

PUESTAS A TIERRA

En líneas provistas de cable de guarda cada 500 metros irá puesta a tierra, además de todas aquellas que posean subestaciones, secciones y descargadores de sobretensión.

La puesta a tierra debe ser único para cable de guarda, neutro, descargadores de sobretensión y carcasa del transformador.

En todos los casos cuando la estructura sea existente se empleará cable de cobre desnudo con calibre no inferior al 4 AWG o cable de acero galvanizado de 3/8" (50 mm²), el cual podrá ser de grado común por la no exigencia de requerimientos mecánicos. Podrá además emplearse cualquier conductor aceptado por el RETIE siempre y cuando su área permita la adecuada conducción a tierra de las corrientes de cortocircuito calculadas para el respectivo sitio de conexión, no pudiendo ser inferior a la establecida en el RETIE.

El conductor citado será tendido sobre la estructura en línea totalmente recta desde el punto de conexión en el cable de guarda o en los descargadores de sobretensión hasta su conexión con la varilla de puesta a tierra.

Antes de la llegada del cable de acero galvanizado a la sección empotrada, deberá emplearse un conector bimetálico para hacer la transición a cable de cobre desnudo en calibre 4 AWG o superior (de acuerdo con la exigencia del sitio), de tal manera que no se llegue con cable galvanizado a la varilla, impidiendo así enterrar este cable de acero.

En postes de concreto centrifugado el conductor de puesta a tierra irá por dentro del mismo. El conductor de tierra podrá ser protegido en postes existentes en los tres metros inferiores empleando un tubo conduit metálico de 1/2" x 3 m sujetado a la estructura con cinta de acero inoxidable.

Los apoyos de concreto, metal o fibra de vidrio a ser empleados en nuevas construcciones deberán tener espacio interior para la canalización del conductor de puesta a tierra.

Cuando se trata de torres metálicas se dispondrá a 10 cm de su punta, a 2.0 m del empalme y a 2.0 de su base de aletas en platina de 1" x 1" x 1/4" y de 3" de longitud con perforación para sujeción mediante conector del cable de puesta a tierra. Tales platinas estarán soldadas al montante por su parte interna por cuatro bordes. Tendrán perforación de 9/16".

Todas las estructuras metálicas de la línea de media tensión estarán puestas a tierra. A continuación, se resumen los valores recomendados de resistencia de puesta a tierra:

Ubicación	Resistencia Máxima (Ω)
Estructuras y torres metálicas de líneas con cable de guarda	20
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1
Subestación de media tensión en poste	10
Protección contra rayos	10
Acometida de neutro en baja tensión	25
Redes para equipos electrónicos sensibles	10

Tabla 1. VALORES RECOMENDADOS DE PUESTA A TIERRA

La conexión de la bajante a tierra y la varilla se hará utilizando soldadura exotérmica o conector especial tipo cuña debidamente certificados por entidad acreditada ante la Superintendencia de Industria y Comercio.

Se emplearán electrodos de puesta a tierra de acero galvanizado en caliente o con recubrimiento de cobre electrodepositado o enchaquetado en frío de 5/8" x 2.40 m como mínimo. La varilla no puede ser golpeada al enterrarla, debiéndose aplicar agua para lograr su deslizamiento.

El electrodo será instalado a una distancia no inferior a 1.0 m, medida desde la estructura soporte.

Alrededor de la estructura se construirá una circunferencia de igual radio con cable calibre 4 AWG que será llevada igualmente a la varilla, junto con el conductor bajante de tierra.

Para disminuir la resistencia de puesta a tierra en caso de requerirse, se emplearán electrodos adicionales separados una distancia como mínimo igual al doble de la longitud del electrodo y conectados con cable de cobre de igual calibre.²¹

De no obtenerse los resultados esperados de resistencia de puesta a tierra, se procederá a mejorarla con contrapesos a una longitud de 30 m, preferiblemente en dirección de la zona más húmeda en cuyo extremo se conectará una varilla de puesta a tierra. Se harán contrapesos hasta tener el valor en ohmios deseado.

En caso de no lograrse la resistencia de puesta a tierra deseada el constructor podrá emplear tratamiento de tierra con empleo de bentonita o tierra artificial de eficiencia comprobada y hacer las mediciones de rigor en el momento de instalación para garantizar los resultados.

TÍTULO 12 – SISTEMA DE PUESTA A TIERRA - RETIE

Toda instalación eléctrica que le aplique el RETIE, excepto donde se indique expresamente lo contrario, tiene que disponer de un Sistema de Puesta a Tierra – SPT, para evitar que personas en contacto con la misma, tanto en el interior como en el exterior, queden sometidas a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla.

El requisito de puesta a tierra para instalaciones eléctricas cubre, el sistema eléctrico y los apoyos o estructuras metálicas que, ante una sobretensión temporal, puedan desencadenar una falla permanente a frecuencia industrial, entre la estructura puesta a tierra y la red.

Los objetivos de un sistema de puesta a tierra – SPT son: La seguridad de las personas, la protección de las instalaciones y la compatibilidad electromagnética.

Las funciones de un sistema de puesta a tierra son:

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Servir de referencia común al sistema eléctrico.
- Conducir y disipar con suficiente capacidad las corrientes de falla, electrostática y de rayo.
- Transmitir señales de RF en onda media y larga.

Realizar una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos.

Se debe tener presente que el criterio fundamental para garantizar la seguridad de los seres humanos es la máxima energía eléctrica que pueden soportar, debida a las tensiones de paso, de contacto o transferidas y no el valor de resistencia de puesta a tierra tomado aisladamente. Sin embargo, un bajo valor de la resistencia de puesta a tierra es siempre deseable para disminuir la máxima elevación de potencial o GPR – Ground Potential Rise.

Artículo 3.12.1. Requisitos generales del sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra debe cumplir los siguientes requisitos:

Los elementos metálicos que no forman parte de las instalaciones eléctricas no podrán ser incluidos como parte de los conductores del sistema de puesta a tierra.

Este requisito no excluye el hecho de que se deben conectar a tierra, en muchos casos. Los elementos metálicos principales que actúan como refuerzo estructural de una edificación deben tener una conexión eléctrica permanente con el sistema de puesta a tierra general. Este requisito es fundamental en los refuerzos estructurales de pisos que soporte transformadores o celdas.

Las conexiones que van bajo el nivel del suelo (puesta a tierra), deben ser realizadas con soldadura exotérmica o conector certificado para enterramiento directo conforme a normas tales como IEEE 837, UL 467, UL 486A o la norma NTC 2206.

Para verificar que las características del electrodo de puesta a tierra y su unión con la red equipotencial cumplan con el presente Reglamento, se deben dejar puntos de conexión accesibles e inspeccionables al momento de la medición. Cuando para este efecto se construyan cajas de inspección, sus dimensiones internas deben ser mínimo de 30 cm x 30 cm, o de 30 cm de diámetro si es circular y su tapa debe ser removible, no aplica a los electrodos de líneas de transmisión y redes de distribución.

Cuando por requerimientos de un edificio existan varias puestas a tierra, todas ellas deben estar interconectadas eléctricamente, según criterio adoptado de IEC-61000-5-2.

La anterior figura deja claro que se deben interconectar todas las puestas a tierra de un edificio, es decir, aquellas partes del sistema de puesta a tierra que están bajo el nivel del terreno y diseñadas para cada aplicación particular, tales como: Fallas a tierra de baja frecuencia, evacuación de electrostática, protección contra rayos o protección catódica. Esta interconexión puede hacerse por encima o por debajo del nivel del terreno.

Para un mismo edificio, quedan expresamente prohibidos los sistemas de puesta a tierra según criterio adoptado de la IEC 61000-5-2, el cual está establecido igualmente en la NTC 2050 segunda actualización y en la IEC 60364.

Los valores de máximos permisibles de tensión de contacto y de paso deben ser calculados siguiendo la metodología de la norma IEEE 80. En caso de que no tener se deben superar los valores dados en la Tabla 3.12.1. a., que corresponden a la máxima tensión de contacto aplicada al ser humano (con una resistencia equivalente de 1 000 Ω), la cual está dada en función del tiempo de despeje de la falla a tierra, de la resistividad del suelo y de la corriente de falla. Estos son los valores máximos de soportabilidad del ser humano a la circulación de corriente y consideran la resistencia o impedancia promedio netas del cuerpo humano entre mano y pie, sin que se presenten perforaciones en la piel y sin el efecto de las resistencias externas adicionalmente involucradas entre la persona y la estructura puesta a tierra o entre la persona y la superficie del terreno natural.

Para el cálculo se tuvieron en cuenta los criterios establecidos en la IEEE 80, tomando como base la siguiente ecuación, para un ser humano de 50 kilos cuando no se tiene capas superficiales.

Máxima tensión de contacto = $116\sqrt{t[V,c.a.]}$ Ecuación 2

La columna dos de la tabla 3.12.1.a del retie aplica a sitios con acceso al público en general y fue obtenida a partir de la norma IEC 60479-1 y tomando la curva C1 de la Figura 1.5.1.2. a. del Libro 1 de Disposiciones Generales (probabilidad de fibrilación del 5%). La columna tres aplica para instalaciones de media, alta y extra alta tensión, donde se tenga la presencia de personal que conoce el riesgo y está dotado de elementos de protección personal.

Tabla 3.12.1. a. Máxima tensión de contacto admisible para un ser humano	Máxima tensión de contacto admisible (rms c.a.) según IEC para 95% de la población. (Público en general)	Máxima tensión de contacto admisible (rms c.a.) según IEEE para personas de 50 kg (Ocupacional)
Tiempo de despeje de la falla		
Mayor a 2 s	50 voltios	82 voltios
1 s	55 voltios	116 voltios
700 ms	70 voltios	138 voltios
500 ms	80 voltios	164 voltios
400 ms	130 voltios	183 voltios
300 ms	200 voltios	211 voltios
200 ms	270 voltios	259 voltios
150 ms	300 voltios	299 voltios
100 ms	320 voltios	366 voltios
50 ms	345 voltios	518 voltios

Artículo 3.12.2. Componentes de los sistemas de puesta a tierra

Por su gran incidencia en la seguridad, los productos utilizados en los sistemas de puesta a tierra deben estar diseñados y construidos con los materiales apropiados para soportar las condiciones del terreno, deben cumplir los requisitos establecidos en el Libro 2 y demostrarlo mediante un certificado de producto en los términos que establece el Libro 4.

3.12.2.1. Electrodos de Puesta a Tierra

Para efectos del presente Reglamento, los electrodos de puesta a tierra, deben cumplir los requisitos:

La puesta a tierra debe estar constituida por uno o varios de los siguientes tipos de electrodos: Varillas, tubos, placas, flejes, alambres o cables desnudos.

No se permite el uso de aluminio en los electrodos de las puestas a tierra.

Para la instalación de los electrodos se deben considerar los siguientes requisitos:

1. El instalador debe atender el procedimiento específico para su instalación y adecuada conservación recomendado por el fabricante.
2. La unión entre el electrodo y el conductor a tierra debe hacerse con soldadura exotérmica o con un conector certificado para enterramiento directo. Cada electrodo que no sea punto de unión entre el conductor del electrodo de puesta a tierra y la puesta a tierra debe quedar enterrado en su totalidad, sin embargo, el punto de unión entre el conductor del electrodo de puesta a tierra y la puesta a tierra debe ser accesible, en ese punto se permite que la parte superior del electrodo enterrado quede visible máximo 15 cm medidos desde el fondo de la caja de registro, la cual deberá tener una profundidad suficiente para que no sobresalga el electrodo por encima del terreno o piso terminado. Este ítem no aplica a electrodos enterrados en las bases de estructuras de líneas de transmisión ni a los instalados horizontalmente.
3. El electrodo puede ser instalado en forma vertical, con una inclinación de 45° o de forma horizontal (a 75 cm de profundidad), siempre que garantice el cumplimiento de su objetivo, conforme al literal (G) de la sección 250-53 de la NTC 2050 segunda actualización.

3.12.2.2. Conductor del Electrodo de Puesta a Tierra o Conductor a Tierra El conductor que une el electrodo o malla de la puesta a tierra con el barraje principal de

puesta a tierra para baja tensión, se debe seleccionar con la **Tabla 250-66** de la **NTC 2050** segunda actualización o con la siguiente ecuación de la **IEC 60364-5-54**.

$$A = I \sqrt{tK} [\text{mm}^2]$$

En donde:

A mm² es la sección del conductor en mm².

I es la corriente de falla a tierra, suministrada por el operador de red (rms en kA).

K es la constante que se obtiene de aplicar los cálculos descritos en el anexo A de la norma IEC 60364-5-54.

t es el tiempo de despeje de la falla a tierra.

Para el conductor del electrodo de puesta a tierra o conductor a tierra, además del cobre, se pueden utilizar otros materiales conductores o aleación de ellos, siempre que se garantice su protección contra la corrosión durante la vida útil de la puesta a tierra y la resistencia del conductor no comprometa la efectividad de la puesta a tierra. El conductor a tierra para media tensión, alta tensión y extra alta tensión, debe ser seleccionado con la siguiente ecuación, la cual fue adoptada de la norma **ANSI/IEEE 80**.

$$A_{\text{mm}^2} = IK_f \sqrt{t_c 1,9737}$$

En donde:

A mm² es la sección del conductor en mm².

I es la corriente de falla a tierra, suministrada por el operador de red (rms en kA).

K_f es la constante de la Tabla 3.12.2.2. a., 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 es el tiempo de despeje de la falla a tierra.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD (%)	T _m (°C)	K _F
Cobre blando	100	1.083	7
Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica.	97	1.084	7,06
Cobre duro cuando se utiliza conector mecánico.	97	250	11,78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1.084	10,45
Alambre de acero recubierto de cobre	30	1.084	14,64
Alambre de cobre	20	1.084	14,64
Aluminio grado EC	61	657	12,12
Aleación de aluminio 5005	53,5	652	12,41
Aleación de aluminio 6201	52,5	654	12,47
Alambre de acero recubierto de aluminio	20,3	657	17,2
Acero 1020	10,8	1.510	15,95
Varilla de acero recubierta en acero inoxidable	9,8	1.400	14,72

Varilla de acero con baño de zinc (galvanizado)	8,5	419	28,96
Acero inoxidable 304	2,4	1.400	30,05

Fuente: Adoptada de la norma IEEE 80.

Nota 1: El recubrimiento en cobre de la varilla de acero, no debe ser menor a 0,25 mm

La temperatura no debe superar la del aislamiento de los conductores activos alojados en la misma canalización, como se establece en el Capítulo 9 de la IEEE 242.

De acuerdo con las disposiciones del presente Reglamento no se debe utilizar aluminio enterrado.

Se permite el uso de cables de acero galvanizado en sistemas de puestas a tierra en líneas de transmisión, redes de distribución e instalaciones de uso final, para lo cual se podrán utilizar los parámetros de la varilla de acero recubierta en zinc.

Se permite el uso de conductores con distinta geometría (pletinas en L o en T) y de otros materiales que demuestren su resistencia mecánica y a la corrosión, probados a 1 000 h de cámara salina de acuerdo con lo establecido en el literal c del numeral 2.3.15.1.1..

3.12.2.3. Conductor de Protección o de Puesta a Tierra de Equipos

El conductor de protección, también llamado conductor de puesta a tierra de equipos debe cumplir los siguientes requisitos:

El conductor para baja tensión debe seleccionarse con la Tabla 250-122 de la NTC 2050 segunda actualización.

El conductor para media tensión, alta tensión y extra alta tensión, debe seleccionarse de forma tal que su temperatura no supere la del aislamiento de los conductores activos alojados en la misma canalización, como se establece en el capítulo 9 de la IEEE 242.

Los conductores del sistema de puesta a tierra deben ser continuos, sin interruptores o medios de desconexión y cuando se unan deben hacerlo en las cajas, mediante empalmes o uniones con soldadura o con conectores certificados para tal uso, garantizando que queden mecánica y eléctricamente seguros.

El conductor de puesta a tierra de equipos debe acompañar los conductores activos durante todo su recorrido y por la misma canalización. En las cajas, incluso las no metálicas, donde se instalen aparatos como tomacorrientes o interruptores, debe colocarse un elemento de sujeción o conexión del conductor de protección.

Los conductores de los cableados de puesta a tierra que por disposición de la instalación se requieran aislar, deben ser de aislamiento color verde, verde con rayas amarillas o en su defecto identificarlos con marcas verdes en los puntos extremos y puntos visibles o de inspección.

El aislamiento de aquellos conductores de puesta a tierra de equipos que puedan instalarse a la intemperie debe ser seleccionado para este uso.

Artículo 3.12.3. Valores de referencia de resistencia de puesta a tierra

Un buen diseño de puesta a tierra debe garantizar el control de las tensiones de paso, de contacto y transferidas. En razón a que la resistencia de puesta a tierra es un indicador que limita directamente la máxima elevación de potencial, pueden tomarse como referencia los valores máximos de la Tabla 3.12.3.a., adoptados de las normas técnicas **ANSI/IEEE 80**, **NTC 2050** Segunda Actualización y **NTC 4552-1**. El cumplimiento de estos valores no exonera al diseñador y constructor de garantizar que las tensiones de paso, contacto y transferidas aplicadas al ser humano en caso de una falla a tierra, no superen la establecidas en el presente reglamento.

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 Ω
Subestaciones de media tensión.	10 Ω
Protección contra rayos.	10 Ω
Punto neutro de acometida en baja tensión.	25 Ω
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10 Ω

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

Hacer inaccesibles zonas donde se prevea la superación de los umbrales de soportabilidad para seres humanos.

Instalar pisos o pavimentos de gran aislamiento.

Aislar todos los dispositivos que puedan ser sujetados por una persona.

Establecer conexiones equipotenciales en las zonas críticas.

Aislar el conductor del electrodo de puesta a tierra a su entrada en el terreno.

Disponer de señalización en las zonas críticas donde puedan trabajar personas competentes, siempre que cuenten con las instrucciones sobre el tipo de riesgo y estén dotados de los elementos de protección personal con aislamiento adecuado.

Artículo 3.12.4. Mediciones para sistemas de puesta a tierra

3.12.4.1. Medición de Resistividad Aparente

Existen diversas técnicas para medir la resistividad aparente del terreno. Para efectos del presente Reglamento, se puede aplicar el método tetraelectródico de Wenner, que es el más utilizado para aplicaciones eléctricas y que se muestra en la Figura 3.12.4.1. a. Se pueden usar otros métodos debidamente reconocidos y documentados en las normas y prácticas de la ingeniería.

3.12.4.2. Medición de Resistencia de Puesta a Tierra

La resistencia de puesta a tierra debe ser medida antes de la puesta en funcionamiento de un sistema eléctrico, como parte de la rutina de mantenimiento o excepcionalmente como parte de la verificación de un sistema de puesta a tierra. Para su medición se

pueden utilizar los métodos especificados en la norma IEEE 81, entre los cuales se encuentra el método de Caída de Potencial, cuya disposición de montaje se muestra en la Figura 3.12.4.2. a.

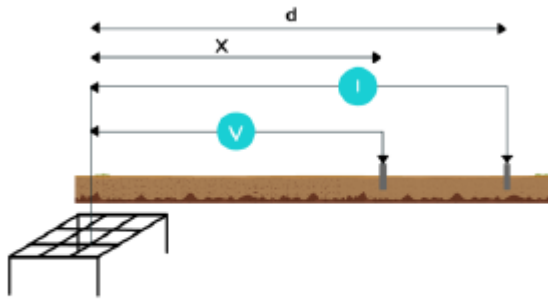


Figura 3.12.4.2. a. Esquema de medición de resistencia de puesta a tierra.

Fuente: Adaptada de la Resolución 90708 del 2013.

En donde:

d es la distancia de ubicación del electrodo auxiliar de corriente, debe ser mínimo 5 veces la mayor dimensión de la puesta a tierra a medir, (según **IEEE 81**).

x es la distancia del electrodo auxiliar de tensión.

La resistencia de puesta a tierra en ohmios, se calcula con V/I .

normalizados. Si se usa equipo de baja frecuencia se deben desacoplar los cables de guarda.

Para los casos en subestaciones de alta o extra alta tensión, en donde la implementación del método de caída de potencial no resulte práctico debido a las grandes distancias en las que se debe ubicar los electrodos auxiliares, se permite el uso de métodos alternativos de medición, siempre y cuando los procedimientos estén basados en normas técnicas de reconocimiento internacional.

3.12.4.3. Medición de tensiones de paso y contacto

Las tensiones de paso y contacto que se calculen en la fase de diseño, deben medirse antes de la puesta en servicio de subestaciones de alta y extra alta tensión nuevas, y en los casos de remodelaciones o ampliaciones que involucren ampliación de la malla de puesta a tierra, del cerramiento o aumento de la corriente de cortocircuito, así como en las estructuras de las líneas de transmisión de tensiones mayores o iguales a 110 kV, localizadas en zonas urbanas o que estén localizadas a menos de 50 m medidos desde el borde más próximo de la estructura hasta escuelas, industrias, comercios, lugares con alta concentración de personas o viviendas de zonas rurales, para verificar que se encuentren dentro de los límites admitidos. En la medición deben seguirse los siguientes criterios adoptados de la IEEE-81 o los de una norma técnica que le aplique, tal como la IEC 61936-1:

Aplicar el método de simulación de personas, con resistencia de 1 000 ohmios, placa de simulación del pie de 16 cm de diámetro, 20 kg por cada placa y separación de un metro.

Emplear una fuente de alimentación de potencia o un generador de impulsos. Las mediciones se deben hacer preferiblemente en la periferia de la instalación de la puesta a tierra, de tal forma que la corriente inyectada sea suficientemente alta, a fin de evitar que las medidas queden falseadas como consecuencia de corrientes espurias o parásitas circulantes por el terreno.

Para subestaciones, deben medirse hasta un metro por fuera del encerramiento y en el caso de torres o postes a un metro de la estructura.

Se debe procurar que la corriente inyectada sea del 1% de la corriente para la cual ha sido dimensionada la instalación y no inferior a 50 A.

Los cálculos para determinar las tensiones máximas posibles, se harán asumiendo que existe proporcionalidad.

Se aceptan otros métodos de medición siempre y cuando estén avalados por normas técnicas internacionales, regionales, de reconocimiento internacional o NTC; en tales casos, quien utilice dicho método dejará constancia escrita del método utilizado y la norma aplicada.

Parágrafo 1: En subestaciones de media tensión se deben medir las tensiones de paso y contacto al borde de la malla de cerramiento, si las corrientes de falla son superiores a 10 kA o si la medida de resistencia de puesta a tierra resulta dos o más veces el valor considerado en el diseño. En caso de que se superen los valores establecidos en la Tabla 3.12.1. a. del presente Libro se deberán tomar las medidas pertinentes de conformidad con este Reglamento. Las subestaciones tipo poste no requieren esta medición.

Artículo 3.12.5. Puesta a tierra en sistemas con corriente continua

Los siguientes requisitos aplican para sistemas bifilares de corriente continua con tensión nominal superior a 60 V e inferior a 300 V; de igual forma aplica a todos los sistemas trifilares de corriente continua:

Los sistemas con fuente de alimentación fuera de un inmueble deben tener la conexión de puesta a tierra en una o más estaciones de alimentación. No se debe hacer una conexión de puesta a tierra en acometidas individuales ni en ningún punto del alambrado dentro del inmueble.

Si la fuente de alimentación del sistema de c.c. está localizada en el predio, se debe hacer una conexión de puesta a tierra en uno de los siguientes:

1. La fuente de alimentación.
2. El primer medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente del sistema.
3. Por otro medio que brinde una protección del sistema equivalente y utilice equipo apto para ese uso.

. La sección transversal del conductor del electrodo de puesta a tierra de sistemas de corriente continua, debe seleccionarse según los criterios establecidos en la sección 250.166 de la norma NTC 2050 segunda actualización.

Se debe usar un puente de conexión equipotencial sin empalmes para conectar los conductores de puesta a tierra de los equipos, al conductor puesto a tierra en la fuente o en el primer medio de desconexión del sistema donde el sistema está puesto a tierra.

En sistemas fotovoltaicos, cuando se requiera un sistema de electrodo de puesta a tierra en corriente continua, se deben cumplir los requisitos establecidos en la sección 690.47 de la NTC 2050 Segunda Actualización.

Artículo 3.12.6. Mantenimiento de sistemas de puesta a tierra

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 SPT para el cumplimiento del presente Reglamento. Si una inspección muestra que se requieren reparaciones, estas deben ser realizadas sin retraso y no ser pospuestas hasta el próximo ciclo de mantenimiento.

Las recomendaciones y criterios para ejecutar las actividades de mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra, deben establecerse por parte del responsable de la construcción de la instalación eléctrica, y deben ser informados a través del manual de operación y mantenimiento referenciado en el Título 6 del presente Libro.

La inspección debe hacerse por una persona competente, el cual debe entregar registros de lo observado, dicha inspección incluye la verificación de la documentación técnica, reportes visuales, pruebas y registros. Todo SPT debe ser inspeccionado de acuerdo con la Tabla 3.12.6. a.

Tabla 3.12.6. a. Máximo período entre mantenimientos de un SPT Nivel de tensión de la instalación	Inspección visual (años)	Inspección visual y mediciones (años)	Sistemas críticos ⁽¹⁾ Inspección visual y mediciones (años)
Baja	1	5	1
Media	3	6	1
Alta y Extra Alta	2	4	1

Los intervalos de la anterior tabla pueden variar, según condiciones climáticas locales, fallas que comprometan la integridad del SPT, normas de seguridad industrial, exigencias de compañías de seguros, procedimientos o regulaciones técnicas de empresa.

En líneas de transmisión o en mallas perimetrales de edificaciones donde los electrodos están en las fundaciones de las estructuras, no es obligatoria la revisión visual.

3.12.6.1. Pruebas

Las pruebas que deben realizarse como parte de inspección son:
Realizar ensayos de equipotencialidad.

Medir resistencia de puesta a tierra. Los resultados deben quedar consignados en los reportes de inspección.

Medir corrientes espurias.

3.12.6.2. Registros

La inspección del SPT debe documentar y evidenciar mediante registros, como mínimo la siguiente información:

Condiciones generales de los conductores del sistema.

Nivel de corrosión.

Estado de las uniones de los conductores y componentes.

Valores de resistencia.

Desviaciones de los requisitos respecto del RETIE.

Documentar todos los cambios frente a la última inspección.

Resultados de las pruebas realizadas.

Registro fotográfico.

Rediseño o propuesta de mejoras del SPT si se requieren.

TÍTULO 13 – PROTECCIÓN CONTRA RAYOS Y SOBRETENSIONES TRANSITORIAS

Artículo 3.13.1. Protección contra rayos

El rayo es un fenómeno meteorológico de origen natural, y Colombia al estar situada en la zona de confluencia intertropical, presenta una de las mayores actividades de rayos del planeta; de allí la importancia de la protección contra dicho fenómeno, pues si bien los métodos desarrollados a nivel mundial se pueden aplicar, algunos parámetros del rayo son particulares para esta zona. Tales condiciones obligan a que se tomen las medidas para minimizar los riesgos por los efectos del rayo, tanto en las edificaciones como en las instalaciones eléctricas.

3.13.1.1. Evaluación del nivel de riesgo frente a rayos

Las instalaciones objeto del RETIE, deben contar con una evaluación del nivel de riesgo frente a rayos, basada en procedimientos establecidos en la norma técnica **NTC 4552-2** o normas técnicas internacionales como la **IEC 62305-2** o de reconocimiento internacional (siempre y cuando sean aplicables a las condiciones para descargas atmosféricas de Colombia). Esta evaluación, debe considerar la posibilidad de pérdidas de vidas humanas, pérdida del suministro de energía y otros servicios esenciales, pérdida o graves daños de

bienes, pérdida cultural, así como los parámetros del rayo para la zona tropical, donde está ubicada Colombia y las medidas de protección que mitiguen el riesgo.

Las centrales de generación, líneas de transmisión, redes de distribución en media tensión y las subestaciones construidas con posterioridad al 1º de mayo de 2005 deben tener una evaluación del nivel de riesgo frente a rayos.

También deben contar con una evaluación del nivel de riesgo por rayo, las siguientes instalaciones de uso final construidas con anterioridad a la vigencia del RETIE: edificaciones de viviendas multifamiliares, edificios de oficinas, hoteles, centros de atención médica, lugares de culto, centros educativos, centros comerciales, industrias, supermercados, parques de diversión, prisiones, aeropuertos, cuarteles, salas de juzgados, salas de baile o diversión, gimnasios, restaurantes, museos, auditorios, boleras, salas de clubes, salas de conferencias, salas de exhibición, salas de velación, lugares de

espera de medios de transporte masivo y en general aquellos lugares que en cualquier momento presenten alta concentración de personas, o en edificaciones con alturas que sobresalgan sobre las de su entorno y donde se tenga conocimiento de alta densidad de rayos. La evaluación del nivel de riesgo por rayo debe estar disponible para revisión de las autoridades de vigilancia y control.

3.13.1.2. Diseño e implementación de un sistema de protección contra rayos

La protección se debe basar en la aplicación de un sistema integral, conducente a mitigar los riesgos asociados con la exposición directa e indirecta a los rayos.

El diseño e implementación, debe realizarse empleando metodologías reconocidas como la de la **NTC 4552-3**, normas técnicas internacionales como la **IEC 62305-3** o de reconocimiento internacional siempre y cuando sean aplicables a las condiciones de descargas atmosféricas de Colombia, el diseño se debe basar en el método electrogeométrico. La persona competente encargada de un proyecto debe hacer uso de buenas prácticas de ingeniería en la protección contra rayos, con el fin minimizar los efectos electromagnéticos, mecánicos o térmicos.

3.13.1.3. Componentes del sistema de protección contra rayos

El sistema de protección contra rayos debe tener los componentes descritos en el presente numeral, y debe garantizarse una conexión eléctrica permanente, mediante verificaciones periódicas y rutinas adecuadas de mantenimiento, que deben estar relacionadas en el manual de operación y mantenimiento de las instala

La longitud de las bajantes se debe reducir al mínimo posible. Los conductores bajantes deben instalarse en lo posible de manera rectilínea y vertical, siguiendo el camino más corto y directo a tierra. Debe evitarse la formación de bucles en el conductor bajante y de curvas de menos de 20 cm de radio.

Tabla 3.13.1.3.2. a. Características de los terminales de captación y bajantes Material	Configuración	Área mínima (mm²)¹	Diámetros y espesores mínimos ²
Cobre	Cinta sólida Alambre	50	2 mm de espesor
	Cable	50	8 mm de diámetro
	Varilla	50	1,7 mm de diámetro por
		200	hilo 16 mm de diámetro
Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cinta sólida Alambre	70	3 mm de espesor
	Cable	50	8 mm de diámetro
		50	1,7 mm de diámetro por
			hilo
Aleación de aluminio	Cinta sólida Alambre	50	2,5 mm de espesor
	Cable	50	8 mm de diámetro
	Varilla	50	1,7 mm de diámetro por
		200	hilo 16 mm de diámetro
Acero galvanizado en caliente o acero recubierto de cobre	Cinta sólida Alambre	50	2,5 mm de espesor
	Cable	50	8 mm de diámetro
	Varilla	50	1,7 mm de diámetro por
		200	hilo 16 mm de diámetro
Acero inoxidable	Cinta sólida Alambre	50	Espesor de la capa: 50 µm. 2,5 mm de espesor
	Cable	50	8 mm de diámetro
	Varilla	70	1,7 mm de diámetro por
		200	hilo 16 mm de diámetro
Bronce	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Tubo	50	4 mm de espesor
	Varilla	200	16 mm de diámetro

1) Estas dimensiones se deben aumentar a 60 mm² para cinta sólida y a 78 mm² para alambre, si los requerimientos técnicos o mecánicos así lo exigen.

2) En las dimensiones de espesor, ancho y diámetro se admite una tolerancia de $\pm 10\%$. No se deben utilizar terminales de captación o pararrayos con elementos radiactivos.

3) Los sistemas de captación no convencionales tales como Early Streamer Emission o Cebado, Charge Transfer System, Dissipation Array System deben ser considerados como bayonetas en el diseño del sistema de protección externo según lo establecido en el capítulo 5.2 de la NTC 4552-3

ciones eléctricas.

3.13.1.3.1. Terminales de captación o pararrayos

Cualquier elemento metálico de la estructura que se encuentre expuesto al impacto directo del rayo, como antenas de televisión, chimeneas, techos, torres de comunicación y cualquier tubería que sobresalga, debe ser tratado como un terminal de captación siempre y cuando se garantice su capacidad de conducción y continuidad eléctrica. En la Tabla 3.13.1.3.2. a. adaptada de la norma **IEC 62305-3**, se presentan las características que deben cumplir los pararrayos o terminales de captación construidos para este fin.

3.13.1.3.2. Conductores bajantes

Con el fin de conducir a tierra, en forma segura, la corriente del rayo que incide sobre la estructura e impacta en los pararrayos, y reducir la probabilidad de daños debido a las corrientes del rayo que circulan por el Sistema de Protección contra Rayos, deben instalarse conductores bajantes, ubicados de tal manera que desde el punto de impacto hasta tierra existan varios caminos en paralelo para la corriente y cumplir los siguientes requisitos:

Los materiales deben cumplir las especificaciones dadas en la Tabla 3.13.1.3.2. a.

En los diseños se deben considerar dos tipos de bajantes, unas conectadas directamente a la estructura a proteger y otras aisladas eléctricamente de la misma.

La decisión de cual tipo de bajante a utilizar depende del riesgo de efectos térmicos o explosivos en el punto de impacto de rayo y de los elementos almacenados en la estructura. En estructuras con paredes combustibles y en áreas con peligro de explosión se debe aplicar el tipo aislado.

Cada bajante debe terminar en un sistema de puesta tierra que tenga un camino vertical u horizontal para la corriente o una combinación de ambos. Para tal efecto cada bajante se debe conectar con un electrodo de puesta a tierra, dicha conexión debe ser de fácil acceso e inspeccionable mediante cajas de inspección de 30 cm de lado si es del tipo cuadrado, o 30 cm de diámetro si es circular. También se permite los arreglos en configuración tipo B, según lo establecido en la norma NTC 4552-3.

Las bajantes deben instalarse, de manera que sean una continuación directa de los conductores del sistema de captación, siguiendo el camino más corto y recto posible entre el anillo equipotencial, que une las terminales de captación, y el sistema de puesta a tierra de protección contra rayos,

Las bajantes deben cumplir con lo establecido en la Tabla 3.13.1.3.2. a. y no deben instalarse en canales de drenaje de aguas, incluso si tienen un aislamiento eléctrico.

El número de bajantes no debe ser inferior a dos y deben ubicarse en el perímetro de la estructura a proteger, en función de las restricciones arquitectónicas y prácticas. Deben instalarse, en la medida de lo posible, en las esquinas opuestas de la estructura.

La instalación de más bajantes, espaciadas de manera equidistante y simétrica alrededor del perímetro y conectadas mediante anillos equipotenciales, reduce la probabilidad de que se produzcan chispas peligrosas y facilita la protección interna.

Esta condición se cumple en estructuras totalmente metálicas y en estructuras de concreto en las que el acero de refuerzo es eléctricamente continuo; en caso de instalar equipos altamente sensibles deben considerarse los efectos de las tensiones inducidas y los campos electromagnéticos producidos por las corrientes de rayos en el sistema de protección.

En la Tabla 3.13.1.3.2. b. se dan las distancias recomendadas entre los conductores bajantes y entre anillos equipotenciales, en función del Nivel de Protección contra Rayos - NPR.

Tabla 3.13.1.3.2. b.	Distancia recomend ada [m]
Distancias recomenda das para separación de bajantes y anillos NPR	
I	10
II	10
III	15
IV	20

Los marcos o elementos de la fachada pueden ser utilizados como bajantes, si son perfiles o rieles metálicos y sus dimensiones cumplen con los requisitos para los conductores bajantes, es decir, para laminas o tubos metálicos su espesor no sea inferior a 0,5 mm y su equipotencialidad vertical sea garantizada de tal manera que fuerzas mecánicas accidentales (por ejemplo, vibraciones, expansión térmica, etc.) no causen el rompimiento de los materiales o la pérdida de equipotencialidad.

La puesta a tierra de protección contra rayos debe interconectarse con los demás sistemas de puestas a tierra de la edificación.

Parágrafo 1: Para efectos de este Reglamento, el comportamiento de todo pararrayos o terminal de captación debe tomarse como el de un pararrayos tipo Franklin.

Parágrafo 2: Los terminales de captación no requieren certificación de conformidad de producto. El constructor y el inspector de la instalación deben verificar el cumplimiento de los requisitos dimensionales. La interconexión de bajantes se debe hacer en la parte superior. La interconexión a nivel de piso y la de los anillos intermedios son opcionales. Las conexiones equipotenciales con las partes conductoras de la estructura dependerán de situaciones particulares. La geometría de las bajantes y la de los anillos de unión afecta la distancia de separación.

3.13.1.3.3. Puesta a tierra de protección contra rayos

La puesta a tierra de protección contra rayos debe cumplir con los requisitos que le apliquen del Título 12 del presente Libro, especialmente en cuanto a materiales e interconexión. La configuración debe hacerse con electrodos horizontales (contrapesos), verticales o una combinación de ambos, según criterio de la **IEC 62305-3**.

Normativa NTC 2206 - Requisitos para Sistemas de Puesta a Tierra en Instalaciones Eléctricas

La norma NTC 2206 establece los criterios técnicos para el diseño, instalación, y evaluación de los sistemas de puesta a tierra en instalaciones eléctricas, asegurando protección adecuada contra descargas eléctricas y fallas de equipos. Esta norma define la resistencia máxima permitida del sistema de puesta a tierra en función de su aplicación: 25 Ω para acometidas de baja tensión, 10 Ω para subestaciones en poste de media tensión, y $\leq 1 \Omega$ para subestaciones de alta tensión. Además, detalla las propiedades mínimas de los conductores y electrodos utilizados, como una resistencia específica inferior a 100 $\mu\Omega \cdot m$ y una profundidad de enterramiento no menor a 0.5 metros para garantizar la estabilidad térmica y mecánica. La norma especifica procedimientos de medición para verificar la continuidad eléctrica y evaluar la resistencia a tierra, exigiendo pruebas regulares para asegurar la conformidad con los valores establecidos. También incluye directrices para la protección contra corrosión, recomendando el uso de materiales como cobre electrolítico y recubrimientos protectores en ambientes de alta humedad o salinidad. La aplicación de NTC 2206 garantiza la seguridad operativa y la protección de las instalaciones eléctricas, minimizando riesgos para personas y equipos.

La **normativa IEC 61000-5-2** establece directrices técnicas para garantizar la compatibilidad electromagnética (EMC) en instalaciones eléctricas mediante el diseño de sistemas de puesta a tierra y apantallamiento. Incluye recomendaciones para minimizar interferencias electromagnéticas entre equipos, abordando conexiones equipotenciales, apantallamiento de cables y configuración de redes de tierra. Los sistemas críticos deben tener una resistencia de red equipotencial $\leq 1 \Omega$, una separación mínima de 0.2 m entre conductores de señal y potencia, y apantallamientos con una atenuación de al menos 60 dB para frecuencias de hasta 10 MHz. También considera frecuencias de corte ≤ 100 MHz para instalaciones estándar y ≥ 30 MHz para sistemas sensibles. La norma enfatiza el uso de materiales conductores de baja resistencia, como cobre o aluminio, y configuraciones que reduzcan bucles inductivos, además de detallar pruebas específicas para evaluar la efectividad del apantallamiento frente a radiación electromagnética y corrientes de modo común.

La **IEC 60364** establece los principios fundamentales para el diseño, construcción y verificación de instalaciones eléctricas de baja tensión, garantizando su seguridad y funcionalidad. Esta norma aborda la protección contra choques eléctricos, sobrecorrientes, cortocircuitos y sobretensiones, y especifica los valores mínimos para la resistencia de aislamiento y las corrientes de fuga aceptables. Por ejemplo, la resistencia mínima de aislamiento para sistemas de 230 V debe ser de al menos 1 M Ω . Además, se detalla el uso de interruptores diferenciales con una sensibilidad típica de 30 mA para protección personal y hasta 300 mA para protección contra incendios. La IEC 60364 también define configuraciones de puesta a tierra, como sistemas TT, TN y IT, especificando sus requisitos para garantizar una operación segura en diversas condiciones ambientales.

La norma **IEEE 80** establece los principios y métodos para diseñar sistemas de puesta a tierra en subestaciones eléctricas, con el objetivo de garantizar la seguridad del personal y la protección de equipos frente a corrientes de falla a tierra. Proporciona métodos para calcular resistencias de puesta a tierra, tensiones de paso y contacto, y límites de tensión admisibles, considerando parámetros como resistividad del suelo, corriente de falla máxima y tiempo de clearing del sistema. Por ejemplo, para garantizar seguridad, la tensión de paso máxima permitida es de 50 V en zonas de alta resistividad ($> 1000 \Omega \cdot m$) y puede incrementarse a 100 V en áreas con resistividades más bajas. La norma también detalla métodos para configurar mallas equipotenciales, usando conductores de cobre con secciones mínimas de 35 mm² para asegurar la conducción eficiente de corrientes de falla.