

DIVISIÓN DE INGENIERÍA DE ELECTRICIDAD

PLIEGO TÉCNICO NORMATIVO	: RPTD N° 6.
MATERIA	: PUESTA A TIERRA.
REGLAMENTO	: SEGURIDAD DE INSTALACIONES DESTINADAS A LA PRODUCCIÓN, TRANSFORMACIÓN, TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.
FUENTE LEGAL	: DECRETO CON FUERZA DE LEY N° 4/20.018, DE 2006, DEL MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y RECONSTRUCCIÓN, LEY GENERAL DE SERVICIOS ELÉCTRICOS.
RESOLUCIÓN EXENTA	: N° XXXX, de fecha XX.XX.201x .

1 Objetivo

El objetivo del presente pliego técnico es establecer los requisitos de seguridad que deben cumplir los sistemas de puesta a tierra.

2 Alcance

Este pliego técnico aplica a las instalaciones de producción, transformación, transporte y distribución de energía eléctrica.

3 Referencias normativas

Las referencias normativas mencionadas en este documento son parte integrante del presente pliego técnico.

3.1	ASTM F 1136	2011	Standard Specification for Zinc/Aluminum Corrosion Protective Coatings for Fasteners.
3.2	IEC 60364-5-54 ed3.0	2011	Low-voltage electrical installations - Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment - Earthing arrangements and protective conductors.
3.3	IEC 61936-1 ed2.1 Consol. con am1	2014	Power installations exceeding 1 kV a.c. - Part 1: Common rules.
3.4	IEC 62305-3 ed2.0	2010	Protection against lightning - Part 3: Physical damage to structures and life hazard.
3.5	IEC 62305-SER ed2.0	2013	Protection against lightning - ALL PARTS.

3.6	IEEE 1048	2003	Guide for Protective Grounding of Power Lines.
3.7	IEEE 80	2013	Approved Draft Guide for Safety in AC Substation Grounding.
3.8	IEEE 81	2012	Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System.
3.9	IEEE 837	2002	Standard for Qualifying Permanent Connections Used in Substation Grounding.
3.10	UL 467	2013	Grounding and Bonding Equipment.

4 Terminología y definiciones

4.1	Armadura	Protección metálica contra efectos mecánicos, constituida entre otros elementos por alambres de sección circular o rectangular, flejes (bandas) o trenzas colocadas sobre un cable.
4.2	Aumento de potencial de tierra	Es el potencial eléctrico que una malla de puesta a tierra de una instalación puede alcanzar respecto de un punto de conexión a tierra distante, suponiendo que está al potencial de tierra remota.
4.3	Cable de guardia	Conductor conectado a tierra, colocado a una altura superior de los conductores energizados, con el objeto de protegerlos de descargas.
4.4	Malla de puesta a tierra	Sistema de electrodos de tierra interconectados, compuesto de un número de conductores desnudos enterrados, que proporciona una base de potencial común de conexión a tierra para los dispositivos eléctricos o estructuras metálicas, para obtener una medida de protección adicional, minimizando el peligro a la exposición a altos voltajes de paso o de contacto.
4.5	Mantenimiento	Conjunto de acciones o procedimientos tendientes a preservar o restablecer un bien a un estado tal que le permita garantizar la

máxima confiabilidad.

- 4.6 Mástil
Elemento metálico resistente a la corrosión, cuya función es interceptar los rayos que podrían impactar directamente sobre la instalación que deberá proteger.
- 4.7 Puesta a tierra
Toma o conexión que permite el establecimiento de un circuito de retorno a tierra y para el mantenimiento de su potencial en aproximadamente el potencial de tierra.
- 4.8 Sistema de puesta a tierra
Conjunto de elementos conductores continuos de un sistema eléctrico específico, 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. Comprende todas las instalaciones de puesta a tierra interconectadas en un sistema específico.
- 4.9 Tensión de contacto
Diferencia de potencial entre el aumento de potencial de tierra y el potencial de superficie en el punto en que una persona está de pie, mientras que al mismo tiempo tiene una mano en contacto con una estructura conectada a tierra.
- 4.10 Tensión de la malla
Tensión máxima de contacto dentro de una malla de tierra.
- 4.11 Tensión de paso
Diferencia de potencial que experimenta una persona con una separación de 1 metro entre sus pies, sin tocar ningún objeto conectado a tierra.
- 4.12 Tierra
Expresión que generaliza todo lo referente a conexiones con tierra y que presenta un potencial común, idealmente sin tensión.
- 4.13 Tierra de protección
La destinada a evitar la aparición de tensiones peligrosas entre partes de las instalaciones que normalmente están sin tensión y otras partes vecinas que puedan encontrarse al potencial local de tierra.

4.14 Tierra de servicio

La destinada a conectar en forma permanente a tierra ciertos puntos del circuito eléctrico de las instalaciones eléctricas.

5 Criterio de tensión de paso y de contacto tolerables

La seguridad de una persona depende de que la cantidad crítica de energía no sea por él absorbida antes que la falla sea despejada y el sistema eléctrico se desenergice.

5.1 La tensión de paso tolerable límite es:

$$V_{\text{paso}} = (R_c + 2 \cdot R_f) \cdot I_c$$

Para un cuerpo de 50 kg de peso:

$$V_{\text{paso}50} = (1000 + 6 C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0,116}{\sqrt{t_s}}$$

5.2 La tensión de contacto tolerable límite es:

$$V_{\text{contacto}} = (R_c + \frac{R_f}{2}) \cdot I_c$$

Para un cuerpo de 50 kg de peso:

$$V_{\text{contacto}50} = (1000 + 1,5C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0,116}{\sqrt{t_s}}$$

El factor C_s se calcula con la siguiente expresión:

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \cdot (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 \cdot h_s + 0,09}$$

donde:

V_{contacto} = Tensión de contacto en V.

V_{paso} = Tensión de paso en V.

R_c = Resistencia del cuerpo

R_f = Es la resistencia a tierra de un pie en Ω (ignorando la presencia del sistema de puesta a tierra de la subestación)

I_c = Magnitud rms de la corriente a través del cuerpo en Amperes

C_s = Calculado con la fórmula antes descrita.

ρ_s = Resistividad de la superficie del terreno en Ω m.

ρ = Resistividad de la tierra por debajo de la superficie del material en Ω m.

t_s = Duración de la corriente de falla a tierra en segundos. El cálculo se deberá realizar con un valor de t_s menor o igual al tiempo de operación de la protección de respaldo.

H_s = Espesor del material de la superficie.

C_s corresponde a un factor de corrección para calcular la resistencia efectiva del pie en la presencia de un espesor finito de material de la superficie.

Si no se utiliza ninguna capa protectora de la superficie, $C_s = 1$ y $\rho_s = \rho$.

- 5.3 En toda instalación de producción, transporte y distribución, se deberá asegurar que bajo ninguna circunstancia se sobrepasarán los límites de tensión de paso y de contacto tolerables.

6 Principales consideraciones de diseño

- 6.1 Un sistema de puesta a tierra se deberá instalar de manera que limite el efecto de gradientes de potencial de tierra a niveles tales de voltaje y corriente que no ponga en peligro la seguridad de las personas o equipos en condiciones normales y de falla. El sistema también deberá garantizar la continuidad del servicio.
- 6.2 Dentro del perímetro del sistema de puesta a tierra, los conductores se deberán colocar en líneas paralelas y, cuando no sea posible lo anterior, a lo largo de las estructuras o de las filas de equipos para permitir conexiones a tierra cortas, formando una malla de puesta a tierra.
- 6.3 La malla de puesta a tierra deberá cubrir al menos el área de patios, bahías o paños, equipos y salas de comando y, si es necesario, más allá de la línea de propiedad de tales instalaciones.
- 6.4 Se deberán utilizar cables de tierra múltiples o conductores de mayor tamaño en donde pueden producirse altas concentraciones de corriente, tal como en una conexión de neutro a tierra de generadores, bancos de condensadores o transformadores.

7 Diseño en condiciones difíciles

- 7.1 En las zonas donde la resistividad del suelo es más bien alta o el espacio de la subestación es reducido, se hará uso de aditivos y tratamiento del suelo, de electrodos de tipo químico, de conexión a mallas de tierra remota, entre otras soluciones.
- 7.2 Cuando por los valores de la resistividad del terreno, de la corriente de puesta a tierra o del tiempo de eliminación de la falla, no sea posible técnicamente mantener los valores de las tensiones aplicadas de paso y de contacto dentro de los límites tolerables, deberá recurrirse al empleo de medidas adicionales de seguridad, a fin de reducir los riesgos a las personas y las cosas.

Sin que el listado sea taxativo, tales medidas podrán ser:

- a. Hacer inaccesibles las zonas peligrosas.
- b. Disponer suelos o pavimentos que aislen suficientemente de tierra las zonas de servicio peligrosas.

- c. Aislar todas las empuñaduras o mandos que hayan de ser tocados.
- d. Establecer conexiones equipotenciales entre la zona donde se realice el servicio y todos los elementos conductores accesibles desde la misma.
- e. Aislar los conductores de tierra a su entrada en el terreno.

Se dispondrá el suficiente número de rótulos avisadores con instrucciones adecuadas en las zonas peligrosas y existirá a disposición del personal de servicio, medios de protección (calzado aislante, guantes, banquetas o alfombrillas aislantes).

8 Exigencias para el sistema de puesta a tierra

- 8.1 Deberán conectarse al sistema de puesta a tierra todas las partes metálicas de una instalación que normalmente están sin tensión, como carcasas y chasis de máquinas, transformadores o aparatos, partes conductoras y accesibles de estructuras y edificios.
- 8.2 Deberán conectarse a un sistema de puesta a tierra los dispositivos de puesta a tierra de las líneas aéreas y el cable de guardia de las mismas.
- 8.3 Deberán conectarse a un sistema de puesta a tierra los limitadores, descargadores, autoválvulas, mástiles y pararrayos, para eliminación de sobretensiones o descargas atmosféricas, en conformidad a la norma IEC 62305.
- 8.4 La puesta a tierra de los dispositivos utilizados como descargadores de sobretensiones se conectará a la puesta a tierra del aparato o aparatos que protejan. Estas conexiones deberán realizarse procurando que su recorrido sea mínimo y sin cambios bruscos de dirección.

La instalación de puesta a tierra asegurará, en cualquier caso, que para las intensidades de descarga previstas, las tensiones a tierra de estos dispositivos no alcancen valores que puedan ser origen de tensiones de retorno o transferidas, de carácter peligroso, para otras instalaciones o aparatos igualmente puestos a tierra.

Los conductores empleados para la puesta a tierra del descargador o descargadores de sobretensiones no dispondrán de cintas ni tubos de protección de material magnético.

- 8.5 Las partes de la instalación y las carcasas que por razones técnicas justificadas del fabricante, no llevan tierra de protección, deberán ser de doble aislamiento o aislamiento clase II, o de lo contrario deberán considerarse que están con la tensión de servicio completa. Deberá, por lo tanto, impedirse el acceso a ellas, o bien, disponerlas de tal manera que solamente sean accesibles desde un lugar aislado para la tensión completa.
- 8.6 Los elementos metálicos de la construcción en edificaciones que alberguen instalaciones de alta tensión, deberán conectarse a tierra de protección.
En cualquier caso, en los edificios de hormigón armado, las armaduras deberán ser puestas a tierra.
- 8.7 Los elementos metálicos que salen fuera del recinto de la instalación, tales como rieles y tuberías, deberán estar conectados a la instalación de tierra

general en varios puntos si su extensión es grande.

- 8.8 Las vallas y cercas metálicas del recinto de la instalación deberán conectarse a tierra, pudiendo adoptarse diversas soluciones en función de las dimensiones de la instalación y características del terreno.
- 8.9 Deberán conectarse a la tierra de servicio los neutros de los transformadores, de los alternadores y otros aparatos o equipos que lo precisen, como ser los circuitos de baja tensión de los transformadores de medida o protección.

Se consideran como excepción los casos considerados en los puntos 8.10 y 8.11 siguientes.

- 8.10 Para evitar tensiones peligrosas provocadas por defectos en la red de alta tensión, los neutros de baja tensión de las líneas que salen fuera de la instalación general y la puesta a tierra de los transformadores de medida ubicados en tableros de baja tensión para distribución, se conectarán a un sistema de puesta a tierra separada de la general, que se denominará tierra de los neutros de baja tensión. El resto de los elementos, tales como los pararrayos, permanecerán conectados a la tierra general de la instalación.
- 8.11 Cuando existan circuitos de comunicación o de baja tensión protegidos mediante transformadores de aislación, el lado de línea de éstos se conectarán a una tierra separada.
- 8.12 Los conductores a tierra deberán ser dimensionados para la mayor corriente a tierra previsible.
- 8.13 No deberán intercalarse dispositivos de desconexión, ni fusibles, en los circuitos de tierra de protección.
- 8.14 Los conductores que conectan el sistema de puesta a tierra a las instalaciones deberán ser, en lo posible, del mismo material que los electrodos que se emplean. Su sección será de 25 mm^2 , cuando el conductor sea de cobre.
- 8.15 Los conductores desnudos utilizados para conexiones a tierra y para la construcción de mallas de puesta a tierra deberán ser de cobre. Se prohíbe la utilización de conductores desnudos de aluminio o de aleación de aluminio para aplicaciones en contacto directo con el suelo.
- 8.16 Los conductores de conexión a tierra con sus conexiones y uniones, en la parte que no estén enterrados, deberán poder ser identificados fácilmente y accesibles para permitir su control. Deberán estar alejados de las partes combustibles de los edificios y protegidos contra los deterioros mecánicos y los efectos de la corrosión.
- 8.17 Las conexiones de las puestas a tierra que van bajo el nivel del suelo deberán ser realizadas mediante soldadura exotérmica o conector apropiado para enterramiento, en conformidad a la norma IEEE 837, las que deberán asegurar la permanencia de la unión, no experimentar al paso de la corriente calentamientos superiores a los del conductor y estar protegidos contra la corrosión galvánica.
- 8.18 Los electrodos de puesta a tierra estarán formados por materiales metálicos en forma de picas, varillas, conductores, chapas o perfiles, que presenten

una resistencia elevada a la corrosión por sí mismos, o mediante una protección adicional, tales como el cobre o el acero debidamente protegido, en cuyo caso se tendrá especial cuidado de no dañar el recubrimiento de protección durante el hincado.

Los electrodos de puestas a tierra deberán cumplir las dimensiones y valores establecidos en las normas: IEC 62305-3 o IEC 60364-5-54, según corresponda o alternativamente, UL 467, o ASTM F 1136.

- 8.19 Cuando se construya una malla de tierra alejada de la instalación o cuando se interconecten dos mallas alejadas, la unión deberá hacerse mediante al menos dos conductores desnudos independientes, de igual sección al conductor de la malla.
- 8.20 Para verificar que las características del electrodo de puesta a tierra y su unión con la red cumplan con el presente pliego, se deberán dejar puntos de conexión y medición accesibles e inspeccionables al momento de la medición. Cuando para este efecto se construyan cajas de inspección, sus dimensiones deberán ser como mínimo de 30 x 30 cm, o de 30 cm de diámetro si es circular, y su tapa deberá ser removible.
- 8.21 Todo sistema de puesta a tierra será comprobado en el momento de su establecimiento y revisado por las empresas de producción, transporte y distribución de energía eléctrica, al menos, una vez cada tres años, a fin de comprobar el estado del mismo. Esta verificación consistirá en una inspección visual y en la medición de la resistencia de puesta a tierra, de acuerdo a los procedimientos descritos en la norma IEEE Std. 81 o la IEC 61936-1.

En aquellos casos en los que cambie sustancialmente la resistividad superficial del terreno, disminuyendo su valor, por ejemplo por ajardinamiento de la instalación, será necesario repetir las medidas de las tensiones de paso y de contacto.

- 8.22 Las pruebas que deberán realizarse como parte de inspección del sistema de puesta a tierra son:
 - a. Realizar ensayos de equipotencialidad.
 - b. Medir resistencia de puesta a tierra. Los resultados deberán quedar consignados en los reportes de inspección.
 - c. Medir corrientes espurias o de modo común.
- 8.23 La inspección del sistema de puesta a tierra deberá documentar y evidenciar mediante registros, como mínimo la siguiente información:
 - a. Condiciones generales de los conductores del sistema.
 - b. Nivel de corrosión.
 - c. Estado de las uniones de los conductores y componentes.
 - d. Valores de resistencia.
 - e. Desviaciones de los requisitos respecto del pliego técnico.

- f. Documentar todos los cambios frente a la última inspección.
 - g. Resultados de las pruebas realizadas.
 - h. Registro visual.
 - i. Rediseño o propuesta de mejoras del sistema de puesta a tierra si se requieren.
- 8.24 En toda instalación de producción, transporte y distribución de energía eléctrica, se deberá asegurar que bajo ninguna circunstancia se sobrepasarán los límites de tensión de paso y de tensión de contacto tolerables, establecidos en el punto 5 de este pliego.
- 8.25 Los cálculos necesarios para asegurar la exigencia del punto 8.21 anterior, se realizarán según las especificaciones de la norma internacional IEEE Std 80-2000 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".
- 8.26 Los postes, y las torres metálicas de las líneas cuya tensión sobrepase 250 V con respecto a tierra, deberán estar conectados a una tierra de protección. Esta conexión se realizará mediante un electrodo dimensionado de modo tal que en caso de falla no se presenten potenciales locales de valores peligrosos.

9 Puestas a tierra temporales

9.1 Requisitos generales

El equipo de puesta a tierra temporal deberá cumplir las siguientes especificaciones:

- a. Electrodo de tipo Barreno con longitud mínima de 1,5 m.
- b. Grapas o pinzas las que deberán ser adecuadas según la geometría del elemento a conectar (puede ser plana o con dientes).
- c. Cable en cobre extra flexible, cilíndrico y con cubierta transparente o translúcida, que permita su inspección visual y cuyo calibre soporte una corriente de falla mínima de 40 kA eficaces en un segundo, en alta tensión; 8 kA eficaces en un segundo, en media tensión; y 3 kA eficaces en un segundo, en baja tensión, con temperatura final de 700°C. Se podrá utilizar cables de puestas a tierra de menor calibre, siempre que la corriente de falla calculada sea menor a los valores antes citados y el tiempo de despeje sea tal que la temperatura en el conductor no supere los 700° C. Si la corriente de falla es superior a los valores indicados, se deberá usar un cable de capacidad suficiente para soportarla.
- d. La instalación y operación se deberá realizar en base a la guía de instalación, inspección y mantenimiento entregada por el fabricante.

9.2 Requisitos de instalación

La puesta a tierra temporal deberá instalarse de acuerdo con los siguientes requisitos:

- a. El montaje deberá hacerse de tal manera que los pies del liniero queden al potencial de tierra y que los conductores que se conectan a las líneas

tengan la menor longitud e impedancia posible, tal como se muestra en la Figura 1 siguiente, adoptada de la guía IEEE 1048.

- b. La secuencia de montaje deberá ser desde la tierra hasta la última fase y para desmontarlo deberá hacerse desde las fases hasta la tierra.
- c. En el evento que la línea esté o sea susceptible de interrumpirse en la estructura, se deberá conectar a tierra en ambos lados de la estructura.

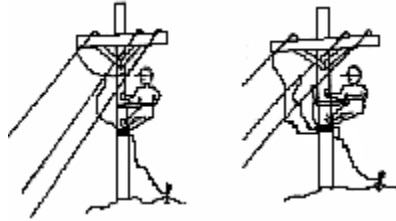


Figura 1. Montajes típicos de puestas a tierra temporales