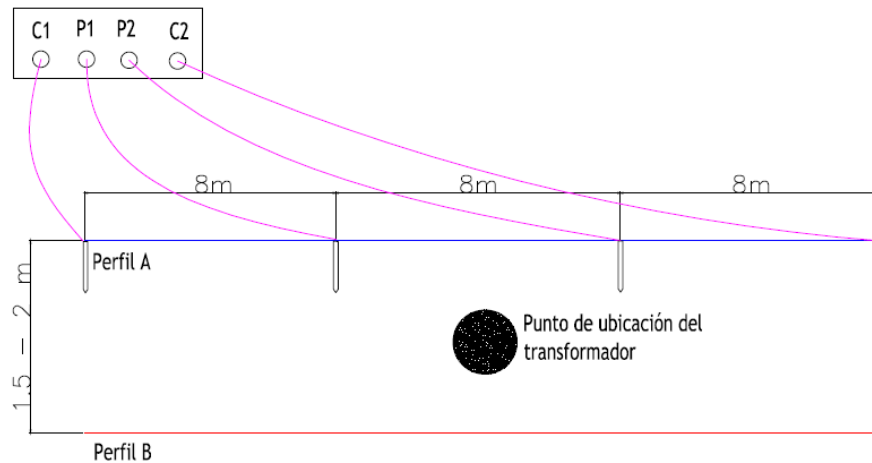
1. Ubicar el apoyo o punto donde quedará el centro de transformación.
2. Identificar la ruta o perfil donde se realizará la medición.
3. Las mediciones deberán realizarse con separaciones “a” entre electrodos de prueba de 4 m, 5 m, 8 m y 10 m.
4. La profundidad de enterramiento “b” de los electrodos de prueba será de máximo 10% de la distancia “a”.

Tabla 6. Relación de la distancia entre electrodos y la profundidad de enterramiento

Distancia “a” entre electrodos (m)	Profundidad de enterramiento “b” (cm)
4	40
5	50
8	80
10	100

5. Se deben realizar dos mediciones en perfiles paralelos separados entre 1.5 y 2 metros, el transformador deberá quedar en el centro de los perfiles. En la siguiente figura se muestra un ejemplo.

Figura 11. Ejemplo medición de resistividad



Los valores obtenidos se deben consignar en un formato como el siguiente:

Figura 12. Registros de la medición de resistividad del terreno

Fecha de medición: _____

Lugar de medición: _____

Estado superficial del terreno: **Humedo** _____ **Seco** _____

Equipo utilizado: _____

Numero de medición	Perfil	Espaciamiento entre electrodos (m)	Resistividad (Ω -m)	Observaciones
1	1	4		
2		5		
3		8		
4		10		
5	2	4		
6		5		
7		8		
8		10		
Promedio de resistividad (Ω -m)				

Se recomienda para definir la resistividad del terreno, utilizar el modelo probabilístico de *Box-Cox*, el cual se basa en que los logaritmos naturales de los valores de la resistividad del suelo en un sitio particular siguen una función de distribución normal.

En una columna se tabulan los datos de resistividad aparente medida ρ . Si el equipo no mide directamente la resistividad deberá aplicarse la siguiente fórmula.

$$\rho = 2 * \pi * a * r$$

En otra columna se colocan los logaritmos naturales de cada una de las medidas.

$$X = \ln(\rho)$$

Se halla el promedio de los logaritmos.

$$Y = \frac{\sum X}{8}$$

En otra columna se coloca el resultado de:

$$(X - Y)^2$$

Se calcula la desviación estándar S como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - Y)^2}{8}}$$

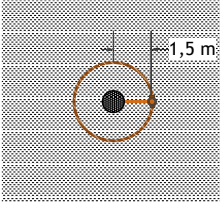
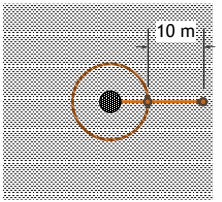
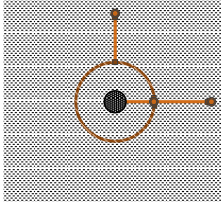
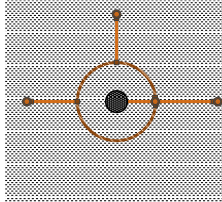
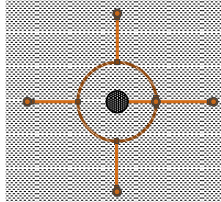
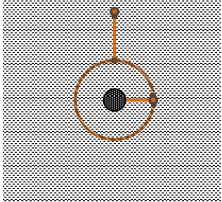
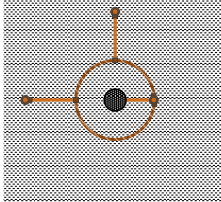
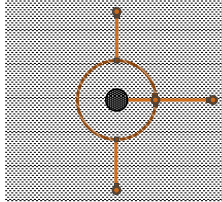
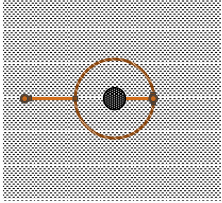
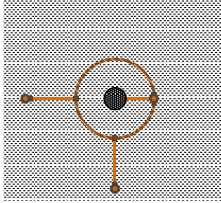
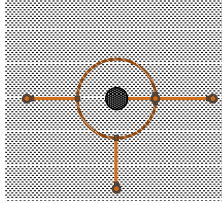
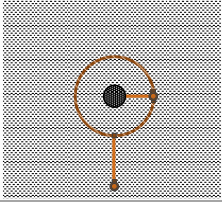
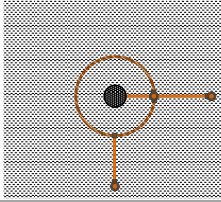
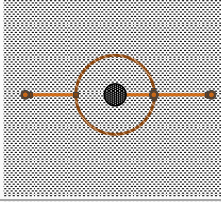
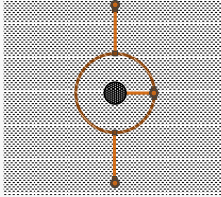
Posteriormente, se halla la resistividad (con probabilidad del 70% de no ser superada) aplicando la siguiente formula:

$$\rho = \ln^{-1}(S * 0.53 + Y)$$

De no ser posible la ejecución de estos cálculos, se deberá suponer que se tiene un suelo homogéneo y el valor de resistividad del suelo será el promedio de todas las lecturas obtenidas.

$$\rho_{prom} = \frac{\sum \rho}{8}$$

ANEXO D
Instalación y geometrías de los contrapesos

	1 Contrapeso	2 Contrapesos	3 Contrapesos	4 Contrapesos	5 Contrapesos
Alternativa 1					
Alternativa 2	-				-
Alternativa 3	-				-
Alternativa 4	-			-	-
Alternativa 5	-	-		-	-
Alternativa 6	-	-		-	-